Benchmarking für die österreichische Abfallwirtschaft

Endbericht

Technische Universität Wien (**TU Wien**)
Universität für Bodenkultur Wien (**BOKU**)
Montanuniversität Leoben (**MUL**)
Universität Innsbruck (**UIBK**)

Im Auftrag des

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
inkl. Ko-Finanzierungspartner[1]

Wien, im November 2015

[1] Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft vertritt die Ko-Finanzierungspartner Wien, NÖ, OÖ, Steiermark, Burgenland, Kärnten, Salzburg, ARA und VÖEB

Projektleitung

Paul H. Brunner

TU Wien - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

Projektbearbeitung (in alphabetischer Reihenfolge)

Astrid Allesch
TU Wien - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

Barbara Färber
TU Wien - Fachbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik

Michael Getzner
TU Wien - Fachbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik

Gerald Grüblinger
TU Wien - Fachbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik (vormals)

Marion Huber-Humer
BOKU - Institut für Abfallwirtschaft

Aleksander Jandric
BOKU - Institut für Abfallwirtschaft

Georg Kanitschar
TU Wien - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

Julika Knapp
UIBK - Lehrstuhl für Abfallbehandlung und Ressourcenmanagement

Gernot Kreindl
MUL - Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

Peter Mostbauer
BOKU - Institut für Abfallwirtschaft

Wolfgang Müller
UIBK - Lehrstuhl für Abfallbehandlung und Ressourcenmanagement

Gudrun Obersteiner
BOKU - Institut für Abfallwirtschaft

Andreas Pertl
BOKU - Institut für Abfallwirtschaft (vormals)

Roland Pomberger
MUL - Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

Leonhard Plank
TU Wien - Fachbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik

Stefan Salhofer
BOKU - Institut für Abfallwirtschaft

Therese Schwarz
MUL - Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

Grafische Gestaltung und Layout

Inge Hengl

Impressum

Technische Universität Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

A-1040 Wien, Karlsplatz 13/226

Tel.: +43 1 58 801 226 41 (Sek.)

E-Mail: office@iwa.tuwien.ac.at

http://iwr.tuwien.ac.at/ressourcen

Kurzfassung

Im Rahmen dieses zweijährigen Projektes wurde untersucht, ob die österreichische Abfallwirtschaft (AWS) ihre Ziele gemäß Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) erreicht, und ob allenfalls die dazu eingesetzten finanziellen Mittel wirkungsvoller eingesetzt werden könnten. Dazu wurde eine neue, auf Materialbilanzen, Lebenszyklus- und Szenarienanalysen basierende Methodik zur Bewertung und Optimierung der AWS entwickelt. Die Ergebnisse unterstreichen den hohen Stand der österreichischen AWS, und zeigen in einzelnen Bereichen Möglichkeiten für zukünftige Optimierung auf.

Zur Beurteilung der Zielerreichung wurden den fünf AWG-Zielen jeweils Unterziele und Indikatoren zugeordnet, sowie entsprechende Bewertungskriterien festgelegt. Anhand einer Stakeholderbefragung wurden diejenigen Indikatoren identifiziert, die für ein „Benchmarking der österreichischen Abfallwirtschaft“ wichtig sind. Jedem Indikator wurde ein Benchmark zugeordnet, welchen es zu erreichen gilt. Trotz der großen Anzahl an Indikatoren (77) war es mangels geeigneter Methoden nicht möglich, alle Bereiche und Auswirkungen der österreichischen Abfall-wirtschaft gleichwertig zu beurteilen. Trotzdem stellt dieses Bewertungssystem eine gute Grundlage zur Beurteilung der AWS dar. Es sollte aber zukünftig ergänzt (s.u.) und validiert werden, um alle Aspekte einer modernen AWS umfassend bewerten zu können. Die Wirtschaftlichkeit wurde mit einer modifizierten Kostenwirksamkeitsanalyse (mKWA) beurteilt, wobei der Zielerreichung die zugehörigen Kosten gegenübergestellt wurden. Anhand der mKW verschiedener Szenarien wurden Maßnahmen für eine optimierte AWS abgeleitet. Die Grundlage für die Bewertung bildet eine ausgeglichene Materialbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft, ein Alleinstellungsmerkmal dieser Studie. Für jeden Indikator wurde mittels Materialflussanalyse oder Ökobilanzierung der Status Quo errechnet. Neben Güterbilanzen wurden auch Bilanzen ausgewählter Wert- und Schadstoffe erstellt. Umweltbelastungen (Treibhaus-, Versauerungs-, Photooxidantien- und Eutrophierungspotential) wurden mit der Methode der Ökobilanzierung berechnet. Dabei wurden in einigen Bereichen relevante Lücken hinsichtlich Bewertungsmethodik und Datenbasis identifiziert. Defizite betreffen beispielsweise Methoden zur Beurteilung des Ziels „Schutz der menschlichen Gesundheit“, oder auch das Wissen über industrielle Abfälle, welche teilweise in relativ kleinen Mengen anfallen und speziell behandelt werden müssen.

Die Bewertung mittels mKWA innerhalb der Szenarienanalyse unterstreicht das hohe Niveau der österreichischen AWS: Im optimierten Szenario lässt sich die mKW nur leicht von 11,8 (Status Quo) auf 12,8 erhöhen. Der durch Gesetze und Verordnungen induzierte Übergang von der Deponierung unbehandelter Abfälle zur biotechnischen oder thermischen Behandlung wie auch die Einführung von Separatsammlungen und Recycling waren wirkungsvolle Maßnahmen zur Erreichung der Ziele. Trotzdem gibt es innerhalb der österreichischen AWS noch Optimierungspotential:

- Hinsichtlich der Schonung von Rohstoffen besteht vor allem bei der Holz- und Kunststoffverwertung Potential für eine höhere Erfassungs- und Verwertungsquote, wobei die Schadstofffrage begrenzend ist.
- Recycling von Metallen zeigt eine hohe mKW bezüglich Zielerreichung und ist zu forcieren.
- Klare Regelungen zur Entlassung aus der Deponienachsorge sind notwendig. Außerdem sollen Schwermetallgehalte in deponierten Abfällen reduziert, respektive deren langfristige Immobilität gewährleistet werden.
- NO_x-Emissionen von Verbrennungsanlagen für nicht-kommunale Abfälle sollten vermindert werden.
- Die bereits stark reduzierten Emissionen von Treibhausgasen der AWS können weiter verringert werden.
- Wegen fehlender Bewertungsmethoden kann derzeit nicht beurteilt werden, welche Maßnahmen bezüglich Restmüllbehandlung zur noch besseren Zielerreichung beitragen könnten.

In einigen Bereichen ist die Bewertung mangels verfügbarer Methoden und Daten an Grenzen gestoßen. Während die österreichische AWS quantitativ gut dargestellt werden konnte, gelang es nicht immer, ausreichend zu bewerten, ob die Ziele der AWS durch die ergriffenen Maßnahmen auch erreicht werden. Insbesondere bei den Themen „Schutz der menschlichen Gesundheit“, „saubere Kreisläufe“ und „sichere letzte Senken“ besteht deshalb ein großer, nicht nur auf Österreich bezogener Forschungsbedarf auf dem Gebiet der zielorientierten Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen. Die Bewertung zeigt auch, dass die fünf AWG Ziele einzeln in sich stimmig sind, aber zwischen den einzelnen Zielen eine Konkurrenz bzw. Abhängigkeit besteht. Insgesamt war der Plan ambitioniert, die gesamte österreichische AWS mit den zur Verfügung gestellten Ressourcen in der vorgesehenen Zeit zu beurteilen; es müssen deshalb entsprechende Einschränkungen in einigen Bereichen dieser Studie zur Kenntnis genommen werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 11

2 Ziele und Fragestellung ... 12

3 Benchmarking ... 13

3.1 Arten des Benchmarkings ... 13

3.2 Definition und Grenze des Benchmarkings in dieser Studie ... 13

4 Systembeschreibung ... 15

4.1 Systemdefinition ... 15

4.2 Systemstruktur ... 15

4.2.1 Systemimporte ... 16

4.2.2 Systemexporte ... 16

4.2.3 Prozesse ... 17

4.3 Darstellung des Systems ... 17

4.4 Materialflussanalyse ... 17

4.4.1 Berücksichtigung von Unsicherheiten ... 17

4.4.2 Software für Stoffanalysen (STAN) ... 19

5 Methodik zur Bewertung der Zielerreichung ... 20

5.1 Bewertungssystem: Strukturierung der Ziele ... 20

5.1.1 Definition der Ziele, Unterziele und Indikatoren ... 20

5.1.2 Relevanz der einzelnen Indikatoren ... 24

5.1.3 Finale Indikatorenauswahl für die Bewertung ... 26

5.2 Benchmarking der österreichischen Abfallwirtschaft ... 26

5.3 Methode zur ökonomischen Bewertung ... 27

5.3.1 Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft ... 27

5.3.2 Zuordnung der Kosten zu den Bereichen Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung ... 28

5.3.3 Zuordnung der Kosten zu den Zielen des AWG ... 28

5.3.4 Kostenwirksamkeit des abfallwirtschaftlichen Systems ... 28

5.4 Definition von Benchmarks ... 32

5.4.1 AWG Ziel 1 ... 32

5.4.2 AWG Ziel 2 ... 37

5.4.3 AWG Ziel 3 ... 39

5.4.4 AWG Ziel 4 ... 41

5.4.5 AWG Ziel 5 ... 51

5.5 Kritische Beurteilung der Methodik ... 55

5.6 Zusammenfassung: Definition von Benchmarks ... 58

6 Datengrundlage ... 60

6.1 Allgemein ... 60

6.1.1 Datenquellen ... 60

6.1.2 Abfallaufkommen ... 60

6.2 Quantitativ betrachtete Abfälle ... 63

6.2.1 Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle ... 63
6.2.2 Sperrmüll aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen ... 64
6.2.3 Biogene Abfälle ... 65
6.2.4 Zellulose-, Papier- und Kartonabfälle ... 66
6.2.5 Glasabfälle ... 68
6.2.6 Kunststoffabfälle ... 69
6.2.7 Holzabfälle ... 71
6.2.8 Metallabfälle ... 72
6.2.9 Textilabfälle ... 74
6.2.10 Getrennt gesammelte Problemstoffe ... 75
6.2.11 Abfälle aus dem Bauwesen ... 76
6.2.12 Elektro- und Elektronikaltgeräte aus Haushalten und Gewerbe ... 81
6.2.13 Abfälle von Säuren, Laugen und Lösungsmittel, Farben und Lacken ... 84
6.2.14 Asbestabfälle ... 85
6.2.15 Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube ... 85
6.2.16 Gebrauchte Öle und mineralölhaltige Abfälle (inkl. spezifisch verunreinigten Böden) ... 86
6.2.17 Oxide, Hydroxide, Salzabfälle ... 87
6.2.18 Wasch- Prozesswässer ... 87
6.2.19 Verbrennungsrückstände aus Feuerungsanlagen und der thermischen Abfallbehandlung ... 88
6.2.20 Batterien und Akkumulatoren ... 88
6.2.21 Kalkschlamm ... 89
6.2.22 Sonstig verunreinigter Boden ... 89
6.2.23 Gefährliche Abfälle ... 89
6.3 Qualitativ betrachtete Abfälle ... 91
6.3.1 Aushubmaterialien ... 91
6.3.2 Baustellenabfälle (kein Bauschutt) ... 91
6.3.3 Altfahrzeuge ... 93
6.3.4 Straßenkehricht ... 94
6.3.5 Medizinische Abfälle ... 94
6.3.6 Tierische Nebenprodukte ... 94
6.3.7 Kommunale Klärschlämme ... 95
6.3.8 Rückstände aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion ... 95
6.3.9 Abfälle aus der Tierhaltung und Schlachtung (ohne Schlachtabfälle und Tierkörper) ... 96
6.3.10 Andere Abfälle aus der Verarbeitung und Veredelung tierischer und pflanzlicher Produkte ... 96
6.3.11 Häute und Lederabfälle ... 96
6.3.12 Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse (ohne Schlachtabfälle und tierische Fäkalien) ... 96
6.4 Nicht betrachtete Abfälle ... 97
6.5 Abfallsammlung- und Abfalltransport ... 98
6.5.1 Abfallwirtschaft und Transport - Begriffsbestimmungen ... 98
6.5.2 Methodik und Annahmen ... 100
6.5.3 Ergebnisse ... 103
6.5.4 Diskussion und Ausblick ... 104
6.6 Behandlungs- und Beseitigungsanlagen ... 104
6.6.1 Biotechnische Behandlung ... 104
6.6.2 Thermische Abfallbehandlungsanlagen ... 124
6.6.3 Deponie ... 131
6.6.4 CP-Anlagen ... 140

6.6.5 Weitere Abfallbehandlungsanlagen ... 145
6.7 Kostensätze ... 165
6.7.1 Kostensätze zur Berechnung interner Kosten der Abfallwirtschaft ieS ... 166
6.7.2 Kostensätze zur Berechnung externer Kosten ... 174
6.7.3 Kostensätze zur Berechnung der Kosten der österreichischen Haushalte ... 176
6.8 Kritische Beurteilung der Datenbeschaffung und Daten ... 177

7 Materialflussanalyse der österreichischen Abfallwirtschaft ... 181
7.1 Güterbilanz ... 181
7.2 Stoffbilanzen ... 184
7.2.1 Kohlenstoffbilanz ... 184
7.2.2 Cadmiumbilanz ... 186
7.2.3 Kupferbilanz ... 188
7.2.4 Chrombilanz ... 190
7.2.5 Eisenbilanz ... 192
7.2.6 Quecksilberbilanz ... 194
7.2.7 Stickstoffbilanz ... 196
7.2.8 Nickelbilanz ... 198
7.2.9 Phosphorbilanz ... 200
7.2.10 Bleibilanz ... 202
7.2.11 Zinkbilanz ... 204
7.3 Zusammenfassung MFA ... 206

8 Life Cycle Assessment (Ökobilanz) ... 207
8.1 Allgemeines zu Ökobilanzen (Life-Cycle-Assessment, LCA) ... 207
8.1.1 Ziel und Untersuchungsrahmen ... 207
8.1.2 Sachbilanz ... 208
8.1.3 Wirkungsabschätzung ... 209
8.1.4 Auswertung ... 210
8.1.5 Gutschriften ... 210
8.2 Modellierung der Ökobilanz der österreichischen Abfallwirtschaft ... 210
8.2.1 Güterflüsse - Massenbilanz ... 210
8.2.2 Stoffflüsse ... 211
8.2.3 Nicht berücksichtigte Prozesse ... 211
8.2.4 Sachbilanz: Modellierung der Szenarien mittels Software GaBi 6.0 ... 211
8.2.5 Erläuterungen zu den verwendeten Datensätzen ... 212
8.3 Ergebnisse der Ökobilanzierung ... 213

9 Status Quo und Bewertung ... 216
9.1 AWG Ziel 1 – Schutz Mensch, Tier Umwelt ... 216
9.1.1 Treibhauspotential ... 216
9.1.2 Terrestrische Versauerungspotential ... 217
9.1.3 Photooxidantienpotential ... 217
9.1.4 Eutrophierungspotential ... 218
9.2 AWG Ziel 2 – Reduktion von klimarelevanten Gasen und Luftschadstoffen ... 218
9.3 AWG Ziel 3 – Schonung von Ressourcen ... 220
9.3.1 Schonung von Rohstoffen ... 220

9.3.2 Schonung von Energie ... 222
9.3.3 Schonung von Flächen ... 223
9.3.4 Schonung von Deponievolumen ... 224
9.4 AWG Ziel 4 – keine Gefährdung durch Recycling ... 225
9.4.1 Altholz zu stofflichen Verwertung ... 225
9.4.2 Recycling Baustoffe ... 225
9.4.3 Kompost aus biogenen Abfällen ... 226
9.4.4 Kunststoffabfälle / Sekundärkunststoffe ... 227
9.4.5 Zusammenfassung ... 227
9.5 AWG Ziel 5 – nachsorgefreie Deponien ... 227
9.5.1 Schwermetalle in Deponien ... 228
9.5.2 Langfristige Deponiesickerwasser- und Deponiegasemissionen aus Deponien ... 228
9.5.3 Behandlungsautarkie, Ablagerung gefährlicher (ausgestufter) Abfälle ... 230

10 Zusammenfassung der Beurteilung und Defizitanalyse ... 232
10.1 AWG Ziel 1 – Schutz, Mensch, Tier und Umwelt ... 232
10.2 AWG Ziel 2 – Reduktion von klimarelevanten Gasen und Luftschadstoffen ... 233
10.3 AWG Ziel 3 – Schonung von Ressourcen ... 234
10.3.1 Schonung von Rohstoffen ... 235
10.3.2 Schonung von Energie ... 236
10.3.3 Schonung von Deponievolumen ... 236
10.4 AWG Ziel 4 – keine Gefährdung durch Recycling ... 237
10.4.1 Defizite der AWS entsprechend der Bewertung des Status Quo ... 237
10.4.2 Herausforderungen bzgl. eines sicheren Recyclings ... 237
10.5 AWG Ziel 5 – nachsorgefreie Deponien ... 238
10.5.1 Schwermetalle in Deponien ... 239
10.5.2 Langfristige Emissionen aus Deponien ... 240
10.5.3 Behandlungsautarkie und Ablagerung von gefährlichen Abfällen ... 241
10.6 Zusammenfassung Defizitanalyse und Beurteilung des Status Quo ... 241

11 Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft ... 248
11.1 Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinne ... 248
11.1.1 Kosten der Sammlung und des Transports ... 248
11.1.2 Kosten der Behandlung und Entsorgung ... 250
11.2 Kosten der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne ... 251
11.2.1 Leistungen der Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen ... 251
11.2.2 Leistungen der Haushalte ... 252
11.3 Externe Kosten der Abfallwirtschaft ... 256
11.4 Erlöse für Wertstoffe und Wärmelieferung ... 256
11.5 Volkswirtschaftliche Kosten im Überblick ... 257

12 Modifizierte Kostenwirksamkeit ... 259
12.1.1 Modifizierte Kostenwirksamkeit - ohne Gewichtung ... 259
12.1.2 Modifizierte Kostenwirksamkeit - mit Gewichtung ... 259

13 Szenarienanalyse ... 265
13.1 Erläuterungen zur Szenarien-Bildung ... 265

13.1.1 Berücksichtigte Abfallarten und Prozesse ... 265
13.1.2 Berücksichtigte Faktoren zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit ... 265
13.1.3 Betrachtete Szenarien ... 265
13.2 Beschreibung der Szenarien ... 265
13.2.1 Szenario W1: Wirtschaftlichkeit ... 265
13.2.2 Szenario R2: Ressourcenschonung ... 267
13.2.3 Szenario N3: Schadstoffminimierung und Nachsorgefreiheit ... 270
13.3 Ergebnisse der Szenarienanalyse ... 271
13.3.1 Szenarienanalyse: Sammlung und Transport ... 271
13.3.2 Szenarienanalyse: Behandlung und Entsorgung ... 272
13.3.3 Szenarienanalyse: Haushalte ... 272
13.3.4 Szenarienanalyse: Erlöse ... 273
13.3.5 Szenarienanalyse: Materialflussanalyse ... 273
13.3.6 Szenarienanalyse: Ökobilanz ... 279
13.3.7 Szenarienanalyse: volkswirtschaftliche Kosten ... 283
13.3.8 Szenarienanalyse: Zusammenfassender Vergleich ... 284
13.3.9 Szenarienanalyse: Bewertung mittels Nutzenpunkten ... 285
13.3.10 Szenarienanalyse: mKWA ... 287
13.3.11 Zusammenfassung Szenarienanalyse ... 288

14 Optimiertes Szenario ... 290
14.1 Beschreibung und Begründung der Änderungen ... 290
14.1.1 Erhöhung des Erfassungsgrads von getrennt erfassten Abfällen ... 290
14.1.2 Metallrückgewinnung aus Abfallverbrennungsrückständen ... 291
14.1.3 Behandlung von gemischten Siedlungsabfällen ... 291
14.1.4 Erhöhung der stofflichen Verwertung ... 292
14.1.5 Biogene Abfälle ... 293
14.1.6 Deponienachsorgedauer ... 293
14.2 Ergebnisse ... 293

15 Zusammenfassung ... 300
15.1 Methodische Vorgehensweise ... 300
15.2 Materialflussanalyse ... 301
15.3 Ökobilanz ... 302
15.4 Volkswirtschaftliche Kosten ... 303
15.5 Bewertung des Status Quo ... 304
15.6 Szenarienanalyse ... 304
15.7 Optimiertes Szenario ... 305

16 Schlussfolgerung und Diskussion ... 307

17 Literatur ... 311

18 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis ... 320
18.1 Abbildungen ... 320
18.2 Tabellen ... 323

19 Anhang 329
19.1 Qualitative Darstellung des Systems 329
19.1.1 Hauptsystem 329
19.1.2 Subsystem: sonstige Behandlung 330
19.1.3 Subsystem: thermische Behandlung 333
19.1.4 Subsystem: biotechnische Behandlung 334
19.1.5 Subsystem: Deponie 335
19.1.6 Subsystem: chemisch-physikalische Behandlung 337
19.1.7 Abkürzungen 337
19.2 quantitativ betrachtete Abfälle und Unsicherheiten 340
19.3 Stoffkonzentrationen und Unsicherheiten 342
19.4 Transferkoeffizienten und Unsicherheiten 348
19.5 Überblick: Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft 357
19.6 Ergebnisse Szenarienanalyse 360

1 Einleitung

Laut derzeit gültiger Gesetzesgrundlage ist die österreichische Abfallwirtschaft im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit auszurichten. Gemäß AWG 2002 § 1 Abs. 1 (AWG 2002) sollen:

- schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden,
- die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden,
- Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden,
- bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen und,
- nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.

Die österreichische Abfallwirtschaft befindet sich nach Einführung des Abfallwirtschaftsgesetzes vor 25 Jahren auf einem hohen Niveau mit modernen Verwertungs- und Entsorgungsstrukturen. Die Ziele des AWG 2002 scheinen von der österreichischen Abfallwirtschaft weitestgehend erreicht zu werden. Für die Zukunft stellt sich die Frage, wie sich die österreichische Abfallwirtschaft weiterentwickeln soll. Anhand dieser Benchmarking-Studie soll überprüft werden, inwiefern die Ziele des AWG tatsächlich erreicht werden und zu welchen Kosten dies geschieht. Darüber hinaus sollen Anregungen für die zukünftige Entwicklung der österreichischen Abfallwirtschaft gegeben werden.

2 Ziele und Fragestellung

Das Ziel des Projektes besteht darin, die österreichische Abfallwirtschaft hinsichtlich ihrer Zielerreichung (Ressourcenschonung, Umweltschutz und Nachhaltigkeit) sowie ihrer Wirtschaftlichkeit zu beurteilen (Verbesserung der Effizienz und Effektivität). Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit soll auf volkswirtschaftlicher Ebene durchgeführt werden. Es soll verglichen werden inwiefern die österreichische Abfallwirtschaft als Ganzes die Ziele des AWG erfüllt und zu welchen volkswirtschaftlichen Kosten dies geschieht. Anhand dieser Studie soll somit der Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft bestimmt werden. Methodisch gilt es zu erheben, wie die Zielerreichung überprüft werden kann. Hinsichtlich der Datenfrage wird neben der Datenbeschaffung der Umgang mit Datenlücken eine zentrale Rolle einnehmen.

Weiters werden mögliche Potentiale hinsichtlich einer Kostenoptimierung und der besseren Zielerreichung identifiziert. Ziel ist es, der österreichischen Abfallwirtschaft eine Orientierung zu geben, in welche Richtung sie sich weiterentwickeln soll.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen den Entscheidungsträgern von Bund und/oder Land eine Grundlage bieten, welche strategischen Maßnahmen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zukünftig zu treffen sind. Die Studie stellt somit eine strategische Grundlage für abfallwirtschaftliche Entscheidungen von Bund, Ländern und auch der Entsorgungswirtschaft dar.

Nicht Ziel dieser Studie, aber für zukünftige Projekte denkbar, ist der Vergleich der abfallwirtschaftlichen Leistungen einzelner Bundesländer, Gebietskörperschaften sowie Unternehmungen, oder der Vergleich des Abfallwirtschaftssystems von Österreich mit anderen Ländern.

Die Fragestellungen dieser Benchmarking Studie lauten daher:

- Inwiefern werden die Ziele des AWG 2002 erreicht?
- Zu welchen volkswirtschaftlichen Kosten werden sie erreicht?
- Durch welche Maßnahmen kann die Effektivität und Effizienz der österreichischen Abfallwirtschaft hinsichtlich Zielerreichung und Wirtschaftlichkeit nachhaltig verbessert werden?
- Welche strategischen Richtungsänderungen und Maßnahmen sind allenfalls zur Zielerreichung notwendig?

3 Benchmarking

Benchmarks markieren den Referenzwert von Bestleistungen. Der Begriff Benchmark stammt ursprünglich aus der Landvermessung und beschreibt einen Markierungspunkt bzw. Referenzpunkt (Siebert und Kempf 2008). Benchmarking selbst ist ein Instrument der Wettbewerbsanalyse. Ziel hierbei ist, bestehende Unterschiede und die Gründe dafür zu identifizieren, sowie Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen (Gabler 2005). Geprägt wurde der Begriff Benchmarking von dem Unternehmen Xerox 1979, welches feststellte, dass die japanische Konkurrenz Kopierer zu einem Preis verkaufte, der unter ihren Produktionskosten lag (Siebert und Kempf 2008).

Verschiedene Definitionen versuchen Benchmarking zu beschreiben (Siebert und Kempf 2008). Benchmarking ist demnach

- ein kontinuierlicher Prozess, Produkte, Dienstleistungen und Praktiken gegen den stärksten Mitbewerber oder diejenigen Firmen, die als besser angesehen werden zu messen,
- die Suche nach den besten Industriepraktiken, die zu Spitzenleistungen führen,
- ein zielgerichteter, kontinuierlicher Prozess, bei dem die Vergleichsobjekte möglichst branchenunabhängig verglichen werden. Die Vergleichsobjekte sind Produkte, Geschäftsprozesse, Dienstleistungen, Methoden, Unternehmern sowie die Unternehmensumwelt,
- eine herausragende Gelegenheit für eine Organisation, von den Erfahrungen anderer zu lernen.

Benchmarking wird oft als einfacher Prozess zum Vergleich numerischer Performance zwischen unterschiedlichen Organisationen verstanden. Als Optimierungswerkzeug muss es allerdings mehr als vergleichen und bewerten (Bolli et al. 2001). Benchmarking muss über den traditionellen Betriebsvergleich hinausgehen, um eine kontinuierliche Verbesserung und eine nachhaltige „kreative Unruhe“ im Unternehmen zu schaffen (Baum et al. 2000).

3.1 Arten des Benchmarkings

Es lassen sich drei Grundformen des Benchmarkings unterscheiden (Mertins und Kohl 2009):

- Benchmarking von Unternehmen
- Benchmarking von Sektoren
- Benchmarking von Rahmenbedingungen

Am meisten verbreitet ist die Form des Benchmarking von Unternehmen. Benchmarking von Sektoren vergleicht die Leistungsfähigkeit von einzelnen Sektoren mit dem Ziel leistungsfähigere Sektoren zu identifizieren und zu lernen. Beim Benchmarking von Rahmenbedingung werden politische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen miteinander verglichen, um die eigene Leistungsfähigkeit eines Landes oder einer Region zu bestimmen, zu beurteilen und voneinander zu lernen (Mertins und Kohl 2009).

3.2 Definition und Grenze des Benchmarkings in dieser Studie

In dieser Studie wird ein Benchmarking der Rahmenbedingungen vorgenommen. Ziel ist, den Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft (aktuelle Zielerfüllung) mit gesetzlichen Rahmenbedingungen zu vergleichen.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind die Ziele der österreichischen Abfallwirtschaft gem. AWG 2002 §1 Abs. 1. Den Zielen werden Unterziele zugeordnet, um Indikatoren bzw. Kriterien zu definieren. Der Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft wird systematisch anhand von Prozessen und Materialflüssen (Materialflussanalyse) sowie zusätzlich anhand seiner volkwirtschaftlichen Kosten beschrieben. Die Betrachtung erfolgt vom Abfallaufkommen über die Gewinnung von Sekundärressourcen bis hin zu den Emissionen. Ein Alleinstellungsmerkmal der vorliegenden Studie ist die Bilanzbetrachtung: Sowohl das Gesamtsystem wie auch einzelne Prozesse erfüllen die Bedingung der Massenerhaltung. Somit werden allen Inputs (=Abfälle) die entsprechenden Outputs (=Produkte, Rückstände, Emissionen und Exporte) gegenübergestellt.

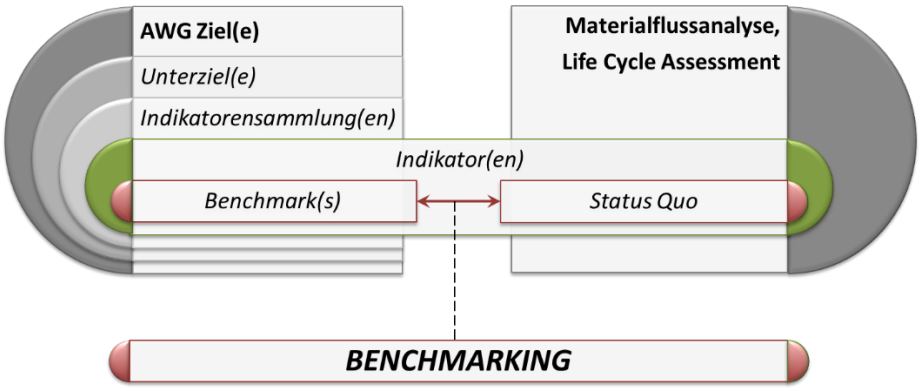


Abb. 3-1: Benchmarking der österreichischen Abfallwirtschaft

Nicht Ziel dieser Studie, aber zukünftig auf Basis dieser Studie möglich, sind ein Prozess-Benchmarking einzelner abfallwirtschaftlicher Leistungen (z.B. Sammellogistik, Kompostanlagen) oder ein Benchmarking von Sektoren (Vergleich einzelner Bundesländer oder Staaten).

4 Systembeschreibung

4.1 Systemdefinition

Räumliche Systemgrenze

Räumlich wird das System mit der geographischen Staatsgrenze der Republik Österreich begrenzt.

Thematische Systemgrenze

Thematisch wird das System anhand der österreichischen Abfallwirtschaft begrenzt. Alle Abfälle und deren Sammlung, Transport, Wiederverwendung, Verwertung, Behandlung oder Beseitigung werden betrachtet. Definiert werden Abfälle gemäß den Bestimmungen des AWG 2002 § 2 Abs. 1 und 2.

Zeitliche Systemgrenze

Die zeitliche Systemgrenze ist das Jahr 2012. Für Prozesse und Güterflüsse bis zur Deponierung ist der Betrachtungszeitraum ein Jahr. Für mittel- und langfristige Emissionen aus der Deponierung wird ein Betrachtungszeitraum von 1.000 Jahren gewählt. Damit werden auch langfristige Deponieemissionen berücksichtigt.

4.2 Systemstruktur

Die österreichische Abfallwirtschaft wird anhand ihrer Prozesse und Materialien systematisch dargestellt (siehe Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Prozesse und Güterflüsse

Systemimport	Prozesse	Systemexport
Abfallaufkommen	Abfalltransport	Produkt
Abfallimportflüsse	Abfallsammlung	Abfallexportflüsse
Betriebsmittel/Hilfsstoffe	Behandlung und Verwertung[1]	Emissionen
Wasser/Niederschlag	Beseitigung[2]	
Energieträger		

1) Aufbereitung von Altstoffen, Shredderanlagen, Baurestemassenaufbereitung, mechanische Behandlung von Siedlungsabfällen, biotechnische Behanldung, chemisch-physikalische Behandlung, Immobilisierung von Asbest, mikrobiologische Bodenbehandlung,
2) Deponie, Verbrennung

In den Güterflüssen werden hinsichtlich der AWG Ziele relevante Stoffe bestimmt und als Stoffflüsse durch das gesamte System bilanziert.

In Abb. 4-1 sind die Prozesse und Güter im System „österreichische Abfallwirtschaft“ abgebildet.

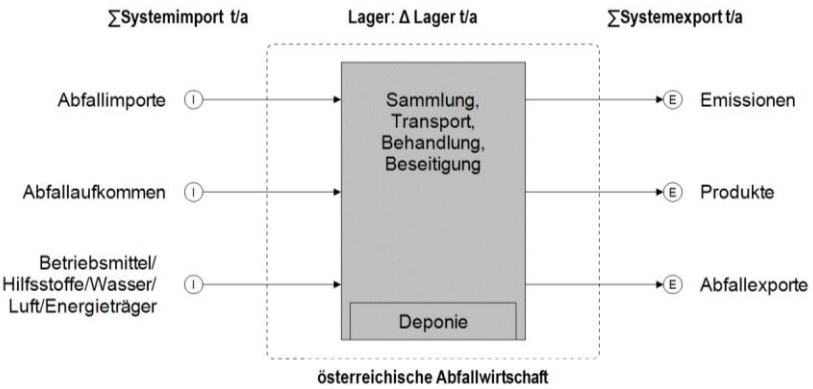


Abb. 4-1: Allgemeine Systemstruktur

4.2.1 Systemimporte

Abfallaufkommen

Für die Berechnungen wird das Primärabfallaufkommen Österreichs (Bezugsjahr 2012) laut Statusberichts 2013 (BMLFUW 2014a) herangezogen. Ergänzt werden diese Mengen mit Daten des elektronischen Datenmanagements (EDM), sowie mit Informationen aus dem Bundesabfallwirtschaftsplan und aus Studien diverser Einrichtungen (z.B. Umweltbundesamt, Universitäten). Die Details zu den in dieser Studie berücksichtigten Abfallarten sind im Kapitel 6.1.2 erläutert.

Abfallimportflüsse

Der Import von Abfällen wird mittels der an das BMLFUW gemeldeten Notifizierungen berücksichtigt. Damit können nur jene Importe berücksichtigt werden, die auch über Notifizierungen gemeldet werden; Abfälle der Grünen Liste gem. der Verordnung des Europäischen Parlaments über die Verbringung von Abfällen (EG Nr. 1013/2006) gehen nicht in die Materialflussanalyse ein, da sie ohne Genehmigung grenzüberschreitend verbracht werden.

Betriebsmittel/Hilfsstoffe

Der mittlere Betriebs- und Hilfsstoffeinsatz je Verfahren ist stark von der Anlage selbst und den verwendeten Substraten (Abfallgemisch) abhängig. Betriebsmittel und Hilfsstoffe sind für die Materialflussanalyse großteils vernachlässigbar, da der Betriebsmitteleinsatz ressourcentechnisch kaum zu signifikanten Beiträgen führt. Auf ökonomischer Ebene wird der Betriebs- und Hilfsmitteleinsatz vollständig in den Berechnungen der volkswirtschaftlichen Kosten miteinbezogen.

Energieträger

Zusätzliche Energieträger werden nicht direkt in der Materialflussanalyse betrachtet, der Energieverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft wird allerdings getrennt mittels Ökobilanzierung bestimmt.

Wasser

Die Niederschlagsmengen auf Deponien gehen zur Ermittlung der Sickerwasserfrachten in die Betrachtung ein (siehe 6.6.3).

Luft

Luft - im speziellen der Sauerstoffanteil – wird sowohl bei der thermischen Abfallbehandlung als auch bei der Kompostierung für den Verbrennungs- bzw. Abbauprozess des Abfalls benötigt. Der Luftverbrauch selbst wird nicht berücksichtigt.

4.2.2 Systemexporte

Emissionen

Auf Güterebene werden relevante gasförmige und flüssige Emissionen (Abwässer) berücksichtigt. Es werden die nach heutigem Wissensstand und in Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit relevanten Stoffe ausgewählt, quantifiziert und in die Materialflussanalyse miteinbezogen.

Produkte

Grundsätzlich gelten Abfälle so lange als Abfälle, bis sie oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar zur Substitution von Rohstoffen oder von aus Primärrohstoffen erzeugten Produkten verwendet werden oder eine Verordnung das Ende der Abfalleigenschaft bestimmt (AWG 2002 § 5 Abs. 19).

In dieser Studie werden Abfälle im Gegensatz zur gesetzlichen Bestimmung schon bei Übergabe an die Industrie oder den Markt (zur Substitution von Rohstoffen oder Produkten) als Produkt bezeichnet. Wo und in welcher

Form die Rohstoffe/Produkte eingesetzt werden, ist nicht Teil dieser Studie und wird nicht in der Materialflussanalyse und der Beurteilung der österreichischen Abfallwirtschaft berücksichtigt. In den einzelnen Kapiteln zu den Abfallarten finden sich allerdings entsprechende textliche Beschreibungen zu diesem Thema.

Abfallexportflüsse

Exportierte Abfälle werden gemäß den gemeldeten Notifizierungen berücksichtigt. Abfälle der Grünen Liste gem. der Verordnung des Europäischen Parlaments über die Verbringung von Abfällen (EG Nr. 1013/2006) gehen nicht in die Materialflussanalyse ein.

4.2.3 Prozesse

Abfallwirtschaftlich relevante Prozesse von Sammlung, Transport bis hin zur Behandlung werden in dieser Studie betrachtet. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozesse findet sich in Kapitel 6.6.

4.3 Darstellung des Systems

Eine qualitative Darstellung des gewählten Systems mit allen Prozessen und Flüssen, aber ohne Abfallmengen findet sich im Anhang (siehe Kapitel 19.1).

4.4 Materialflussanalyse

4.4.1 Berücksichtigung von Unsicherheiten

Die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Materialflussanalyse ist vor allem aufgrund der oft unvollständigen bzw. mangelhaften Datengrundlage von besonderer Bedeutung. Vor allem im Bereich der stofflichen Zusammensetzung von Abfällen sind die Daten teilweise als sehr unsicher einzustufen. Diese Unsicherheiten werden oft erst dann bemerkt, wenn die Güter- respektive Stoffflüsse über das Gesamtsystem bilanziert werden und Ungereimtheiten in den Bilanzen zu Tage treten. Für die Bestimmung der Unsicherheiten von Sekundärdaten (wissenschaftlichen Journalen, Berichte, Bücher, Präsentationen, Datenbanken etc.) erfolgt eine Beurteilung auf Basis von Laner et al. (2015).

Tabelle 4-2: Definition von Unsicherheiten bei Literaturdaten

Indikator		Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Transparenz	Beschreibung	Methodik der Datenentstehung ist gut dokumentiert und konsistent	Methodik der Datenentstehung ist gut dokumentiert aber nicht vollständig transparent	Methodik der Datenentstehung ist nicht vollständig beschrieben, aber das Prinzip der Datenentstehung klar	Methodik der Datenentstehung ist unklar
	U_{rel} [%]	*3 %*	*8 %*	*25 %*	*75 %*
Vollständigkeit	Beschreibung	Werte inkludieren alle relevanten Prozesse/Flüsse	Werte inkludieren alle quantitativen Hauptprozesse/-Flüsse	Werte inkludieren Teilprozesse/-Flüsse	Nur einzelne Daten sind vorhanden
	U_{rel} [%]	*0 %*	*6 %*	*18 %*	*55 %*
zeitliche Abhängigkeit	Beschreibung	Werte beziehen sich auf die dieselbe Periode	Abweichung der Werte 1-5 Jahre	Abweichung der Werte 5-10 Jahre	Abweichung der Werte >10 Jahre
	sehr sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*6 %*	*18 %*	*55 %*
	medium sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*5 %*	*15 %*	*47 %*
	nicht sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*2 %*	*6 %*	*19 %*
geographische Abhängigkeit	Beschreibung	Werte beziehen sich auf die dieselbe Region	Werte beziehen sich auf eine ähnliche sozio-ökonomische Region	Werte beziehen sich auf eine gering unterschiedliche sozio-ökonomische Region	Werte beziehen sich auf eine sehr unterschiedliche sozio-ökonomische Region
	sehr sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*6 %*	*18 %*	*55 %*
	medium sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*5 %*	*15 %*	*47 %*
	nicht sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*2 %*	*6 %*	*19 %*
andere Abhängigkeit	Beschreibung	Werte beziehen sich auf gleiche Produkte/Technologie etc.	Werte beziehen sich auf ähnliche Produkte/ Technologie etc.	Werte weichen von Produkten/ Technologie ab – noch akzeptabel	Werte weichen stark von Produkten/ Technologie ab – Zusammenhang unbekannt
	sehr sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*6 %*	*18 %*	*55 %*
	medium sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*5 %*	*15 %*	*47 %*
	nicht sensibel - U_{rel} [%]	*0 %*	*2 %*	*6 %*	*19 %*

Je Indikator wird der Kategorie 1 die geringste und der Kategorie 4 die größte Unsicherheit zugewiesen. Anschließend kann die Unsicherheit wie folgt errechnet werden:

$$Urel_{total} = \sqrt{Urel_{Trans}^2 + Urel_{Vollst}^2 + Urel_{geoAbh}^2 + Urel_{zeitAbh}^2 + Urel_{andAbh}^2}$$

In einigen Fällen sind keine Daten vorhanden und zur Schließung von Datenlücken Expertenschätzungen notwendig. Diese Unsicherheiten werden anhand folgender Kategorien definiert.

Tabelle 4-3: Definition von Unsicherheiten bei Expertenschätzung

Indikator		Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Experten-schätzung	Beschreibung	offizielle Experten-Erhebung aufbauend auf (empirischer) Datengrundlage UND transparenter Vorgehensweise UND über das Projekt vollkommen informierten Experten	strukturelle Expertenschätzung aufbauend auf einigen Daten ODER bei transparente Vorgehensweise sowie über das Projekt vollkommen informierten Experten	Expertenschätzung mit limitierter Dokumentation und ohne empirische Datenbasis	Experteneinschätzung ohne zugrundlegende Datenbasis
	U_{rel} *[%]*	4 %	11 %	32 %	96 %

In Abb. 4-2 sind die definierten Unsicherheiten gegenübergestellt.

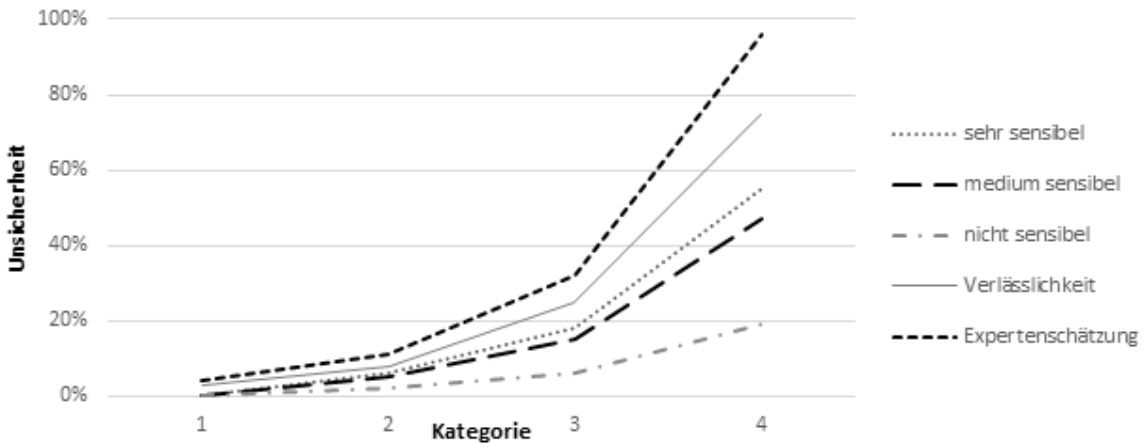


Abb. 4-2: Unsicherheitslevel – exponentiell

Die Unsicherheiten werden sowohl für die Gütermenge, die Stoffmenge als auch für die Transferkoeffizienten ermittelt. Im Anhang (Kapitel 19) sind die jeweiligen quantitativen Unsicherheiten dargestellt.

4.4.2 Software für Stoffanalysen (STAN)

Die Modellierung der österreichischen Abfallwirtschaft erfolgt mittels STAN 2.5 (Cencic und Rechberger 2008). Dieses Softwareprogramm ermöglicht es Güter- und Stoffflüsse eines definierten Systems unter Berücksichtigung der Massenerhaltung, Fehlerfortpflanzung und mit Anwendung einer Ausgleichsrechnung zu bilanzieren.

5 Methodik zur Bewertung der Zielerreichung

5.1 Bewertungssystem: Strukturierung der Ziele

5.1.1 Definition der Ziele, Unterziele und Indikatoren

Um den Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft bewerten zu können, wurden in einem ersten Schritt die in dieser Studie zu betrachtenden AWG Ziele diskutiert und Unterziele festgelegt. In einem zweiten Schritt wurden mögliche Indikatoren identifiziert, die eine quantitative oder qualitative Bewertung der Zielerreichung für ein anschließendes Benchmarking ermöglichen.

Zum Start der Zieldiskussion wurden neben den fünf AWG Zielen (§1 Abs. 1) weitere mögliche Ziele für eine nachhaltige Abfallwirtschaft aus dem AWG destilliert. Diese sind „Soziales, Wirtschaftlichkeit (subsumiert unter Nachhaltigkeit in §1 Abs. 1), Einhaltung der Abfallhierarchie (§1 Abs. 2), Entsorgungsautarkie (§1 Abs. 4) und Entkopplung des Abfallaufkommens vom Wirtschaftswachstum (§9a Abs. 1)“. Ergebnis der Diskussion ist, dass all diese Aspekte im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt werden, sondern allenfalls aufgrund der Resultate dieses Projektes diskutiert werden sollen. Begründungen dazu waren, dass die Abfallhierarchie eine zu präferierende Maßnahmenabfolge darstellt und somit kein eigentliches Ziel des AWGs ist. Die Entsorgungsautarkie sowie die Entkopplung des Abfallaufkommens vom Wirtschaftswachstum gehen in den Hauptzielen des AWGs auf bzw. werden mit der notwendigen Datengrundlage miterfasst. Problematisch im Zuge des Benchmarkings bzw. der Datenerhebung in der Abfallwirtschaft ist die Quantifizierung der Auswirkungen von quantitativer und qualitativer Abfallvermeidung. Datenerhebungen innerhalb abfallwirtschaftlicher Strukturen erfassen die Abfallvermeidung bisher nicht. Da in diesem Projekt die Erreichung der bestehenden Ziele basierend auf den existenten Strukturen erfasst werden soll, kann die Abfallvermeidung auch in diesem Projekt noch nicht explizit dargestellt und bewertet werden. Für weitere Projekte sollten jedoch die Effekte der Abfallvermeidung und deren Bewertung zumindest qualitativ integriert werden.

Die fünf Ziele der Abfallwirtschaft sind „…im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit…“ auszurichten. Dies beinhaltet neben der durch die Ziele abgedeckten ökologischen Nachhaltigkeit auch die ökonomische und soziale Komponente der Nachhaltigkeit. Im Zuge dieses Projekts werden die wirtschaftlichen Auswirkungen betrachtet. Soziale Auswirkungen bzw. der soziale Stellenwert der Abfallwirtschaft werden derzeit noch nicht im Benchmarking integriert. Eine „nachhaltige“ Abfallwirtschaft bedarf aber auch der Betrachtung einer sozialen Komponente, welche in weiterführenden Projekten berücksichtigt werden sollte. Somit werden im Zuge dieses Projekts die fünf Ziele der Abfallwirtschaft nach §1 Abs. 1 AWG sowie die Wirtschaftlichkeit einem Benchmarking unterzogen. Diese Ziele sind im AWG formuliert (siehe Kapitel 1) und wurden im Rahmen dieses Projektes weiter strukturiert in Ressourcen- und Schutzziele. Prinzipiell führt eine generelle Zielerreichung dazu, dass schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze vermieden werden. Eine vereinfachte Darstellung dazu zeigt Abb. 5-1.

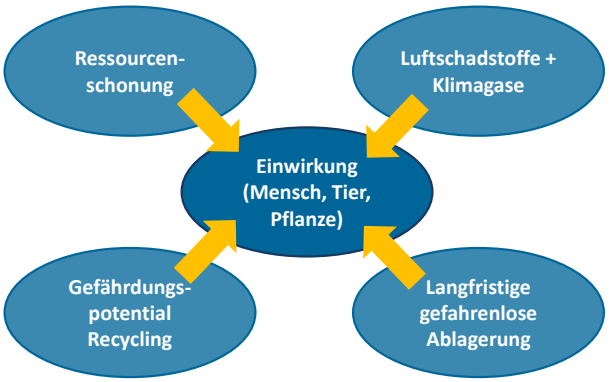


Abb. 5-1: Zusammenhang der AWG Ziele

Die Ziele des AWG wurden in Unterziele strukturiert. Für die Unterziele wurden jeweils ein oder mehrere Bewertungsindikatoren vorgeschlagen. Grundsätzlich wurden die Bewertungsindikatoren so gewählt, dass das zu erwartende Untersuchungsergebnis in Zahlen ausgedrückt, d.h. quantitativ betrachtet werden kann. Dort, wo ein Summenparameter für eine Reihe von unterschiedlichen Auswirkungen greifbar war, wurde dieser als Bewertungsindikator herangezogen. In den Fällen, in denen eine Quantifizierung nicht sinnvoll ist, wird auf die Möglichkeit einer qualitativen Bewertung mittels verbaler Einschätzung zurückgriffen.

In den folgenden Kapiteln werden für jedes AWG Ziel die primär vorgeschlagenen Unterziele und Bewertungsindikatoren beschrieben, sowie die in Abstimmung mit den Auftraggebern zugeordnete Relevanz dargestellt (siehe Kap. 5.1.2). In Kapitel 5.1.3 erfolgt die Zusammenstellung der zur weiteren Bewertung ausgewählten Indikatoren und in Kapitel 5.4 die Definition von Benchmarks, die für die weitere quantitative (Kapitel 5.2) und ökonomische (Kapitel 5.3) Bewertung ausgewählt wurden.

5.1.1.1 AWG Ziel 1

Das AWG Ziel „Vermeidung von schädlichen und nachteiligen Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze, deren Lebensgrundlagen und Umwelt“ wurde gegliedert in:

- Vermeidung der direkten Einwirkung auf den Menschen
- Vermeidung der direkten Einwirkungen auf die Umwelt
- Vermeidung der Einwirkungen auf die Umwelt

Für jedes Unterziel wurden entsprechende Indikatoren vorgeschlagen (siehe Tabelle 5-1). Zur Auswahl der Toxizitätsparameter und der Wirkungsindikatoren wurde auf Methoden der Wirkungsabschätzung in der Ökobilanzierung zurückgegriffen.

Das AWG Ziel wird als Einwirkung auf Mensch und Umwelt definiert. Literatur- oder Messwerte in der Abfallwirtschaft sind allerdings oft nur als Auswirkung verfügbar. Um trotz dieser Diskrepanz zu einer Lösungsfindung zu gelangen, wurden je nach Daten- bzw. Indikatorenverfügbarkeit eine Ein- oder Auswirkungsbewertung im Zuge des Benchmarkings zugelassen. In Tabelle 5-1 die vorgeschlagenen Indikatoren dargestellt.

Tabelle 5-1: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel Vermeidung von schädlichen Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze und Umwelt

AWG Ziel	AWG Unterziel	Indikatorensammlung
Vermeidung von schädlichen und nachteiligen Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze, deren Lebensgrundlagen und Umwelt	Verringerung der direkten Einwirkung auf den Menschen	ausgewählte Toxizitätsparameter (Cr (III, IV), Cu Ionen, Sn, Zn, Mo, Pb, Ni, Tl, Ba, Cd, Mn, As, V, Sb, Se, Be, div. organische Verbindungen,…)
		Hygiene
		Lärm
		Geruch
	Verringerung der direkten Einwirkungen auf die Umwelt	ausgewählte Toxizitätsparameter (Mn, Pb, Cr (III, VI), Sn, Mo, As, Zn, Cd, Ba, Cu, Ni, Sb, Tl, V, Co, Se, Be, div. organische Verbindungen,…)
	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Terrestrische Versauerung (NOx, SO_2, NO, NH_3)
		Photooxidantienpotential (NOx, NO, CO, Heptan, Propan, Xylen, SO_2, div. NMVOCs)
		Ozonabbau (div. FCKWs)
		Klimawandel (CO_2, CH_4, N_2O, FCKWs...)
		Eutrophierung (P, PO_4,...), (NH_3, NH_4, NO_3, NO_2, N,...)

5.1.1.2 AWG Ziel 2

Das AWG Ziel „Vermeidung und Verringerung von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen“ wurde gegliedert in:

- Verringerung von Luftschadstoffen
- Verringerung von klimarelevanten Emissionen

Für jedes Unterziel wurden entsprechende Indikatoren vorgeschlagen (vgl. Tabelle 5-2). Dioxine und Furane sowie FCKWs werden hier als Stellvertreter für eine Vielzahl möglicher Verbindungen genannt, welche je nach Verfahren und Schadpotential in der Datenerhebung erfasst werden sollen.

Tabelle 5-2: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel „Vermeidung und Verringerung von Luftschadstoffen“

AWG Ziel	AWG Unterziel	Indikatorensammlung
Vermeidung und Verringerung von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen	Verringerung von Luftschadstoffen	Dioxine/Furane
		SO_2
		CO
		NH_3
		NO_x
		Feinstaub (PM10)
		Feinstaub (PM2.5)
	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	CH_4
		N_2O
		CO_2
		FCKWs

5.1.1.3 AWG Ziel 3

Das AWG Ziel „Ressourcenschonung“ wurde gegliedert in die im AWG genannten Unterziele

- Schonung von Rohstoffen
- Schonung von Wasser
- Schonung von Energie
- Schonung der Landschaft und Flächen
- Schonung von Deponievolumen

Für jedes Unterziel wurden entsprechende Indikatoren vorgeschlagen (siehe Tabelle 5-3).

Tabelle 5-3: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel „Ressourcenschonung“

AWG Ziel	AWG Unterziel	Indikatorensammlung
Ressourcenschonung	Schonung von Deponievolumen	Verbrauch Deponievolumen
	Schonung von Rohstoffen	Produktion Eisen sekundär
		Produktion Kupfer sekundär
		Produktion Aluminium sekundär
		Produktion Kunststoffe sekundär
		Produktion Kompost
		Produktion Biogas
		Produktion biogener Rohstoffe (Bioraffinerie)
		Produktion Glas sekundär
		Produktion Papier sekundär
		Produktion mineralischer Baustoffe sekundär

AWG Ziel	AWG Unterziel	Indikatorensammlung
		Produktion seltene Metalle (Au, Ag, …) sekundär
		Produktion "Chemikalien (z.B. Schwefelsäure) sekundär
		Produktion "Holz" sekundär
		Verbrauch von Rohstoffen für die Errichtung von Abfallbehandlungsanlagen
		Verbrauch von Rohstoffen für den Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen (Betriebsmittel, Hilfsstoffe etc.)
	Schonung von Wasser	Trinkwasserverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft
		Beeinflussung von nutzbarem Trinkwasservorkommen
	Schonung der Landschaft und Flächen	Flächenverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft
		Beeinflussung von Schutzgebieten (z.B. Natura 2000, Vogelschutzgebiete,…)
	Schonung von Energie	Energieerzeugung nicht erneuerbar (elektrisch und thermisch)
		Energieerzeugung erneuerbar (elektrisch und thermisch)
		Energieverbrauch nicht erneuerbar (elektrisch und thermisch) - für die Errichtung von Abfallbehandlungsanlagen
		Energiebrauch nicht erneuerbar (elektrisch und thermisch) - für den Betrieb von Abfallbehandlung
		Energieverbrauch erneuerbar (elektrisch und thermisch) - für die Errichtung von Abfallbehandlungsanlagen
		Energieverbrauch erneuerbar (elektrisch und thermisch) - für den Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen

5.1.1.4 AWG Ziel 4

Das AWG Ziel „kein höheres Gefährdungspotential bei der stofflichen Verwertung durch Abfälle oder Sekundärrohstoffe gegenüber vergleichbaren Primärrohstoffen oder Produkten aus Primärrohstoffen“ ist ein rein vergleichendes Ziel. In Tabelle 5-4 sind daher Abfälle, die stofflich verwertet werden, bzw. Sekundärrohstoffe aufgelistet, die gegebenenfalls ein Gefährdungspotential aufweisen können. Rezyklierte und damit in neue Produkte potentiell transferierbare humantoxische Stoffe sollen als Einzelparameter betrachtet werden.

Tabelle 5-4: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel „Kein Gefährdungspotential durch stoffliche Verwertung“

AWG Ziel	Indikatorensammlung
Kein höheres Gefährdungspotential durch stoffliche Verwertung gegenüber Primärproduktion	Papier
	Metall
	Glas
	Mineralische Baustoffe
	Kunststoffe (oder Aufteilung in einzelne Stoffe)
	Dünger / Boden (erzeugt aus biogenen Abfällen)
	Holz
	Rezyklierte humantoxische Stoffe

5.1.1.5 AWG Ziel 5

Das AWG Ziel „keine Gefährdung nachfolgender Generationen durch Ablagerungen“ betrifft vor allem die Beseitigung bzw. die letzten Senken (Deponien). Die dafür ausgewählten Indikatoren sind in Tabelle 5-5 dargestellt. Unbedingt einzuschließen ist die Betrachtung von langfristigen Emissionen, welche bei Deponien auftreten können und somit trotz „Deponierung nach derzeitigem Stand der Technik“ eine Umweltgefahr für zukünftige Generation darstellen können.

Tabelle 5-5: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel „keine Gefährdung nachfolgender Generationen durch Ablagerungen“

AWG Ziel	Indikatorensammlung
Keine Gefährdung nachfolgender Generationen durch Ablagerungen zurückbleibender Abfälle	Schwermetalle in Senken
	Org. Verbindungen in Senken
	Behandlungsautarkie - Ablagerung von Abfällen im Ausland
	Langfristige (>100 Jahre) Emissionen aus Senken (Schwermetalle, organ. Verbindungen ins Grundwasser,...)

5.1.2 Relevanz der einzelnen Indikatoren

Ein wichtiger Faktor für den Projekterfolg ist die Akzeptanz der Ergebnisse, welche durch ein hohes Maß an Transparenz und Partizipation erreicht werden soll. Deshalb wurden abfallwirtschaftlich relevante Stakeholder gebeten, ihren Standpunkt, mögliche Präferenzen und/oder Bedenken hinsichtlich der vorgeschlagenen Indikatoren zu artikulieren bzw. weitere Vorschläge für ihrer Meinung nach fehlende Indikatoren einzubringen. Es wurden insgesamt 64 Stakeholder befragt, welche sich aus Ländern, Unternehmen, NGOs, Forschungseinrichtungen und Systembetreibern zusammensetzten.

Die Stakeholder wurden gebeten folgendes zu bewerten:

- Relevanz der einzelnen Indikatoren für die Zielerreichung der AWG Ziele
- Datenverfügbarkeit und -information zu den einzelnen Indikatoren
- Kostenverfügbarkeit und -information zu den einzelnen Indikatoren

Aus dem Rücklauf der Befragung konnten neun ausgefüllte Fragebögen sowie sechs zusätzliche Statements in den weiteren Auswahlprozess übernommen werden. Außerdem erfolgte eine weitere Bewertung durch die einzelnen Mitglieder des Projektteams. Dabei wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- Relevanz für die Zielerreichung des AWG Ziels
- Kostenverfügbarkeit (im Hinblick auf alle Prozessschritte)
- Datenverfügbarkeit (im Hinblick auf alle Prozessschritte)
- Datenherkunft
- Datenqualität
- Regelmäßig offiziell publiziert (z.B. Emissionsinventar, BAWP)
- Wirkung (lokal, regional, global)
- Indikator international vergleichbar
- Verknüpfung mit anderem Indikator (d.h. Einzelindikatoren (z.B. CH_4), die sich auch in Summenindikatoren (z.B. Treibhauseffekt) wiederfinden)

Die Ergebnisse der Rückmeldungen der Stakeholder sowie die entsprechenden Auswertungen der Projektpartner wurden in einer Tabelle gegenübergestellt und zu einem Gesamtergebnis aggregiert. Der wichtigste Punkt dabei war die Relevanz der Einzelindikatoren für die Zielerreichung, um eine Auswahl von Indikatoren zu erreichen. Dabei konnte eine überraschend gute Übereinstimmung zwischen den Vorstellungen der Stakeholder und der projektinternen Bewertung festgestellt werden. Nur bei drei Indikatoren gab es Klärungsbedarf, wobei die Relevanzfestlegung für diese Indikatoren mit dem Projektbeirat durchgeführt wurde. Als Ergebnis des beschriebenen Prozesses wurden die jeweiligen Kriterien wie folgt kategorisiert:

Relevante Indikatoren
Vermeidung von schädlichen und nachteiligen Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze deren Lebensgrundlagen und Umwelt
• *ausgewählte Toxizitätsparameter (anorganisch und organisch)* • *Hygiene* • *Terrestrische Versauerung* • *Ozonabbau* • *Klimawandel*
Vermeidung und Verringerung von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen
• *Luftschadstoffe (Dioxine/Furane, SO_2, NOx, Feinstaub)* • *Klimarelevante Emissionen (CH_4, N_2O, CO_2, FCKWs)*
Ressourcenschonung

• *Sekundäre Produktion von*
  ○ *Eisen, Kupfer, Aluminium*
  ○ *Kunststoffen*
  ○ *Kompost, Biogas*
  ○ *Glas, Papier, mineralischen Baustoffen, Holz*
• *Beeinflussung von nutzbarem Trinkwasservorkommen*
• *Elektrische und thermische Energieerzeugung (erneuerbar und nicht erneuerbar)*
• *Verbrauch von Deponievolumen*

Kein höheres Gefährdungspotential durch stoffliche Verwertung
• *Holz* • *Mineralische Baustoffe* • *Dünger bzw. Boden (erzeugt aus biogenen Abfällen)* • *Kunststoffe* • *Rezyklierte humantoxische Stoffe*
Keine Gefährdung nachfolgender Generationen durch Ablagerungen zurückbleibender Abfälle
• *Schwermetalle in Senken* • *Organische Verbindungen in Senken* • *Stoffkonzentrierungseffizienz* • *Ablagerung gefährlicher Abfälle in Untertagedeponien* • *Behandlungsautarkie – Ablagerung von Abfällen im Ausland* • *Langfristige (>100 Jahre) Emissionen aus Senken*
Weniger relevante Indikatoren
Vermeidung von schädlichen und nachteiligen Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze deren Lebensgrundlagen und Umwelt
• *Lärm, Geruch* • *Photooxidantienpotential* • *Eutrophierung*
Vermeidung und Verringerung von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen
• *Luftschadstoffe (CO, NH3)*
Ressourcenschonung

• *Sekundäre Produktion von*
  ○ *biogenen Rohstoffen aus der Bioraffinerie*
  ○ *„Gewürzmetallen“*
  ○ *Chemikalien*
• *Elektrische und thermischer Energieverbrauch für den Betrieb von abfallwirtschaftlichen Anlagen (erneuerbar und nicht erneuerbar)Rohstoffverbrauch für den Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen*
• *Flächenverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft*
• *Beeinflussung von Schutzgebieten (z.B. Natura 2000,…)*

Kein höheres Gefährdungspotential durch stoffliche Verwertung
• *Papier, Metalle, Glas*
Irrelevante Indikatoren
Ressourcenschonung
• *Rohstoffverbrauch für die Errichtung von Abfallbehandlungsanlagen* • *Trinkwasserverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft* • *Elektrische und thermischer Energieverbrauch für die Errichtung von abfallwirtschaftlichen Anlagen (erneuerbar und nicht erneuerbar)*

5.1.3 Finale Indikatorenauswahl für die Bewertung

Ausgehend von der Relevanzbewertung wurde die finale Auswahl der zur Bewertung zu verwendenden Indikatoren festgelegt (siehe Tabelle 5-6).

Tabelle 5-6: definiertes Bewertungssystem – ausgewählte Indikatoren

AWG Ziele: *Die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass…*	**Unterziel**	**Indikatorensammlung**
...schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden werden.	Vermeidung der direkten Einwirkung auf den Menschen	Humantoxizität
	Vermeidung der Einwirkungen auf die Umwelt	Treibhauspotential (inkl. Gutschriften)
		Versauerungspotential
		Photooxidantienpotential
		Ozonabbau
		Eutrophierungspotential
...die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden.	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	klimarelevante Emissionen (excl. Gutschriften)
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe
...Ressourcen geschont werden.	Schonung von Rohstoffen	Sekundärprodukte - Metalle
		Sekundärprodukte - Glas
		Sekundärprodukte - Papier
		Sekundärprodukte - Kunststoffe
		Sekundärprodukte - Holz
		Sekundärprodukte - Textilien
	Schonung von Energie	Energieverbrauch
		Energieerzeugung
	Schonung von Deponievolumen	abgelagertes Abfallvolumen
...bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen.	Reduktion von Schadstoffen in Sekundärrohstoffen	Schadstoffe in Altholz zur stofflichen Verwertung
		Schadstoffe in Recycling-Baustoffen
		Schadstoffe im Kompost
		Schadstoffe in Sekundärkunststoffen
...nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.	Reduktion der Schwermetallfrachten in Deponien	Schwermetalle
	Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien	Sickerwasser-Emissionen
		Deponiegas-Emissionen
	Behandlungsautarkie	Ablagerung gefährlicher Abfälle

In weiterer Folge wird versucht für diese Indikatoren genauer zu spezifizieren und Benchmark zu definieren. Der Prozess dazu ist in Kapitel 5.4 beschrieben und das Ergebnis in Kapitel 5.6 zusammenfassend dargestellt.

5.2 Benchmarking der österreichischen Abfallwirtschaft

Die Beurteilung des Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft erfolgt auf Basis des für diese Studie definiertem Bewertungssystem. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, erfolgt ein Benchmarking von Rahmenbedingungen. Somit werden die auf Basis der AWG Ziele definierten Indikatoren dem Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft gegenübergestellt. Je Indikator wird die Zielerreichung anhand des Verhältnisses des Status Quo mit den in Kapitel 5.4 beschriebenen Benchmarks errechnet. Für die Beurteilungen von schädlichen Einwirkungen, Emissionen, Gefährdungspotentialen und Verbräuchen ist das Ziel, dass der Status Quo kleiner als der Benchmark ist. Für die Schonung von Ressourcen ist das Ziel, dass der Status Quo höher als der Benchmark liegt.

5.3 Methode zur ökonomischen Bewertung

Für die ökonomischen Analysen sind in der vorliegenden Studie vier Aufgabenfelder vorgesehen, in denen eine Reihe von ökonomischen Bewertungsmethoden und Bearbeitungsschritten angewandt werden:

1. Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft;
2. Zuordnung dieser Kosten zu den Bereichen Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung;
3. Zuordnung der Kosten zu den Zielen des AWG; und
4. Kostenwirksamkeit des abfallwirtschaftlichen Systems.

5.3.1 Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft

Das System der österreichischen Abfallwirtschaft wird in die Abfallwirtschaft im engeren Sinn (private und öffentliche Abfallwirtschaftsunternehmen) und die Abfallwirtschaft im weiteren Sinn (Abfallwirtschaft im engeren Sinn plus abfallwirtschaftsrelevante Aktivitäten der privaten Haushalte und der Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen) unterteilt. Unter abfallwirtschaftsrelevanten Aktivitäten werden jene Tätigkeiten (und Entscheidungen) verstanden, die die Erreichung der Zielsetzungen des AWG beeinflussen (z.B. Sammlung und Trennung von Haushaltsabfällen). Für beide Bereiche werden die volkswirtschaftlichen Kosten erhoben.

Unter dem Begriff der volkswirtschaftlichen Kosten (auch „soziale Kosten“) wird die Summe aus privaten („internen“) und externen Kosten verstanden. Private Kosten sind dabei jene Kosten, die vom Verursacher selbst getragen werden und auf denen die wirtschaftliche Entscheidung (Produktion, Konsum) basiert. Externe Kosten werden nicht vom Verursacher, sondern von unbeteiligten Dritten (Anrainer einer Anlage, Allgemeinheit) getragen. Allen volkswirtschaftlichen Kosten ist gemein, dass sie den mit der tatsächlichen Entscheidung verbundenen Ressourcenverbrauch[2] widerspiegeln. Transfers, wie z.B. Steuern oder Subventionen stellen eine reine Umverteilung von einem Akteur zu einem anderen dar und sind folglich nicht Teil der volkswirtschaftlichen Kosten. Volkswirtschaftliche Kosten können sowohl innerhalb des Systems der Abfallwirtschaft im engeren Sinn als auch innerhalb des Systems der Abfallwirtschaft im weiteren Sinn anfallen. Für die Abfallwirtschaft im engeren Sinn wird im Rahmen der Studie eine Vollerhebung der volkswirtschaftlichen Kosten durchgeführt. Der Ansatz der Vollerhebung bedeutet, dass für jeden abfallwirtschaftlichen Prozessschritt (z.B. Sammlung) und jeden Anlagentyp (z.B. chemisch-physikalische Abfallbehandlungsanlage einer bestimmten Größe) sämtliche internen und externen Kosten erhoben werden müssen. Die Berechnung dieser Kosten erfolgt mittels typischen, d.h. durchschnittlichen Kostensätzen (z.B. Investitions- und Betriebskosten einer bestimmten Abfallbehandlungsanlage bei einer bestimmten Durchlaufmenge), die einerseits bei Expertinnen und Experten sowie Unternehmen primär erhoben und andererseits der Literatur entnommen wurden. Die Schwankungsbreiten werden in Form von prozentuellen Abweichungen als Unsicherheiten (z.B. aufgrund unterschiedlicher Inputfraktionen) dargestellt. Nicht berücksichtigt wurden unterschiedliche Buchwerte gleicher Anlagentypen (Anschaffungswerte als zyklische Abschreibungen). Das bedeutet, dass Anlagen bestimmten Typs und bestimmter Größe unabhängig von ihrem Errichtungsjahr kostenmäßig mit Wiederbeschaffungswerten (Preisbasis 2012) bewertet wurden. Einmalige Investitionskosten wurden unter Berücksichtigung der Lebensdauer periodisiert und zu den jährlich anfallenden (periodischen) Betriebskosten addiert (entspricht der Ermittlung der Produktionskosten pro Mengeneinheit). Bei der Normalisierung der Investitionskosten wurde auf

[2] Unter Ressourcen werden sämtliche Produktionsfaktoren (Mittel, die in die Produktion von Gütern und Dienstleistungen eingehen) verstanden. Neben dem klassischen Ressourcenverbrauch (Verbrauch von Rohstoffen wie z.B. Holz) sowie dem Arbeits- und Kapitaleinsatz müssen also auch der Zeitaufwand, der durch abfallwirtschaftliche Tätigkeiten entsteht (weil die „verbrauchte“ Zeit dann nicht mehr für andere produktive Tätigkeiten zur Verfügung steht) und der Raumverbrauch, der durch abfallwirtschaftliche Tätigkeiten entsteht, berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass in vielen Fällen den volkswirtschaftlichen Kosten keine Ausgaben und keine Auszahlungen (Markttransaktionen) gegenüberstehen müssen, und sich die Kosten eines abfallwirtschaftlichen Prozesses von den Ausgaben bzw. der Finanzierung eines Prozesses unterscheiden können.

die in der Literatur und in der Praxis verwendeten Kalkulationssätze für Kapitalkosten zurückgegriffen (zwischen 4-6%).

Die Kosten der Abfallwirtschaft im weiteren Sinn (d.h. abfallwirtschaftliche Tätigkeiten der privaten Haushalte und Unternehmen) wurden folgendermaßen ermittelt: Die Kosten der privaten Haushalte wurden für drei Haushaltstypen (unterschieden nach Haushaltsgröße, Regionstyp und Gebäudetyp) exemplarisch geschätzt und auf alle Haushalte Österreichs hochgerechnet. Die Kosten der Haushalte bestehen im Wesentlichen aus Zeit- und Informationskosten, sowie dem mit Opportunitätskosten bewerteten Raumbedarf für Sammlung und Trennung. Die Kosten der Unternehmen wurden auf Basis der Umweltschutzausgabenrechnung der Statistik Austria ermittelt. Die Kosten der Unternehmen bestehen v. a. aus den Kosten des innerbetrieblichen Abfallmanagements inklusive eventueller Abfallbehandlung innerhalb des Unternehmens. Die Auswahl der Behandlungsanlagentypen, der Prozessschritte und der relevanten Stoff- und Materialflüsse erfolgt in Kapitel 6. Sie stellen die Basis für die zu bewertenden Prozesse dar. Die Bewertung erfolgte dann durch die Verknüpfung der Mengen- und Preisgerüste. Methodische Schwierigkeiten bei dieser Vorgehensweise stellen mögliche Doppelzählungen (weil Kosten bspw. überwälzt werden) und die Abgrenzung der einzelnen Prozessschritte (bspw. stellt sich die Frage, ab wann zwei Anlagen als gleich angesehen werden können) dar. Wichtig ist hierbei, dass Erlöse abfallwirtschaftlicher Prozesse (z.B. Gebühren) nicht berücksichtigt wurden, da die abfallwirtschaftliche Rentabilität von Anlagen nicht untersucht wird. Eine Auswahl an Wertstoff- bzw. Wärmeerlösen findet sich am Ende von Kapitel 6.7.1.2. bzw. werden auch in der Szenarienanalyse ergänzend dargestellt.

5.3.2 Zuordnung der Kosten zu den Bereichen Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung

Durch die oben geschilderte Vorgehensweise bei der Ermittlung der gesamten Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft ergibt sich die Zuordnung der Kosten zu den Bereichen Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung, da die Kosten bereits nach dieser Einteilung erhoben werden. Die aggregierten Kosten wurden mit den davor definierten und im STAN-Modell abgebildeten Mengen aus wechselnden Prozessen (Behandlung nach Anlagentypen) verknüpft.

5.3.3 Zuordnung der Kosten zu den Zielen des AWG

Die Zuordnung der volkswirtschaftlichen Kosten zu den Zielen des AWG erweist sich als methodisch schwierig. Das wesentliche Problem hierbei ist, dass Investitionen in einzelne Prozessschritte der Abfallwirtschaft (etwa die getrennte Sammlung von bestimmten Abfällen) oder die Investition in bestimmte Anlagen meistens der gleichzeitigen Erreichung mehrerer AWG Ziele dienen. Folglich können bspw. die Investitionskosten einer Anlage nicht genau einem AWG Ziel zugeordnet werden. Über den Umweg der modifizierten Kosten-Wirksamkeits-Analyse (mKWA) ist es jedoch möglich, die Zielerreichung verschiedener Systemzustände (bspw. einmal mit einem bestimmten Anlagetyp, und einmal ohne diesen Typus) zu messen. Das wird in der Szenarienanalyse (siehe Kap.12) umgesetzt.

5.3.4 Kostenwirksamkeit des abfallwirtschaftlichen Systems

Die Feststellung der Zielerreichung, sowie der Kostenwirksamkeit des abfallwirtschaftlichen Systems in Österreich erfolgt mit Hilfe einer modifizierten Kosten-Wirksamkeits-Analyse. Die Idee hinter dieser Methode ist die Gegenüberstellung der Zielerreichung (gemessen in Nutzenpunkten) mit den aggregierten Kosten der einzelnen Maßnahmen (gemessen in Euro). Den Nenner bilden sämtliche Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft, die in der österreichischen Volkswirtschaft zur Zielerreichung des AWG beitragen (d.h. die Kosten der Abfallwirtschaft im weiteren Sinn; alternativ werden diese Kosten betreffend des Ausmaßes der Einbeziehung der Kosten bei privaten Haushalten und Unternehmen variiert). Die Zielerreichung in Nutzenpunkten wird für jeden einzelnen Indikator (der jeweils einem Unterziel und dieses wiederum einem der fünf Ziele des AWG zugeordnet ist) errechnet. Dies erfolgte entweder mittels einer Transformationsfunktion oder

über das Verhältnis des Status Quo zum Benchmark. Bei der Ermittlung mittels Transformationsfunktion muss ein tatsächlich realisierter Wert für einen Indikator (z.B. 100 t CO_2-Ausstoß/a) in Nutzenpunkte umgerechnet werden. Dafür ist die Definition von Minimalanforderungen (Ab welchem tatsächlich realisierten Wert gibt es keine Punkte bzw. die maximale Punktezahl?) notwendig. Die maximale Punkteanzahl ist zehn und wird dem definierten Benchmark gleichgesetzt. Null Punkte beschreiben jenen Wert, welcher aufgrund von gesetzlichen Vorschriften oder, wenn nicht vorhanden, im Rahmen dieser Untersuchung definierten Anforderungen einzuhalten ist.

Ermittlung der Nutzenpunkte für AWG Ziel 1 und 3 (Energieschonung)

Die Ermittlung der Nutzenpunkte erfolgt über den Quotienten des Status Quo und Benchmark für die AWG Ziele 1 und 3 (Energieschonung) auf Basis folgender Tabelle:

Tabelle 5-7: Berechnung der Nutzenpunkte für AWG Ziel 1 und 3 (Energieschonung)

$= \frac{Status\ Quo}{Benchmark}$	Nutzen-punkte	$= \frac{Status\ Quo}{Benchmark}$	Nutzen-punkte
<0-0,001	10	0,8-1,0	4
0,001-0,01	9	1-2,5	3
0,01-0,2	8	2,5-5,0	2
0,2-0,4	7	5-7,5	1
0,4-0,6	6	>7,5	0
0,6-0,8	5		

Ausgehend von den in Tabelle 5-7 definierten Bereichen kann eine logarithmische Funktion abgeleitet werden, um Nutzenpunkte zu errechnen (siehe Abb. 5-2 und Formel 1), wobei minimal null Punkte und maximal 10 Punkte vergeben werden.

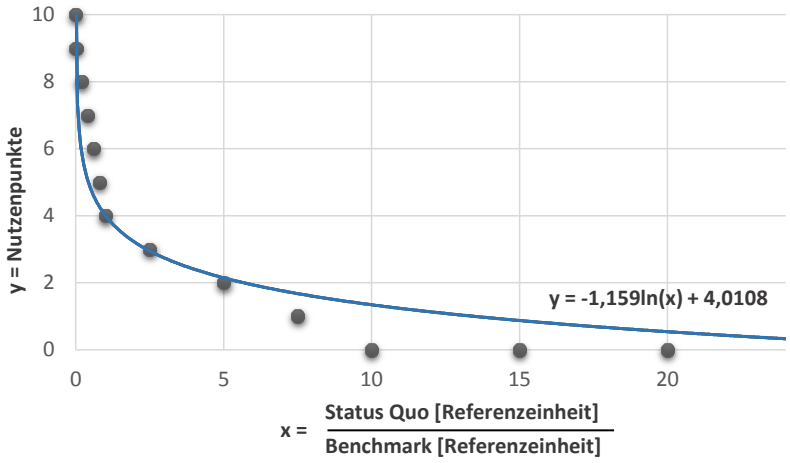


Abb. 5-2: Berechnung Nutzenpunkte (logarithmisch)

Die Berechnung der Nutzenpunkte erfolgt anhand folgender Formel:

$$Nutzenpunkt\ je\ Indikator = 1{,}15 - \ln(x) + 4{,}0108$$

Formel 1: Berechnung der Nutzenpunkte mittels Transformationsfunktion (logarithmisch)

Ermittlung der Nutzenpunkte für AWG Ziel 2, 3 (Deponievolumen), 4 und 5

Für die Berechnung der Nutzenpunkte wird für AWG Ziel 2, 3 (Deponievolumen), 4 und 5, wo auch eine Minimalanforderung definiert wurde, eine lineare Transformationsfunktion herangezogen (siehe Abb. 5-3.)

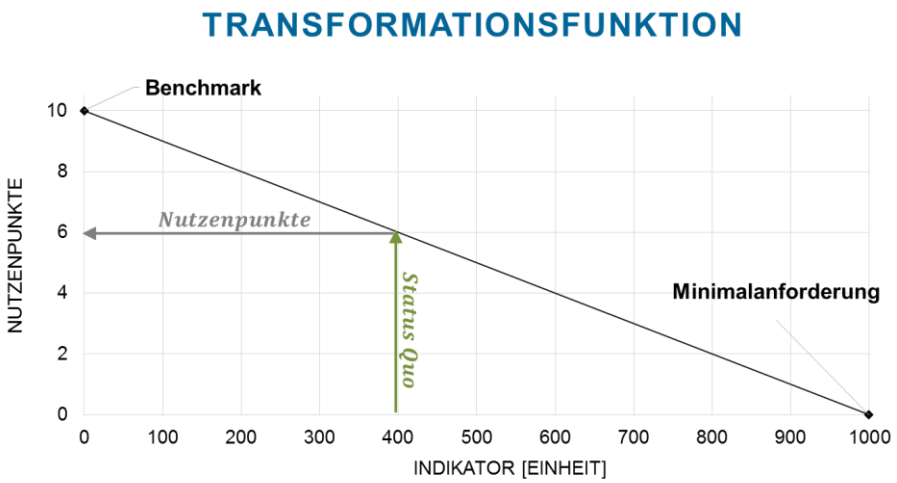


Abb. 5-3: Beispiel einer Transformationsfunktion (linear)

Die Berechnung der Nutzenpunkte erfolgt anhand folgender Formel:

$$Nutzenpunkt\ je\ Indikator = 10 * \frac{SQ - MF}{BM - MF}$$

MF	Minimalanforderung je Indikator [Referenzeinheit]
BM	Benchmark je Indikator [Referenzeinheit]
SQ	Status Quo der österr. Abfallwirtschaft je Indikator [Referenzeinheit]

Formel 2: Berechnung der Nutzenpunkte mittels Transformationsfunktion (linear)

Ermittlung der Nutzenpunkte die AWG Ziele 3 (Ressourcenschonung)

Wie in Kapitel 5.2 beschrieben ist für das AWG Ziel 3 (Ressourcenschonung) das Ziel, dass der Status Quo größer als der Benchmark ist. Die Ermittlung erfolgt deshalb auf Basis von Tabelle 5-8.

Tabelle 5-8: Berechnung der Nutzenpunkte für AWG Ziel 3 (Ressourcenschonung)

$= \frac{Status\ Quo}{Benchmark}$	Nutzenpunkte
>1	10
0,9	9
0,8	8
0,7	7
0,6	6
0,5	5
0,4	4
0,3	3
0,2	2
0,1	1
0	0

Wesentliches Element einer modifizierten Kosten-Wirksamkeits-Analyse ist die Durchführung einer Gewichtung der Ziele, Unterziele und Indikatoren. Sie erfolgte durch Stakeholder und ExpertInnen verschiedener Institutionen. Die Beurteilung der Wichtigkeit einzelner AWG Ziele, Unterziele und Indikatoren erfolgte anhand einer Stakeholder-Befragung. Die Auftraggeber wurden dafür gebeten Gewichtungsvorschläge abzugeben. Die Gewichtung konnte von oben nach unten (Top-Down-Ansatz), also von den Zielen in Richtung der Indikatoren, bzw. von unten nach oben (Bottom-Up-Ansatz) erfolgen (siehe Tabelle 5-9). In Summe konnten für die AWG Ziele, Unterziele und Indikatoren jeweils 100 Punkte vergeben werden.

Tabelle 5-9: Zielgewichtung: Vorlage Stakeholderbefragung

			1.) Gewichtung der AWG Ziele (Top-down)			2.) Gewichtung der Unterziele (Bottom-up und Top-down)			3.) Gewichtung der Indikatoren (Bottom-up)		
AWG Ziele	**Unterziel**	**Indikatorensammlung**	**AWG Ziele**	**Unter-ziele**	**Indi-katoren**	**AWG Ziele**	**Unter-ziele**	**Indi-katoren**	**AWG Ziele**	**Unter-ziele**	**Indi-katoren**
...schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden werden.	Verringerung der direkten Einwirkung auf den Menschen	Humantoxizität [kg 1,4-DCB eq/a]									
	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Terrestrische Versauerung [kg SO_2 eq/a]									
		Photooxidantienpotential [kg NMVOC/a]									
		Klimawandel (inkl. Ökobilanz-Gutschriften) [kg CO_2 eq/a]									
		Ozonabbau [kg CFC-11 eq/a]									
		Eutrophierung [kg P-eq/a]									
...die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden.	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	klimarelevante Emissionen (exkl. Ökobilanz-Gutschriften) [kg CO_2 eq/a]									
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe [kg SO_2,kg NO_x, kg PM10eq/a]									
...Ressourcen geschont werden.	Schonung von Deponievolumen	abgelagertes Abfallvolumen [m³/a]									
	Schonung von Rohstoffen	Sekundär - Metalle [t/a]									
		Sekundär - Glas [t/a]									
		Sekundär - Papier [t/a]									
		Sekundär - Kunststoffe [t/a]									
		Sekundär - Holz [t/a]									
		Sekundär - Textilien [t/a]									
	Schonung von Energie	Energieverbrauch [MWh/a]									
		Energieerzeugung [MWh/a]									
...bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen.	Reduktion von Schadstoffen in Sekundärrohstoffen	Schadstoffe in Sekundärkunststoffen [mg/kg]									
		Schadstoffe im Kompost Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn [mg/kg]									
		Schadstoffe in Recycling-Baustoffen As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, KW-Index ∑ PAK [mg/kg]									
		Schadstoffe in Altholz zur stofflichen Verwertung As, Cd, Cl, Cr, F, Hg, Pb, Zn, ∑ PAK [mg/kg]									
...nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.	Reduktion der Schwermetall-frachten in Deponien	Schwermetalle: Cr, Cd, Cu, Hg, Nu, Pb, Zn [kg/a]									
	Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien	Sickerwasseremissionen: TOC, NH4, Cr, Cd, Cu, Hg, Nu, Pb, Zn [kg/a]									
		Deponiegasemissionen: CH_4, CO_2 [kg CO_2 eq/a]									
			100	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Das Endergebnis ist ein Quotient aus (gewichteten) Nutzenpunkten und den Kosten in Euro. Dieser Quotient wird auch als „Kostenwirksamkeit“ bezeichnet. Zur Vermeidung von Doppelzählungen werden nur die internen Kosten in der Kostenwirksamkeit berücksichtigt, da (vermiedene) externe Kosten in der vorliegenden Methode mit der Zielerfüllung (Nutzenpunkten) gemessen werden (bzw. sich zu diesen proportional verhalten). Die externen Kosten (bzw. Verringerungen dieser durch Maßnahmen) dienen als wesentliche zusätzliche Informationen, gehen aber in die Berechnung Kostenwirksamkeit nicht ein. Generell gilt: Je höher der Wert für die Kostenwirksamkeit, desto vorteilhafter ist das Ergebnis.

$$Kostenwirksamkeit = \frac{\sum mittlere\ gewichtete\ Nutzenpunkte\ je\ AWG\ Ziel}{\sum internen\ Kosten}$$

Formel 3: Berechnung der Kostenwirksamkeit

Mit Hilfe dieses Quotienten lassen sich unterschiedliche Systemzustände (Szenarien) hinsichtlich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander vergleichen. Unterschiedliche Szenarien der Entwicklung der österreichischen Abfallwirtschaft (d.h. Veränderungen in den Stoffströmen in den einzelnen Prozessen) können mit Indikatoren und somit mit Nutzenpunkten bewertet und gewichtet werden, und den damit korrespondierenden Kosten gegenübergestellt werden. Die Kostenwirksamkeit ist für einen einzelnen Systemzustand oder für ein einzelnes Szenarium ohne Aussagekraft, insbesondere lässt sich die Effizienz eines Zustandes nicht ohne Weiteres bestimmen; Schlussfolgerungen (z.B. Reihungen von Szenarien) ergeben sich erst durch den Vergleich der Kostenwirksamkeit verschiedener Systemzustände.

5.4 Definition von Benchmarks

In diesem Abschnitt werden die definierten Benchmarks in Abhängigkeit des Bewertungssystems je AWG Ziel vorgestellt.

5.4.1 AWG Ziel 1

Eine Definition messbarer Referenzwerte (Benchmarks) aufgrund der Angaben im AWG ist schwierig, da sie nur qualitativer Natur sind. So lässt das 1. AWG Ziel: *Die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass „schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden“* einen breiten Interpretationsspielraum zu. Wie im Kapitel 5.1.3 näher erläutert, wurden als maßgebliche Indikatoren für dieses Ziel einerseits ausgewählte Toxizitätsparameter und andererseits international gebräuchliche Wirkungskategorien wie „Versauerung, Photooxidantienpotential, Ozonabbau, Treibhauspotential und Eutrophierung" gewählt.

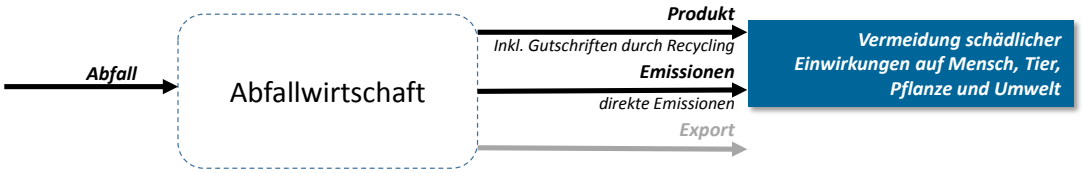


Abb. 5-4: Benchmarks: AWG Ziel 1

Als Kategorien und zur Bewertung des Status Quo der Abfallwirtschaft wurden das Treibhauspotential (kg CO_2-Äquivalente), die Eutrophierung (kg P-Äquivalente), der Ausstoß an Photooxidantien (kg NMVOC) sowie die Versauerung (kg SO_2-Äquivalente) herangezogen und der Beitrag der Abfallwirtschaft mit jenem der gesamtösterreichischen Wirtschaft (industrielle Tätigkeit) verglichen. Ausgenommen wurden die Wirkungskategorien Humantoxizität (kg 1,4-DCB-Äquivalente) und Ozonabbau (kg FCKW-Äquivalente), da hier mangels Daten keine entsprechenden Benchmarks definiert werden konnten.

Als Wirkungskategorien sind dabei anthropogen verursachte, schädliche Effekte in der Umwelt zu verstehen. Zur Abschätzung der Einwirkungen auf das jeweilige im AWG genannte Schutzziel werden dazu die Emissionen aus der Abfallwirtschaft gemäß ihrer jeweiligen Umweltauswirkung der entsprechenden Wirkungskategorie zugeordnet und in weiterer Folge mit einem Äquivalenzfaktor gewichtet, um sie so vergleichbar zu machen. Bekanntestes Beispiel dazu ist die Zuordnung von u.a. Kohlendioxid und Methan zur Wirkungskategorie Treibhauseffekt bzw. Klimawandel, sowie deren Gewichtung entsprechend IPCC (2013) zu kg CO_2-Äquivalenten.

Zur Bewertung der Umweltauswirkungen wurde die Methode der Ökobilanzierung (Lebenszyklusanalyse) gewählt, da nur diese Methode eine umfassende Berücksichtigung aller (positiver und negativer) mit der Abfallwirtschaft einhergehenden Effekte ermöglicht. Dementsprechend ist für die Beurteilung des AWG Ziel 1 zu beachten, dass positive Effekte abfallwirtschaftlicher Maßnahmen (wie die Erzeugung von Sekundärrohstoffen oder Energie aus Abfällen) mittels sogenannter Gutschriften berücksichtigt werden. Gutschriften bilden Emissionseinsparungen, welche z.B. durch Energieerzeugung aus Abfällen, Sekundärrohstoffeinsatz etc. dem abfallwirtschaftlichen System zuzurechnen sind, ab. Im Gegensatz dazu wurden in AWG Ziel 2 nur die eigentlichen Emissionswerte der Prozesse verglichen, d.h. ohne Gutschriften

Als Benchmark wurden die jeweiligen gesamtösterreichischen Umweltauswirkungen entsprechend der Literatur herangezogen und im Bezug zur abfallwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung gesetzt. Es wurde demnach festgelegt, dass der maximale Sollwert an Umweltauswirkungen nicht größer sein soll als jener Anteil der gesamten in Österreich verursachten Umweltauswirkungen, der der abfallwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung im Verhältnis zur gesamten Bruttowertschöpfung entspricht. Die Bruttowertschöpfung der gesamten österreichischen Wirtschaft geht aus der Leistungs- und Strukturstatistik der Statistik Austria (2015) hervor und betrug 183,05 Mrd. Euro. Die Bruttowertschöpfung der Abfallwirtschaft im Bezugsjahr 2012 betrug rund 1,034 Mrd. Euro. Aus der Bruttowertschöpfung sind die Prozesse der Abfallbehandlung (Sammlung, Behandlung, Rückgewinnung/Verwertung und Beseitigung) detaillierter beschrieben als bei der Darstellung des Bruttoinlandsprodukts, bei dem die Wirtschaftsbereiche Energie-, Wasserversorgung und Abfallentsorgung zusammengefasst zu einem Anteil von rund 2,6 % (8,25 Mrd. Euro) am Gesamt-BIP von 317,06 Mrd. Euro betrugen.

5.4.1.1 Humantoxizität

Derzeit existiert für den Schutz der menschlichen Gesundheit kein Satz an Indikatoren, anhand dessen eine potentielle Gefährdung des Menschen zufriedenstellend beurteilt werden könnte. Dies ist eine gravierende Wissenslücke für die gesamte Abfallwirtschaft nicht nur Österreichs, sondern vor allem auch der weniger entwickelten Ländern. Die enormen Leistungen, die Verfahren wie die Sammlung und Verbrennung von Abfällen bezüglich Mikroorganismen (Parasiten, Bakterien, Viren, u.a.) und humantoxischen Stoffen (Persistente organische Verunreinigungen POPs, Schwermetalle, radioaktive Substanzen) erbringen, können derzeit und auch in dieser Studie nicht bewertet werden. Für Humantoxizität gibt es erste, beschränkte Ansätze, die toxische Wirkung anhand der Einheit 1,4 kg -DCB-Äquivalente/a zu beschreiben. Für diesen Indikator bestehen verschiedene Methoden bzw. Vorschläge zur Berechnung und Darstellung (z.B. CML, CST 95, AEP, TEP, …), ein internationaler Konsens über eine standardisierte Ausführung wurde noch nicht erreicht. Zukünftig müssen relevante Stoffe und Mikroorganismen, die den Menschen bei abfallwirtschaftlichen Tätigkeiten gefährden, identifiziert werden, und in Bewertungsstudien mitberücksichtigt werden. Dies ist eine sehr aufwändige Aufgabe, betrifft sie doch eine große Anzahl an Organismen und vor allem an POPs, die als Emissionen über den ganzen Lebensweg in Frage kommen. Da derzeit für eine solche Bewertung weder das methodische Instrumentarium noch die Datengrundlage vorhanden sind, wurde von einer Darstellung des Status Quo dieser Kategorie, trotz hoher Gewichtung und Relevanz Abstand genommen. Zudem ist auch in Österreich keine (gemessene) Datengrundlage vorhanden, aus der sich wie bei den Indikatoren Klimawandel oder Eutrophierung theoretische Modelle entwickeln und berechnen lassen.

5.4.1.2 Treibhauspotential

Der Indikator Klimawandel, ausgedrückt als Global Warming Potential (GWP) der österreichischen Abfallwirtschaft, beschreibt den Treibhausgaseffekt und wird in kg CO_2-Emissinsäquivalente angegeben. Dieser natürlich ablaufende Prozess geht mit der Absorption und Reflexion von Wärmestrahlung, hervorgerufen durch in der Atmosphäre vorhandenen klimawirksamen Gasen (Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Lachgas usw.), einher. Durch den anthropogenen Emissionsanteil verschärft, hat die globale Erwärmung Auswirkungen auf den Menschen sowie die Ökosysteme. Die wesentlichen Verursacher der österreichischen Treibhausgasemissionen waren im Jahr 2012 die Sektoren Industrie und produzierendes Gewerbe (31 %), Verkehr (27 %), Energieaufbringung (16 %), Raumwärme und sonstige Kleinverbrauch (12 %) sowie Landwirtschaft (9 %). Diese Sektoren sind für 95 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Der Rest (5%) entfällt auf Sonstiges, dem auch die Abfallwirtschaft zugeordnet ist (Anderl et al. 2014a).

Basierend auf einer UBA-Studie aus dem Jahr 2014 verursachte die Abfallwirtschaft im Jahr 2012 ca. 2 % der treibhausgasrelevanten Emissionen. Dies entsprach einem Ausstoß von rund 1,7 Mio. t CO_2-Äquivalenten (siehe Tabelle 5-10). Insgesamt wurden 80,6 Mio. t an CO_2-Äquivalenten emittiert. Die Normierung mittels der Bruttowertschöpfung ergibt einen Benchmark von rund 450.000 t an CO_2-Äquivalenten. Wird der Zeitraum 1990 bis 2012 betrachtet, zeigt sich, dass insbesondere die Emissionen aus der Abfallwirtschaft trotz steigender Abfallmengen um 1,9 Mio. t CO_2-Äquivalente bzw. um 54 % zurückgegangen sind. Der Rückgang ist hauptsächlich durch das seit 2004 in Kraft getretene Deponierungsverbot und die damit vermiedenen Emissionen aus Deponien zurückzuführen. Der Zielwert für die Periode 2008-2012 wurde um 0,4 Mio. t unterschritten (siehe Tabelle 5-10). Die durch die Abfallwirtschaft verursachten klimawirksame Gase (wie z.B.: CO_2, CH_4, N_2O) werden den aus der Literatur (UBA 2014 etc.) gewonnenen Daten gegenübergestellt.

Tabelle 5-10: Klimawandel GWP 2012 [UBA, 2014]

Klimawandel GWP 2012 – Kyoto-relevante Emissionen	Prozent [%]	Realwerte für 2012 [Mio. Tonnen CO_2-Äq.]	Zielwert 2008-2012 [Mio. Tonnen CO_2-Äq.]
Industrie & Gewerbe	30,60%	24,66	23,25
Verkehr	26,90%	21,68	18,9
Energie	15,45%	12,45	12,95
Raumwärme und Kleinverbrauch	11,79%	9,5	11,9
Landwirtschaft	9,31%	7,5	7,1
Abfallwirtschaft	2,06%	1,66	2,1
Fluorierte Gase	2,23%	1,8	1,4
Sonstige CO_2, CH_4 und N_2O Emissionen	1,02%	0,82	0,9
Gesamtemissionen	**100%**	**80,6**	**78,5**

5.4.1.3 Terrestrische Versauerung

Der Indikator Terrestrische Versauerung, ausgedrückt in kg SO_2-Äquivalenten, hat als Primärwirkung die Deposition von Säuren auf Seen, Böden und Bäumen. Dies führt zu einer Änderung des pH-Werts. Die Folgen für Ökosysteme sind u.a. Fischsterben und Schäden an der Vegetation.

Die SO_2-Emissionen in Österreich sind im Zeitraum 1990-2012 um 77 % gesunken. Die Starke Abnahme ist im Wesentlichen auf die Absenkung des Schwefelanteils in Mineralölprodukten und Treibstoffen, den Einbau von Entschwefelungsanlagen in Kraftwerken sowie die verstärkte Nutzung von schwefelärmeren Brennstoffen wie z.B. Erdgas zurückzuführen. Die SO_2-Emissionen in Österreich betrugen im Jahr 2012 rund 17.200 t SO_2-Äquivalente. Normiert mittels der Bruttowertschöpfung ergibt dies einen Benchmark von 97 t SO_2-Äquivalenten.

Im Jahr 2012 betrug der Anteil der SO_2-Emissionen der Industrie 69 %, der Energieversorgung 18 %, der Kleinverbraucher 11 % und des Verkehrs 1,8 %. 0,1 % entfielen auf den Sektor Sonstige. Die Landwirtschaft hat einen verschwindend geringen Anteil (siehe Abb. 5-5).

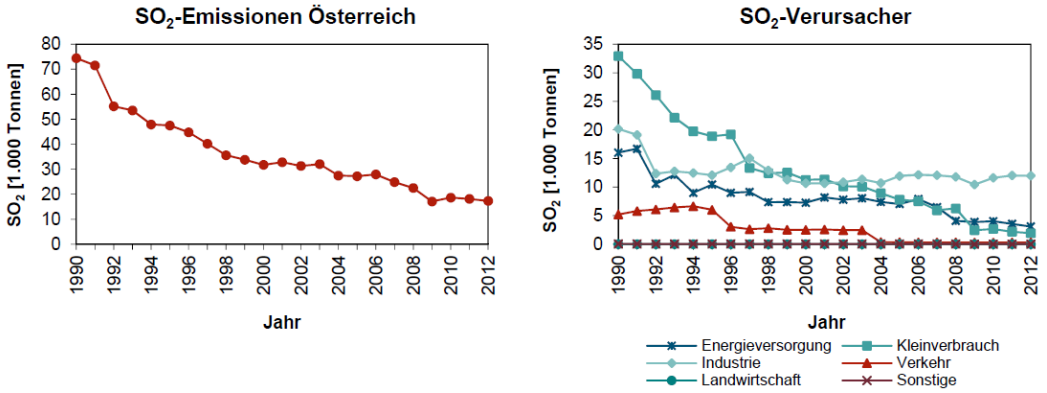


Abb. 5-5: SO_2-Emissionen Österreichs gesamt und nach Sektoren, 1990-2012 [UBA Bundesländer Luftschadstoffinventur, 2014]

Die UBA-Studie zum Annual Air Emission Inventory (Anderl et al. 2014c) weist für den Sektor Abfallwirtschaft einen Emissionswert von 10 t SO_2 (2012) aus. Dies entspricht ca. 0,06 % der Gesamt-SO_2-Emissionen, die zum größten Teil (> 90 %) dem Energiesektor mit 16.000 emittierten Tonnen SO_2 zuzuschreiben sind. Der Benchmark SO_2-eq wird über die Umrechnung der Benchmarks SO_2, NH_3 und NO_x definiert und ist in folgender Tabelle gelistet:

Tabelle 5-11: Benchmark AWG Ziel 1 - Versauerungspotential

	Benchmark Einzelwerte [t]	Faktor	Benchmark: SO_2-eq. Berechnung [t]
SO_2	140	1	
NH_3	500	0,7	4.800
NO_x	1.100	4	

5.4.1.4 Photooxidantienpotential

Der Indikator Photooxidantienpotential drückt die Bildung von reaktiven Oxidationsmittel in kg NMVOC/a aus, die unter Einfluss von Sonnenlicht entstehen und zur Luftverschmutzung beitragen. Unter den vielfältigen chemischen Reaktionen fällt u.a. die Umsetzung von in der Luft enthaltenen Stickstoffoxiden mit Kohlenwasserstoffen und Sauerstoff unter Einfluss von intensiver Sonnenstrahlung zu Ozon, Peroxyacetylnitrat etc. mit den damit verbundenen oxidierenden Eigenschaften. Von 1990-2012 wurde eine Reduktion der gesamten NMVOC-Emissionen Österreichs um rund die Hälfte auf rund 130.000 t verzeichnet (siehe Abb. 5-6). Die größte Reduktion entfiel auf den Sektor Verkehr (81 %) und ist auf den verstärkten Einsatz von Diesel-KFZ mit Katalysatoren zurückzuführen. Der Sektor Sonstige erfuhr durch den Rückgang von Lösungsmittelanwendungen eine Reduktion von 31 %. Im Sektor Kleinverbraucher sanken die Emissionen durch die Modernisierung des Kesselbestands um 49 %. Bei der Energieversorgung trat neben dem Verkehr die zweithöchste Abnahme der Emissionen von 79 % auf. Die Industrie verzeichnete einen Rückgang der NMVOC-Emissionen von 45 %. Normiert mittels Bruttowertschöpfung ergibt sich für NMVOC-Emissionen ein Benchmark von 750 t NMVOC.

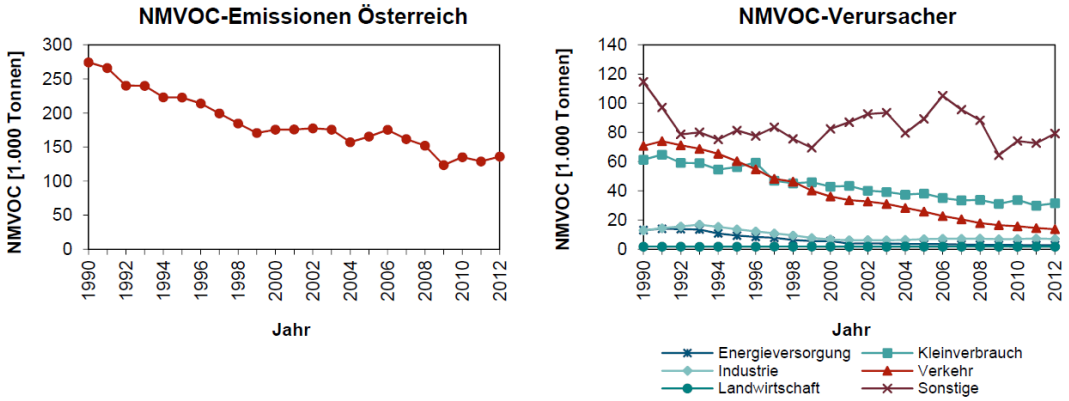


Abb. 5-6: NMVOC-Emissionen Österreichs gesamt und nach Sektoren, 1990–2012 [UBA Bundesländer Luftschadstoffinventur, 2014]

5.4.1.5 Ozonabbau

Beim Indikator Ozonabbau muss vorweggenommen werden, dass Ozon ein Gas ist, welches sowohl in der höheren Atmosphäre (Stratosphäre) als auch in Bodennähe (Troposphäre) auftritt. Beide Arten von Ozon haben, abhängig von der jeweiligen Atmosphärenschicht, eine positive oder negative Wirkung auf das Ökosystem und müssen somit getrennt voneinander in einer Ökobilanz berücksichtigt werden. Das bodennahe Ozon, das sogenannte „schlechte Ozon“ wird in Österreich durch das Ozongesetz geregelt und ist mittels Messstellennetz in Österreich regional gut erfasst Die schädliche Wirkung tritt durch das Einatmen von bodennahen Ozon auf und führt zu einer Vielzahl von Gesundheitsproblemen beim Menschen, aber auch zu Pflanzenschäden. Die Anwesenheit von stratosphärischem Ozon, welches eine Schutzfunktion gegenüber der schädlichen UVB-Strahlung der Sonne einnimmt, ist hingegen ausdrücklich erwünscht. Daraus leitet sich die Wirkungskategorie „Ozone Depletion Potential“ (ODP) ab. Dieser Indikator, der als kg FCKW-Äquivalente/a bzw. kg R-11-Äquivalente/a darstellbar ist, wird in der Studie nicht berücksichtigt, da abgesehen von regional und jahreszeitlich stark variierenden Messwerten von bodennahen Ozonkonzentrationen, die für diese Fragstellung nicht relevant sind, keine Literaturdaten zum stratosphärischen Ozonabbau, die explizit für Österreich Gültigkeit besitzen, vorhanden sind. Der Beitrag zur Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht durch den Einsatz von ozonschädigenden Substanzen (FCKW, HFCKW, …) kann somit weder aus der abfallwirtschaftlichen Tätigkeit heraus (Status Quo), noch aus der Summe der industriellen Tätigkeit beziffert werden. Somit kann für diesen Indikator weder der Status Quo ermittelt, noch ein Benchmark angesetzt werden. Dies bedeutet – wie schon der Mangel an Methoden und Daten zur Beurteilung des Zieles 1 „Schutz der menschlichen Gesundheit“ - eine Benachteiligung einzelner abfallwirtschaftlicher Verfahren. Das seit 1987 ausgesprochene internationale Verbot des Einsatzes von FCKW führte zu einer Regeneration der Ozonschicht über die letzten Jahrzehnte. Neueste Studien bestätigten, dass sich die Ozonschicht wieder leicht erholt und das Ozonloch über den Polen kleiner wird. Dieser Prozess wird sich in Zukunft fortsetzen. Allerdings ist der Bestand an ozonschädigenden Stoffen z.B. in Bauwerken groß, und stellt ein relevantes, zukünftig vor allem durch thermische Verfahren zu entsorgendes Abfallproblem dar. Geräte, insbesondere Kühl- und Gefrieraggregate, die Treib-, Kälte-, bzw. Lösungsmittel auf FCKW-Basis nutzen, sind, seit über 20 Jahren vom Markt verschwunden. FCKW aus Altgeräten, die in Österreich nach strengen gesetzlichen Vorgaben gesammelt und aufbereitet werden, gelangt somit nur mehr in geringen Mengen in die Umwelt.

5.4.1.6 Eutrophierung

Der Indikator Eutrophierung mit der Einheit kg P-Äquivalente drückt den anthropogen bedingten Eintrag von Phosphat in Gewässer, hervorgerufen beispielsweise durch intensive landwirtschaftliche Düngung, aus. Der dadurch hervorgerufene erhöhte Nährstoffeintrag in Ökosystemen und die Überschreitung des günstigen Nahrungsangebots manifestiert sich in einem unkontrollierten Wachstum bestimmter Arten (z.B. Pytoplankton)

und in einer daraus resultierenden Störung des ökologischen Gleichgewichts. Somit ist Phosphor als kritischer Nährstoff für die Gewässerqualität in heimischen Flüssen und Gewässern anzusehen. Insgesamt kann für Österreich ein mittlerer jährlicher Phosphoreintrag in Oberflächengewässer von rund 4.250 Tonnen pro Jahr angenommen werden (Gabriel et al. 2011). Normiert mittels der Bruttowertschöpfung ergibt sich für dadurch ein Benchmark von rund 24 Tonnen pro Jahr.

5.4.2 AWG Ziel 2

Gemäß AWG 2002 §1 Abs. 1 ist die österreichische Abfallwirtschaft im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden.

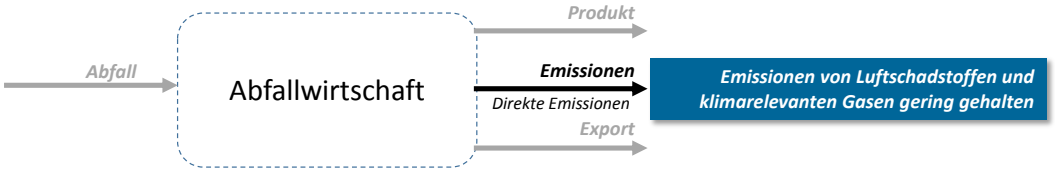


Abb. 5-7: Benchmarks: AWG Ziel 2

Zur Beurteilung von AWG Ziel 2 werden die Luftschadstoffe Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxide (NO_X), sowie klimarelevante Emissionen Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) betrachtet. Im Gegensatz zum Ziel 1 gehen die Emissionen exklusive der Gutschriften in die Bewertung ein.

AWG Ziel 2 wird in zwei Unterziele eingeteilt. Für die Definition der Benchmarks erfolgt analog zu AWG Ziel 1 eine Normalisierung mittels der Bruttowertschöpfung (BWS). Zusätzlich werden Minimalanforderungen definiert, welche sich aus Grenz- und Zielwerten ableiten.

5.4.2.1 Klimarelevante Gase

CO_2, CH_4, N_2O werden als klimawirksame Gase für die Abfallwirtschaft als relevant angesehen und deshalb für die Beurteilung herangezogen. Die Benchmarks werden über die gesamtösterreichischen Emissionen normalisiert über die Bruttowertschöpfung definiert (analog zu AWG Ziel 1).

Die folgende Tabelle zeigt die Werte der Literatur für Gesamt Österreich, welche aus dem Klimaschutzbericht 2014 des Umweltbundesamtes entnommen bzw. errechnet wurden (Anderl et al. 2014a).

Tabelle 5-12: klimarelevante Emissionen in CO_2 Äquivalenten für Gesamt-Österreich

Indikator Klimawandel/klimarelevante Gase	Prozent [%]	Literaturwerte 2012 UBA [Mio. t CO2-Äq.]
Industrie & Gewerbe	30,60%	24,66
Verkehr	26,90%	21,68
Energie	15,45%	12,45
Raumwärme und Kleinverbrauch	11,79%	9,5
Landwirtschaft	9,31%	7,5
Abfallwirtschaft	2,06%	1,66
Fluorierte Gase	2,23%	1,8
Sonstige CO_2, CH_4 und N_2O Emissionen	1,02%	0,82
Gesamt	**100%**	**80,06**

Die Berechnung der einzelnen Emissionsanteile der CO_2-Äquivalente wurde wie in Tabelle 5-13 vorgenommen Als Rest wurden fluorierte Gase bezeichnet, die hier in der Benchmark Erhebung ausgeschlossen wurden (Anderl et al. 2014a).

Tabelle 5-13: Emissionsanteile klimarelevanter Gase

Indikator	Emissionsanteil [%]
CO_2-Äquivalente	100
CO_2	84,6
CH_4	6,6
N_2O	6,5
Rest	2,2

Ausgehend von den Emissionsanteilen (% CO_2-Äquivalente) wurden somit für die Gase CO_2, CH_4 und N_2O die jeweiligen Emissionen für Gesamt-Österreich abgeschätzt. Gemäß Klimaschutzbericht hat CO_2 ein Treibhauspotenzial von 1, Methan eines von 21 und Lachgas eines von 310.

Tabelle 5-14: klimarelevante Gase in Tonnen pro Jahr

Indikator	Gasemissionen [t]
CO_2	68.000.000
CH_4	250.000
N_2O	17.000

Die Benchmarks ergeben sich dann aus den Emissionen multipliziert mit dem Quotienten aus den Bruttowertschöpfungszahlen für die Abfallwirtschaft (1,034 Mrd.) durch die Bruttowertschöpfung Österreichs (183,052 Mrd.) (Faktor: 0,0056). Zusätzlich zu den Benchmarks werden Minimalanforderungen auf Basis von Ziel- und Grenzwerten definiert. Laut Klimaschutzgesetz ist das Ziel für das Jahr 2012, dass nicht mehr als 2,96 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente aus der Abfallwirtschaft emittieren. Für die Berechnung der einzelnen Emissionsanteile (CO_2, CH_4 und N_2O) werden die in Tabelle 5-13 genannten Prozentwerte herangezogen. Zusammenfassend werden für die klimarelevanten Gase folgende Benchmarks und Minimalanforderungen definiert.

Tabelle 5-15: AWG Ziel 2 – klimarelevante Gase: Benchmark

Indikator	Benchmark [t]	Minimalanforderung [t]
CO_2	380.000	2.500.000
CH_4	1.400	9.300
N_2O	94	620

5.4.2.2 Luftschadstoffe

Für die Bewertung der Emissionen an Luftschadstoffe werden SO_2 und NO_X betrachtet. Die Benchmarks werden über die gesamtösterreichischen Emissionen normalisiert über die Bruttowertschöpfung definiert. Aus dem Bericht „Austria's Annual Air Emission Inventory 1990-2012" wurden die Daten für die SO_2 und NO_X Emissionen für ganz Österreich bezogen (Anderl et al. 2014c).

Tabelle 5-16: SO_2 Emissionen für Gesamt - Österreich

Indikator SO_2	Prozent [%]	Literaturwerte 2012 UBA [t SO_2.]
Energie … davon	92,89%	16.060
*Kraftstoffverbrennung	*91,50%	*15.820
*Flüchtige Emissionen aus Treibstoffen	*1,45%	*250
Industrie	7,06%	1.220
Abfallwirtschaft	0,06%	10
Gesamt	**100%**	**17.290**

Tabelle 5-17: NO_x Emissionen für Gesamt - Österreich

Indikator NO_x	Prozent [%]	Literaturwerte 2012 UBA [t NO_x.]
Energie	95,02%	134.070
Industrie	0,96%	1.350
Landwirtschaft Treibstoffen	4,01%	5.660
Abfallwirtschaft	0,01%	10
Gesamt	**100%**	**141.090**

Die Berechnung der Benchmarks erfolgte wieder mittels Normierung anhand der Bruttowertschöpfung. Für die Definition der Minimalanforderungen werden die Zielwerte des Emissionshöchstmengengesetzes-Luft (BGBl. I Nr. 34/2003) herangezogen. Dort sind Zielwerte für ganz Österreich definiert - für SO_2 39.000 Tonnen und für NO_x 103.000 Tonnen. Die Anteile der österreichischen Abfallwirtschaft (abgeschätzt auf Basis von Kapitel 8) an den Gesamtemissionen Österreichs (siehe Tabelle 5-16 und Tabelle 5-17) betragen für SO_2 Emissionen (2,25%) und NO_x (1,48%). Diese anteiligen Emissionen werden auf die österreichweiten Zielwerte des Emissionshöchstmengengesetzes-Luft umgelegt (die Anteile der Abfallwirtschaft wurden auf Basis des Berichts „Austria's Annual Air Emission Inventory 1990-2012" und der Ergebnisse aus abgeschätzt). Zusammenfassend ergeben sich folgende Benchmarks und Minimalforderungen für Luftschadstoffe:

Tabelle 5-18: AWG Ziel 2 – Luftschadstoffe: Benchmark [Tonnen]

Indikator	Benchmark [t]	Minimalanforderung [t]
SO_2	100	880
NO_x	800	1.500

5.4.3 AWG Ziel 3

Gemäß AWG 2002 §1 Abs. 1 ist die österreichische Abfallwirtschaft im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden. Dies kann einerseits durch die Gewinnung von Sekundärressourcen aus Abfällen oder durch die Minimierung des Ressourcenverbrauchs innerhalb der Abfallwirtschaft erreicht werden.

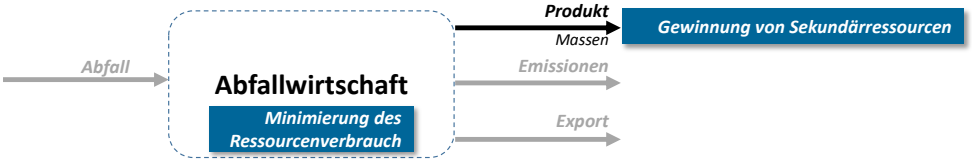


Abb. 5-8: Benchmarks: AWG Ziel 3

5.4.3.1 Rohstoffe

Schonung von Rohstoffen bedeutet einen Vergleich der Primärerzeugung bzw. des Verbrauchs mit den Sekundärprodukten aus der Abfallwirtschaft.

Bei den Rohstoffen werden Daten für Metalle, Kunststoffe, Glas, Papier und Holz zur Erhebung des Status Quo und die folgende Bewertung im Sinne eines Benchmarks herangezogen. Ein Benchmarking wird insofern durchgeführt, indem der rezyklierte Sekundärrohstoff (Status Quo) dem jeweiligen Gesamtabfallaufkommen der einzelnen Fraktion (Benchmark) gegenübergestellt wird. Auf Basis der getrennt gesammelten Fraktionen und der in gemischt gesammelten Abfällen (Siedlungsabfällen, Sperrmüll und Gewerbemüll) enthaltenen Fraktionen wird das Gesamtabfallaufkommen je Fraktion abgeschätzt. Details dazu finden sich in Kapitel 6.

Tabelle 5-19: AWG Ziel 3: Benchmarks - Schonung von Rohstoffen [Tonnen]

Indikator	Benchmark
Metalle	2.200.000
Glas	380.000
Papier	2.400.000
Kunststoff	630.000
Holz	1.100.000

5.4.3.2 Wasser

Als Indikatoren für das AWG Unterziel „Schonung von Wasser" waren ursprünglich die Indikatoren „Trinkwasserverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft (kumuliert)" sowie „Beeinflussung von nutzbarem Trinkwasservorkommen" vorgesehen. Gemeinsam mit den Stakeholdern wurde festgelegt, dass die Bewertung der Ressource Wasser über den Verbrauch von Trinkwasser zwar möglich aber irrelevant ist. Die Kontamination von Trinkwasser wird über den Indikator Eutrophierung (aus AWG Ziel 1) abgedeckt.

5.4.3.3 Energieverbrauch

Das Kriterium Energie wird anhand des Energieverbrauchs beurteilt und die abfallwirtschaftliche Situation mit der gesamt-österreichischen Situation verglichen. Die gesamte über den inländischen Verbrauch zugeführte Energie beträgt gemäß dem statistischen Jahrbuch (Statistik Austria 2012) 1,4 Mio. TJ. Normiert über die Bruttowertschöpfung ergibt dies einen Benchmark von rd. 8.000 TJ.

5.4.3.4 Flächen und Landschaft

Entsprechend der AWG Zieldefinition „die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass Landschaft und Flächen geschont werden", wurden ursprünglich der Flächenverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft und die Beeinflussung von Schutzgebieten (z.B. Natura 2000,…) als Indikatoren zur Beurteilung der Zielerreichung vorgeschlagen. Beide Indikatoren wurden in der anschließenden Relevanzbewertung als weniger relevant eingestuft (vgl. Kap.5.1.2). Daher wurde für dieses Unterziel eine qualitative Form der Betrachtung gewählt. Bei der Beschreibung des Status Quo erfolgt im Kapitel 9.3 eine qualitative Betrachtung des Flächenverbrauchs durch die österreichische Abfallwirtschaft.

5.4.3.5 Schonung von Deponievolumen

Schonung von Deponievolumen kann grundsätzlich nur erreicht werden, wenn die Mengen an abgelagerten Abfällen reduziert werden. Dazu dienen die Vermeidung von Abfällen, die Erhöhung der Recyclingquote bzw. die Nutzung anderer abfallwirtschaftlichen Behandlungsanlagen zur Verringerung der abzulagernden Mengen. In diesem Kapitel erfolgt eine mengenmäßige, keine stoffliche Betrachtung der abgelagerten Abfälle. Die stoffliche Zusammensetzung der Abfälle und deren Auswirkungen auf Mensch und Umwelt werden anhand der Indikatoren anderer AWG Ziele abgedeckt.

Als eine Möglichkeit zur Beurteilung der Schonung von Deponievolumen kann das Mengenverhältnis deponierter Abfälle zum Abfallaufkommen herangezogen werden. Laut dem Statistischen Amt der Europäischen Union (EuroStat) liegt dieses Verhältnis in den EU-15 Staaten für das Jahr 2010 zwischen 81 % in Griechenland und 3 % in den Niederlanden. Zur Beurteilung des Ziels „Schonung des Deponievolumens" kann somit der deponierte Anteil des Abfallaufkommens mit 3 % als Benchmark herangezogen werden (siehe Tabelle 5-20). Auf Basis der EuroStat Daten wurde auch geprüft, dass eine einheitliche Grundgesamtheit der Abfälle für die Definition des Benchmarks verwendet wird. In den Niederlanden werden nur jene Abfälle deponiert, die nicht recycelt oder verbrannt werden können (Scharff 2014). Auch Aschen und Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen werden großteils verwertet.

In Österreich wurden laut Montanhandbuch im Jahr 2012 rund 70 Millionen Tonnen Rohstoffe (ohne Naturgas) gefördert. Das durch diesen Abbau geschaffen freie Volumen von rund 55. Mio. m³ könnte für die Ablagerung von Abfällen heranzogen werden. Da für eine Deponierung der Deponiestandort eine entscheidende Rolle spielt kann dieser Vergleich nur als Minimalforderung betrachtet werden. In Österreich wurden laut Statusbericht 2013 im Jahr 2012 rund 14 Millionen Tonnen deponiert (hauptsächlich Aushubmaterialien). D.h. für 14 Millionen Tonnen Abfälle stehen maximal 55 Millionen m³ Lochvolumen zur Verfügung. In dieser Studie werden rund 2 Millionen Tonnen der insgesamt 14 Millionen Tonnen quantitativ betrachtet. Für den Vergleich des Status Quo wird deshalb das für 2 Millionen Tonnen Abfälle anteilig zur Verfügung stehende Lochvolumen (= rd. 9 Millionen m³) als Minimalanforderung definiert. Zur Beurteilung des Ziels „Schonung des Deponievolumens" kann somit das in Österreich durch bergbauliche Tätigkeiten geschaffene „Lochvolumen" als herangezogen werden (siehe Tabelle 5-20).

Tabelle 5-20: Benchmarks AWG Ziel 3: Schonung Deponievolumen

Status Quo	Benchmark	Vergleichswerte	
abgelagerten Abfälle in m³/Jahr (A_D)	$\frac{A_D}{A_{LV}} < 1$	bergbaulich geförderte Materialien in m³/Jahr (geschaffenes „Lochvolumen")	*Minimalanforderung*
	$\frac{A_D}{A_{D-Min}} < 1$	3 % des Abfallaufkommens in m³/ Jahr	*Benchmark*

Für die Minimalanforderung ergibt sich somit ein Wert von 8 Millionen m³ und für den Benchmark von 0,5 Millionen m³ deponiertes Abfallvolumen.

5.4.4 AWG Ziel 4

Gemäß AWG 2002 §1 Abs. 1 ist die österreichische Abfallwirtschaft im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen.

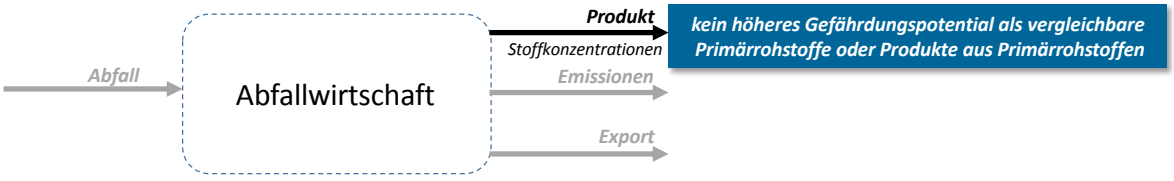


Abb. 5-9: Benchmarks: AWG Ziel 4

Als Indikatoren zur Bewertung der Zielerreichung wurden für das AWG Ziel 4 zunächst die Abfälle/Sekundärrohstoffe Papier, Metall, Glas, mineralische Baustoffe, Kunststoffe, Dünger / Boden (erzeugt aus biogenen Abfällen) und Holz vorgeschlagen. Außerdem wurde vorgeschlagen zur Beurteilung des Gefährdungspotentials humantoxische Stoffe zu verwenden. Bei der anschließenden Relevanzbewertung wurden die Abfälle/Sekundärrohstoffe Papier, Metall, Glas als weniger relevant eingestuft (vgl. Kap.5.1.2). Für die weitere Betrachtung wurden daher folgende Indikatoren zur Bewertung der Zielerreichung ausgewählt:

- Schadstoffe in Altholz zur stofflichen Verwertung,
- Schadstoffe in Recycling-Baustoffen,
- Schadstoffe in Komposten aus biogenen Abfällen, und
- Schadstoffe in Sekundärkunststoffen.

Die Formulierung des AWG „… kein höheres Gefährdungspotential als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen …", stellt bei der Bewertung des Zielerreichung eine Herausforderung dar, denn eine Erläuterung, wie die Beurteilung dieses Gefährdungspotentials erfolgen soll, wird im Gesetz nicht gegeben.

Die Bestimmung des Gefährdungspotentials ist eine komplexe Aufgabe. Neben den Gesamtschadstoffgehalten in Primär- und Sekundärprodukten sind, je nach Produkt, verschiedene weitere Kriterien zu berücksichtigen, wie z.B. Eluat-Werte, Einsatzbereiche, Verwendungszwecke, etc., die ebenfalls einen Einfluss auf das Gefährdungspotential haben. D.h. für die Beurteilung der Zielerreichung sind je Abfall/Sekundärrohstoff spezifische Untersuchungen der Schadstoffgehalte und der Auswirkungen der weiteren Kriterien sowohl für die Sekundärrohstoffe als auch für vergleichbare Primärrohstoffe notwendig.

Für einige Recyclingprodukte hat der Gesetzgeber eben diese notwendigen und umfangreichen Untersuchungen durchgeführt (vgl. z.B. Grech et al. (2002)). Die Ergebnisse sind in spezifische Regelungen eingeflossen, in denen produktspezifische Kriterien für die jeweiligen Recyclingprodukte festgelegt wurden. Die Regelungen haben die Erfüllung des AWG Ziels 4 zum Vorsatz, und Parameter und Grenzwerte wurden dementsprechend festgesetzt. Im Rahmen dieser Studie war eine weitergehende Überprüfung und ggf. Neubewertung dieser Parameter und Grenzwerte nicht möglich, daher wurden die bestehenden Grenzwerte als Benchmark gewählt. D.h. im Rahmen dieser Studie wird davon ausgegangen, dass mit der Einhaltung österreichischer Grenzwerte die AWG Zielerreichung, und damit der Ausschluss eines erhöhten Gefährdungspotentials, gegeben sind. Für die zum Benchmarking ausgewählten Abfälle/Sekundärrohstoffe wurden daher, soweit möglich, Schadstoffkonzentrationen ermittelt und zur Bewertung den österreichischen Grenzwerten aus Verordnungen und/oder Richtlinien gegenübergestellt.

In den folgenden Kapiteln werden für die vier ausgewählten Abfälle/Sekundärrohstoffe das Gefährdungspotential, die dafür relevanten Schadstoffe sowie die jeweils in Österreich bestehenden Regelungen zur Schadstoffkontrolle beim Recycling dargestellt. Anschließend werden die Benchmarks, die für die Bewertung im Rahmen der Studie verwendet werden, definiert.

5.4.4.1 Altholz zur stofflichen Verwertung

Da die stoffliche Verwertung von Altholz zum größten Teil in der Holz verarbeitenden Industrie erfolgt, wo es bei der Produktion von Spanplatten eingesetzt wird, wird der Recyclingpfad „Einsatz von Altholz in der Spanplattenherstellung“ im Folgenden näher betrachtet.

Im Jahr 2012 wurden in Österreich ca. 2,2 Mio. m^3 Spanplatten gefertigt. Der Exportanteil der Platten betrug im Jahr 2011 80 %. Die österreichischen Spanplattenproduzenten verkaufen ihre Produkte vor allem an den Bausektor und die Möbelindustrie (Fachverband Holzindustrie 2011, 2012). Der Holzanteil bei Spanplatten beträgt 90 %. Spanplatten bestehen aus zwei Deckschichten und einer Mittelschicht. Altholzspäne werden eher in der Mittelschicht, die für die Stabilität der Platten sorgt, eingesetzt. Je nach Massenanteil der Mittelschicht, der bei konventionellen Platten zwischen 50 und 70 % liegt, kann der theoretisch mögliche Anteil an Altholz in der Platte variieren (Svehla und Winter 2013). Laut Auskunft der österreichischen Holzwerkstoffindustrie liegt der durchschnittliche Recyclingholzanteil bei derzeit ca. 30 %. Eine Steigerung kann aber durchaus erwartet werden. In Österreich liegt die Inputmenge an Recyclingholz (aufbereitetes Altholz nach den Kriterien der Recyclingholzverordnung) in der Spanplattenindustrie nach Schätzung des Umweltbundesamtes bei ca. 400.000 t/a (Svehla und Winter 2013).

Gefährdungspotential und relevante Schadstoffe

Je nach Herkunft und Verwendung kann Altholz mit einer Vielzahl Schadstoffen belastet sein, die durch Holzschutzbehandlungen, Farbanstriche, Lacke und Beizen sowie durch Beschichtungen ins Holz eingetragen wurden. Durch die Behandlung mit anorganischen Holzschutzmitteln können Kupfer, Chrom und Quecksilber („Kyanisieren“; wird heute nicht mehr angewendet) sowie Fluor, Bor und Arsen ins Altholz gelangen. Durch organische Holzschutzmittel können Fungizide, wie Pentachlorphenol (PCP), Insektizide, wie Lindan, und andere organische Verbindungen ins Altholz gelangen. Durch den Einsatz von Teerölen (Kreosot), z. B. zur Behandlung von Bahnschwellen und Telefonmasten, können polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) und phenolische Verbindungen ins Altholz gelangen. Lacke und Farben können Blei, Chrom, Cadmium, Zink, Barium, Eisen und Titan enthalten. Blei und Chrom spielen auch als Bestandteile von Beschichtungsmitteln eine bedeutende Rolle. Größere Mengen an PVC-Resten im Altholz führen zu höheren Chlorgehalten (Darmann

2004). Untersuchungen an Spanplatten in Deutschland haben ergeben, dass zum Teil erhöhte Werte an Schwermetallen, im speziellen Blei, vorliegen. Beim Gebrauch der Spanplatte stellt das vorhandene Blei keine Gefahr dar, da es in dieser gebunden ist und bei normalem Gebrauch nicht heraus diffundiert. Sehr wohl problematisch ist ein erhöhter Schwermetallgehalt, wenn die Spanplatte als unbelastet eingestuft wird und bei der weiteren Verarbeitung, z.B. in Tischlereibetrieben Verschnitte und andere Reste in Verbrennungsanlagen ohne geeignete Filteranlagen verbrannt werden (Speckels 2001).

Bestehende Regelungen

Für den Einsatz von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie gibt es eine gesetzliche Regelung zur Sicherstellung eines für Mensch und Umwelt schadlosen Recyclings von geeignetem Altholz und zur Vermeidung einer Schadstoffanreicherung im Produktkreislauf: Die österreichische Recyclingholzverordnung von 2012 (RecyclingholzV 2012). Darin werden die folgenden Schadstoffe mit Grenzwerten reguliert: As, Pb, Cd, Cr, Hg, Zn, Cl, F und Summe PAK (EPA).

Außerdem definiert die Recyclingholzverordnung, welche Altholzarten verwendet werden dürfen (Positivliste) und für welche Althölzer ein Recyclingverbot besteht, da sie mit gefährlichen Stoffen behandelt oder verunreinigt sind (Negativliste). Dementsprechend dürfen beispielsweise Altholz, das mit PVC-Beschichtungen versehen ist, ohne vorherige Entfernung der Beschichtung sowie imprägnierte Hölzer nicht einem Recycling zugeführt werden. Für besonders hochwertiges Recyclingholz, das vergleichbar mit Frischholz ist, ist die Deklaration des Abfallendes möglich, wodurch dieses Holz nicht mehr dem Abfallrecht unterliegt. Bei der Betrachtung der Grenzwerte der Recyclingholzverordnung ist zu beachten, dass diese Grenzwerte für einen 100-prozentigen Einsatz von Altholz im Produkt gelten. Für geringere Altholzanteile im Produkt sind höhere Schadstoffwerte entsprechend dem in der Verordnung definierten Recyclingfaktor zulässig. Der tatsächliche Recyclingholzanteil liegt in Österreich derzeit noch unter 50 %, eine stetige Steigerung wird aber prognostiziert.

Da bei der Verabschiedung der Verordnung bekannt war, dass die Einhaltung der festgelegten Grenzwerte für Blei, Chlor und PAK nicht sicher ist, enthält die Verordnung eine Revisionsklausel, die eine Überprüfung und eventuelle Anpassung der Werte vorsieht. Bis dahin müssen diese Grenzwerte nicht eingehalten werden (vgl.: „Die Grenzwerte für Pb, Cl und Summe PAK (EPA) sind unter Berücksichtigung der Revisionsklausel gemäß Kapitel 2.10 ab 15. Mai 2015 einzuhalten.“). Da die Grenzwerte für Chlor und PAK nach Angaben des österreichischen Umweltministeriums und der Holzindustrie derzeit nicht immer eingehalten werden, wurde die Geltungsdauer der Revisionsklausel verlängert. Eine Novelle der Verordnung ist in Vorbereitung.

Definition der Benchmarks

Zur Definition der Benchmarks wurden die Grenzwerte der Recyclingholzverordnung herangezogen. Das Ziel der Verordnung ist laut § 1 Abs. 2 „die Sicherstellung, dass mit dem Einsatz des Altholzes kein höheres Umweltrisiko als bei einem vergleichbaren Primärrohstoff oder einem vergleichbaren Produkt aus Primärrohstoffen verbunden ist“. Daher gilt das Ziel 4 des AWG bei Einhaltung der Grenzwerte der Verordnung als erreicht. Da der durchschnittliche Recyclingholz-Anteil in Spanplatten laut Auskunft der Holzindustrie und des österreichischen Umweltministerium ca. 30 % Altholz beträgt, werden die Grenzwerte der Recyclingholzverordnung für einen 30 %-igen Recyclingholzeinsatz als Minimalanforderung und die Grenzwerte der Recyclingholzverordnung für einen 100 %-igen Recyclingholzeinsatz als Benchmark herangezogen.

Tabelle 5-21: Benchmarks AWG Ziel 4: Benchmarks und Minimalanforderungen für Altholz

	As	Cd	Cl	Cr	F	Hg	Pb	Zn	Σ PAK
	mg/kg TM								
Benchmark: RecyclingholzV 100 % R- Holzanteil	1,2	0,8	250	10	15	0,05	10	140	2
Minimalanforderung: RecyclingholzV 30 % R-Holzanteil	3,72	2,48	775	31	46,5	0,155	31	434	6,2

5.4.4.2 Recycling-Baustoffe

Bei der Erzeugung von mineralischen Baustoffen wird eine große Vielfalt von Abfällen und Nebenprodukten eingesetzt werden. Eine große Gruppe stellen die Bau- und Abbruchabfälle dar. Aber auch Schlacken, Krätzen, Aschen und Stäube aus Verbrennungs- und Schmelzprozessen werden in großem Umfang als Sekundärrohstoffe eingesetzt, vor allem bei der Zement- und Betonherstellung. Die folgende Betrachtung beschränkt sich auf Recycling-Baustoffe, die aus mineralischen Bau- und Abbruchabfällen hergestellt wurden.

Bau- und Abbruchabfälle sind Materialien, die bei Bau-, Umbau- und Abbruchtätigkeiten anfallen. Der größte Teil stammt aus dem Abbruch, dem Umbau und der Sanierung von Bauwerken. Nur etwa 10 % stammen direkt aus dem Neubaugeschehen (BMLFUW 2014a). Bau- und Abbruchabfälle stammen aus dem Hochbau, dem Tiefbau, dem Straßenbau und den Bautätigkeiten an Gleisanlagen.

In Österreich fielen 2012 ca. 6,5 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfälle an. Davon wurden laut Statusbericht rund 5,8 Mio. Tonnen aufbereitet (89 %) (BMLFUW 2014a). Mehr als 90 % der aufbereiteten Abfälle werden ausschließlich einem Brech- und Sieb- sowie Metallabscheideprozess unterzogen. Daher muss der Eintrag von Verunreinigungen in die Recycling-Produkte unbedingt vorher durch selektiven Rückbau, Schadstoffentfrachtung und getrennte Sammlung auf der Baustelle minimiert werden.

Gefährdungspotential und relevante Schadstoffe

Baurestmassen können mit einer Vielzahl von anorganischen und organischen Schadstoffen belastet sein. Um zu ermitteln welche Schadstoffe als Leitparameter zur Beurteilung der Recycling-Baustoff-Qualität geeignet sind, hat das Umweltbundesamt 2001 und 2002 umfangreiche Analysen an Recycling-Baustoffen und Primärbaustoffen durchgeführt (vgl. (Grech et al. 2002)). Dazu wurden zum einen die Regelungen in anderen europäischen Ländern/Regionen analysiert (Deutschland, Schweiz, Niederlande, Südtirol), zum anderen wurden eigene Untersuchungen durchgeführt. In einem ersten Durchgang wurden sowohl die Gesamtgehalte als auch die Eluate von 26 Metallen, 16 PAKs, 6 PCBs, 5 BTEX sowie AOX bzw. EOX, TOC, Σ KW; Lindan (Gesamtgehalt), sowie Phenolindex und MBAS als Eluate untersucht. In einem zweiten Analysendurchgang wurde der Parameterumfang reduziert und als Ergebnis beider Durchgänge ergänzt durch die Vergleiche mit der Literatur bzw. den ausländischen Regelungen wurden die folgenden Schadstoffe als relevant für die Einschätzung der Recycling-Baustoff-Qualität identifiziert: Chrom, Kupfer, Ammonium, Nitrit, Sulfat und die Σ KW als Eluate und die Σ PAK(EPA) als Gesamtgehalt.

Bestehende Regelungen

Die Richtlinie für Recycling-Baustoffe (BRV 2009) des österreichischen Baustoff-Recycling Verbandes (BRV) regelt für seine derzeit 74 Mitglieder die Verwertung von mineralischen Abfällen. Der BRV ist eine freiwillige Vereinigung von Recyclingunternehmen und stellt die Interessensvertretung der Baustoff-Recycling-Wirtschaft dar. Die Qualitätsanforderungen der BRV-Richtlinie für Recycling-Baustoffe beruhen auf den Ergebnissen der oben zitierten Recherchen und Untersuchungen des Umweltbundesamtes (Grech et al. 2002, BMLFUW 2006). Die zulässigen Einsatzbereiche für die Recycling-Baustoffe (hydrogeologisch sensibles oder weniger sensibles Gebiet) sind nach Qualitätsklassen (Umweltverträglichkeit) (A+, A, B, C) in Abhängigkeit von der Anwendungsform geregelt (ungebunden; ungebunden ohne Deckschicht; gebunden; als Zuschlagstoff). Die Qualitätsklassen werden mittels Eluat- und Gesamtgehalt-Grenzwerten definiert. Als Leitparameter sind Eluat-Grenzwerte für Cr, Cu, Ammonium-N, Nitrit-N, Sulfat und KW-Index festgelegt. Außerdem ist die Summe PAK (EPA) als Gesamtgehalt-Grenzwert reglementiert. Liegen aufgrund von Kenntnissen über die Herkunft der Baurestmassen Hinweise auf eine mögliche Kontamination während der Nutzung oder auf erhöhte Schadstoffgehalte (z.B. erhöhte Blei-, Chrom-, Kupfer- und Nickelgehalte bei Gleisschotter) vor oder besteht beispielsweise aufgrund einer visuellen Eingangskontrolle der Verdacht auf eine Kontamination, so sind zusätzlich jene Parameter der allg. Qualitätscharakteristika laut BAWP 2006 zu überprüfen, bei denen erhöhte Gehalte vermutet werden. Als allg. Qualitätscharakteristika sind folgende Stoffe reglementiert: Die Gesamtgehalte von As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg und Zn, sowie die Eluatgehalte von As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo,

Ni, Pb, Sb, Se, Zn, Chlorid, Fluorid, Sulfat, Phenolindex, DOC und TDS (vollständig gelöste Feststoffe) (Grech et al. 2002, BMLFUW 2006)

Als rechtsverbindliche Verordnung wurde 2015 die österreichische Recycling-Baustoffverordnung verabschiedet, die 2016 in Kraft treten wird. Sie regelt die Herstellung und das Inverkehrbringen von Recycling-Baustoffen aus Abfällen. Ziele der Verordnung sind die Sicherstellung der Qualität von Recycling-Baustoffen und die Förderung des Recyclings von Bau- und Abbruchabfällen durch die Erhöhung der Konkurrenzfähigkeit von Recycling-Baustoffe gegenüber Primärrohstoffen in Österreich. Die Maßnahmen zur Zielerreichung umfassen die verpflichtende Entfernung von Schad- und Störstoffen beim Abbruch von Bauwerken, die Definition von Qualitätsklassen und Anwendungsbereichen, die Qualitätssicherung, die Kennzeichnung für rezyklierte Materialien sowie das vorzeitige Ende der Abfalleigenschaft für hochqualitative Recycling-Baustoffe (Produktstatus). In der Verordnung ist geregelt welche Abfälle verwendet werden dürfen (Positivliste): Bauschutt (keine Baustellenabfälle); Straßenaufbruch; Bodenaushub; Betonabbruch; Gleisschotter; Bitumen, Asphalt; Straßenkehricht (ausschließlich Einkehrsplitt); Elektroofenschlacke (ausgenommen Edelstahlschlacke); Hochofenschlacke (einschließlich Hochofenstückschlacke); Konverterschlacke. Außerdem wird eine Liste von Stoffen, die weitestgehend zu vermeiden sind, benannt (Negativliste): Asbest, künstliche Mineralfasern, (H)FCKW (z.B. extrudiertes Polystyrol (XPS) und Polyurethan (PU)), PAK (z.B. Teer), PCB, Phenole, Gips, magnesit- und zementgebundene Holzwolledämmbauplatten, zementgebundener Holzspanbeton, Brandschutzplatten und Kunstmarmor.

Die Recycling-Baustoffe werden laut Verordnung in folgende Qualitätsklassen (Umweltverträglichkeit) eingeteilt: U-A, U-B, H-B, B-B, B-C, B-D, D (Stahlwerksschlacke), U-E (Gleisaushubmaterial) (U = ungebunden; H = hydraulische Bindung; B = bituminöse Bindung). Die Qualitätsklassen werden mittels Eluat- und Gesamtgehalt-Grenzwerten definiert. Es sind Eluat-Grenzwerte für $Chrom_{gesamt}$, Kupfer, Nickel, Molybdän, Vanadium, Ammonium-N, Chlorid, Fluorid, Nitrat-N, Nitrit-N, Sulfat und TOC, sowie Gesamtgehalt-Grenzwerte für Blei, $Chrom_{gesamt}$, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink, KW-Index und Σ16PAK (EPA) festgelegt.

Definition der Benchmarks

Zur Definition der Benchmarks wurden die Grenzwerte der BRV-Richtlinie, die auch als Grenzwerte für Recycling-Baustoffe im BAWP 2011 enthalten sind, und die Grenzwerte der Recycling-Baustoffverordnung herangezogen. Im Rahmen der Studie erfolgt hier die Einschränkung auf Gesamtgehalte. Die ebenfalls für die Beurteilung der Baustoffqualität wichtigen Eluatgehalte werden im Weiteren nicht berücksichtigt. Das Ziel der Recycling-Baustoffverordnung ist laut § 1 *„die Förderung der Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz, insbesondere die Sicherstellung einer hohen Qualität von Recycling-Baustoffen, um das Recycling von Bau- und Abbruchabfällen im Sinne unionsrechtlicher Zielvorgaben zu fördern*“. Daher gilt das Ziel 4 des AWG bei Einhaltung der Grenzwerte der besten Qualitätsklasse der Verordnung als erreicht (Minimalanforderung).

Da die Grenzwerte des BAWP 2011 bzw. der BRV-Richtlinie strenger sind als die Grenzwerte der Verordnung, werden diese Grenzwerte (Qualitätsklasse A+) als Benchmark herangezogen.

Tabelle 5-22: Benchmarks AWG Ziel 4: Benchmarks und Minimalanforderungen für Recycling-Baustoffe

	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	KW-Index	Σ PAK
	mg/kg TM									
Benchmark: BRV-Richtlinie bzw. BAWP 2011	20	30	0,5	40	30	30	0,2	100	50*	4
Minimalanforderung: Recycling-BaustoffV	40*	100	1,0*	90	90	60	0,7	450	100	12

** Diese Werte sind in der BRV-Richtlinie bzw. in der Recycling-Baustoffverordnung nicht festgelegt/reglementiert und wurden zum Benchmarking (bzw. zur Berechnung der Nutzenpunkte) grob abgeschätzt unter der Annahme, dass die Grenzwerte für die Minimalanforderungen ungefähr doppelt so hoch sind wie die Grenzwerte der Benchmarks.*

5.4.4.3 Kompost aus biogenen Abfällen

Biogene Abfälle werden in Kompostierungs- und Biogasanlagen in Kompost bzw. Gärrückstände umgewandelt, der als Dünger und Bodenverbesserer eingesetzt wird. In Österreich werden jährlich über 1 Mio. t biogene Abfälle in Kompostierungsanlagen und über 500.000 t in Biogasanlagen behandelt (ARGE). Dabei werden ca. 425.000 t Kompost erzeugt (Quelle: eigene Berechnungen).

Im Hinblick auf ein sicheres Recycling stehen bei der stofflichen Verwertung der biogenen Abfälle der Schutz und die nachhaltige Nutzung des Bodens (für die landwirtschaftliche Produktion) im Vordergrund. Der Eintrag von Schadstoffen in den Boden, die Auswaschung von Schadstoffen in das Grundwasser und die Anreichung von Schadstoffen in (Ernte-)Pflanzen müssen verhindert werden.

Bei der Bewertung von Schadstoffeinträgen in den Boden durch Kompost müssen auch andere Eintragspfade für Schadstoffe (Mineraldünger, natürliche und anthropogene Einträge über die Luft) sowie unterschiedliche geogen bedingte Schwermetallbelastungen betrachtet werden. Auch die Verfügbarkeit der Schwermetalle (Löslichkeit und Transfer in die Pflanze), die vom Bodentyp und den klimatischen Bedingungen abhängig ist, muss berücksichtigt werden, denn sie ist letztlich relevant für einen Übergang in die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und damit in den Nahrungsmittelkreislauf.

Gefährdungspotential und relevante Schadstoffe

Komposte aus biogenen Abfällen können mit Schwermetallen belastet sein. Eine höhere Belastung mit organischen Schadstoffen (AOX, Mineralöl-KW, PAK (16), PCB, Dioxin), ist nur bei Restmüllkomposten zu erwarten. Bei Komposten aus biogenen Abfällen wird davon ausgegangen, dass keine organischen Schadstoffe enthalten sind. Aber auch Störstoffe, wie Kunststoffe, Metalle und Glas, die nicht auf die Böden und damit in die Umwelt gelangen sollten, können in Komposten enthalten sein. Die Störstoffe bergen aber im Allgemeinen kein human- oder ökotoxisches Gefährdungspotential. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die Komposte aus hygienischer Sicht unbedenklich sind.

Bestehende Regelungen

Die österreichische Kompostverordnung (Kompost-VO 2001) legt je nach Kompostqualität unterschiedliche Grenzwerte fest. Basis für die Festlegung der Grenzwerte ist der Bodenschutz. Weiterhin sind je nach Einsatzgebiet unterschiedliche maximale Aufbringungsmengen spezifiziert. Komposte, die nach den Vorgaben der österreichischen KompostVO hergestellt werden, und insbesondere die entsprechenden Grenzwerte einhalten, erlangen Produktstatus und unterliegen nicht mehr der Abfallgesetzgebung. Damit verlassen sie quasi den Einflussbereich des Abfallwirtschaftsgesetzes und können in Österreich frei gehandelt werden. Im Hinblick auf einen Handel mit anderen Staaten gilt jedoch in der Regel der Produktstatus nur, wenn im Zielland keine höheren Anforderungen gesetzlich vorgegeben sind als in Österreich.

Definition der Benchmarks

Zur Definition der Benchmarks wurden die Grenzwerte der Kompostverordnung herangezogen, die Grenzwerte der Qualitätsklasse A als Minimalanforderung und die Grenzwerte der Qualitätsklasse A+ als Benchmark.

Tabelle 5-23: Benchmarks AWG Ziel 4: Benchmarks und Minimalanforderungen für Komposte

	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Zn
	mg/kg TM						
Benchmark: KompostV, Qualitätsklasse A+	0,7	70	0,4	25	45	70	200
Minimalanforderung: KompostV, Qualitätsklasse A	1	70	0,7	60	120	150	500

5.4.4.4 Kunststoffabfälle / Sekundärkunststoffe

Die Gruppe der Kunststoffabfälle ist sehr heterogen, d.h. es gibt eine große Vielfalt an Abfällen/Sekundärprodukten und auch an (potentiell) enthaltenen Schadstoffen. Studien belegen die positiven Effekte der stofflichen Verwertung einheitlicher Abfallkunststoffe unter bestimmten Bedingungen, aber die Qualität der Rezyklate muss sichergestellt sein. Deshalb sollte genau betrachtet werden, welche Abfälle ohne Gefährdung recycelt werden können. Wenn Abfälle Schadstoffe enthalten, sollte geklärt werden, ob eine sichere Abtrennung der Schadstoffe möglich ist.

Interne Kunststoffabfälle, die beim Produktionsprozess von der Qualitätssicherung identifiziert und aussortiert werden und Verschnitte / Produktionsreste, werden häufig direkt in den Produktionsprozess zurückgeführt und meist nicht als Abfälle registriert. (IPTS, 2013)

Bei externen „pre-consumer“ Kunststoffabfällen (auch „post-industrial“), die beim Herstellungsprozess anfallen und die Produktionsstätte verlassen, handelt es sich überwiegend um homogene Abfälle, die als Nebenprodukte weiter verarbeitet oder recycelt werden. Vor dem Recycling wird meist keine weitere Behandlung bzw. ggf. eine Zerkleinerung benötigt. (IPTS, 2013)

Externe „post-consumer“ Kunststoffabfälle entstehen nach der Nutzungsphase von Plastikprodukten. Die Hauptquellen für „post-consumer“ Kunststoffabfälle sind Rest- und Sperrmüll (sowohl von Haushalten als auch von Gewerbe und Industrie), inklusive getrennt erfasste Altstoffe, wie z.B. Verpackungen, Bau- und Abbruchabfälle, Altautos und Elektroaltgeräte (EAG) (IPTS, 2013). Die im Rest- und Sperrmüll und in den Baustellenabfällen enthaltenen Kunststoffabfälle werden in Österreich thermisch verwertet.

Getrennt gesammelte Leichtverpackungen aus der Haushaltsammlung werden in Österreich zu ca. 50 % stofflich und zu 50 % thermisch verwertet (vgl. Kap. 6.6.5.5.3). Kunststoffverpackungen aus Gewerbe und Industrie werden überwiegend direkt am Anfallsort sortenrein, d. h. getrennt nach den Kunststoffarten, erfasst und stofflich verwertet zu Verpackungen (Folien und Behältnisse), zu Installationsmaterialien, zu Bauelementen, zu Gartenbauartikeln, zu Bauteilen für die Elektro- und Automobilindustrie etc.).

Die Kunststoffanteile aus Altautos und Elektro-Großgeräten finden sich in den Shredder-Rückständen. Shredder-Rückstände werden großteils in Post-Shredder-Anlagen in Eisen- und NE-Fraktionen, Kunststofffraktionen sowie in heizwertreiche und heizwertarme Restfraktionen aufgetrennt. Heizwertreiche Restfraktionen werden thermisch behandelt (in Abfallverbrennungsanlagen und Mitverbrennungsanlagen, z.B. in der Zementindustrie). Die Kunststofffraktionen werden als Ersatzbrennstoff eingesetzt (z.B. in der Zementindustrie oder im Hochofen eines Stahlwerkes) oder werkstofflich verwertet.

Für Bildschirmgeräte und Elektrokleingeräte existieren Verwertungsmethoden, die mittels manueller Vorzerlegung und mechanischer Aufbereitung eine weitgehende Rückführung der enthaltenen Sekundärrohstoffe wie Metalle, Glas und Kunststoffe gewährleisten. Dabei kann es allerdings bei der Aufbereitung von Kunststoffen mit Flammschutzmitteln zur Freisetzung von halogenierten Verbindungen kommen.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Abfallmengen und fasst die Verwertungswege zusammen.

Tabelle 5-24: Zusammenfassung der Kunststoffabfallmengen und Verwertungswege in Österreich (eigene Abschätzung / Berechnung)

Kunststoffabfälle in Österreich	Abfallmenge 2012 [t]	Stoffliche Verwertung?
Im Restmüll enthaltene Kunststoffe	220.000	Nein, energetisch
Getrennt gesammelten Leichtverpackungen aus Haushalten	120.000	Teilweise (ca. 50 %)
Kunststoffverpackungen aus Gewerbe und Industrie	40.000	Überwiegend
Kunststoffabfälle aus der EAG-Aufbereitung	20.000	Teilweise
Weitere Kunststoffabfälle, u.a. Produktionsabfälle	150.000	Teilweise
Gesamt	550.000	
Ohne Restmüllanteil	330.000	

Bauer ermittelte als Abfallmenge von “post-consumer” Kunststoffabfällen in Österreich für 2009 insgesamt 550.000 t, und zwar in den Bereichen Produktionsabfälle, Verpackungsabfälle, Shredder-Rückstände, haushaltsähnliche Gewerbeabfälle und Restmüll. (Bauer, 2013).

Alle thermoplastischen Kunststoffe, wie z.B. PP, PE, PET, PVC, PA, PC, PS, können werkstofflich (durch Einschmelzen) verwertet werden (mit einem Materialverlust unter 10 %), wenn ausreichende Mengen und Qualitäten vorhanden sind. Ausreichende Qualität heißt, dass das Material relativ sauber, nach Plastikart sortiert und mit weitgehend einheitlichen Additiven vorliegt (Quelle: COWI, 2013).

Gefährdungspotential und relevante Schadstoffe

Kunststoffe bestehen überwiegend aus Polymeren. Additive werden zugesetzt um die chemischen, elektrischen und mechanischen Eigenschaften, wie Formbarkeit, Härte, Elastizität, Farbe, Bruchfestigkeit, Temperatur-, Wärmeformbeständigkeit und chemische Beständigkeit an die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendung anzupassen. Sie können jedoch auch gesundheits- und umweltgefährlich sein. Wichtige Additive in diesem Zusammenhang sind (COWI, 2013):

- Weichmacher
- Stabilisatoren
- Farbmittel
- Flammschutzmittel
- Blähmittel/Schaumbildner
- Biozide

So werden z.B. Flammschutzmittel dann zugesetzt, wenn gesetzliche Regelungen bestimmte Feuerschutzstandards fordern. Daher finden sich Flammschutzmittel typischerweise in Kunststoffen, die in Zügen, Schiffen, Flugzeugen, Autos, Bussen und Gebäuden eingesetzt werden, außerdem in Möbeln, Teppichen, Kabeln, Fernsehgeräten und in Bereichen, wo die Kunststoffe hohen Temperaturen ausgesetzt sind, wie z.B. Haartrockner, sowie Elektro- und Elektronikgeräte. (COWI, 2013)

Aber auch Rückstände von Monomeren und deren Abbauprodukte können als Schadstoffe in Kunststoffen enthalten sein, wie z.B. Bisphenol A in Polycarbonat, Quecksilber in Polyurethan und aromatische Amine in Polyamid (COWI, 2013).

Der Einsatz von Additiven in Kunstoffen ist durch verschiedene Regelungen, wie z.B. REACH, reglementiert. Durch das Recycling von Kunststoffabfällen können jedoch gefährliche Substanzen, die nur für bestimmte Einsatzbereiche zulässig sind, auch in Einsatzbereiche gelangen, für die sie ursprünglich nicht vorgesehen waren. Ein weiteres generelles Problem beim Recycling von Kunststoffabfällen ist, dass rezyklierte Kunststoffe Additive oder Schaumbildner enthalten können, die inzwischen verboten worden sind, deren Einsatz zu der Zeit, als die Primärkunststoffe produziert wurden, aber noch legal war. Ein Beispiel hierfür sind Polyurethanschäume: diese wurden früher mit FCKWs geschäumt. Inzwischen werden als Schaumbildner Pentan oder CO_2 eingesetzt, aber in die Abfälle gelangen auch noch die alten PU-Schäume. Andere Beispiele sind die Verbote von gewissen bromierten Flammschutzmitteln und Pigmenten und Stabilisatoren, die auf Schwermetallen, wie Blei und Cadmium basieren (COWI, 2013).

Tabelle 5-25: Schadstoffe in Kunststoffen (Quelle: COWI, 2013)

Polymer	Potentiell enthaltene Schadstoffe (Additive und andere Substanzen)
LDPE, LLDPE	Farbmittel, Flammschutzmittel. Flammschutzmittel werden nur in wenigen Anwendungen zugesetzt, z.B. in Kabelisolierungen wegen Feuerschutzbestimmungen.
HDPE	Farbmittel, Flammschutzmittel (in Kabelisolierungen und Elektrogeräten in hohen Temperaturbereichen); andere Substanzen: Chromoxid wird als Katalysator verwendet.
PP	Antioxidantien, Farbmittel, Flammschutzmittel (in Kabelisolierungen und Elektrogeräten in hohen Temperaturbereichen)
PS und HIPS	Farbmittel; andere Substanzen: Rückstände des Monomers Styrol
EPS und XPS	Flammschutzmittel für einige Anwendungsbereiche, z.B. Gebäudeisolierungen. Farbmittel sind generell möglich, aber unüblich. Andere Substanzen: Rückstände des Monomers Styrol
ABS	Farbmittel, Flammschutzmittel, z.B. in Elektro- und Elektronikgeräten. Andere Substanzen: Rückstände des Monomers Styrol, UV-Stabilisatoren

Polymer	Potentiell enthaltene Schadstoffe (Additive und andere Substanzen)
PVC	Farbmittel, Weichmacher, Stabilisatoren, Flammschutzmittel (möglich, aber nicht üblich, da PVC selbst flammhemmende Eigenschaften besitzt)
PET	Farbmittel
PC	Farbmittel; andere Substanzen: Rückstände von Bisphenol A (Polycarbonat Monomer)
PA	Farbmittel; andere Substanzen: Aromatische Amine können als Abbauprodukte enthalten sein, wenn zur Herstellung des PA aromatische Diisocyanate oder Azofarbstoffe benutzt wurden.

Der Bericht “End-of-Waste Criteria for Waste Plastic for Conversion” des IPTS (2013) benennt folgende Additive in Kunststoffen, die beim Recycling ein Risiko für Mensch und Umwelt darstellen:

- Perfluoroctansulfonat (PFOS) und seine Derivate
- Bisphenol A
- Einige niedermolekulare Phthalate: DEHP, BBP, DBP, DIBP, aber nicht höhermolekulare Phthalate wie DINP und DIDP
- Einige halogenierte Flammschutzmittel, wie polybromierte Biphenyle (PBB), polybromierte Diphenylether (PBDE), bromierte Cyclododecane (wie HBCDD) und kurzkettige Chlorparaffine (SCCP), und auch einige nicht halogenierte Flammschutzmittel, wie Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)
- Schwermetalle (eingesetzt als Farbstoffe und Stabilisatoren): Cadmium, Chrom VI, Blei, zinnorganische Verbindungen
- Acrylamid

Bestehende Regelungen

a) Europäische Verordnungen und Richtlinien

Zur Beschränkung von gefährlichen Stoffen gibt es verschiedene europäische Regelungen, die u.a. auch gefährliche Stoffe in Kunststoffen oder Kunststoffabfällen reglementieren:

- Chemikalienverordnung REACH (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006) und die CLP-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008) über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen
- POP-Verordnung (EG) Nr. 850/2004 über persistente organische Schadstoffe
- Richtlinie 2011/65/EU (RoHS 2) und 2002/95/EG (RoHS 1) zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten
- Richtlinie 2005/90/EG über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend - k/e/f - eingestufte Stoffe)
- Richtlinie 2005/84/EG über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Phthalate in Spielzeug und Babyartikeln)
- Richtlinie 93/42/EWG über Medizinprodukte
- Richtlinie 2009/48/EG über die Sicherheit von Spielzeug
- (Verpackungs-) Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle
- Richtlinie 2002/72/EG: Verbindliche Positivliste für Kunststoffe im Lebensmittelkontakt
- Richtlinie 2012/19/EU sog. WEEE) über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Vorgänger: Richtlinie 2002/96/EG)
- Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge

b) Europäische Normen

Zur Charakterisierung und Qualitätssicherung von Kunststoff-Rezyklaten gibt es europäische Normen.

Tabelle 5-26: Normen zu Kunststoff-Rezyklaten

Kunststoff	ÖNORM EN	Titel
PS	15342	Charakterisierung von Polystyrol (PS)-Rezyklaten
	15343	Rückverfolgbarkeit bei der Kunststoffverwertung und Bewertung der Konformität und des Rezyklatgehalts
PE	15344	Charakterisierung von Polyethylen (PE)-Rezyklaten
PP	15345	Charakterisierung von Polypropylen (PP)-Rezyklaten
PVC	15346	Charakterisierung von Polyvinylchlorid (PVC)-Rezyklaten
	15347	Charakterisierung von Kunststoffabfällen
PET	15348	Charakterisierung von Polyethylenterephthalat (PET)-Rezyklaten

Die Normen definieren Materialeigenschaften der Rezyklate. Es gibt geforderte Eigenschaften, die notwendig sind, um die Rezyklate im Allgemeinen zu definieren, und es gibt freigestellte Eigenschaften, die notwendig sind, um Rezyklate nach Kunden-Spezifikationen und Anwendungen festzulegen. Je nach Kunststoffart variieren die geforderten und freigestellten Eigenschaften, es handelt sich dabei z.B. um Farbe, Schlagfestigkeit, Schmelze-Massefließrate, Teilchengröße, Form, Vicat-Erweichungsparameter, Aschegehalt, Schüttdichte, Dichte, Filtrationsgrad, Fremdstoffgehalt, u.a.. Bei PS z.B. sollten die ursprüngliche Verwendung und das Vorhandensein modifizierender Zusätze, wie z.B. feuerhemmende Mittel, Füllstoffe und Bewehrungen, Hitze- und Lichtstabilisatoren usw., vom Lieferanten angegeben werden (freigestellte Eigenschaft).

Zur Qualitätssicherung fordert die Norm, dass der Lieferant Aufzeichnungen über durchgeführte Qualitätskontrollen machen muss, um das Vertrauen der Käufer in die Qualität des Produktes zu sichern, z.B. durch ein zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem nach EN ISO 9001. Wenn Angaben zum Rezyklatgehalt oder zur Vorgeschichte des Materials gefordert sind, sind dokumentarische Nachweise auszustellen, da es laut Norm gegenwärtig kein Analyseverfahren gibt, mit dessen Hilfe es möglich ist, derartige Informationen zu erhalten. Der Schwerpunkt der Normen liegt auf der Sicherstellung eines definierten Materials, das vom Käufer ohne Probleme zur Produktion eingesetzt werden kann, und nicht auf der Kontrolle möglicher Schadstoffeinträge. Grenzwerte für gefährliche Stoffe sind in den Normen nicht enthalten.

c) Vorschlag von Abfallende-Kriterien der EU für Kunststoffabfälle

Von der EU wurde 2013 ein Vorschlag zum Erreichen des Abfallendes für Kunststoffabfälle veröffentlicht. Darin werden folgende Kriterien genannt (IPTS, 2013):

- Negativliste: Gefährliche Abfälle, Bioabfälle, medizinische Abfälle und benutze Hygieneprodukte dürfen nicht als Input verwendet werden.
- Zur Charakterisierung der Kunststoff-Rezyklate (PS, PE, PP, PVC und PET) sollen die EN Normen 15342-15348 verwendet werden.
- Nicht Plastikanteil ≤ 2 % der luftgetrockneten Masse

D.h. Schadstoffkontrollen durch Analysen sind auch hier nicht vorgesehen. Grenzwerte für Schadstoffe sind in dem Vorschlag nicht enthalten. Zur Qualitätssicherung wird wie bei den Normen auf Aufzeichnungen und Angaben der Lieferanten gesetzt.

Definition der Benchmarks

Die Qualitätssicherung im Bereich Kunststoff-Rezyklate erfolgt vor allem durch die Dokumentation von Herkunft und Art der Abfälle durch Abfall- und Recyclingunternehmen. Eine sichere Verwertung von Kunststoffabfällen wird vor allem durch eine möglichst sortenreine Sortierung gewährleistet. Optimaler Weise erfolgt der Wiedereinsatz in gleichen/sehr ähnlichen Anwendungsbereichen, so dass die in den Rezyklaten bereits enthaltenen Additive wieder in die gleichen Einsatzbereiche gelangen und dort ihre Funktion wieder von Nutzen ist und die Additive nicht als bestenfalls harmlose Füllstoffe, schlechtesten falls als gefährliche Schadstoffe in den Recyclingprodukten enthalten sind.

Es gibt derzeit keine Regelungen, die die Einhaltung von Grenzwerten für ausgewählte Schadstoffe in Kunststoff-Rezyklaten fordern. Somit gibt es keine Grenzwerte, die als Benchmarks angesetzt werden könnten und auch

Analysedaten von Kunststoff-Rezyklaten sind nicht (in ausreichendem Maß) vorhanden/bekannt. Daher sind die Definition von Benchmarks und eine Bewertung nach der in dieser Studie angewandten Methode für die Kunststoffabfälle / Sekundärkunststoffe nicht möglich.

5.4.5 AWG Ziel 5

Gemäß AWG 2002 §1 Abs. 1 ist die österreichische Abfallwirtschaft im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt. Weiters ist im AWG 2002 definiert, dass die Ablagerung nur in hierfür genehmigten Deponien erfolgen darf (siehe Abb. 5-10).

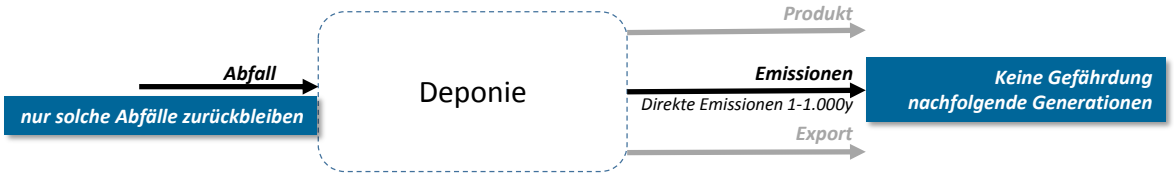


Abb. 5-10: Benchmarks: AWG Ziel 5

Die DVO 2008 definiert als Ziel, dass bei Ablagerung von Abfällen negative Auswirkungen auf die Umwelt insbesondere die Verschmutzung von Oberflächenwasser, Grundwasser, Boden und Luft, einschließlich des Treibhauseffekts und alle damit verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit weitest möglich vermieden oder vermindert werden. Der Vergleich der beiden Ziele zeigt, dass laut DVO 2008 eine Verminderung der Gefährdung und laut AWG 2002 keine Gefährdung erreicht werden soll.

In dieser Studie erfolgt die Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft anhand der Ziele des AWG 2002. Deshalb werden an dieser Stelle Benchmarks definiert, die nicht auf eine Verringerung der Gefährdung ausgerichtet sind, sondern weitestgehend keine Gefährdung nachfolgender Generation bewirken. Dahingehend werden zur Beurteilung dieses Zieles Benchmarks definiert, die weitestgehend auf geogen bedingte Hintergrundwerte verweisen. Als Leitparameter werden, die in Tabelle 6-87 genannten Stoffe und Verbindungen herangezogen: CH_4, CO_2, TOC, NH_4, Cd, Cr, Fe, Hg, Pb und Zn

Die Bewertung der Zielerreichung erfolgt anhand der in Kapitel 5.1.3 definierten Indikatoren für das AWG Ziel 5:

Tabelle 5-27: Indikatoren für AWG Ziel 5

AWG Unterziel	Indikatoren
Reduktion der Schwermetallfrachten in Deponien	Schwermetalle in Deponien
Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien (1 – 1.000 Jahre)	Sickerwasser-Emissionen
	Deponiegas-Emissionen
Behandlungsautarkie	Ablagerung gefährlicher Abfälle

5.4.5.1 Schwermetalle in Deponien

Abfälle dürfen auf österreichischen Deponien nur unter Einhaltung der Grenzwerte gemäß DVO 2008 abgelagert werden. Als Vergleich dazu sind in Tabelle 5-28 die in der deutschen Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung genannten Vorsorgewerte und Werte für normalen Boden (Schachtschabel et al. 2002) den Grenzwerten der DVO 2008 gegenübergestellt. Vorsorgewerte sind Bodenwerte, bei deren Überschreiten davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht (BBodsSchG § 8 Abs.2 Nr.1). Sie markieren eine Grenze zwischen dem Bereich des Restrisikos und dem Beginn des unerwünschten Risikos (Schachtschabel et al. 2002).

Tabelle 5-28: Vorsorgewerte und Maßnahmenwerte gemäß BBodSchV und normale Gehalte im Boden laut Scheffer/Schachtschabel im Vergleich zu den Grenzwerte der DVO für ausgewählte Stoffe

Parameter	Normaler Boden *[mg/kg TS$_{Boden}$]*	Vorsorgewerte			Grenzwerte lt. DVO
		Bodenart [mg/kg TS$_{Boden}$]			*Min/Max [mg/kg TS$_{Abfall}$]*
		Ton	***Schluff***	***Sand***	
Cr$_{gesamt}$	1-20	100	60	30	300/8.000
Cd	0,1-0,6	1,5	1	0,4	2/5.000
Cu	2-40	60	40	20	100/5.000
Hg	0,05-0,5	1	0,5	0,1	1/20
Ni	3-50	70	50	15	100/5.000
Pb	2-80	100	70	40	150/1.500
Zn	10-80	200	150	60	500/5.000

Die genannten Werte (Tabelle 5-28) beziehen sich auf Gesamtgehalte, die sich in der Regel nicht für die Bewertung der Schadwirkungen auf Menschen, Tiere und Bodenorganismen eignen (Schachtschabel et al. 2002). Relevant ist der mobilisierbare Anteil über die gesamte Aufenthaltszeit, welche im folgenden Kapitel (Emissionen aus Deponien) berücksichtigt wird. Da die Gesamtgehalte allerdings ein Potential für maximale zukünftige Mobilisierung kennzeichnen (mehr kann auch unter ungünstigsten möglichen Umweltbedingungen nicht aus dem Boden respektive der Deponie mobilisiert werden), können Gesamtgehalte als mögliche Bewertungskriterien für langfristige Beurteilungen herangezogen werden. Über lange Zeiträume können sich Umweltbedingungen (pH, Redox, Wasserhaushalt, Mikroorganismen u.a.) drastisch ändern, und heute nicht lösliche Verbindungen können in mobile Stoffe umgewandelt werden.

Die Grenzwerte der DVO sind als Minimalkriterium anzusehen, ohne deren Einhaltung eine Ablagerung nicht gestattet ist. In der DVO 2008 sind Grenzwerte je Deponietyp für organische und anorganische Parameter angegeben. Für die Reststoffdeponie sind auf der Ebene der Gesamtgehalte für anorganischen Parameter nur Arsen, Cadmium und Quecksilber beschränkt. Allerdings ist in der DVO 2008 weiters definiert, dass der Gehalt an folgenden Schwermetallen in Summe weniger als zehn Masseprozent zu betragen hat: Antimon, Arsen, Barium, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Selen, Thallium, Vanadium, Zinn. Als Minimalanforderung wird deshalb für auf Reststoffdeponien abgelagerte Abfälle die betrachteten Werte Cr, Cu, Ni, Pb und Zn dahingehend definiert.

Die Vorsorgewerte als Benchmark beschreiben den Übergang zu einem unerwünschten Risiko durch die Ablagerung von Abfällen. Werte des „normalen Bodens“ beschreiben den geogenen Hintergrundgehalt von Böden, welche als Richtwerte für einen durchschnittlichen Boden herangezogen werden. Naturgemäß sind die geogenen Hintergrundgehalte starken Schwankungen unterworfen, eine differenzierte bzw. regionale Betrachtung ist im Rahmen dieser Studie allerdings nicht möglich.

Zur Beurteilung der Zielerreichung werden die Stofffrachten der abgelagerten Abfälle des Stoffes j (SF_j) dem Grenzwert der DVO 2008 je Deponietyp und den Wert für normalen Boden gegenübergestellt (jeweils in kg/Jahr). Die Umrechnung der jeweiligen Konzentrationen der gesamten Stofffrachten erfolgt über die Menge an abgelagerten Abfällen je Deponietyp.

Tabelle 5-29: Benchmarks AWG Ziel 5: Schwermetalle

Status Quo	Benchmark	Vergleichswerte	
Stofffrachten der abgelagerten Abfälle in kg Jahr (SF_j)	$\frac{SF_j}{DVO\ GW_j} < 1$	Grenzwerte DVO (GW_j) in kg Jahr	*Minimalanforderung*
	$\frac{SF_j}{Boden_j} < 1$	Werte für normalen Boden ($Boden_j$) in kg Jahr	*Benchmark*

5.4.5.2 Langfristige Emissionen aus Deponien

Deponiesickerwasser

Obwohl Deponien nach dem heutigen Stand der Technik während des Betriebs durch die eingebauten Sicherungssysteme grundsätzlich keinen negativen Einfluss auf das Grundwasser haben sollten, ist nach Abschluss der Deponiebewirtschaftung durch das Versagen dieser technischen Sicherungssysteme von mittel und langfristigen Sickerwasserbelastungen auszugehen (Laner et al. 2011).

Zur Beurteilung der Gefährdung nachfolgender Generationen aufgrund von Emissionen einzelner Stoffe über das Deponiesickerwasser wird der „geogen/anthropogen" Referenzansatz herangezogen. In diesem Bewertungsansatz wird der Einfluss anthropogener Flüsse auf die korrespondierenden geogenen Flüsse untersucht. Stoffflüsse können als umweltverträglich bezeichnet werden, wenn sie die geogenen Flüsse nicht wesentlich verändern. Dies kann in der Regel für Änderungen < 1-10 % der geogenen Flüsse als gesichert angenommen werden (ÖWAV 2003). Da die Ziele des AWG keine Gefährdung nachfolgender Generation und nicht eine Verringerung der Gefährdung fordern, wird als Benchmark eine Änderung der geogenen Flüsse von < 1 % angenommen. Zusätzlich wird als Minimalkriterium gefordert, dass die maximalen Frachten gemäß den Grenzwerten der Verordnung von Sickerwasseremissionen aus Abfalldeponien (AEV Deponiesickerwasser) eingehalten werden

Auch wenn die Hintergrundbelastung aufgrund der österreichischen Geologie regional sehr unterschiedlich ist (siehe Abb. 5-11), können mittlere Hintergrundkonzentrationen (Median) als Grenzwert für ein unbelastetes Grundwasser herangezogen werden.

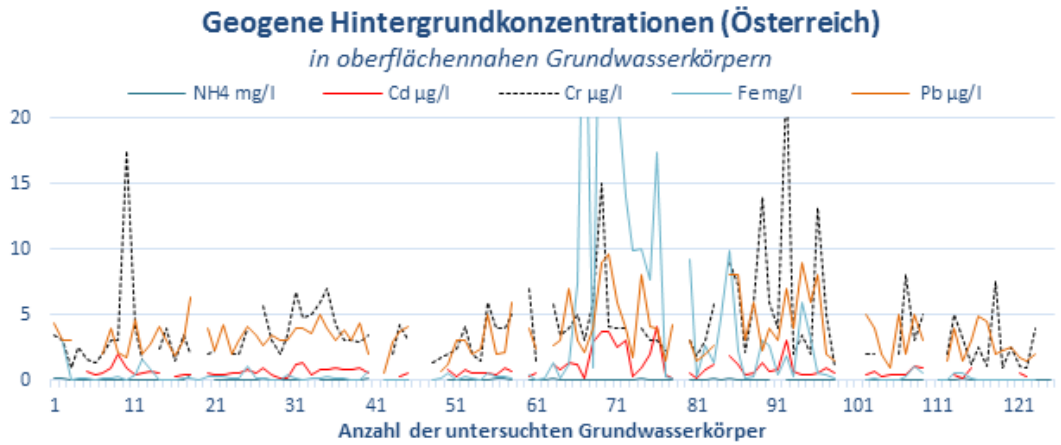


Abb. 5-11: geogene Hintergrundkonzentrationen österreichischer Grundwasserkörper (GEOHINT 2004)

In Tabelle 5-30 sind die mittleren geogenen Hintergrundkonzentrationen unbelasteter Grundwässer (Brunner et al. 2001, GEOHINT 2004, BMLFUW 2012) und die Grenzwerte gemäß AEV Deponiesickerwasser (Mittelwert aus Einleitung in Fließgewässer und Einleitung in die Kanalisation) gelistet.

Tabelle 5-30: Hintergrundkonzentrationen von unbelastetem Grundwasser und Grenzwerte der AEV Deponiesickerwasser

Parameter	Grenzwert AEV Deponiesickerwasser *[mg/l]*	geogene GW Hintergrund-konzentrationen *[mg/l]*
TOC	20	1,8
NH_4	105	0,043
Cd	0,1	0,0006
Cr	0,5	0,003
Fe	41,9[a]	0,2
Hg	0,01	0,0001
Pb	0,5	0,003
Zn	0,5	0,03

[a] *maximale geogene Hintergrundkonzentration*

Zur Ermittlung der geogenen Grundwasserfrachten wird der Grundwasserdurchfluss nach dem Gesetz von Darcy berechnet.

$$\frac{Q}{A} = v = k * i$$

v	Filtergeschwindigkeit [m/s]
Q	Durchfluss [m³/s]
i	hydraulische Gradient [-]
k_f	hydraulische Leitfähigkeit [m/s]
A	durchflossene Querschnittsfläche [m²]

Für die Berechnung werden in Anlehnung an Brunner et al. (2001) und den Vorgaben der DVO 2008 folgende Annahmen hinsichtlich der Untergrundbeschaffenheit getroffen.

Tabelle 5-31: Untergrundverhältnisse aller Modelldeponien

	Mindestmächtigkeit [m]	kf-Wert [m/s]
Schicht 1	5	10^{-7}
Schicht 2	20	$5*10^{-3}$
Schicht 3	-	10^{-10}

Die Geometrie wird anhand der definierten Modelldeponien (siehe Kapitel 6.6.3.2) abgeschätzt und ist in folgender Tabelle zusammengefasst

Tabelle 5-32: Geometrie Modelldeponien

	Gesamtfläche [m²]	Höhe [m]
Massenabfalldeponie	15.000	15
Reststoffdeponie	115.000	15
Baurestmassendeponie	55.000	15
Inertabfalldeponie	55.000	15

Zusammenfassend werden die Deponiesickerwasserfrachten einzelner Stoffe ($F_{j,SW}$) (siehe Tabelle 6-94) den Grundwasserfrachten ($F_{j,geo}$) unter Berücksichtigung eines anthropogenen Einflusses < 1 % gegenübergestellt. Zusätzlich wird als Minimalanforderung die Einhaltung der Grenzwerte gemäß AEV Deponiesickerwasser ($F_{j,GW}$) gefordert (jeweils in Tonnen pro 1, 100 und 1.000 Jahre).

Tabelle 5-33: Benchmarks AWG Ziel 5: langfristige Deponiesickerwasseremissionen

Status Quo	Benchmark	Vergleichswerte	
Deponiesickerwasserfrachten [t/a] [t/100 a] [t/1.000 a]	$\frac{F_{j,SW}}{0{,}01 * F_{j,geo}} < 1$	Geogene Grundwasserfrachten - Hintergrundkonzentration [t/a] [t/100 a] [t/1.000 a]	*Benchmark*
	$\frac{F_{j,SW}}{F_{j,GW}} < 1$	maximalen Frachten Grenzwerte gemäß AEV Deponiesickerwasser [t/a] [t/100 a] [t/1.000 a]	*Minimalanforderung*

<u>Deponiegas</u>

Mit dem Verbot der Ablagerung von unbehandelten Siedlungsabfällen bedingt durch die Umsetzung der DVO 2008 ist ein Rückgang der klimarelevanten Emissionen zu beobachten (Fortschrittsbericht nach §6 Klimaschutzgesetz). In Anlage 2 des Klimaschutzgesetzes sind für den Sektor Abfallwirtschaft folgende Ziele definiert.

Tabelle 5-34: Emissionsziele der Abfallwirtschaft in Mio. t CO_2-Äquivalente gem. Anlage 2 des Klimaschutzgesetzes (2013-2020)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sektor Abfallwirtschaft	2,96	2,72	2,68	2,63	2,59	2,55	2,51	2,46	2,42

Um allerdings dem Ziel keiner Gefährdung nachfolgender Generationen gerecht zu werden, werden die errechneten kurz- und langfristigen Deponiegasemissionen (GreenHouseGas-Emissionen GHG_{DEP}) (siehe Kapitel 6.6.3.3) den mittelern jährlichen Emissionen von Grünflächen (GHG_{geo}) als Benchmark gegenübergestellt. Als Minimalanforderung wird die mittlere Emission pro m^2 eines städtischen Gebiets (GHG_{Stadt}) definiert. Betrachtungszeiträume sind 1 Jahr, 2-100 und 101-1.000 Jahre. GHG Emissionen von Grünflächen können mit 4kg $CO_{2\text{-}eq}/m^2$ und Jahr abgeschätzt werden (BUWAL 1996). GHG Emissionen der Stadt Wien werden laut Bundesländer Luftschadstoff-Inventur für das Jahr 2012 mit 20kg $CO_{2\text{-}eq}/m^2$/Jahr (Anderl et al. 2014b) angegeben (Verkehr 39 %, Energieversorgung 30 %, Kleinverbrauch 18 %, 10 % Industrie, 2,5 % Landwirtschaft). Die abgeschätzten Deponiegasemissionen des Status Quo beziehen sich nur auf die durch Ablagerung von Abfällen resultierenden gasförmigen Emissionen bezogen auf die Deponieflächen.

Tabelle 5-35: Benchmarks AWG Ziel 5: langfristige Deponiegasemissionen (Vorschlag)

Status Quo	Benchmark	Vergleichswerte	
Deponiegasemissionen GHG_{DEP} [t $CO_{2\text{-}eq}/m^2/a$]	$\frac{GHG_{Dep}}{GHG_{SVG}} < 1$	GHG_{Stadt}: GHG-Emissionen der Stadt Wien [t $CO_{2\text{-}eq}/m^2/a$]	*Minimalanforderung*
	$\frac{GHG_{Dep}}{GHG_{geo}} < 1$	GHG_{geo}: geogene GHG-Emissionen von Grünflächen [t $CO_{2\text{-}eq}/m^2/a$]	*Benchmark*

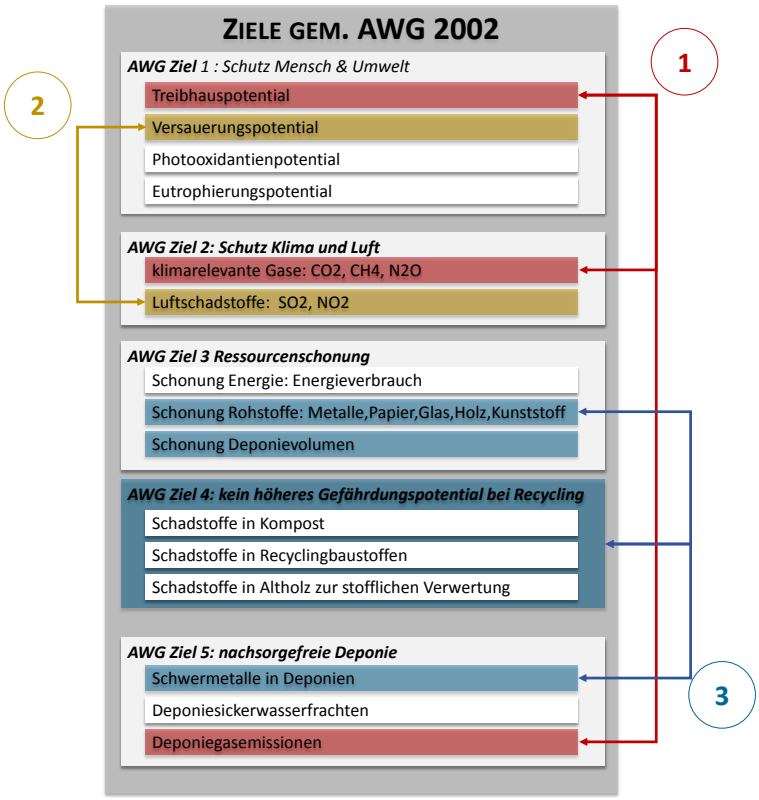
5.4.5.3 Behandlungsautarkie: Ablagerung von Abfällen im Ausland

Die Beurteilung der Behandlungsautarkie und der Ablagerung gefährlicher Abfälle erfolgt nicht quantitativ, sondern der Beitrag zur Zielerreichung wird qualitativ beschrieben.

5.5 Kritische Beurteilung der Methodik

Hinsichtlich des Umfangs der Studie war eine Begrenzung auf ausgewählte Abfälle und Behandlungsprozesse notwendig, und durch Einschränkungen bei Datenverfügbarkeit und Datenqualität konnten nicht alle Bereiche bewertet werden.

Die Auswahl der Indikatoren und Benchmarks erfolgte einerseits auf Basis der Relevanzbeurteilung (siehe Kapitel 5.1) und wurde anderseits durch die Datenlage mitbestimmt. Es war leider auch nicht möglich alle Indikatoren, die als relevant ausgewählt wurden, zu bewerten, da entweder Daten und/oder Benchmarks fehlen. Dadurch konnten einige wichtige Bereiche, wie z.B. die Humantoxizität oder Schadstoffe in Kunststoffen nicht in die Bewertung einfließen. In Summe werden für die fünf AWG Ziele, 19 Indikatorensammlungen (=77 Indikatoren) betrachtet. Zu beachten ist, dass aufgrund der Formulierungen der AWG Ziele und der gewählten Methodik einzelne AWG Ziele bzw. Indikatoren zusammenhängen (siehe Abb. 5-1).



Der Bereich Treibhauspotential (klimarelevante Gase) findet sich in AWG Ziel 1 aufgrund der Formulierung „Schutz der Umwelt“, in AWG Ziel 2 aufgrund der direkten Erwähnung der Treibhausgase und in AWG Ziel 5 aufgrund des Schutzes zukünftiger Generation wieder.

1

- *Für AWG Ziel 1 erfolgt die Betrachtung inkl. Gutschriften.*
- *Für AWG Ziel 2 werden die tatsächlichen Emissionen ohne Gutschriften betrachtet*
- *Für AWG ziel 5 werden nur die Emissionen aus der Deponie betrachtet*

Da diese Parameter für jedes AWG Ziele isoliert bewertet wurde ohne den spezifischen Beitrag dieses Parameters an der Gesamtbelastung zu berücksichtigen, kommt es zu einer Überbewertung dieses Parameters. In weiteren Arbeiten sollte, z.B. mittels Gewichtung, eine differenziertere Beurteilung der verwandten Ziele erfolgen.

Der Bereich Versauerungspotential (Luftschadstoffe SO_2) findet sich in AWG Ziel 1 aufgrund der Formulierung „Schutz der Umwelt“ und in AWG Ziel 2 aufgrund der direkten Erwähnung der Luftschadstoffe wieder.

2

- *Für AWG Ziel 1 erfolgt die Betrachtung inkl. Gutschriften.*
- *Für AWG Ziel 2 werden die tatsächlichen Emissionen ohne Gutschriften betrachtet*

Da diese Parameter für jedes AWG Ziele isoliert bewertet wurde ohne den spezifischen Beitrag dieses Parameters an der Gesamtbelastung zu berücksichtigen, kommt es zu einer Überbewertung dieses Parameters. In weiteren Arbeiten sollte, z.B. mittels Gewichtung, eine differenziertere Beurteilung der verwandten Ziele erfolgen.

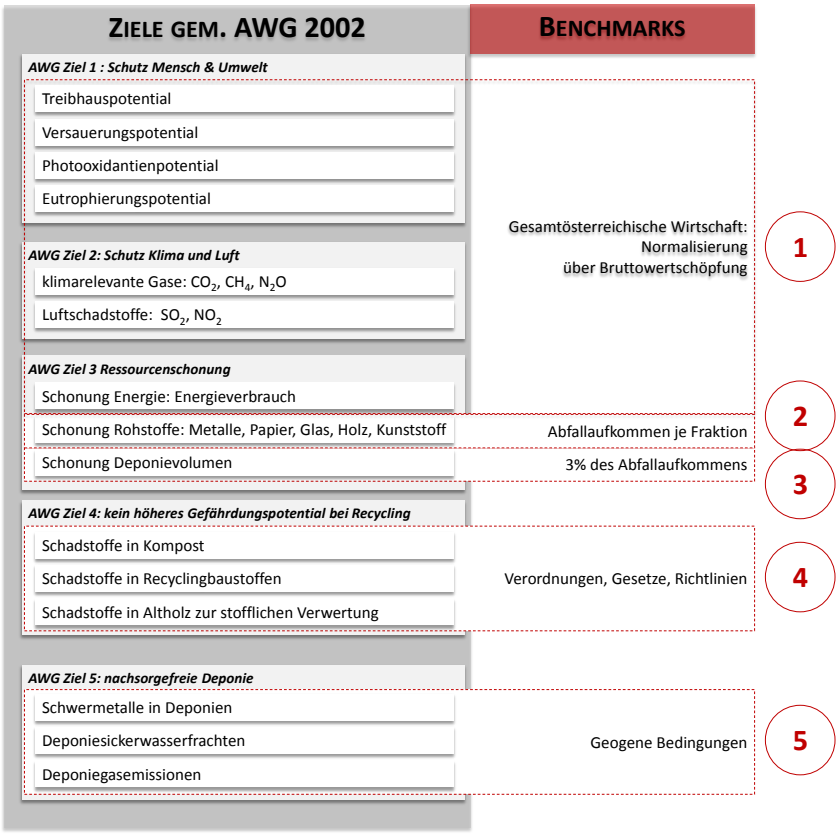
3

AWG Ziel 3, AWG Ziel 4 und AWG Ziel 5 (Reduktion der Schwermetalle in Deponien) stehen im Widerspruch zueinander. 100% Recycling (Maximierung der Rohstoffschonung) und gleichzeitiges ausschleusen von Schadstoffen aus dem Produktkreislauf, Reduktion der deponierten Abfallmengen und Reduktion von Schwermetallen in der Deponiefraktion ist nicht möglich. Diese Bereiche können nicht jeder für sich gleichzeitig ein Maximum erreichen. Hier gilt es ein gesamtes Optimum zu finden, welches in einzelnen Bereichen nicht die Zielerreichung maximiert.

Abb. 5-12: Zusammenhänge innerhalb des gewählten Bewertungsrahmen

Die Definition der Benchmarks je Indikator erfolgte auf unterschiedlichen Grundlagen. Dadurch sind die Anforderungen für eine positive Bewertung der Zielerreichung zwangsläufig unterschiedlich (unterschiedlich „streng“). Die sich ergebenden Zielerreichungsgrade / Nutzenpunkte je Ziel sind damit nicht direkt miteinander vergleichbar. Zur Berechnung der modifizierten Kostenwirksamkeit aber werden die Einzelwerte addiert und damit gleichwertig behandelt.

Deshalb ist es notwendig die einzelnen Indikatoren und Benchmarks differenzierter zu betrachten, was im Folgenden getan wird.



1

Durch die Berücksichtigung von Gutschriften (AWG Ziel 1) werden neben negativen auch positive Effekte der Behandlung berücksichtigt. Für AWG Ziel 2 erfolgt eine Bewertung ohne Berücksichtigung von Gutschriften. Hier ist somit zu beachten, dass positive Effekte durch Behandlung der Abfälle nicht betrachtet werden, sondern die tatsächlichen Emissionswerte einzelner Gase und Luftschadstoffe beurteilt werden.

Beim Vergleich der Abfallwirtschaft mit der gesamten österreichischen Wirtschaft über die Bruttowertschöpfung ist zu berücksichtigen, dass die Abfallwirtschaft mit den „Reststoffen" der Wirtschaft umgehen und diese entsprechend behandeln muss. Deshalb müsste die Vergleichbarkeit mit anderen Wirtschaftsbereichen geprüft werden.

2

Als Benchmark ist ein Recycling von 100% definiert. Der Benchmark kann somit nicht überschritten, sondern maximal erreicht werden.

3

Nur noch 3% des Abfallaufkommens (ohne Boden) abzulagern ist nur möglich, wenn vor allem die Recyclingraten erhöht werden. Dieses Ziel zu erreichen ist nur in kombinierter Betrachtung mit AWG Ziel 4 sinnvoll

4

Für eine Beurteilung des Gefährdungspotentials durch Recycling ist es notwendig nicht nur den Schadstoffgehalt, sondern auch den Einsatzbereich zu erheben.

Im Zuge der Studie war es deshalb nur möglich jene Bereiche zu beurteilen, welche schon gesetzlich geregelt sind. Speziell für Kunststoffe aber auch für andere Abfallfraktionen gibt es in dieser Hinsicht noch Handlungsbedarf

5

Die Einhaltung geogener Bedingungen durch den Prozess „Deponie" kann fast nicht erreicht werden. Der definierte Benchmark muss deshalb als maximaler Zielwert betrachtet werden, dem es sich anzunähern gilt.

Abb. 5-13: kritische Betrachtung der gewählten Benchmarks

Um die Vergleichbarkeit der Bewertung der einzelnen AWG Ziele zu verbessern, wurde der Ansatz der Nutzenpunkte gewählt. Anzumerken ist bei AWG Ziel 3 „Rohstoffe", dass die Skalen hier gegenläufig zu allen anderen Zielen gewählt wurden. Zugrundeliegend ist hier die Tatsache, dass es in allen anderen Zielen um eine Reduktion bzw. den Schutz geht. Bei AWG Ziel 3 (Rohstoffschonung) aber eine Zunahme an Altstoffen, welche recycelt und stofflich nutzbar gemacht werden, positiv in die Bilanz eingehen muss.

5.6 Zusammenfassung: Definition von Benchmarks

Auf Basis des definierten Bewertungssystems und der Benchmarks erfolgt die Beurteilung des Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft. Je Indikator wird in Abhängigkeit des definierten Benchmarks und des Status Quo ermittelt, ob das Ziel erreicht wurde. Zusätzlich werden in Kombination mit der in 5.3.4 beschriebenen Methodik je Indikator die Nutzenpunkte errechnet und durch Mittelwertbildung die Nutzenpunkte für die Indikatorensammlung, Unterziele und AWG Ziel berechnet. In folgender Abbildung ist die Beurteilung der österreichischen Abfallwirtschaft mittels Benchmarking von Rahmenbedingungen nochmals zusammenfassend dargestellt:

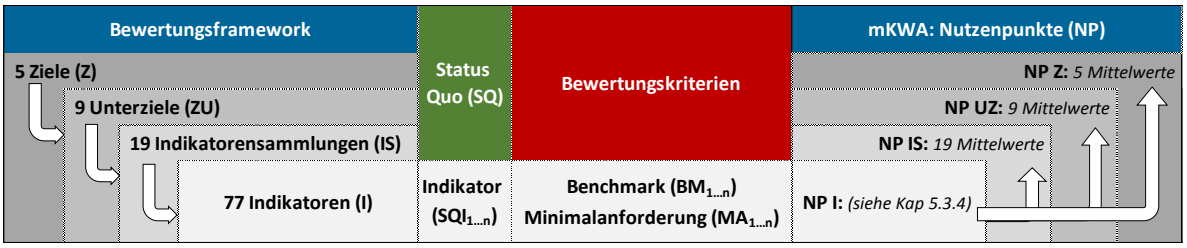


Abb. 5-14: Zusammenfassung der methodischen Vorgehensweise der Bewertung

Um den Standpunkt unterschiedlicher Stakeholder einfließen zu lassen erfolgt eine Gewichtung der Ziele. Die Verknüpfung der gewichteten Nutzenpunkte mit den volkswirtschaftlichen Kosten ergibt die Kostenwirksamkeit.

Die Berechnung der modifizierten Kostenwirksamkeit (mKW) erfolgt durch Division der Summe der mittleren Nutzenpunkte je AWG Ziel durch die internen Kosten für Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung.

$$mKW = \frac{\sum Nutzenpunkte\ je\ AWG\ Ziel}{\sum interne\ Kosten}$$

In folgender Tabelle 5-36 findet sich zusammenfassend eine Übersicht der in Kapitel 5.4 definierten Benchmarks. Die genauen Zahlenwerte der Indikatoren finden sich auch im Anhang (siehe Tabelle 19-5).

Tabelle 5-36: Zusammenfassung Benchmarks

	Unterziel	Indikatorensammlung	Einheit	Minimalanforderung	Benchmark	Anmerkung
AWG Ziel 1	Verringerung der direkten Einwirkung auf den Menschen	Humantoxizität (inkl. Gutschriften)	kg 1,4-DCB eq/a	*(keine Minimalanforderung)*	kein Benchmark	
	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Klimawandel (inkl. Gutschriften)	kg CO_2eq/a		gesamtösterreichische Wirtschaft: treibhausgasrelevante Emissionen inkl. Gutschriften *(Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2014)*	normalisiert über Bruttowert-schöpfung (BWS)
		Terr. Versauerung (inkl. Gutschriften)	kg SO2eq/a		gesamtösterreichische Wirtschaft: SO2-Emissionen inkl. Gutschriften *(Umweltbundesamt: Austria's Annual Air Emission) Inventory 1990–2012)*	
		Photooxidantienpotential (inkl. Gutschriften)	kg NMVOC/a		gesamtösterreichische Wirtschaft: NMVOC-Emissionen inkl. Gutschriften *(Umweltbundesamt: Austria's Annual Air Emission) Inventory 1990–2012)*	
		Ozonabbau (inkl. Gutschriften)	kg FCKW/a		kein Benchmark	
		Eutrophierungspotential (inkl. Gutschriften)	kg Peq/a		gesamtösterreichische Wirtschaft: Phosphoremissionen im Abwasser *(Statistisches Jahrbuch Österreich)*	
AWG Ziel 2	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	klimarelevanten Gase	kg/a (CO_2,CH_4, N_2O)	Klimaschutzgesetz	gesamtösterreichische Wirtschaft: treibhausgasrelevante Emissionen exkl. Gutschriften *(Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht, 2014)*	normalisiert über BWS
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe	kg (SO_2, NO_x)	Emissionshöchstmengen-gesetze-Luft	gesamtösterreichische Wirtschaft: Luftschadstoffe exkl. Gutschriften *(Umweltbundesamt: Austria's Annual Air Emission)*	
AWG Ziel 3	Rohstoffe	Metalle	t/a	*(keine Minimalanforderung)*	Abfallaufkommen *(Statusbericht/EDM Daten)*	
		Glas	t/a			
		Papier	t/a			
		Kunststoff	t/a			
		Holz	t/a			
		Textilien	t/a		kein Benchmark	
	Energie	Erzeugung	TJ/a		kein Benchmark	
		Verbrauch	TJ/a		gesamtösterreichische Wirtschaft: Energieverbrauch *(Statistik Austria: Statistisches Jahrbuch Österreichs)*	normalisiert über BWS
	Schonung Deponievolumen	Deponievolumen	m³/a	bergbaulich geförderte Materialien in m³/Jahr (geschaffenes „Lochvolumen“)	3 % des Abfallaufkommens (minimales Verhältnis deponierter Abfälle zum Abfallaufkommen in EU 15 *(EuroStat)*	
AWG Ziel 4	kein Gefährdungspotential	Schadstoffe in Sekundärkunststoffen	mg/kg		kein Benchmark	
		Schadstoffe im Kompost	mg/kg (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn)	Qualitätsklasse A *(KompostV)*	Qualitätsklasse A+ *(KompostV)*	
		Schadstoffe in Sekundärbaustoffe	mg/kg (As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, KW-	Grenzwerte Gesamtgehalt (Recycling-BaustoffV)	Grenzwerte Gesamtgehalt (*BRV-Richtlinie)*	
		Schadstoffe in Sekundärholz	mg/kg (As, Cd, Cl, Cr, F, Hg, Pb, Zn, Summe PAK)	30% Recycling- Holzanteil *(RecyclingholzV)*	100% Recycling- Holzanteil *(RecyclingholzV)*	
AWG Ziel 5	Reduktion der Schwermetalle in Deponien	Reduktion von Schwermetallen	kg/a (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)	DVO 2008	geogene Hintergrund-Frachten natürliche Gehalte im Boden *(Schachtschabel et al. 2002)*	
	Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien	Reduktion langfristiger Sickerwasseremissionen	kg/1-1000a (TOC, NH_4, Cd, Cr, Fe, Hg, Pb)	AEV Deponiesickerwasser	geogene Hintergrundkonzentrationen öster. Grundwasserkörper*(GEOHINT 2004)*	
		Reduktion langfristiger Deponiegasemission	t CO_2-eq/m²/1-1.000a	mittlere Emissionen urbanen Gebieten	mittlere Emissionen von Grünflächen *(BUWAL 1996)*	

6 Datengrundlage

6.1 Allgemein

6.1.1 Datenquellen

Die Hauptdatenquellen hinsichtlich des Abfallaufkommens und der Behandlung der Abfälle sind der Statusbericht 2013 sowie die Daten des elektronischen Datenmanagements (EDM-Daten 2012) zum Statusbericht, welche seitens des BMLFUW und Umweltbundesamtes zur Verfügung gestellt wurden. Das Bezugsjahr dieser Daten ist das Jahr 2012. Für die Bestimmung der Stoffkonzentrationen und Transferkoeffizienten wurden keine eigenen Analysen durchgeführt, sondern es wurde auf vorhandene Daten aus der Literatur zurückgegriffen. Für einige Abfallfraktionen bzw. Anlagetypen war die Datengrundlage sehr lückenhaft, und deshalb wurden Expertenschätzungen durchgeführt. Im Detail sind die Referenzen und Annahmen in den jeweiligen Kapiteln beschrieben bzw. wird in Kapitel 6.8 nochmals zusammenfassend die Datenlage kritisch betrachtet. Ein Überblick über die im Folgenden dargestellten Datengrundlagen findet sich im Anhang. Darin sind die quantitativ betrachten Abfälle, die Stoffkonzentrationen und Transferkoeffizienten tabellarisch zusammengefasst.

6.1.2 Abfallaufkommen

In Summe sind im Jahr 2012 rund 49 Millionen Abfälle angefallen. Rund 60 % können der allein Abfallkategorie Aushubmaterialen zugeordnet werden (siehe Abb. 6-1).

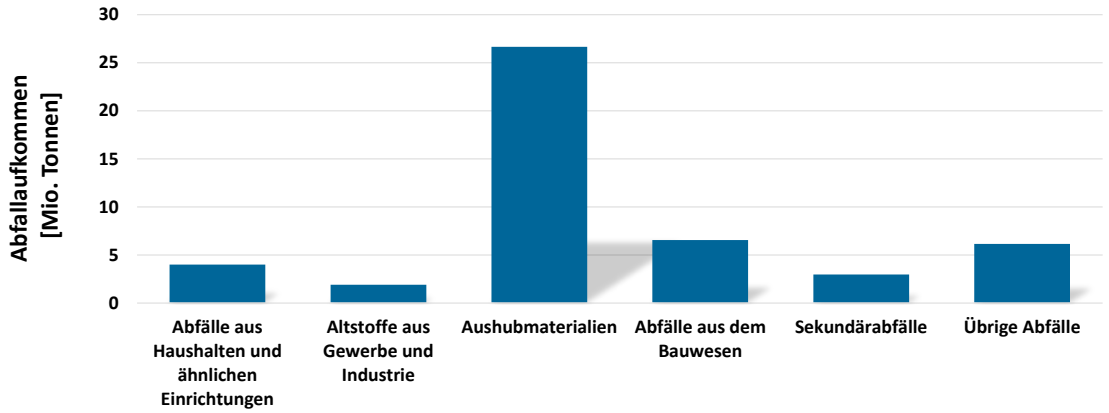


Abb. 6-1: Abfallaufkommen im Jahr 2012 (primär und sekundär)

Da es im Rahmen dieser Studie weder zeitlich noch finanziell möglich war alle in Österreich anfallenden Abfallarten bis ins Detail zu betrachten, erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber die Einteilung der in Österreich anfallenden Abfallarten in drei Gruppen:

- Abfälle, die quantitativ betrachtet werden
- Abfälle, die qualitativ betrachtet werden
- Abfälle, die im Rahmen der Studie nicht behandelt werden

Die Zuordnung zu der jeweiligen Gruppe erfolgte anhand der Einschätzung der Mengen-, Ressourcen- und Schadstoffrelevanz der Abfälle durch die Projektpartner und anschließende Abstimmung mit den Auftraggebern.

In der folgenden Tabelle 6-1 ist diese Zuordnung der Abfallarten zu der jeweiligen Gruppe mit kurzer Begründung dargestellt.

Tabelle 6-1: Zuordnung der Abfallarten zu der jeweiligen Gruppe und Begründung

Quantitative Betrachtung				
Abfallart	Mengen-Relevanz	Ressourcen-Relevanz	Schadstoff-Relevanz	Begründung
Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen (einschließlich ähnlicher Gewerbeabfälle)	✓	✓	✓	Sehr hohe Relevanz (Schwerpunkt der Studie).
Abfälle aus dem Grünflächenbereich	✓	✓	-	Hohe Relevanz (Behandlung erfolgt in Anlagen, die quantitativ betrachtet werden (Kompostierungsanlagen und Biomasse-Heizkraftwerke).
Getrennt gesammelte Altstoffe aus Gewerbe und Industrie	✓	✓	-	Hohe Relevanz (quantitative Betrachtung in Abhängigkeit von Datenverfügbarkeit).
Abfälle aus dem Bauwesen	✓	✓	-	Hohe Relevanz (quantitative Betrachtung in Abhängigkeit von Datenverfügbarkeit).
Elektro- und Elektronikaltgeräte aus Haushalten und Gewerbe	-	✓	✓	Hohe Relevanz (quantitative Betrachtung in Abhängigkeit von Datenverfügbarkeit).
Holzabfälle	✓	✓	-	Hohe Relevanz (quantitative Betrachtung aufgrund der großen Menge und des Ressourcenpotentials).
Asbestabfälle	-	-	✓	Geringe Relevanz (quantitative Betrachtung, da Daten verfügbar und Behandlung (Verpackung, Immobilisierung) und anschließende Deponierung bekannt).
Gefährliche Abfälle	✓	-	✓	Hohe Relevanz (quantitative Betrachtung in Abhängigkeit von Datenverfügbarkeit).
Altöle und Altschmierstoffe (inkl. spez. verunreinigter Böden)	✓	-	✓	Hohe Relevanz (quantitative Betrachtung in Abhängigkeit von Datenverfügbarkeit).
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube	✓	✓	✓	Sehr hohe Relevanz.
Eisen- und Stahlabfälle	✓	✓	-	Hohe Relevanz.
Rückstände aus der mechanischen und biologischen Abfallaufbereitung bzw. -Abfallbehandlung von Siedlungsabfällen bzw. Rückstände von Abfällen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung	-	-	-	Geringe Relevanzbeurteilung (aber die Abfälle sind als Sekundärabfälle bereits im System erfasst).
Kunststoff- und Gummiabfälle	-	✓	-	Geringe Relevanz (quantitative Betrachtung, da Ressourcenaspekt bedeutsam).
NE-Metallabfälle	-	✓	-	Geringe Relevanz (quantitative Betrachtung, da Ressourcenaspekt bedeutsam).
Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	✓	✓	✓	Sehr hohe Relevanz (und Abfälle sind als Sekundärabfälle bereits im System erfasst).
Küchen- und Speiseabfälle	-	✓	-	Geringe Relevanz (quantitative Betrachtung, da Behandlung in Anlagen erfolgt, die quantitativ betrachtet werden (Kompostierungs- und Biogasanlagen)).

Qualitative Betrachtung				
Abfallart	Relevanz			Begründung
	Mengen	Ressourcen	Schadstoff	
Aushubmaterialien: Abfälle mineralischen Ursprungs (ohne Metallabfälle)	✓	-	-	Sehr hohe Mengenrelevanz, aber andere Aspekte untergeordnet, daher qualitative Betrachtung
Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten	-	-	✓	Geringe Relevanz (trotzdem qualitative Betrachtung aufgrund des Schadstoffaspekts).
Einzel- und Gemeinschafts-kompostierung in Hausgärten	✓	✓	-	Qualitative Betrachtung des Abfallpotentials.
Altfahrzeuge	-	✓	✓	Qualitative Betrachtung inkl. Darstellung des Exportproblems.
Straßenkehricht	-	-	✓	Geringe Relevanz (trotzdem qualitative Betrachtung aufgrund des Schadstoffaspekts).
Medizinische Abfälle	-	-	✓	Geringe Relevanz (trotzdem qualitative Betrachtung aufgrund des Schadstoffaspekts).
Tierische Nebenprodukte	-	✓	✓	Qualitative Betrachtung, da die Verwertungs- und Entsorgungswege sehr vielfältig sind; Darstellung der Verwertungswege; Fraktionen, die in Anlagen behandelt werden, die quantitativ betrachtet werden (Kompostierungs- und Biogasanlagen) evtl. mengenmäßig diesen Anlagen zuschlagen.
Kommunale Klärschlämme	-	✓	✓	Qualitative Betrachtung im Rahmen der Studie auf Wunsch der Auftraggeber.
Nahrungs- und Genussmittelabfälle	-	✓	-	Qualitative Darstellung der stofflichen Verwertung als Futtermittel und der biologischen Behandlung (in Kompostier- und Biogasanlagen).
Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse (ohne Schlachtabfälle und tierische Fäkalien)	✓	✓	✓	Qualitative Betrachtung. Darstellung der Verwertungswege; Fraktionen, die in Anlagen behandelt werden, die quantitativ betrachtet werden (Kompostier- und Biogasanlagen) evtl. mengenmäßig diesen Anlagen zuschlagen).
Häute und Lederabfälle	-	-	✓	Geringe Relevanz (trotzdem qualitative Betrachtung aufgrund des Schadstoffaspekts).
Nicht betrachtete Abfälle				
Rückstände aus der Kanalisation sowie Abfälle aus der Gewässernutzung (ohne Klär- und Fäkalschlämme)	-	-	✓	Geringe Relevanz (Der Fokus im Rahmen der Studie liegt auf den anderen Fraktionen).
Mineralische Schlämme	-	-	✓	
Sonstige feste mineralische Abfälle	-	-	-	
Ofenausbrüche, Hütten- und Gießereischutt,	-	-	✓	
Altreifen	-	✓	-	

Ausgehend von der in Tabelle 6-1 definierten Rahmenbedingung erfolgt folgende mengenmäßige Zuordnung der Abfälle zur jeweiligen Betrachtungsweise (quantitative, qualitative und nicht betrachtete Abfälle). Zusätzlich wird das Abfallaufkommen mit den Abfallimporten, welche notifiziert wurden, ergänzt (siehe auch Kapitel 4.2.1)

Tabelle 6-2: Betrachtungsweise je SN-Gruppe (Primär- und Sekundärabfälle) [t]

SN-Gruppe	Abfallaufkommen Österreich			Importe			Summe [t]
	Nicht [t]	Qualitativ [t]	Quantitativ [t]	Nicht [t]	Qualitativ [t]	Quantitativ [t]	
11		32.000					32.000
12		75.000	190				75.000
13		4.200	20				4.200
14		710					710
17			940.000			57.000	990.000
18			1.700.000			430	1.700.000
19		310					310
31	300.000	27.000.000	7.600.000			550	35.000.000
35		57.000	2.200.000			940	2.300.000
39			5.400				5.400
51			94.000				94.000
52			56.000				56.000
53			10.000				10.000
54			1.000.000				1.000.000
55			75.000			510	76.000
57	63.000		360.000			660	420.000
58			41.000				41.000
59		1.300	31.000				33.000
91		390.000	4.500.000			54.000	5.000.000
92		360.000	1.500.000		110	540	1.900.000
94	550.000	310.000	5.900				860.000
95	57.000		50.000				110.000
97		34.000	1.300				36.000
99	280						280
	970.000	**28.000.000**	**20.000.000**		**110**	**110.000**	**49.000.000**

betrachtet. Zu beachten ist, dass die qualitativ betrachtete Gruppe zu 95 % aus Aushubmaterialien (SN-Gruppe 31) besteht. Von den rund 49 Millionen Tonnen Abfällen des Jahres 2012 können rund 3 Millionen der Kategorie Sekundärabfälle (z.B. Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen; Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung) zugeordnet werden.

6.2 Quantitativ betrachtete Abfälle

6.2.1 Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle

Im Jahr 2012 wurden rd. 1,4 Mio. Tonnen Restmüll aus Haushalten österreichweit gesammelt (BMLFUW 2014a). Zusätzlich zu den 1,4 Millionen Tonnen der SN 91101 „Restmüll aus Haushalten“ sind im Jahr 2012 rund 0,5 Millionen Tonnen der SN 91101 „Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle“ angefallen (BMLFUW 2014a). Restmüll wird in Österreich hauptsächlich mittels Holsammlung durch öffentliche und private Unternehmen im Auftrag der Kommunen gesammelt. Rund 3/4 des gesammelten Restmülls werden der thermischen Behandlung zugeführt. Der Rest wird biotechnisch behandelt. Restmüll setzt sich zu rund zwei Drittel aus biogenen Abfällen, Hygieneartikeln, Kunststoffen, Papier und Lebensmitteln zusammen

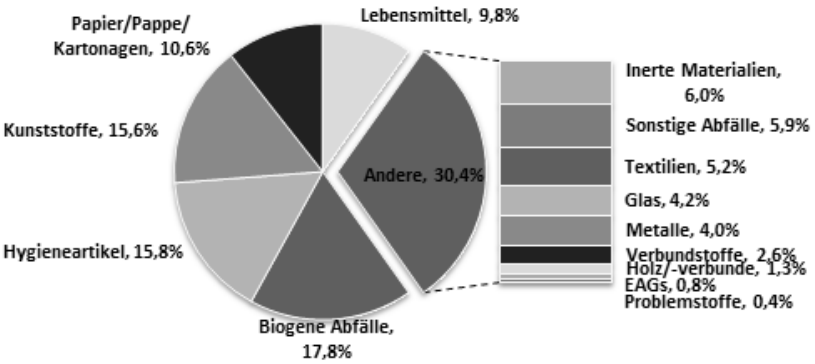


Abb. 6-2: Restmüllzusammensetzung für das Jahr 2011 (BMLFUW 2014a)

Folgende stoffliche Zusammensetzung des Restmülls kann auf Basis mehrerer Studien errechnet werden. (Maystre und Viret 1995, Schachermayer et al. 1995, Watanabe et al. 1999, Morf et al. 2005, Weigand und Marb 2006, LfU Bayern 2007, Morf et al. 2013).

Tabelle 6-3: Stoffkonzentration Restmüll [mg/kg TM; außer H_2O in mg/kg]

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Ag	5,3
Al	13.000
As	1.000
Au	0,4
Ba	750
Be	0,28
Cd	6,1
Cl	4.200
Co	11,0
C	200.000
Cr	180
Cu	730
Fe	21.000
Hg	0,4
H_2O	290.000

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Mn	270
Mo	8,6
Ni	53
N	7.300
P	1.000
Pb	300
PCB	0,06
S	2.300
Sb	51
Se	0,5
Sn	43
Tl	0,1
V	11
Zn	710

6.2.2 Sperrmüll aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen

Im Jahr 2012 sind 241.000 Tonnen Sperrmüll aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen angefallen. Sperrmüll wird entweder bei zentralen Sammelstellen (Recyclinghöfen) oder mittels Straßensammlung gesammelt (BMLFUW 2014a). Die Zusammensetzung des Sperrmülls ist sehr heterogen. Die größten Anteile sind Holz, Einrichtungsgegenstände und Verbundstoffe (siehe Abb. 6-3).

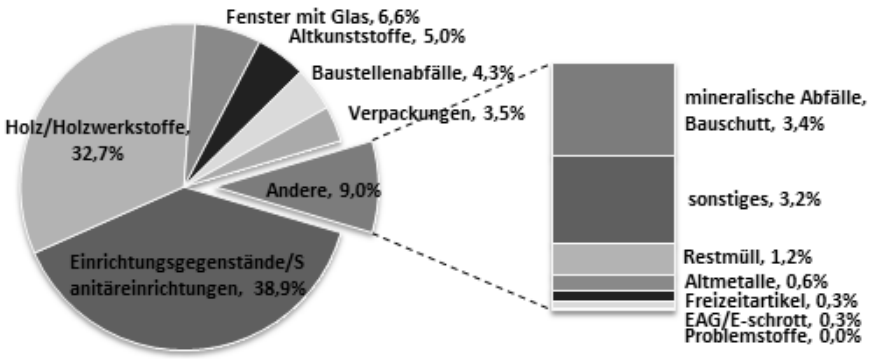


Abb. 6-3: Sperrmüllanalyse (Pladerer et al. 2001)

Auf Basis der Sperrmüllanalyse und der Stoffkonzentration der einzelnen Fraktion (siehe die jeweiligen Kapitel) wurde die stoffliche Zusammensetzung des Sperrmülls abgeschätzt.

Tabelle 6-4: Stoffkonzentration Sperrmüll [mg/kg TM; außer H_2O in mg/kg]

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]	Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Ag	0,06	Mn	36
Al	290	Mo	0,1
As	3,5	Ni	4,4
Cd	35	N	1.200
Cl	2.800	P	81
Co	25	Pb	1.300
C	160.000	PCB	0,84
Cr	350	S	410
Cu	210	Sb	2,5
Fe	610	Sn	0,01
Hg	0,2	Zn	770
H_2O	77.000		

Zusätzlich zu den 0,25 Millionen Tonnen Sperrmüll aus Haushalten wurden rund 90.000 Tonnen der SN 91401 „Sperrmüll“ zugeordnet.

6.2.3 Biogene Abfälle

getrennt gesammelte biogene Abfälle aus Haushalten

Laut Statusbericht 2013 fielen im Jahr 2012 800.000 t getrennt gesammelte biogene Abfälle (521.800 t “Biotonne“ und 353.200 t „Grünabfälle“) aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen an (BMLFUW 2014a).

Getrennt gesammelte biogene Abfälle bestehen aus

- Pflanzenresten und biologisch abbaubaren Abfällen aus Hausgärten, wie beispielsweise Grasschnitt, Laub, Blumen, Fallobst bzw. sperrige Grünabfälle wie Strauch- und Baumschnitt,
- organischen Küchenabfällen wie insbesondere solche aus der Zubereitung und dem Verzehr von Nahrungsmitteln (Speisereste).

Weitere Abfällen aus dem Grünflächenbereich

Zu den Abfällen aus dem Grünflächenbereich zählen

- kommunale Garten- und Parkabfälle
- Friedhofsabfälle und Straßenbegleitgrün

Kommunale Garten- und Parkabfälle sind pflanzliche Rückstände aus Grünanlagen, Parks und Sportstätten der Gemeinden. Zu einem kleineren Teil stammen diese auch aus dem Grünflächenbereich aus Haus- und Schrebergärten. Friedhofsabfälle bestehen aus getrennt erfassten – zum überwiegenden Teil biogenen Abfällen aus dem Friedhofsbereich. Unter Straßenbegleitgrün werden alle Abfälle aus dem Grünflächenbereich verstanden, die aus der Pflege von Straßenrändern oder Flussläufen („Wasserstraßen“) stammen. Das Aufkommen wurde bundesweit mit rund 691.600 Tonnen im Jahr 2012 ermittelt (BMLFUW 2014a).

Tabelle 6-5: Abfälle aus dem Grünflächenbereich im Jahr 2012

Fraktionen	in Tonnen
Kommunale Garten- und Parkabfälle	250.000
Friedhofsabfälle	210.000
Straßenbegleitgrün (Mähgut und Laub)	230.000
Summe	**691.600**

Abfälle aus dem Grünflächenbereich bestehen aus Gras, Laub, Strauch- und Baumschnitt, Abfällen aus der Gräberpflege, Kränzen, Blumengebinden u. a. sowie nur in geringem Ausmaß aus nicht kompostierbaren

Störstoffen wie Behältnissen aus Glas und Kunststoff, Gebinden, Kerzen, u. a. Zusätzlich zu den genannten Mengen wurden rund 1.500 Tonnen Abfälle aus dem Grünflächenbereich als gefährlich eingestuft (EDM 2012). Die Zusammensetzung der biogenen Abfälle variiert in Abhängigkeit vom Anfallsort und von der Jahreszeit. Aufgrund der großen Heterogenität der Abfälle weisen sie große Bandbreiten hinsichtlich ihrer Stoffkonzentration auf. Da auf den biologischen Behandlungsanlagen in der Regel keine Inputanalysen durchgeführt werden, jedoch die Produkte aus der Behandlung (Kompost, Gärrückstände) regelmäßig untersucht werden, kann eine Abschätzung einer mittleren Input-Stoffkonzentration aus den Output-Werten durchgeführt werden. Hierbei ist eine Unterscheidung zwischen Abfällen zur Kompostierung und denen zur Vergärung möglich. Werte für die Komposte und Gärreste wurden abgeleitet aus (Kern et al. 2010, Kehres 2014, Kirchmeyer 2014). Der Wert für Nickel wurde nach (ABANDA 2015) abgeschätzt.

Tabelle 6-6: Abschätzung der Stoffzusammensetzung biogener Abfälle zur Kompostierung und Vergärung [mg/kg]

	Abfälle zur Kompostierung	Abfälle zur Vergärung
C	180.000	210.000
N	42.000	8.200
P	1.600	4.400
Cd	0,25	0,27
Cr	6,9	15
Cu	20	38
Fe	3.200	2.900
Hg	0,11	0,04
Ni	10	10
Pb	19	19
Zn	70	120

6.2.4 Zellulose-, Papier- und Kartonabfälle

Altpapier aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen wurden im Jahr 2012 in Österreich 640.000 t Altpapier (SN 18718 und 18702) gesammelt. Das getrennt erfasste Altpapier aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen setzt sich zusammen aus Papier, Pappe und Kartonagen aus den Bereichen Drucksorten (Großteils Zeitungen und Illustrierte) und Verpackungen. 2012 betrug die Menge an getrennt erfassten Verpackungen 84.200 t (13,2 %) (BMLFUW 2014a). Nach Angaben der ARA beträgt der durchschnittliche Verpackungsanteil im Altpapier ca. 14 % (ARA 2005). Papier, Pappe und Kartonagen bestehen zu 40 – 50 % aus Cellulose ($C_6H_{10}O_5$). Durch die Zugabe weiterer Stoffe und Chemikalien können die unterschiedlichen Qualitäten und Eigenschaften erzeugt werden. So sind weitere Bestandteile Füllstoffe, die bis zu 30 % ausmachen können, wie z.B. Kaolin (Hauptbestandteil Kaolinit $Al_4[(OH)_8|Si_4O_{10}]$), Talkum ($Mg_3[Si_4O_{10}(OH)_2]$) und Calciumcarbonat ($CaCO_3$), außerdem Bindemittel, wie z.B. Stärke ($C_6H_{10}O_5$) und Latex, sowie eine Vielzahl weiterer Chemikalien, wie z.B. Mineralpigmente, optische Aufheller, Klebstoffe, Oberflächenveredlungsmittel u.v.a.m (JRC-IPTS 2011b).

Altpapier aus Gewerbe und Industrie

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Gewerbe und Industrie wurden im Jahr 2012 in Österreich 810.000 t Altpapier (SN 18718) gesammelt. Das getrennt erfasste Altpapier aus Gewerbe und Industrie setzt sich zusammen aus Drucksorten (Zeitungspapier, Druck- und Schreibpapier) sowie Verpackungen aus Papier, Karton, Pappe und Wellpappe. (BMLFUW 2014a).

Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Stoffkonzentrationen im Altpapier.

Tabelle 6-7: Angenommene Stoffkonzentrationen für Altpapier

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]	Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
C	350.000	Hg	0,2
Cd	< 5	N	3.400
Cl	1.800	Ni	6,9
Cr	23	P	60
Cu	53	Pb	19
Fe	2.100	Zn	43

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- Wassergehalt: Der Wassergehalt in gelagertem Altpapier liegt bei durchschnittlich 5 - 10 % und wurde hier mit 7,5 % angesetzt (Brunner et al. 2001, JRC-IPTS 2011b).
- Störstoffanteil: Der Störstoffanteil im Altpapier liegt bei durchschnittlich 1 - 3 % (Brunner et al. 2001, JRC-IPTS 2011b). Als vereinfachende Annahme wird bei der Berechnung der Stoffkonzentrationen bisher vernachlässigt, dass sich die stoffliche Zusammensetzung des Störstoffanteils von der des Altpapiers unterscheidet.
- Chemische Zusammensetzung: Zur Berechnung der Stoffkonzentrationen wurden die chemischen Analysewerte der Altpapierfraktion der Studie „Restmüllzusammensetzung in Phasing-Out-Gebieten – Abschöpfbares Wertstoffpotential als Funktion abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen“ verwendet (LfU Bayern 2007).

Weitere Zellulose-, Papier- und Kartonabfälle

Zusätzlich zu den gesammelten Altstoffen der Fraktion Zellulose-, Papier- und Kartonabfälle wurden im Jahr 2012 rund 600.000 Tonnen Papierabfälle und Kartonagen gesammelt. Stoffkonzentrationen wurden aus (ABANDA 2015) für Verpackungsmaterialen (rd. 350.000 Tonnen) sowie weitere Papierabfälle (rd. 250.000 Tonnen) übernommen. Wenn keine Daten vorhanden sind, werden die Stoffkonzentrationen für P, Fe und C gemäß Tabelle 6-7 angesetzt.

Tabelle 6-8: Stoffkonzentration Verpackungsmaterialien [mg/kg]

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]	Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Cd	0,32	Hg	0,20
C	350.000	Ni	3,5
Cr	5,0	N	2.600
Cu	8,9	P	60
Fe	2.100	Pb	3,10
		Zn	24

Tabelle 6-9: Stoffkonzentration weitere Papierabfälle [mg/kg]

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]	Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Cd	1,7	Ni	11
C	350.000	N	7.200
Cr	15	P	490
Cu	67	Pb	25
Fe	1.300	Zn	170
Hg	0,28		

6.2.5 Glasabfälle

Altglas aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen wurden im Jahr 2012 in Österreich 220.000 t Altglas gesammelt. Davon waren ca. 34,5 % Weißglas (SN 31468) und ca. 65,5 % Buntglas (SN 31469) (EDM 2012). 211.000 t der gesammelten Altglasmenge (97 %) waren laut Statusbericht Verpackungsglas. Das Aufkommen wurde aus Angaben der ARA hochgerechnet und gerundet (BMLFUW 2014a). Das gesammelte Altglas aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen besteht (von Fehlwürfen abgesehen) aus Kalknatronglas, aus dem Verpackungsglas, wie z.B. Getränkeflaschen und Lebensmittelgläser, einfache Trinkgläser und Flachglas hergestellt werden. Die Hauptbestandteile von Kalknatronglas sind Sand (SiO2) (mit 71 - 75 %), Natron (Na2O) (mit 12 - 16 %) und Kalk (CaO) (mit 10 - 15 %). Zur Erzeugung unterschiedlicher Qualitäten und Eigenschaften werden weitere Stoffe zugesetzt, wie z.B. Aluminiumoxid (Al2O3) (ca. 2 %) für eine bessere chemische Beständigkeit, oder Farbstoffe, wie z.B. Eisenoxid (für Braunglas) oder *Eisenoxid und Cr (III)-oxid (für Grünglas) (SMUL 2000, JRC-IPTS 2011a).*

Glasabfälle aus Gewerbe und Industrie

Zur Fraktion „Altglas“ aus Gewerbe und Industrie gehören Verpackungen aus Weiß- und Buntglas inklusive Mehrweggebinden sowie Flachglas. Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Gewerbe und Industrie wurden im Jahr 2012 in Österreich 69.200 t Altglas gesammelt. Davon waren 50.000 t Verpackungsglas (16.500 t Weißglas (SN 31468) und 32.000 t Buntglas (SN 31469)) und 25.000 t Flachglas (SN 31408). Über 90 % des in Österreich gesammelten Flachglases stammen aus Industrie und Gewerbe. Im Rahmen der Flachglassammlung werden folgende Flachgläser (ohne anhaftende Verschmutzungen und ohne Störstoffe) getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt: Fensterglas, Verbundglas-Autoscheiben, Sekuritglas, Isolierglas, Spiegelglas und Drahtglas.

Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Stoffkonzentrationen für Glasabfälle.

Tabelle 6-10: Angenommene Stoffkonzentrationen im Altglas für ausgewählte Stoffe

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Al	12.000
C	3.000
Cd	0,15
Cr	3.400
Cu	1,0
Fe	12.000

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Hg	<0,01
N	-
Ni	1,0
P	-
Pb	0,9
Zn	6,0

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- Laut Angaben der AGR beträgt der Fehlwurfanteil im unsortierten Altglas durchschnittlich ca. 7 % (AGR 2010) daher wurden der Glasanteil im Altglas mit 93 % und der Störstoffanteil mit 7 % angesetzt.
- Es wird angenommen, dass es sich beim getrennt erfassten Altglas um Kalknatronglas handelt, das sich folgendermaßen zusammen setzt: 72 % SiO_2, 14 % Na_2O, 10 % CaO, 2 % Al_2O_3 (AGR 2013)
- Zu einigen Prozenten sind in Kalknatrongläsern auch andere Stoffe, etwa zum Färben enthalten (BVGlas 2014). Der Anteil an Eisenoxid und Cr (III)-oxid, die im Glas zur Ionenfärbung von Grünglas eingesetzt werden, wird im Altglas mit durchschnittlich 1,5 % Eisen(III)-oxid (Fe_2O_3) und 0,025 % Chrom(III)-oxid (Cr_2O_3) abgeschätzt (Patent De 2015)
- Die Stoffkonzentration von Cd, Cu, Ni, Pb und Zn wurde aus (ABANDA 2015)übernommen
- Für den 7 prozentigen Fehlwurfanteil im Altglas wird folgende Zusammensetzung angenommen (Arge Abfallvermeidung 2005):

- 3,5 % Fehlfarben (Als vereinfachende Annahme wird eine durchschnittliche Glaszusammensetzung für alle Glasfarben mit 1,5 % Eisen(III)-oxid (Fe_2O_3) und 0,5 % Chrom(III)-oxid (Cr_2O_3) angenommen (siehe oben).
- 2 % andere Glasarten (Als vereinfachende Annahme wird auch für die anderen Glasarten die durchschnittliche Glaszusammensetzung (vgl. oben) angenommen.
- 0,3 % Verschlüsse, die zu 50 % aus Eisen und 50 % aus Aluminium bestehen.
- 0,3 % Keramik, Stein, Porzellan (KSP) = 100 % Silicatkeramik (SiO_2) (vereinfachende Annahme)
- 0,9 % sonstige Störstoffe = Organik (vereinfachende Annahme)

6.2.6 Kunststoffabfälle

Leichtfraktion aus Haushalten

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen wurden im Jahr 2012 in Österreich 133.200 t Kunststoffe und Verbundstoffe gesammelt. Davon waren laut Statusbericht 119.500 t getrennt erfasste Verpackungen aus Kunststoffen und Verbundmaterialien (nach Abtrennung der Störstoffe) (BMLFUW 2014a). Die Leichtfraktion im Bereich Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen (einschließlich ähnlicher Gewerbeabfälle) setzt sich zusammen aus Kunststoffen, Materialverbunden, wie z.B. Getränkeverbundkartons (GVK) für Öko-Box, Leichtverpackungen aus textilen Faserstoffen, Keramik, Holzverpackungen und Packstoffen auf biologischer Basis, sowie aus stoffgleichen Nichtverpackungen.

Leichtfraktion aus Gewerbe und Industrie

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Gewerbe und Industrie wurden im Jahr 2012 in Österreich 41.800 t Leichtfraktion (SN 91207) gesammelt. Die Leichtfraktion aus Gewerbe und Industrie enthält ausschließlich Kunststoffverpackungen, wie z.B. Folien, Becher, Flaschen, Kanister und Eimer, aus der innerbetrieblichen getrennten Sammlung. Die Kunststoffverpackungen werden überwiegend direkt am Anfallsort sortenrein erfasst, d. h. getrennt nach den Kunststoffarten, wie z.B. Polyethylen (HDPE / LDPE), Polypropylen, PET, Polystyrol und expandiertes Polystyrol (EPS) (BMLFUW 2014a). Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Stoffkonzentrationen in der Leichtfraktion.

Tabelle 6-11: Angenommene Stoffkonzentrationen in der Leichtfraktion für ausgewählte Stoffe

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Al	2.700
C	570.000
Cd	11
Cl	2.500
Cr	62
Cu	55
Fe	4.100

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Hg	0,1
N	3.500
Ni	21
P	390
Pb	92
S	1.500

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- Zur Berechnung des Wassergehaltes und der Stoffkonzentrationen wurden die chemischen Analysewerte der Fraktionen „Kunststoffverpackungen/Folien“ und „Verbundverpackungen“ der Studie „Restmüllzusammensetzung in Phasing-Out-Gebieten – Abschöpfbares Wertstoffpotential als Funktion abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen“ verwendet (LfU Bayern 2007). Dabei wurde anhand von Angaben der ARA (9.262 t Getränkeverbundkartons bei der Leichtverpackungssammlung mitgesammelt) die Zusammensetzung der Leichtfraktion mit durchschnittlich 93 % „Kunststoffverpackungen/Folien“ und 7 % „Verbundverpackungen“ abgeschätzt (Auskunft ARA am 3.10.2014).
- Der Fehlwurfanteil in der Leichtverpackungssammlung liegt laut ARA bei ca. 19 %. Es handelt sich hierbei sowohl um stoffgleiche mitgesammelte Nichtverpackungen (ca. 7 %) als auch um sonstige Störstoffe (ca. 12,5%) (ARA 2013). Für die stoffgleichen Nichtverpackungen (7 %) wurde die stoffliche

Zusammensetzung der Leichtfraktion angesetzt. Für die sonstigen Störstoffe (12,5 %) wurde die stoffliche Zusammensetzung von Restmüll mit einen Wassergehalt von 35 % angenommen.

Weitere Kunststoffabfälle

In Summe wurden rund 170.000 Tonne Kunststoffabfälle ohne den Anteil der Leichtfraktion aus der Altstoffsammlung und Altreifen im Jahr 2012 gesammelt. Rund 7.000 Tonnen wurden der Kategorie gefährliche Abfälle zugordnet. Die Zusammensetzung dieser Kunststoffabfälle wurde auf Basis des Berichts von Plastics Europe (2012) angenommen.

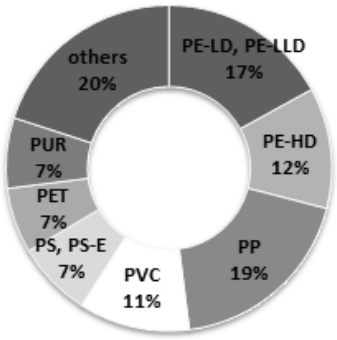


Abb. 6-4*: Europäischer Plastikbedarf (Plastics Europe 2012)*

Zur Bestimmung der Stoffkonzentration ist neben der Zusammensetzung vor allem die Berücksichtigung der eingesetzten Additive zu berücksichtigen. Additive sind chemische Wirkstoffe, die die Eigenschaft des Grundproduktes verändern, um diese zum Beispiel weicher oder leichter bearbeitbar zu machen. Der Anteil an Kunststoffadditiven wurde ausgehend von Fehringer et al. (1997a) abgeschätzt.

Tabelle 6-12: Additivanteil je Kunststoffsorte

Kunststoffsorte	Additivanteil [%]
PE-LD, PE-LLD	2,4
PE-HD	2,4
PP	7,0
PVC	17
PS, PS-E	7,0
PET	5,0
PUR	6,8

Eine große Anzahl und unterschiedlichste Additive werden in der Kunststoffverarbeitung eingesetzt. Laut einer schwedischen Studie (Westerdahl et al. 2010) sind bis zu 100.000 Chemikalien im Einsatz. Zu den meist eingesetzten Additiven zählen: Melamine, 2,4-Dibromphenol, 2,4,6-Tribromphenol, Pentabromotoluene, Pentabromdiphenylether, Pentabromobenzyl acrylate). Ausgehend von der schwedischen Studie wurden jene Additive berücksichtigt, die rund 80 % des Einsatzes abdecken. Auf Basis der beschriebenen Annahmen zur Kunststoffzusammensetzung, zum Additivanteil und zu den eingesetzten Additiven sowie den Daten aus (Fehringer et al. 1997a) konnte für folgende Stoffe die Konzentration bestimmt werden.

Tabelle 6-13: Stoffkonzentration Kunststoffabfällen [mg/kg]

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Cd	50
Cl	57.000
Cr	110
C	620.000
N	8.300

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Ni	16
P	1.000
Pb	450
S	940
Zn	440

6.2.7 Holzabfälle

Altholz aus Haushalten

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen wurden im Jahr 2012 in Österreich 221.000 t Altholz gesammelt (SN 17201, 17202 und 17218). Das getrennt erfasste Altholz aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen setzt sich zusammen aus 220.900 t sperrigem Altholz und 100 t Holzverpackungen, die über die Leichtverpackungssammlung der ARA mitgesammelt wurden (ARA 2013, BMLFUW 2014a). Die Fraktion „sperriges Altholz" umfasst Altholz, das in den Altstoffsammelzentren, in denen es zusätzlich zur Sperrmüllsammlung auch eine separate Altholzsammlung gibt, von der Bevölkerung abgegeben wird. Darin enthalten sind z.B. Abbruchholz, Bauholz, Bodenbeläge aus Holz, Bretter, behandeltes und unbehandeltes Holz, Holzkisten, Holzrahmen, Holztürstöcke (Türblätter, Holzfüllungen), Möbel aus Holz, Paletten aus Holz, Spanplatten.

Altholz aus Gewerbe und Industrie

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Gewerbe und Industrie wurden im Jahr 2012 in Österreich 137.700 t Altholz (Holzverpackungen und Holzabfälle) gesammelt (SN 17201). Die Fraktion „Altholz" aus Gewerbe und Industrie (teilweise inklusive Abfälle aus der Produktion) besteht u. a. aus Spänen, Holzwolle, Brettern, Holzverpackungen, wie Obst und Gemüsesteigen, Kisten, Holzfässern und Paletten und anderen Ladungsträgern, und sonstigen Holzabfällen (z.B. sperriges Altholz und alte Möbel). (BMLFUW 2011, BMLFUW 2014a)

Holzabfälle

In Summe sind im Jahr 2012 1 Million Tonnen Holzabfälle angefallen. Unter Holzabfällen werden Rückstände aus der Bearbeitung und Verarbeitung von Holz wie Rinden, Schwarten, Sägemehl, Holzemballagen, Bau- und Abbruchholz, Möbel, imprägnierte Hölzer verstanden. Etwa die Hälfte kann den Kategorien Holzemballagen und Bau- und Abbruchholz zugeordnet werden.

Tabelle 6-14: Holzabfälle – Fraktion [t]

Fraktion	Menge [t]
Rinde	115.000
Sägemehl und Sägespäne	125.000
Schwarten, Spreißel	21.000
Spanplattenabfälle	26.000
Bau- und Abbruchholz	311.000
Eisenbahnschwellen	31.000
Holzemballagen und Holzabfälle	321.000
Holz behandelt (z.B Pfähle und Masten)	42.000
Summe Holzabfälle	**992.000**

Rund 360.000 Tonnen Holzabfälle werden der Kategorie Altstoffe aus Haushalten oder Gewerbe zugeordnet. Holz besteht im wesentlich aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Aus ökologischer und humantoxischer Sicht sind allerdings die Inhaltstoffe aus dem bearbeiteten Holz zu betrachten. In einigen Althölzern kann mit stark erhöhten Schwermetall- und Holzschutzmittelgehalten gerechnet werden. Auf Basis der sehr ausführlichen Studien über Schadstoffgehalte in Holzabfällen (Vock 2004) und Altholz (Gras 2002) kann die stoffliche Zusammensetzung von einzelnen Fraktionen der Holzabfälle abgeleitet werden. Weiters wurde die Datenbank (ABANDA 2015) als Datengrundlage herangezogen.

Tabelle 6-15: Stoffkonzentration Holzabfälle [mg/kg]

	Rinde[1,2]	Sägemehl –späne[1,3]	Schwarten, Spreißel[3,4]	Spanplatten-abfälle[3,4]	Bau-Abbruch-holz[1,3,4]	Eisenbahn-schwellen [3]	Holz-emballagen[3,4]	Holz (Pfahl, Mast)[3]
Al		70	140	270	280	260	140	25
As	0,08	0,58	2,4	0,5	0,79	0,5	0,4	0,5
Cd	0,32	0,41	0,37	0,38	0,42	0,5	0,25	0,43
Cl	120	180	440	350	290	330	500	140
C	510.000	480.000	*450.000*	*450.000*	*450.000*	*450.000*	*450.000*	*450.000*
Cr	5	5,5	16	3,7	8,9	19	6,9	*18*
Cu	4,20	14	12	28	530	21	3,2	910
F	8,5	29	0,5	5,13	3,19	0,50	*10*	0,5
Fe	*150*	79	150	570	350	3.700	280	53
Hg	0,05	0,07	0,09	0,08	0,16	0,05	0,18	0,03
Ni	*1,4*	0,98	1,7	4,1	39	3	0,9	1,4
N	5.500	1.700	*4.000*	*4.000*	*4.000*	*4.000*	*4.000*	*4.000*
P	*60*	82	85	120	220	150	*60*	25
PAK	*6,25*	*6,25*	*6,25*	*6,25*	*6,25*	*6,25*	*6,25*	*6,25*
Pb	3	9	27	12	32	10	13	11
Zn	90	33	140	22	120	70	47	250

1 (ABANDA 2015), 2 (Scheffknecht 1999) 3 (Vock 2004) 4 (Gras 2002); *Werte in kursiver Schrift sind Abschätzungen*

6.2.8 Metallabfälle

Altmetalle Haushaltsschrott (Sperrmüllsammlung)

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen wurden im Jahr 2012 in Österreich 88.000 t Altmetalle als Haushaltsschrott im Rahmen der Sperrmüllsammlung separat erfasst (BMLFUW 2014a). Der im Rahmen der Sperrmüllsammlung separat erfasste Haushaltsschrott setzt sich z.B. aus folgenden Altmetallen zusammen: Abflussrohre aus Metall, Bleche, Draht, Eisenpfannen und Töpfe, Fahrräder, Gussteil-Öfen, Kupferrohre, Maschinenteile, Nägel, Schrauben, Sport- bzw. Spielgeräte aus Metall, Werkzeuge, Metalldeckel von Grablichthüllen, Metallzäune, Alufenster ohne Glas, Aluminiumgeschirr, Autofelgen ohne Reifen. Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Stoffkonzentrationen in Altmetallen (Haushaltsschrott).

Tabelle 6-16: Angenommene Stoffkonzentrationen in Altmetallen (Haushaltsschrott) für ausgewählte Stoffe

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Al	27.000
C	210.000
Cd	4
Cr	12.000
Cu	6.000
Fe	660.000
N	900
Ni	6.900
P	90

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- Für die Zusammensetzung des Haushaltsschrotts wird die Zusammensetzung von „Altschrott gesamt“ der Studie „Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich“ des österreichischen Umweltbundesamtes verwendet: 69 % Eisenmetalle, 2,7 % Aluminium, 0,6 % Kupfer und 27,7 % Shredder-Abfälle (Frischenlager et al. 2010).
- Für den Eisenanteil wird folgende durchschnittliche Zusammensetzung abgeschätzt: 50 % Eisen mit 2 % Kohlenstoff, 40 % unlegierte Kohlenstoff-Stahlschrottsorten mit 1% Kohlenstoff, 10 % NiRo-Stahl mit 18 % Chrom, 10 % Nickel und 1 % Kohlenstoff (BDSV 1995, Wikipedia 2014b).

- Für die Zusammensetzung der Shredderabfälle wird die Zusammensetzung der Fraktion „Kunststoffverpackungen/Folien“ der Studie „Restmüllzusammensetzung in Phasing-Out-Gebieten – Abschöpfbares Wertstoffpotential als Funktion abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen“ verwendet (LfU Bayern 2007).

Altmetalle Metallverpackungen

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen wurden im Jahr 2012 in Österreich 29.500 t Altmetalle über die Verpackungssammlung erfasst (SN 35105). Davon waren laut Statusbericht 24.800 t (84 %) Metallverpackungen. Das Aufkommen wurde aus Angaben der ARA hochgerechnet und gerundet. Die Differenz ergibt sich durch mitgesammelte Nichtverpackungen und Störstoffe (BMLFUW 2014a). Das über die Verpackungssammlung erfasste Altmetall enthält Stahlblech und Aluminium. Aus Stahlblech, zumeist mit Zinn zu Weißblech veredelt, bestehen Dosen, Kanister, Verschlüsse und anderen Packmittel, die zur Verpackung von Getränken, Nahrungs- und Genussmitteln aber auch für chemisch-technische Füllgüter eingesetzt werden. Aluminium wird in erster Linie als blanke Folie (Schokoladefolie etc.) oder als lackiertes bzw. bedrucktes Aluminium (Getränkedosen, Joghurtbecherdeckel etc.) eingesetzt (ARA 2013). Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Stoffkonzentrationen in Altmetallen aus der Haushaltsammlung.

Tabelle 6-17: Angenommene Stoffkonzentrationen im Altmetall (Metallverpackungen) für ausgewählte Stoffe

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Al	80.000
Cd	2
C	110.000
Fe	770.000
N	490
P	49

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- Für die getrennt erfassten Altmetalle (Metallverpackungen) wird folgende Zusammensetzung angenommen: 77 % Ferrometall, 8 % Aluminium, 15 % Sortierabfälle (Brunner et al. 2001, Arge Abfallvermeidung 2005, ARA 2013)
- Für die Ferrometalle wird vereinfachend angenommen, dass es sich zu 100 % um Weißblech mit 0,25% Kohlenstoff und 2 kg Zinn pro Tonne Stahl handelt.
- Für die Zusammensetzung der Sortierabfälle wird die Zusammensetzung der Fraktion „Kunststoffverpackungen/Folien“ der Studie „Restmüllzusammensetzung in Phasing-Out-Gebieten – Abschöpfbares Wertstoffpotential als Funktion abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen“ verwendet (LfU Bayern 2007).

Altmetalle aus Gewerbe und Industrie

- Eisen- und Stahlabfälle (Schrott)
  Dazu gehören Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie, in erster Linie stückige Abfälle, die nach der Stahlschrottsortenliste gehandelt werden. In Summe wurden 2012 rund 760.000 Tonnen Eisen- und Stahlabfälle (Schrott) als getrennt gesammelte Altstoffe aus Gewerbe und Industrie gesammelt (BMLFUW 2014a).
- Eisenmetallemballagen und –behältnisse
  Dabei handelt es sich um körperförmige Behältnisse aus Fe-Metall aus kleinen und mittleren Gewerbebetrieben als auch der Industrie. Im Jahr 2012 wurden 22.000 Tonnen gesammelt (BMLFUW 2014a).
- NE-Metallschrott, NE-Metallemballagen
  Bei NE-Metallemballagen handelt es sich hauptsächlich im Nichteisen-Metall-Behältnisse und Nichteisen-Metall-Schrott, welche vor allem im Baubereich im Transportwesen und im Verpackungsbereich anfallen. Im Jahr 2012 wurden 60.000 Tonnen gesammelt (BMLFUW 2014a).

Die Stoffkonzentration für die Fraktion Eisen-, Stahl- und weitere Metallabfälle aus Gewerbe und Industrie werden ausgehend von Mauss (2013) sowie (ABANDA 2015) abgeschätzt (siehe Tabelle 6-18). Für NE-Metalle wurden auch die Stoffkonzentrationen gem. Tabelle 6-18. Angenommen (Ausnahme Fe: 75.000mg/kg).

Tabelle 6-18: Stoffkonzentration für Eisen-, Stahl- und weitere Metallabfälle (Schrott)

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]	Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Ag	1.000	Mo	3.000
Al	2.000	Ni	81.000
As	300	P	300
Cd	10	Pb	20
Co	5.000	S	500
C	500	Sb	100
Cr	1.300	Se	200
Cu	3.000	Sn	300
Fe	710.000	V	2.000
Mn	16.000	Zn	500

Weitere Metallabfälle

Zusätzlich zu den gesammelten Altmetallen wurden im Jahr 2012 rd. 1,2 Millionen Tonnen weitere Metallabfälle gesammelt.

Tabelle 6-19: weitere Metallabfälle – Fraktion (t]

Fraktion	Menge [t]
Eisen und Stahlabfälle	870.000
Aluminium	110.000
Kupfer	43.000
Nickel	23.000
Blei	1.000
Zink	3.000
Rest	92.000
Summe	**1,2 Mio.**

Für die Fraktionen Eisen- und Stahlabfälle und Rest gemäß Tabelle 6-19 werden die Stoffkonzentrationen gemäß Tabelle 6-18 herangezogen. Die sortenrein gesammelten Abfälle gemäß Tabelle 6 19 werden ausgehend je nach Metallart den entsprechenden Stoffen zugeordnet.

6.2.9 Textilabfälle

Alttextilien aus Haushalten

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen wurden im Jahr 2012 in Österreich 27.000 t Alttextilien (SN 58107) gesammelt (BMLFUW 2014a). Die Fraktion „Alttextilien“ umfasst Textilien, die in Sammelstellen von Hilfsorganisationen oder in den Altstoffsammelzentren von der Bevölkerung abgegeben werden. Dabei handelt es sich vor allem um Bekleidungsartikel aus dem Haushaltsbereich. Außerdem werden Haushaltstextilien, wie Bettwäsche, Haushaltswäsche, Tischwäsche und Decken, sowie gebrauchsfähige Altschuhe in dieser Fraktion mitberücksichtigt. Teppiche, Matratzen, etc. werden derzeit in Österreich nicht getrennt erfasst. Nicht angenommen werden: Lederwaren, Lumpen, Schneidereiabfälle, verölte Fetzen, verunreinigte und verschlissene Kleidung und Textilien, Federbetten, sowie nicht gebrauchsfähige oder nasse Altkleider oder Altschuhe.

Alttextilien aus Gewerbe und Industrie

Im Rahmen der Erfassung getrennt gesammelter Altstoffe aus Gewerbe und Industrie wurden im Jahr 2012 in Österreich 10.000 t Alttextilien (SN 58107) gesammelt. Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Stoffkonzentrationen in Alttextilien.

Tabelle 6-20: Angenommene Stoffkonzentrationen in Alttextilien

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Cd	< 5
C	360.000
Cr	180
Cu	260
Fe	2.200
Hg	0,3

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
N	24.000
Ni	7
P	760
Pb	160
Zn	480

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- Wassergehalt: Der Wassergehalt in den Alttextilien wurde hier anhand der verwendeten Quellen mit durchschnittlich 6 % abgeschätzt (Lechtenböhmer et al. 2006)
- Zur Berechnung der Stoffkonzentrationen wurden die chemischen Analysewerte der Textilfraktion der Studie „Restmüllzusammensetzung in Phasing-Out-Gebieten – Abschöpfbares Wertstoffpotential als Funktion abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen“ verwendet (LfU Bayern 2007).

Weitere Textilabfälle

Weiters wurde im Jahr 2012 rund 4.000 Tonnen weitere Textilabfälle wie Stoff- und Gewebereste, Fasern und Schlämme aus der textilver- und -bearbeitenden Industrie gesammelt (BMLFUW 2014a). Für Textilschlämme und Textilfasern werden die Stoffkonzentrationen der (ABANDA 2015)-Datenbank verwendet. Für C, N, P und Fe wurden die Stoffkonzentrationen von Alttextilien übernommen.

Tabelle 6-21: Angenommene Stoffkonzentrationen für Textilschlämme

Stoff	Textilfasern	Textilschlämme
Cd	0,28	3
Cl	2.500	1.000
C	680.000	360.000
Cr	20	20
Cu	90	210
Fe	2.200	2.200
Hg	0,23	2
N	24.000	24.000
Ni	7	20
P	760	760
Pb	15	200
Zn	140	170

6.2.10 Getrennt gesammelte Problemstoffe

Das Aufkommen der getrennt gesammelten Problemstoffe betrug im Jahr 2012 rund 20.000 Tonnen. Problemstoffe sind diverse gefährliche Abfälle (z.B. Altlacke, Batterien, Arzneimittel, Säuren etc.) die in Haushalten anfallen. Die Stoffkonzentration kann aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung nur abgeschätzt werden. Als Datengrundlage wurden Analyseergebnisse aus der Abfallanalysedatenbank des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen kurz (ABANDA 2015) zu Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfällen, Öle und Fette, Farben-Druckfarben-Klebstoffe-Kunstharze, Lösemittel Säuren und Laugen verwendet und der Mittelwert gebildet.

Tabelle 6-22: Stoffkonzentration Problemstoffe [mg/kg]

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
As	50
Cd	21
Cl	6.400
Co	0,87
Cr	24
Cu	270

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Fe	53
Hg	55
Ni	8,2
N	3.800
Pb	290
Zn	320

6.2.11 Abfälle aus dem Bauwesen

Abfälle aus dem Bauwesen sind nach dem Bodenaushub und den Abfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen die massenbezogen bedeutendste Abfallfraktion in Österreich. Die Summe aller Fraktionen der Abfälle aus dem Bauwesen wird im Statusbericht 2013 zum Österreichischen Bundes-Abfallwirtschaftsplan für das Jahr 2012 mit 6.584.000 Tonnen ausgewiesen (BMLFUW 2014a). Abfälle aus dem Bauwesen stammen zu ca. 90 Masse-% aus dem eigentlichen Gebäudeabbruch und nur zu 10 Masse-% aus dem Neubau. Generell ist bei den Angaben bezüglich Abfällen aus dem Bauwesen nach Gesprächen mit Herrn Car (Baustoff-Recycling Verbandes (BRV)), Herrn Starke (BMLFUW) und anderen Branchenvertretern mit großen Unsicherheiten zu rechnen. Einerseits ist bisher eine durchgehende Dokumentation von Abfällen aus dem Bauwesen nicht gewährleistet, und andererseits werden entsprechend große Mengen, welche an Ort und Stelle „verwertet“ bzw. illegal entsorgt und/oder als Schüttmaterial im privaten wie gewerblichen Bereich verwendet werden, gar nicht dokumentiert. Zukünftig soll die Einführung der Recycling-Baustoff Verordnung eine bessere Dokumentation der stofflich verwerteten Fraktionen bringen und bestehende rechtliche „Grauzonen“ verringern. Bei einem Erfolg dieser Verordnung wird zunächst mit steigenden dokumentierten Massen und dadurch mit einer Verringerung der Recyclingquote sowie einer Erhöhung zu deponierender Baurestmassen gerechnet, was sich jedoch positiv auf die eingesetzte Recycling-Baustoffqualität und damit auf die Umwelt auswirken soll. In diesem Kapitel wird ausschließlich auf die in Tabelle 6-23 gelisteten Abfälle eingegangen. Diese werden auch im Bundes-Abfallwirtschaftsplan als Abfälle aus dem Bauwesen behandelt. Weiters anfallende getrennt gesammelte Altstoffe wie Altholz, Schrotte,… werden in den anderen Kapiteln dieses Berichtes behandelt.

Tabelle 6-23: Zusammensetzung, Aufkommen und Verwertung (in Tonnen) von Abfällen aus dem Bauwesen

SN	Bezeichnung	Zusammensetzung	Aufkommen *[t]*	Ver-wertung *[t]*	Quote *[%]*	Verwertung *[t]*
			(BMLFUW 2014a)			*BRV*
31409 (18, 91)	Bauschutt	Ziegel, Beton, Keramik, Steine, Fliesen, Mörtel, Verputz	2.158.000	1.732.000	80,3	2.749.000
31410 (91)	Straßenaufbruch	Asphaltaufbruch, Beton, Tragschichtmaterialien	704.000	703.000	99,9	941.000
31427 (17, 91)	Betonabbruch	Konstruktionsteile oder Fertigteile aus Beton, Betonfahrbahnen, Estrich	2.409.000	2.387.000	99,1	2.148.000
31467	Gleisschotter	Gesteinskörnung von Gleisanlagen	227.000	214.000	94,3	-
54912	Bitumen, Asphalt	Asphaltaufbruch	765.000	752.000	98,3	-
Summe			**6.263.000**	**5.788.000**		**5.838.000**

Die hier betrachteten Abfallfraktionen sind nahezu ausschließlich mineralischen Ursprungs, wobei bei Asphalt und bituminösen Baustoffen auch organische Grundstoffe als Matrixmaterial vorkommen. Auf die einzelnen Fraktionen wird im Folgenden genauer eingegangen. Die Angaben zur Inputzusammensetzung der Abfallfraktionen basieren mangels neuerer Publikationen auf Literaturquellen, deren Publikationsjahr weit außerhalb der für diese Studie angesetzten zeitlichen Einschränkungen liegen. Zusätzlich ist anzumerken, dass die Ergebnisse der Studien nur auf eine im Verhältnis zum Abfallaufkommen äußerst geringe Stichprobenanzahl

aufbauen. Auf Grund fehlender neuerer oder eigener Datenquellen sind die Angaben mit einer hohen Unsicherheit behaftet und können somit ausschließlich einer groben Abschätzung dienen. Tabelle 6-23 aus dem Statusbericht 2013 (BMLFUW 2014a) veranschaulicht die grundsätzliche Zusammensetzung der zu betrachtenden Abfallfraktionen bzw. die Baustoffe, welche in den Abfallfraktionen vorkommen.

Neben der Zusammensetzung wird in Tabelle 6-23 auch das geschätzte Abfallaufkommen sowie die verwerteten Massen aus einer Hochrechnung auf Basis der Angaben des Baustoff-Recycling Verbandes dargestellt. Die Angaben der grün schattieren Spalten geben die Zahlen des Statusberichts 2013 wieder. Dabei ist gut zu erkennen, dass die Recycling-Vorgabe der EU-Abfallrahmenrichtlinie von 70 Masse-% erreicht wird. Tabelle 6-24 stellt das Aufkommen laut Statusbericht 2013 von Abfällen aus dem Bauwesen den deponierten Massen gegenüber (BMLFUW 2014a).

Tabelle 6-24: Aufkommen, Deponierung und sonstige Verwertung (in Tonnen) von Abfällen aus dem Bauwesen

SN	Bezeichnung	Zusammensetzung	Aufkommen [t]	Deponie [t]	Quote [%]
31409 (18, 91)	Bauschutt	Ziegel, Beton, Keramik, Steine, Fliesen, Mörtel, Verputz	2.158.000	427.000	19,8
31410 (91)	Straßenaufbruch	Asphaltaufbruch, Beton, Tragschichtmaterialien	704.000	2.000	0,3
31427 (17, 91)	Betonabbruch	Konstruktionsteile oder Fertigteile aus Beton, Betonfahrbahnen, Estrich	2.409.000	23.000	1,0
31467	Gleisschotter	Gesteinskörnung von Gleisanlagen	227.000	13.000	5,7
54912	Bitumen, Asphalt	Asphaltaufbruch	765.000	13.000	1,7
Summe			**6.263.000**	**478.000**	**8**

Grundsätzlich ist die Datenerhebung der Baurestmassen in Österreich noch mangelhaft, und muss für ein fundiertes Benchmarking in Zukunft weiter verbessert werden. Eine detaillierte Kritik an Datenlücken, deren Ursache und grundsätzliche Problematik wird in Daxbeck et al. (2010) näher erläutert. Dabei stellt sich heraus, dass z.B. Daten aus Niederösterreich einer informellen Hochrechnung entstammen, Oberösterreich wiederum die kommunale Sammlung betrachtet und Probleme bei der Allokation von überregional tätigen Verwertungsunternehmen hat. Das Land Kärnten führt keine eigene Aufzeichnung von verwerteten Baurestmassen, sondern geht davon aus, dass die Differenz zwischen Deponierung und abgeschätzten Aufkommen verwertet wird. Berechnungen des Landes Steiermark wiederum ergeben einen unsicheren Verbleib von 20-60 Masse-% des Aufkommens. Durch das Vermischen von Top-Down und Bottom-Up Erhebungen bei der Berechnung von Verwertung und Aufkommen entstehen so weitere Datenunsicherheiten.

Bauschutt (keine Baustellenabfälle)

Nach Scheibengraf und Reisinger (2005) stellt Bauschutt in der Regel ein heterogenes Materialgemisch aus vorwiegend mineralischen Bestandteilen (vgl. Tabelle 6-23) dar. Als Störstoffe können geringe Anteile an nicht mineralischen Stoffen wie Metallen, Holz, Kunststoffen, Pappe, Papier, usw. enthalten sein. Im Zuge der Abfallverwertung ist es notwendig diese Störstoffe zu entfernen.

Daxbeck et al. (2010) versuchten an Hand von ausgewählten Abbruchprojekten eine Abschätzung zu treffen, mit welchen Materialien derzeit und in Zukunft aus dem Gebäudeabbruch zu rechnen ist. In Tabelle 6-25 und Tabelle 6-26 werden mögliche Zusammensetzungen von Bauschutt dargestellt. Zusätzlich wird ein Vergleich mit den Grenzwerten der Qualitätsklassen A+, A und B (ausschließlich Gesamtgehalte) der Richtlinie für Recycling-Baustoffe geführt. Auf ein Ausweisen der Qualitätsklasse C wird verzichtet, da deren Einsatz nur auf Deponien erlaubt ist, und derzeit kein Mitgliedsbetrieb des BRV Qualitätsklasse C produziert. Es ist anzumerken, dass die einzuhaltenden Grenzwerte für Recycling-Baustoffe logischerweise hauptsächlich aus Eluat-Parametern (Cr, Cu, NH_4-N, NO_2-N, SO_4, KW) bestehen, auf welche in diesem Kapitel nicht weiter eingegangen wird.

Die Eluatgehalte stellen aber ein Problem für die Ermittlung der Stoffkonzentrationen in den Abfallfraktionen dar, da nicht direkt aus Eluat-Werten auf den Stoffgehalt geschlossen werden kann. Zum Beispiel sind Daten zu

Sulfat und Nitrit zwar Teil der verpflichtenden Eluatparameter der qualitätsgesicherten Recycling-Baustoffe, dennoch können keine aktuellen Aussagen zu Gesamtgehalten an Stickstoff bzw. Schwefel gemacht werden.

Mangels aktuellerer Werte werden in Tabelle 6-25 die vorhandenen Literaturdaten zur Inputzusammensetzung von Bauschutt laut Schachermayer et al. (1998) sowie Brunner und Stämpfli (1993) angeführt. Zusätzlich sind die in Brunner und Stämpfli (1993) untersuchten mineralischen Baustoffe eine aussortiere Fraktion aus vermischten Abfällen aus dem Bauwesen (ähnlich Baustellenabfällen mit hohem mineralischem Anteil), welche somit als nicht repräsentativ eingeschätzt werden.

Schachermayer et al. (1998) verbleiben somit als einzige Literaturquelle für Inputmaterialen von Bauschutt in Österreich. Bei der Anwendung dieser Daten ergeben sich große Unsicherheiten, da die Probenanzahl im Verhältnis zum Aufkommen an Bauschutt in Österreich weitaus zu gering war und weil die Erstellung der Studie 16 Jahre zurückliegt, und eine Veränderung in der Abfallzusammensetzung quantitativ nicht abschätzbar ist. Die damals ermittelten Parameter wurden bei einer einzigen für Österreich nicht repräsentativen Bauschuttaufbereitungsanlage (stationäre nasse Bauschuttaufbereitung) erhoben.

Tabelle 6-25: Stoffliche Zusammensetzung von Bauschutt [mg/kg]

Stoffe	Bauschutt [mg/kg]							Qualitätsklassen Baustoff-Recycling [mg/kg]		
	(Schachermayer et al. 1998)				(Glenck et al. 1997)	(Walker und Dohmann 1998)	(Brunner und Stämpfli 1993)			
	Input 1	Input 2	RM-1	RM-2	Input	RM	Input	A+	A	B
As								20	30	30
Al	9.000	12.000	7.069	10.667	60000-1000		12.000			
Pb	38	22	31	17		40	930	30	100	100
Cd	0,19	0,01	0,01	0,09		0,18	0,50	0,50	1,10	1,10
Ca			168.966	118.667						
Cr	20	25	17			12	130	40	90	90
Co										
Cu	12	18	9	16		21	330	30	90	90
Fe	10.000	16.000	6.552	12.533	2.000-11.000		20.000			
N					200					
Ni								30	55	55
P							440			
PCB	450									
Hg	0,09	0,35	0,05	0,20		0,06	0,10	0,20	0,70	0,70
Si			118.966	137.333						
Zn	35	41	26	30		110	170	100	450	450
Si							170			
S	22.000	1.000	1.621	1.080			3.900			
TC	69.000	55.000	62.069	44.533			4.800			
TOC	11.000	14.000	8.448	5.387	2.000-20.000	20.000				
H_2O	8.000	110.000								

Die weiteren angeführten Zusammensetzungen wurden an schon aufbereitetem Bauschutt erhoben (Schachermayer et al. 1998, Walker und Dohmann 1998). Diese können somit nur als Schätzwert für tatsächlich anfallende Inputmaterialien dienen. Obwohl bei diesen beiden Studien die Bezeichnung RM (Recycliertes gebrochenes Mischgranulat aus Beton, Asphalt und natürlichem Gestein) als Recycling-Baustoffe gewählt wurde, wird auf Grund von Ausführungen in der Literatur davon ausgegangen, dass es sich hierbei nicht um Straßenaufbruch sondern um Bauschutt handelt. Bei einem Vergleich der Daten mit den Stoffkonzentrationen nach Schnöller et al. (2010) wird sichtbar (vgl. Tabelle 6-26), dass bei Bauschutt aus dem Hochbau durchaus mit höheren Schadstoffkonzentrationen als bei den in Tabelle 6-25 angeführten Literaturwerten zu rechnen ist und je nach Herkunft bzw. Qualität der Ausgangsmaterialien starke Schwankungen auftreten. Beispielsweise erkannten Schnöller et al. (2010), dass die hohen Schadstoffkonzentrationen von Recycliertem Hochbausand bzw. –split (RH) im betrachteten Gebäude 1 mit Schüttungen aus Schlacken zusammenhängen. Diese Schadstoffe können durch eine entsprechende Schadstoffentfrachtung beim Gebäudeabbruch durchaus

lokalisiert, vorzeitig abgetrennt und deponiert werden. Leider kann im Hinblick auf die Erhebung einer für Österreich repräsentativen durchschnittlichen Zusammensetzung nicht nachvollzogen werden, ob diese Schadstofffrachten einen Ausreißer darstellen, oder ob die Deponiefraktion aus Baurestmassen ähnliche Zusammensetzungen aufweist.

Tabelle 6-26: Stoffliche Zusammensetzung von Bauschutt aus zwei Projekten (Steiermark und NÖ)

	Bauschutt- Hochbau [mg/kg] (Schnöller et al. 2010)							Qualitätsklassen Baustoff-Recycling [mg/kg]		
	Ziegel	*RH-1 > 25*	*RH-1 6,5-25*	*RH-1 <6,5*	*RH-2 > 20*	*RH-2 6,3-20*	*RH-2<6,3*	*A+*	*A*	*B*
As	12	6	35	28	<8	<8	<8	20	30	30
Pb	20	26	150	160	33	40	53	30	100	100
Cd	<1	4	2	2	<1	<1	<1	0,5	1,1	1,1
Cr	85	99	230	130	74	47	62	40	90	90
Cu	31	46	56		<5	26	<5	30	90	90
Ni	32	49	27	37	<5	<5	<5	30	55	55
Hg	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	0,2	0,7	0,7
Zn	89	61	140	140	<5	99	<5	450	450	450

Außer den Ergebnissen der hier dargestellten Studien, welche auf der Betrachtung einzelner Gebäude beruhen, liegen derzeit keine belastbaren Daten zur Abschätzung der Zusammensetzung von Bauschutt in Österreich vor. Zukünftig könnte eine Modellierung der Stoffflüsse auf Basis von möglichen Inputmaterialien erfolgen, wobei dies auch in Daxbeck et al. (2010) nicht gemacht wurde. In dieser Studie wurde aber versucht, eine Hochrechnung für das Schadstoffpotential (Blei, Chrom, Kupfer) des österreichischen Gebäudebestandes durchzuführen. Die vorliegenden Datenlücken und Unsicherheiten in Aufkommen, Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien, stofflicher Zusammensetzung sowie Konsistenz der vorliegenden Studien (Alter, Materialzusammensetzung, Verwertungsverfahren) lässt die getroffenen Annahmen zur Quantifizierung des Stoffflusses der Abfallfraktion „Bauschutt“ nur mit großen Unsicherheiten zu. Es handelt sich somit nur um eine grobe Abschätzung, wobei von einer Verwendung für andere Studienzwecke abgeraten wird.

Straßenaufbruch/Bitumen und Asphalt

Für die Abfallfraktionen Straßenaufbruch, Bitumen und Asphalt gibt es im Gegensatz zur Fraktion Bauschutt keine verfügbaren Daten zur stofflichen Zusammensetzung des Inputmaterials. Studien des Umweltbundesamts (Grech et al. 2002, Grech et al. 2003) weisen nur die Zusammensetzung der Recyclingmaterialien RA (Recycliertes gebrochenes Asphaltgranulat) und RM (Recycliertes gebrochenes Mischgranulat aus Beton, Asphalt und natürlichem Gestein) aus. Weiters wird in den Studien auch ein Vergleich mit Primärmaterialien gemacht, welcher allerdings nicht direkt auf die stoffliche Zusammensetzung des Recycling-Baustoffs schließen lässt. Allerdings kann bei Straßenaufbruch davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der anfallenden Masse in mobilen trockenen Aufbereitungsanlagen vor Ort behandelt und zu nahezu 100 % wieder im Straßenbau verwendet wird. Nachdem keine wesentliche Schadstoffentfrachtung bei mobilen Anlagen durchgeführt wird, wird für diese Studie angenommen, dass die Zusammensetzung des Recycling-Baustoffs jener des Inputmaterials entspricht, und die deponierten Massen nur auf Grund von Verunreinigungen bzw. erhöhter Eluatwerte entstehen, welche mit den Gesamtgehalten nicht abgebildet werden können.

Tabelle 6-27: Stoffliche Zusammensetzung von Recycling-Baustoffen aus Straßenaufbruch

	Straßenaufbruch [mg/kg]						Qualitätsklassen Baustoff-Recycling [mg/kg]		
	(Grech et al. 2003)			*(Grech et al. 2002)*		*(Glenck et al. 1997)*			
	RA-min	*RA-med*	*RA-max*	*RA*	*RM*	*Input*	*A+*	*A*	*B*
As							20	30	30
Al	2.910	4.700	7.680	3.000	5.300	2.500-8.000			
Pb	4	6	23	4	6		30	100	100
Cd	0,07	0,08	0,15	0,09	0,08		0,50	1,10	1,10
Ca									
Cr	8	14	27	11	19		40	90	90
Co	13	17	35	18	27				

	Straßenaufbruch [mg/kg]						Qualitätsklassen Baustoff-Recycling [mg/kg]		
	(Grech et al. 2003)			(Grech et al. 2002)		(Glenck et al. 1997)			
Cu	<8	9	34	6	33		30	90	90
Fe						2.800-9.200			
N						210			
Ni	7	14	29	12	16		30	55	55
PCB	0,000	0,001	0,706						
Hg	0,01	0,04	0,10	0,02	0,02		0,20	0,70	0,70
Si									
Zn	16	21	62	50	55		100	450	450
TOC	27.000	30.000	52.000		12.000	10000-57000			

Betonabbruch

Betonabbruch stammt aus Bauwerken, die überwiegend aus Beton bestehen bzw. fällt Betonabbruch bei der Trennung von Beton und anderen Baurestmassen auf der Baustelle an. Betonabbruch ist eine sehr homogene Fraktion und meist nur gering verunreinigt. Ein qualitativ hochwertiges Recycling ist für diese Fraktion gut möglich. Die in Tabelle 6-28 angeführte Datensammlung besteht wie auch jene von Bauschutt aus Studien außerhalb des Betrachtungszeitraums dieser aktuellen Studie. Nichtsdestotrotz wird im Falle des Betonabbruchs davon ausgegangen, dass die Ergebnisse von damals auch noch heute gültig sind, da etwaige Veränderungen vor allem hinsichtlich Betonzusätze (z.B. Verflüssiger, Frostschutz) erst bei zukünftigen Abbruchprojekten relevant sein werden. Bei einem Vergleich der Parameterwerte von RB (Recycliertes Betongranulat) mit den Gesamtgehalt-Grenzwerten der Recycling-Baustoff Richtlinie kann abgeleitet werden, dass die produzierten Recycling-Baustoffe die Grenzwerte stark unterschreiten. Selbst die Inputzusammensetzung würde eine A+ Qualität gewährleisten. Wie auch beim Straßenaufbruch können Einschränkungen in der Anwendung auf Grund von nicht erreichten Eluat-Grenzwerten entstehen.

Tabelle 6-28: Stoffliche Zusammensetzung von Betonabbruch sowie dessen Recycling-Baustoffen

	Betonabbruch [mg/kg]						Qualitätsklassen Baustoff-Recycling [mg/kg]		
	(Schachermayer et al. 1998)				(Grech et al. 2002)	(Glenck et al. 1997)			
	Input-1	*Input-2*	*RB-1*	*RB-2*	*RB*	*Input*	*A+*	*A*	*B*
As							20	30	30
Al	4.500	4.800	3.531	4.133	8.700	3.500-5.400			
Pb	36	23	27	22	7		30	100	100
Cd	0,03	0,12	0,19	0,10	0,07		0,50	1,10	1,10
Ca			218.75	204.444					
Cr	10	14	8	12	25		40	90	90
Co					16				
Cu	8	14	6	12	14		30	90	90
Fe	7.700	8.100	3.688	5.200		3.100-8.700			
N						200			
Ni					22		30	55	55
Hg	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03		0,20	0,70	0,70
Zn			18	32			100	450	450
S	1.400	1.600	1.125	1.356					
TC	99.000	80.000	91.563	75.556					
TOC	11.000	35.000	9.531	5.755	8.000	1.400-19.000			
H_2O	56.000	34.000							

Gleisschotter

Die Fraktion „Gleisschotter“ bzw. Gleisaushub setzt sich aus verunreinigten Materialien des Gleiskörpers zusammen, welche nicht direkt an der Baustelle gereinigt und wieder eingebaut werden können, sondern an Entsorger übergeben werden. Die Aufbereitung und der Wiedereinbau vor Ort geschehen meist mittels gleisgebundenen Schotterreinigungs- bzw. -aufbereitungsmaschinen, die den Gleisschotter reinigen, brechen und als Tragschichtmaterial verwerten. Für das zu entsorgende Material wurden keine Literaturwerte zur

Zusammensetzung von Gleisschotter gefunden. Nachdem eine Verwertung außerhalb der internen Anwendung für den Gleiskörper der Recycling-Baustoff Verordnung unterliegt, wird hier in Zukunft mit einer besseren Datenlage gerechnet.

Zusammensetzung von Abfällen aus dem Bauwesen

Für die in dieser Studie durchgeführte Stoffflussanalyse wird in Tabelle 6-29 die stoffliche Zusammensetzung der betrachteten Abfallfraktionen (aus dem Bauwesen dargestellt. Es muss vorweg noch einmal darauf hingewiesen werden, dass diese Abschätzung eine sehr hohe Unsicherheit in sich birgt. Folgende Datenmängel sind zu beachten:

- Literatur der Datenbasis außerhalb des Betrachtungszeitraums
- Bauschuttzusammensetzung – nicht repräsentativ
- Bauschuttaufbereitungstechnologie – nicht repräsentativ
- Straßenaufbruch – keine Inputzusammensetzung verfügbar – Abschätzung auf Basis der Recycling-Baustoffe
- Primärdaten – äußert geringe Stichprobenanzahl – teilweise Einzelproben
- Standardparameter – Eluatgehalte auf Grund der zu erwartenden Umweltwirkungen
- Gleisschotter (ABANDA 2015)

Tabelle 6-29: Annahmen zur stofflichen Zusammensetzung der Abfallfraktionen [mg/kg]

	Bauschutt [mg/kg]	Straßenaufbruch/Bitumen und Asphalt [mg/kg]	Betonabbruch [mg/kg]	Gleisschotter [mg/kg]
Al	10.000	5.000	47.000	
Cd	0,18	0,08	0,20	3,8
Co		22	16	
C	60.000		89.000	
Cr	40	16	51	110
Cu	15	15	12	300
Fe	11.000	5.200	7.000	
Hg	0,15	0,01	0,04	0,37
Ni		14	22	110
N	200	210	200	
Pb	40	6	27	180
PCB		0		
S	1.500		1.500	
Zn	50	50	25	420
TOC	12.000	30.000	6.000	

6.2.12 Elektro- und Elektronikaltgeräte aus Haushalten und Gewerbe

In diesem Abschnitt erfolgt die Charakterisierung der Materialströme an Elektroaltgeräten nach den 5 Gerätekategorien der österreichischen EAG Verordnung (BGBI II 121/2005): Großgeräte, Kühlgeräte, Bildschirme, Elektrokleingeräte und Gasentladungslampen. Für jede dieser Kategorien wurden basierend auf einer Literaturauswertung die Zusammensetzung nach wichtigen Unterkategorien (z.B. CRT-Geräte und Flachbildschirme als Unterkategorien der Bildschirmgeräte) und die Materialzusammensetzung der Unterkategorien zusammengestellt. Neben dieser Charakterisierung des Inputs von Behandlungsanlagen wurden die Outputströme aus den Behandlungsanlagen zusammengefasst. Anzumerkend ist, dass mit dieser Vorgehensweise nur jener Teil des Abfallstroms „Elektroaltgeräte“ erfasst wird, der in genehmigten Anlagen nach Stand der Technik behandelt wird. Nicht erfasst sind hingegen jene Teilströme, die in nicht dafür vorgesehenen Anlagen (z.B. Schrottaufbereitung ohne vorhergehende Schadstoffentfrachtung), Exporte oder in anderen Teilströmen (informeller bzw. illegaler Sektor) enden. Für die Analyse der Materialzusammensetzung wurde als Datenquelle vorrangig die UNU-Studie „Review on Directive 2002/96 on WEEE – Final Report“ (Huisman et al. 2008) verwendet, da sie als Metastudie bereits einen guten Überblick über die Teilströme an

Elektroaltgeräten gibt. Ergänzend und um einen besseren Detaillierungsgrad zu erreichen, wurden weitere Daten aus spezifischen Arbeiten ergänzt.

Bildschirmgeräte

Nach EAK (2012) wurden 19.000 Tonnen Bildschirmgeräte einschließlich Bildröhrengeräte gesammelt. Bei Bildschirmgeräten sind zwei Unterkategorien zu unterscheiden, nämlich Röhrenbildschirme (CRT-Geräte) und Flachbildschirme. Im Rahmen dieser Analyse wurden beide Gruppen rechnerisch zusammengeführt, wobei angenommen wurde, dass Röhrenbildschirme 95 % und Flachbildschirme 5 % des Abfallstroms ausmachen. Diese Verteilung basiert auf Angaben von EAG-Behandlern, die den Anteil der heute in Österreich behandelten Bildschirmgeräte mit 95:5 abschätzen. Die beiden Unterkategorien sind in der Tabelle 6-18 zusammengeführt.

CRT-Geräte: Röhrenbildschirme können in Farbbildschirme und schwarz-weiß Bildschirme aufgeteilt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden aufgrund fehlender Daten zum Anteil an schwarz-weiß Bildschirmen in der Gesamtmasse nur Farbbildschirme herangezogen. Als Datenbasis für die Materialzusammensetzung wurden Werte nach Huisman et al. (2008) verwendet, ergänzt um Daten zur Zusammensetzung des Bildröhrenglases nach Andreola et al. (2007). Es wird davon ausgegangen, dass sich die Glasanteile von CRT-Geräten zu 66 % auf Frontglas, zu 33 % auf Konusglas und zu 1 % auf das Endstück verteilen.

Flachbildschirme: Die Materialzusammensetzung von Flachbildschirme basiert auf den Werten von LCD und Plasma TVs nach Huisman et al. (2008). Bei der weiteren Recherche wurden detaillierte Werte für Glaszusammensetzung nach Tesar und Öhlinger (2012) gefunden und integriert. In Huisman et al. (2008) sind Werte für LCD Bildschirme und Plasmabildschirme in einer Tabelle zusammengefasst. Obwohl bei Huisman et al. (2008) Daten für Flachbildschirm-Monitore angegeben sind, wurden nur TV-Geräte berücksichtigt, da keine Verteilung zwischen Monitoren und TV-Geräten bekannt ist.

Tabelle 6-30: Materialzusammensetzung von Bildschirmgeräten (LCD/Plasma und CRT)

Fraktion	Konzentration [mg/kg]
Metalle	*90.000*
Fe	40.000
Al (general)	11.000
Ag	96
Au	6
Bi	24
Co	8
Cr	130
Cu	36.000
Hg	0
Ni	420
Pb	910
Pd	2
Sn	500
Zn	270
Kunststoffe	*191.000*
ABS	110.000
PVC	4.200
Plastics (general)	78.000
PE (HD)	-
PET	-
weit. Mat.	*78.000*
Br	730
Keramik	16.000
Cl	140
Epoxy	23.000
Sb	210
Holz	36.000
weitere	1.8000
Glas	*640.000*
SiO_2	382.000
Al_2O_3	18.000
Fe_2O_3	0
TlO_2	0
CaO	12.000
B_2O_3	41
MgO	7.500
ZnO	1.200
BaO	51.000
SrO	42.000
As_2O_3	4
ZrO_2	4.300
In_2O_3	0
SrO_2	0
P_2O_3	0
GeO_2	0
Ne_2O	1
K_2O	35.000
SO_2	0
Na_2O	50.000
Sb_2O_3	2.000
CoO	84
TiO_2	1.900
PbO	35.100
weitere	17

Kühl- und Gefriergeräte

Nach EAK (2012) wurden im Jahr 2012 13.000 Tonnen Kühl- und Klimageräte gesammelt. Der größte Anteil sind Kühlgeräte mit FCKW-haltigen Kältemitteln. Als Basis für Materialzusammensetzung von Kühl- und Gefriergeräten wurde Huisman et al. (2008) verwendet. Die Komponente „Stainless Steel" wurde weiter in Eisen, Chrom und Nickel untergliedert basierend auf Classen et al., 2007. Andere Stahlarten könnten nicht weiter unterteilt werden, weil sie einen produktspezifischen Anteil an Legierungen besitzen. Nach Huisman et al. (2008) sind Kühl- und Gefriergeräte nach Aufbereitungsverfahren von Kühlmitteln aufgeteilt, wurden aber im Rahmen dieser Arbeit aufsummiert. Die Materialzusammensetzung von Kühl- und Gefriergeräten ist in folgender Tabelle zu finden.

Tabelle 6-31: Materialzusammensetzung von Kühl- und Gefriergeräten

Fraktion	Konzentration [mg/kg]
Metalle	*714.000*
Fe	200.000
niedriglegierter Stahl	430.000
Edelstahl	26.00
Fe	19.000
Cr	4.700
Ni	2.100
Al (general)	33.000
Cu	25.000
Kunststoffe	*252.000*
PVC	620
Plastics (general)	85.000
PS	69.000
PUR	97.000
Glas	*7.400*
weitere	27.000
Öl	5.300
Cyclopentane	1.200
Isobutane	290
CFCl 1	6.300
CFCl 2	2.500
weitere	11.000

Großgeräte

Nach EAK (2012) wurden im Jahr 2012 19.000 Tonnen Elektrogroßgeräte gesammelt. Rund 5.000 Tonnen sind als gefährliche Abfälle eingestuft. Als Datenbasis zur Ermittlung der stofflichen Zusammensetzung für Großgeräte wurde Rüdenauer et al. (2005) genutzt. In dieser Studie wurde die Zusammensetzung von 6 verschiedenen Waschmaschinentypen analysiert. Infolge fehlender Daten zum Anteil einzelnen Waschmaschinentypen wurde im Rahmen dieser Analyse ein Mittelwert der 6 Waschmaschinentypen verwendet. Für andere Arten von Großgeräten (Geschirrspüler, Herde,…) liegen zurzeit keine nachvollziehbaren und ausreichend detaillierten Daten vor. Zum Zweck der Erhöhung des Detailierungsgrades wurde die Komponente „brass" weiter auf Kupfer und Zink im Verhältnis 70:30 aufgeteilt. Diese Aufteilung basiert auf Durchschnittswerten aus der Fachliteratur. Die Materialzusammensetzung von Großgeräten ist in folgender Tabelle zu finden.

Tabelle 6-32: Materialzusammensetzung von Großgeräten

Fraktion	Konzentration [mg/kg]
Metalle	*490.000*
Steel	340.000
Gray cast iron	85.000
Al (general)	45.000
Cable	5.700
Cu	9.500
Zn	110
Kunststoffe	*240.000*
ABS	19.000
Carboran 40 %	98.000
EPDM	32.000
PA	650
PE	150
PMMA	780
POM	520
PP	9.000
PP 20 % mineral filler	2.700
PP 405 mineral filler	79.000
PS	2.500
Glas	*19.000*
Weitere Materialien	*250.000*
Chipboard	27.000
Zement	180.000
Baumwollgewebe mit	9.000
Elektronikkomponenten	10.000
Kondensatoren	1.000
weitere	19.000

Kleingeräte

Nach EAK (2012) wurden im Jahr 2012 27.000 Tonnen Elektrokleingeräte gesammelt, wobei 17.171 Tonnen als gefährlich eingestuft wurden. Als Datenbasis für Kleingeräte wurde Salhofer und Tesar (2011) genutzt. Die Unterkategorie „Elektrokleingeräte“ wurde auf 5 weitere Subkategorien unterteilt. Um einen höheren Detailierungsgrad zu schaffen wurden die Bauteile mit gefährlichen Inhaltstoffen mit den Werten aus Huisman et al. (2008) ergänzt und in folgender Tabelle zusammengeführt.

Tabelle 6-33: Materialzusammensetzung von Kleingeräten

Fraktion	Konzentration [mg/kg]
Metalle	*470.000*
Ag	30
Al	20.000
As	0,015
Au	6
Bi	1
Cu	46.000
Fe	398.000
Ni	210

Fraktion	Konzentration [mg/kg]
Metalle	*470.000*
Pb	920
Sb	40
Sn	840
Zn	860
Kunststoffe	*280.000*
weitere Materialien	*250.000*
weitere	220.00
Weitere gefährliche	35.000

Gasentladungslampen

Nach EAK (2012) betrug im Jahr 2012 betrug das Abfallaufkommen an Gasentladungslampen 1.000 Tonnen. Diese Kategorie ist auf zwei weitere Subkategorien aufgeteilt, nämlich auf Kompaktleuchtstofflampen und stabförmigen Leuchtstofflampen. Als Datenbasis für Kompaktleuchtstofflampen wurde Grafenstein (2013) genutzt und für stabförmige Leuchtstofflampen Rabah (2008). Um den Detaillierungsgrad zu erhöhen, sind beide Subgruppen mit Daten nach Wojtalewicz-Kasprzak (2007) ergänzt. Nach Beigl und Zecha (2013) machen stabförmige Leuchtstofflampen 78 % und Kompaktleuchtstofflampen 11 % des Abfallstroms aus, den Rest stellen die Sonderformen (z.B. Quecksilber- und Natriumdampflampen) dar. Aufgrund mangelnder Daten für andere Sonderformen wurden im Rahmen dieser Analyse nur Kompaktleuchtstofflampen und stabförmige Leuchtstofflampen betrachtet. Die Materialzusammensetzung von Gasentladungslampen ist in folgender Tabelle zu finden.

Tabelle 6-34: Materialzusammensetzung von Gasentladungslampen

Fraktion	Konzentration [mg/kg]
Metalle	*33.000*
Al (general)	14.000
Cu	7.800
Hg	60
Ni	4.700
Yttrium und Europium	800
W	4.600
Zn	1.300
Kunststoffe	*5.000*
Glas	*940.000*
SiO_2	680.000
Al_2O_3	16.000
CaO	52.000

Fraktion	Konzentration [mg/kg]
MgO	30.000
MnO	29
BaO	9.400
P_2O_3	780
K_2O	8.500
Na_2O	146.000
Sb_2O_3	21
weitere Materialien	*30.000*
F	50
fluoreszierendem Pulver	3.700
Harze	5.500
Weißes Pulver	21.000
weitere	190

6.2.13 Abfälle von Säuren, Laugen und Lösungsmittel, Farben und Lacken

In Summe sind im Jahr 2012 rund 60.000 Tonnen der SN-Gruppe 52 (Säuren und Laugen) und 75.000 Tonnen der SN-Gruppe 55 (Farben und Lacke, Lösungsmittel) angefallen. Rund 20.0000 Tonnen der SN-Gruppe 55

werden der Fraktion Problemstoffe aus Haushalten zugerechnet. In folgender Tabelle sind die für die Studie angenommen Stoffkonzentrationen gelistet (ABANDA 2015).

Tabelle 6-35: Stoffkonzentration Säuren, Laugen und Lösungsmittel, Farben und Lacken [mg/kg]

Stoffe	Farben/Lacke	Lösungsmittel	Säuren	Laugen
As	2,3	2,1		
Cd	0,65	1,1	0,1	
Cl	3.900	29.000	2.000	100
Co		4,3	0,9	
Cr	6,5	132	0	
Cu	8,6	86	0,8	21
Fe		320		
Hg	0,43	3	0,02	0,5
Ni	9,7	6,9	3,0	4,8
N			18.000	4.300
Pb	46	270		3,1
S	2.036	9.129	7.600,0	100
Sb	7	18		
Zn	300	120	56	270

6.2.14 Asbestabfälle

Mit der Asbestverordnung 1990 wurden das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Asbest neu geregelt. Mit In-Kraft-Treten der Chemikalien-Verbotsverordnung 2003 sind das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Asbest generell verboten. Für die Abfallwirtschaft spielt Asbest allerdings noch immer eine wichtige Rolle, da es vor allem im Zeitraum von 1960-1980 aufgrund seiner Eigenschaften häufig eingesetzt wurde. Im Jahr 2012 sind rund 62.000 Tonnen Asbestabfälle angefallen (BMLFUW 2014a). Hauptsächlich in Form von Asbestzement. Asbestzement enthält einen Anteil von 10-15 % an Asbest (Reisinger et al. 2008). Zur Bestimmung der Stoffkonzentration von Asbestzement wurde davon ausgegangen, dass sich dieser aus 85 % Zement und 15 % Weißasbest ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) zusammensetzt. Somit errechnet sich für Asbest folgende chemische Zusammensetzung.

Tabelle 6-36: Stoffkonzentration von Asbestzement [mg/kg]

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Al	47.000
Fe	39.000
Si	140.000
Ca	220.000
Mg	110.000

6.2.15 Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube

Diese Gruppe an Abfällen stammt aus metallurgischen Prozessen. Zu ihnen gehören u.a. Hochofenschlacken, Konverterschlacken sowie Stäube und Aschen aus der eisen- und stahlverarbeitenden Industrie. Das Abfallaufkommen kann mit rund 260.000 Tonnen abgeschätzt werden, wobei rund zwei Drittel als gefährliche Abfälle eingestuft sind (BMLFUW 2014a). Die Stoffkonzentration ist nur für einzelne Abfallarten dieser Abfallgruppe vorhanden und wurden auf Basis Daten aus (ABANDA 2015) abgeschätzt.

Tabelle 6-37: Stoffkonzentration von Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube [mg/kg]

Stoffe	Salzschlacken	Schlacken aus Schmelzprozessen	Stäube und Aschen	Krätzen
As	7	1.100	21	190
C	1.000		500.000	150.000
Cd	3	110	5	61
Co	26	330	36	0,5
Cr	602	530	140	17
Cu	4.700	5.000	230	5.800
Fe	15.000	140.000	22.000	2.300
Hg	2,6	44	6	1
Ni	210	210	72	610
P		1.500	38.000	1
Pb	720	66.000	440	1.000
S	2.500	62.000	77.000	
Zn	2.500	14.000	1.900	190.000

6.2.16 Gebrauchte Öle und mineralölhaltige Abfälle (inkl. spezifisch verunreinigten Böden)

Unter gebrauchte Öle und mineralölhaltige Abfälle werden die Abfälle der Schlüsselnummerngruppe 54 „Abfalle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten“ verstanden. Da eine Abgrenzung zwischen den Abfallen der Schlüsselnummern SN 54504 „Mit Rohöl verunreinigtes Erdreich, Aushub und Abbruchmaterial“ und SN 31423 „Mit Öl verunreinigte Boden“ schwierig ist, werden auch die Abfalle, welche der SN 31423 „Mit Öl verunreinigte Boden“ zugeordnet werden, hier mit betrachtet (BMLFUW 2014a). Im Wesentlichen handelt es sich bei der Schlüsselnummerngruppe 54 „Abfalle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten“ um flüssige bzw. feste Kohlenwasserstoffe bzw. um Emulsionen, Schlämme und Gemische von Kohlenwasserstoffen mit wässrigen Flüssigkeiten (u.a. Säuren) aber auch um Feststoffe, die mit Kohlenwasserstoffen kontaminiert sind. Weiters gibt es noch einige Abfallarten, die typische Nebenprodukte der Mineralölproduktion und Kohleveredelung darstellen (wie Schwefel oder Schwefeleisen) und nicht Kohlenstoff haltige Schmiermittel wie Silikonöle. Diese Abfälle fallen aber in relativ geringen Mengen an. Ein Teil der „Kühl- und Schmiermittel“-Abfalle wird durch den Einsatz von Kühlemulsionen bei der Bearbeitung von Metallen verursacht. Kühlemulsionen sind Hilfsstoffe, die so lange innerbetrieblich im Kreislauf geführt werden, bis sie durch irreversible chemische und biologische Reaktionen einzelner Komponenten unbrauchbar geworden sind. Zu den Abfällen der Gruppe 54 gehören auch die mineralölhaltigen Ölschlamme. Diese sind entweder Feststoffe, die stark mit Mineralöl vermischt sind oder Mineralöle, die stark mit Feststoffen vermischt sind. Grundsätzlich setzen sich die Schlamme aus Mineralöl, den jeweils produktionsspezifischen, lagerungsspezifischen oder auf sonstige Weise in das Mineralöl gelangten Feststoffen sowie eventuell Wasser und/oder anderen Flüssigkeiten zusammen. Die meisten Abfalle der Schlüsselnummerngruppe 54 sind prinzipiell als gefährlich eingestuft, da sie bei Freisetzung in die Umwelt große Schäden anrichten können, gesundheitsschädlich bzw. zum Teil entzündbar sind (BMLFUW 2011). In Summe fielen rund 260.000 Tonnen gebrauchte Öle und ölhaltige Abfälle (ohne Bitumen und Asphalt) an. Stofflich setzen sich diese Abfälle hauptsächlich aus Kohlenstoff zusammen.

Tabelle 6-38: 5.2.13.3 Gebrauchte Öle und mineralölhaltige Abfälle – Fraktion (t]

Fraktion	Menge [t]
ölhaltige Bohrschlämme/Rückstände	120.000
Sandfanginhalte	14.000
Altöle und Altschmierstoffe	39.000
Filter, feste fett- und ölverschmutzte Betriebsmittel	9.000
verunreinigter Böden	66.000
sonstige Öl-Wassergemische	22.000
Summe	**266.000**

In folgender Tabelle sind für einige Fraktion der Schlüsselnummerngruppe 54 die Stoffkonzentrationen abgeschätzt nach (ABANDA 2015) gelistet. Die Schwermetallkonzentrationen für Altöle nach den

Abschätzungen von Wagner et al. (2010) wie folgt angenommen. Die Werte C, N, Fe und P basieren auf Annahmen und sind dadurch mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Tabelle 6-39: Stoffkonzentration für Abfallfraktion der 54 Schlüsselnummerngruppe [mg/kg]

Stoff	Altöle	ölhaltige Bohrschlämme/ Rückstände	sonstige Öl-Wasser-gemische	öl verunreinigter Böden	Sandfang-inhalte	Filter, feste fett- und ölverschmutzte Betriebsmittel
As	0,01					0,01
Cd	0,10	2,80	3,90	0,90	5,50	0,10
Cl		2.200	700	4.700	3.300	
C	700.000	278.000	750.000	300.000	120.000	50.000
Cr	2	300	320	85	200	2,00
Cu	3	88	260	170	670	3,00
Fe	400	44.000	30.000	8.700		400
Hg	0,01	1,60	4	7,54	1,30	0,01
Ni		69	41	64	230	
N	12.000		1.000			12.000
P	10.000	1.500	30	650	1.500	10.000
Pb		1,00	63	76		
Zn	10	28	1.100	920	2.500	10

6.2.17 Oxide, Hydroxide, Salzabfälle

Im Jahr 2012 sind rund 90.000 Tonnen Oxide, Hydroxide und Salzabfälle angefallen. Die Stoffkonzentrationen wurden aus der Datenbank (ABANDA 2015) übernommen.

Tabelle 6-40: Stoffkonzentration für Oxide, Hydroxide und Salzabfälle [mg/kg]

Stoffe	Oxide, Hydroxide	Salzabfälle
Cd	34	1,2
C	7.000	
Cr	59.000	10
Cu	6.400	12
Fe	180.000	1.000
Hg	33	38
Ni	92.000	
P	360	21.000
Pb	9.900	47
Zn	24.000	110

6.2.18 Wasch- Prozesswässer

In Summe sind im Jahr 2012 rund 10.000 Tonnen Wasch- und Prozesswässer angefallen. Für diese Studie werden folgende Stoffkonzentrationen angenommen (ABANDA 2015).

Tabelle 6-41: Stoffkonzentration Wasch- und Prozesswässer [mg/kg]

Stoffe	Stoffkonzentration [mg/kg]
Cd	0,53
Cl	140
Cr	38
Cu	150
Hg	0,23
N	7.400
Ni	27
Pb	390
Zn	250

6.2.19 Verbrennungsrückstände aus Feuerungsanlagen und der thermischen Abfallbehandlung

Verbrennungsrückstände wie Aschen, Schlacken und Stäube stammen aus Abfallverbrennungsanlagen, thermischen Kraftwerken, Biomasse-Heizkraftwerken, Wirbelschichtfeuerungen der Papier und Zellstoffindustrie und sonstigen Feuerungsanlagen. Somit kann zwischen Aschen, Schlacken und Stäube aus der Abfallverbrennung (Sekundärabfall) und der sonstigen Verbrennung (Primärabfall) unterschieden werden. Das Aufkommen an Schlacken, Aschen und Stäube aus der Abfallverbrennung betrug im Jahr 2012 rund 0,9 Millionen Tonnen. Als Primärabfall sind rund 0,3 Millionen Tonnen aus sonstigen Feuerungsanlagen angefallen.

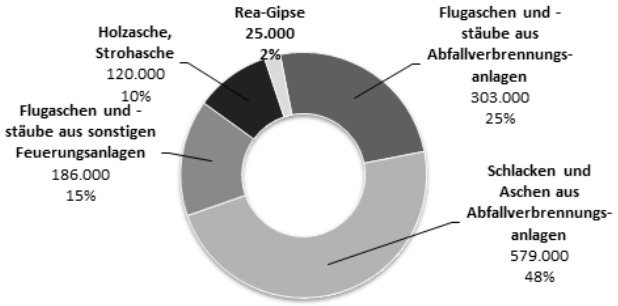


Abb. 6-5: Abfallfraktionen der Verbrennungsrückstände aus Feuerungsanlagen und der thermischen Abfallbehandlung [t, %)

Auf Basis der Zusammensetzung der Verbrennungsrückstände und diversen Literaturquellen wurde folgende durchschnittliche Konzentration von Verbrennungsrückständen ermittelt (Bosshard et al. 1996, Krebs et al. 1997, Chan und Kirk 1999, Mangialardi 2003, Vock 2004, Ferreira et al. 2005, Ishigaki et al. 2005, Winter et al. 2005, Sushil und Batra 2006, Marrero et al. 2007, Skutan und Rechberger 2007, Wilewska-Bien et al. 2007, Meinfelder und Richers 2008, Aguiar del Toro et al. 2009, Karlfeldt Fedje et al. 2010, Nowak et al. 2010).

Tabelle 6-42: Stoffkonzentration von Aschen, Schlacken und Stäuben aus Feuerungsanlagen [mg/kg]

Stoff	Flugasche	Holzasche	Verbrennungs-rückstände
Al	58.000	9.800	47.000
As	45	0,44	17
Cd	190	1,0	54
Cl	77.000	3.800	21.000
C	20.000		16.000
Cr	390	70	370
Cu	1.600	202	3.800

Stoff	Flugasche	Holzasche	Verbrennungs-rückstände
Fe	15.000	11.000	38.000
Hg	15	0,44	1,9
Ni	6.200	31	200
N	830		210
P	6.300	7.800	5.200
Pb	5.100	910	2.000
Zn	15.000	1.400	5.700

6.2.20 Batterien und Akkumulatoren

In Summe sind rund 16.000 Tonnen Batterien als gefährlicher Abfall angefallen. Zu knapp 90 % handelt es sich um Bleiakkumulatoren. Die Stoffkonzentrationen für Batterien wurden nach (Riber et al. 2009) angenommen. Für Bleiakkumulatoren wurde der Bleigehalt und für Ni-Cadmium Akkumulatoren der Cadmiumgehalt nach (Reisinger et al. 2009) abgeschätzt. Die Aufarbeitung für weitere Verwertung von Bleiakkumulatoren findet hauptsächlich in zwei Anlagen in Arnoldstein statt (BMLFUW 2006).

Tabelle 6-43: Batterien [t]

Fraktion	Menge [t]
Bleiakkumulatoren	14.000
Nickel-Cadmium-Akkumulatoren	44
Weitere Batterien, unsortiert	1.900
Summe	**16.000**

Tabelle 6-44: Stoffkonzentration Batterien [mg/kg]

Stoffe	Batterien	Ni-Cd-Batterien	Bleiakkumulatoren
Al	1.300	1.300	1.300
As	83	83	83
Cd	1	110.000	1
Cl	16.000	16.000	16.000
C	87.000	87.000	87.000
Cr	33	33	33
Cu	5.000	5.000	5.000
Fe	64.000	64.000	64.000
Ni	4	4	4
N	1.000	1.000	1.000
P	10	10	10
Pb	230	230	550.000
Zn	260.000	260.000	260.000

6.2.21 Kalkschlamm

In Summe sind im Jahr 2012 rund 22.000 Tonnen Kalkschlamm als gefährlicher Abfall angefallen. Für diese Studie werden folgende Stoffkonzentrationen angenommen (ABANDA 2015).

Tabelle 6-45: Stoffkonzentration Kalkschlamm [mg/kg]

Stoffe	Stoffkonzentration [mg/kg]
Cd	0,2
Cr	8,9
Cu	9,2
Hg	0,07
Ni	3,9
Pb	6
Zn	19

6.2.22 Sonstig verunreinigter Boden

In Summe sind im Jahr 2012 rund 60.000 Tonnen sonstig verunreinigte Böden angefallen. Für diese Studie werden folgende Stoffkonzentrationen angenommen.

Tabelle 6-46: Stoffkonzentration sonstig verunreinigte Böden [mg/kg]

Stoffe	Stoffkonzentration [mg/kg]
C	10.0000
Cd	0,9
Cr	84
Cu	170
Fe	9.000

Stoffe	Stoffkonzentration [mg/kg]
Hg	7
Ni	64
P	650
Pb	75
Zn	900

6.2.23 Gefährliche Abfälle

In Österreich werden gefährliche Abfälle durch die novellierte Abfallverzeichnisverordnung, BGBl. II Nr. 498/2008 festgelegt. Gemäß § 4 Abfallverzeichnisverordnung gelten

1. als gefährliche Abfälle jene Abfallarten, die im Abfallverzeichnis gemäß § 1 Abs. 1 mit "g" versehen sind;
2. als gefährliche Abfälle jene Abfälle, die gefährliche Stoffe gemäß dieser Verordnung in einem Ausmaß enthalten oder mit solchen vermischt sind, dass mit einer einfachen Beurteilung, wie einer Bewertung des maximalen Massenanteils z.B. giftiger Stoffe (Kriterium H6), nicht ausgeschlossen werden kann, dass eine gefahrenrelevante Eigenschaft gemäß Anlage 3 Abfallverzeichnisverordnung zutrifft;
3. bestimmte Arten von Aushubmaterial:

- Aushubmaterial von Standorten, bei denen auf Grund des Umgangs mit boden- oder wassergefährdenden Stoffen die begründete Annahme besteht, dass eine gefahrenrelevante Eigenschaft gemäß Anlage 3 der Abfallverzeichnisverordnung zutrifft (z.B. bei metall- oder mineralölverarbeitenden Betrieben, Tankstellen, Putzereien, Betrieben der chemischen Industrie, Gaswerken oder Altlasten); dies gilt für jene Bereiche des Standortes, in denen mit diesen Stoffen umgegangen wurde;
- Aushubmaterial von Standorten, die nicht vom ersten Punkt umfasst werden, wenn im Zuge der Aushub- oder Abräumtätigkeit eine Verunreinigung ersichtlich wird und die begründete Annahme besteht, dass eine gefahrenrelevante Eigenschaft gemäß Anlage 3 der Abfallverzeichnisverordnung zutrifft
- Aushubmaterial, wenn die begründete Annahme besteht, dass auf Grund einer Verunreinigung durch eine Betriebsstörung oder einen Unfall eine gefahrenrelevante Eigenschaft gemäß Anlage 3 der Abfallverzeichnisverordnung zutrifft;
- Aushubmaterial, das nicht unter die obigen Punkte fällt, bei dem aber auf Grund einer chemischen Analyse festgestellt wird, dass es so kontaminiert ist, dass zumindest eine gefahrenrelevante Eigenschaft gemäß Anlage 3 der Abfallverzeichnisverordnung zutrifft;
- Abfälle, die als gefährlich einzustufen waren und in der Folge verfestigt, stabilisiert oder immobilisiert worden sind, gelten auch nach der Verfestigung, Stabilisierung oder Immobilisierung als gefährlich. Diese Abfälle dürfen nur zum Zweck der Deponierung ausgestuft werden. Dies gilt nicht für Abfälle, die ausschließlich die gefahrenrelevanten Eigenschaften H4 und H8 gemäß Anlage 3 auf Grund des Gehalts an alkalischen Stoffen aufweisen (BMLFUW 2014a).

In Summe sind im Jahr 2012 rund 1,1 Millionen Tonne gefährliche Abfälle unterschiedlichster Abfallarten angefallen (BMLFUW 2014a). Rund 215.000 Tonnen können der Kategorie Sekundärabfälle wie Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen zugordnet werden. Die primär anfallenden gefährlichen Abfälle können grob folgenden Abfallkategorien (siehe Tabelle 6-47) zugeteilt werden und in den jeweilig angeführten Kapiteln sind die Abfallkategorien näher beschrieben. Eine Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung gefährliche Abfälle, welche sich aus rund 300 Schlüsselnummern zusammensetzt, ist nicht im Detail möglich. Deshalb wurde für gefährliche Mengen einzelner Fraktionen die gleiche stoffliche Zusammensetzung wie für nicht gefährlichen Anteile angenommen. Im Detail handelt es sich um folgende Mengen:

Tabelle 6-47: gefährliche Abfälle (ausgewählte Fraktionen)

Fraktion	Tonnen
gebrauchte Öle und ölhaltige Abfälle	260.000
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube	177.000
Farben, Lacke, Säuren und Lösungsmittel	100.000
Asbestabfälle	61.000
EAG	55.000
Holzabfälle	31.000
Kalkschlamm	22.000
Oxide, Hydroxide und Salzabfälle	21.000
Batterien und Akkumulatoren	16.000
Sandfanginhalte	14.000
Metallabfälle	7.000
Kunststoffabfälle	7.000
Papierabfälle	6.000
Bitumen Asphalt	6.000
Restmüll und Sperrmüll	2.000
Verbrennungsrückstände (Primärabfall)	1.000
Textilabfälle	916
biogene Abfälle	317
Wasch- und Prozesswasser	13
Summe	**780.000**

Für die verbleibenden gefährlichen Abfälle (rd. 55.000 Tonnen) sind nur in wenigen Fällen Analyseergebnisse auf Stoffebene vorhanden. Für die Abschätzung der Stoffkonzentration wurden diverse Analyseergebnisse aus (ABANDA 2015) zu gefährlichen Abfällen herangezogen und gemittelt. Deshalb sind die angegeben Stoffkonzentration mit großen Unsicherheiten verbunden.

Tabelle 6-48: Stoffkonzentration weitere gefährliche Abfälle [mg/kg]

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Al	61.000
As	1
Cd	<1
Cl	19.000
Co	1
C	800
Cr	20
Cu	17

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Fe	5.600
Hg	1
Ni	5
N	11.000
P	70
Pb	86
Zn	230

6.3 Qualitativ betrachtete Abfälle

6.3.1 Aushubmaterialien

Aushubmaterialien fallen beim Ausheben oder Abräumen des Bodens oder Untergrundes an. Das Aufkommen kann mit rund 27 Millionen Tonnen abgeschätzt werden. Speziell die Menge an Aushubmaterialien, welche zum Zweck der Verfüllung wiedereingesetzt wird, kann derzeit nur abgeschätzt werden und wird im Statusbericht 2013 (BMLFUW 2014a) mit 10 Millionen Tonnen angegeben (Tabelle 6-49).

Tabelle 6-49: Aushubmaterialien – Aufkommen 2012

SN	Bezeichnung	Aufkommen [t]
31411 29	Bodenaushub	9.524.000
31411 30	Bodenaushub	1.885.465
31411 31	Bodenaushub	2.307.614
31411 32	Bodenaushub	181.894
31411 33	Bodenaushub	1.092.389
31411 34	Bodenaushub	361.723
31411 35	Bodenaushub	43.388
31423 36	ölverunreinigte Böden	76.415
31424 37	sonstige verunreinigte Böden	1.059.515
31625	Erdschlamm, Sandschlamm, Schlitzwandaushub	92.865
54504 88	rohölverunreinigtes Erdreich, Aushub, und Abbruchmaterial	27.384
	Aufkommen von Aushubmaterialien für Verfüllungen (z.B. Geländekorrekturen)	10.000.000
Summe		**26.652.652**

Rund 14 Millionen Tonnen nicht gefährlicher oder ausgestufter Aushubmaterialien wurden 2012 deponiert und rund 10 Millionen wiedereingebaut (z.B. Geländekorrekturen) Gefährliche Aushubmaterialien werden in stationären oder mobilen Anlagen chemisch, physikalisch, mikrobiologisch und/oder thermisch behandelt.

6.3.2 Baustellenabfälle (kein Bauschutt)

Diese Abfallfraktion wird im (BMLFUW 2011) auch als „nicht mineralische Abfälle aus Bautätigkeiten“ bezeichnet und besteht üblicherweise aus vermischten Abfällen von Baustellen, wie Holz, Metalle, Kunststoffe, Glas, Pappe, organische Reste und Sperrmüll. Generell kann diese Abfallart je nach Baustellenart und -ausführung großen

Schwankungen unterliegen. Das Aufkommen gemischten Baustellenabfällen lässt sich am besten durch eine sorgsame Abfalltrennung auf der Baustelle reduzieren.

Ein Vergleich zwischen dem Aufkommen von Baustellenabfällen im Jahr 2004 von 1,1 Mio. Tonnen (BMLFUW 2006) und jenem von 2012 von ca. 300.000 Tonnen lässt auf eine starke Verbesserung der Trennung auf den Baustellen schließen. Dies ist durchaus zu begrüßen, erschwert aber eine aktuelle Abschätzung der Zusammensetzung von Baustellenabfällen.

Die letzte für Österreich durchgeführte Sortieranalyse von Baustellenabfällen auf welche auch Scheibengraf und Reisinger (2005) Bezug nehmen, ist Pladerer et al. (2004) die diese Abfallfraktion in drei Wiener Sortierbetrieben näher beleuchteten. Daraus resultierte eine Zusammensetzung aus 65 Masse-% mineralische Stoffe, 16 Masse-% Holz, 2 Masse-% Metalle, 1 Masse-% Verpackungen und 16 Masse-% Restmüll. Weiters wurden Literaturwerte erhoben, welche starke Schwankungen zeigten 37-91 Masse% mineralischer Anteil, jeweils 1-6 Masse-% Papier/Pappe, 1-38 Masse-% Holz, 1-10 Masse-% Metall sowie ein Restmüllanteil von 2-38 Masse-% und andere Fraktionen in der Höhe von 1-64 Masse-%.

Im Gegensatz zum Restmüll oder Sperrmüll gibt es auch keine periodisch durchgeführten Sortieranalysen auf Landesebene, die eine Spannweite der Zusammensetzung von österreichischen Baustellenabfällen zulassen. Weiteres findet in den Verwertungsanlagen eine gemeinsame Behandlung von Sperrmüll, Baustellenabfällen und nicht näher definiertem Gewerbeabfällen statt, was somit auch keinen Umkehrschluss aus aussortierten Fraktionen zulassen würde. Baustellenabfälle durchlaufen einen ähnlichen Sortierprozess wie sperrige Abfälle, wobei diese teilweise mit sperrigen und gewerblichen Abfällen gemeinsam behandelt werden. Dabei können händische wie automatisierte Sortierschritte zum Einsatz kommen. Die letzte Studie, welche sich mit der Aufbereitung von Baustellenabfällen beschäftigte, war Pladerer et al. (2004). Auf Basis dieser Studie und eigenen Annahmen wird davon ausgegangen, dass die mineralische Fraktion deponiert bzw. als Recyclingbaustoff verwendet wird. Die Fraktionen Holz, Kunststoffe sowie Sortierrest wird einer thermischen Behandlung zugeführt.

Leider kann aus den Verwertungsangaben nach Bundesabfallwirtschaftsplan nicht geschlossen werden, welche Menge der Baustellenabfälle tatsächlich einer thermischen bzw. stofflichen Behandlung zugeführt wird. Auch die zur Verfügung gestellten EDM Daten lassen keinen Rückschluss auf die Verwertungswege zu. Diese geben zwar einen Anteil als verwertete Baurestmassen (=mineralische Recycling-Baustoffe) an, der Großteil der Masse wird allerdings einer „sonstigen Verwertung“ zugeführt, welche nicht näher aufgeschlüsselt werden konnte. Bei Betrachtung anderer Verwertungsmengen nach Zahlen des Baustoff-Recycling Verbandes ergeben sich geringfügige Abweichungen gegenüber jenen des Statusberichts 2013. Für die Differenz ist vor allem die Masse der verwerteten Baustellenabfälle verantwortlich. Leider konnte der Grund für die Abweichungen nicht festgestellt werden, wobei angemerkt werden muss, dass die Baustellenabfälle äußerst heterogen und damit auch entsprechenden Schwankungen unterworfen sind. Die Statistik des BRV weist z.B. für die Jahre 2010 und 2011 verwertete Baustellenabfälle <100.000 Tonnen auf. Nachdem die Steigerung der verwerteten Baustellenabfälle auf ca. 300.000 Tonnen fachlich nicht nachvollzogen werden kann, muss es sich hierbei auch um Dokumentationsunsicherheiten handeln.

Auf Grund dieser Einschränkungen, sowie der großen generellen Unsicherheiten und Schwankungsbreite können derzeit keine Transferkoeffizienten für Baustellenabfälle ausgewiesen werden.

Tabelle 6-50: Stoffliche Zusammensetzung der Einzelfraktion aus Baustellenabfällen [mg/kg TS] (Pladerer et al. 2004)

Stoffe	Mineralisch		Holz unbehandelt	Holz behandelt		Kunststoffe		Papier(Pappe		Sortier-rest
	min	*max*	*Einzelprobe*	*Charge*	*Charge*	*Charge*	*Charge*	*Charge*	*Charge*	
Al			807	500	1.268	840	2.400	7.900	9.200	
Sb			<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	
As	2	4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	4	
Be			<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	
Pb	24	200	11	7	218	10	90	24	12	

Stoffe	Mineralisch		Holz unbehandelt	Holz behandelt		Kunststoffe		Papier(Pappe		Sortier-rest
Cd	<0,5	<0,5	0	<0,25	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2
Cr	68	82	25	12	36	2	12	7	9	43
Co	<0,63	9,0	1,0	0,7	2,2	<0,63	1,0	0,7	0,9	45
Cu	16	90	6	4	9	5	15	280	42	
Fe			407	407	407	1.800	1.800	2.000	2.000	
Mn			111	130	101	15	68	45	70	
N (Glenck et al. 1997)		200			2.850		2.000			
Ni	15	30	6	22	2	9	6	8	8	
Hg	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	
Tl			<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
C			<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Zn	101	300	103	42	790	335	1.600	62	83	
Sn			<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Cl			287	590	850	240	750	1.000	1.600	
Fe			350	710	2.250	2.600	1.960	1.300	2.000	10.937
TOC [%]	5	2	40	39	40	91	91	49	46	
H_2O [%]	4	6				15	17	24	22	
Störstoffe [%]	0,1	0,4								
Hu [MJ/kg TS]						39	31	16	17	17

Der Versuch eine durchschnittliche stoffliche Zusammensetzung von Baustellenabfällen im Zuge dieser Studie durchzuführen, konnte nicht erfolgreich abgeschlossen werden. Die Gründe dafür waren:

- Zu hohe Datenunsicherheit auf Grund der Veränderung des Abfallaufkommens und der damit verbundenen Unsicherheit bei der Zusammensetzung
- Nicht nachvollziehbarer Güterfluss, da mehr als 85 Masse-% einer nicht näher definierten „sonstigen Verwertung“ zugeführt werden
- Hohe Datenunsicherheit der Stoffgehalte bei den aussortierten Fraktionen in Pladerer et al. (2004)
- Keine Angaben zum Sortierrest, welcher 2-40 Masse-% ausmacht und entweder einer thermischen Verwertung zugeführt oder deponiert wird

Eine Verbesserung der Datenlage von Baustellenabfällen ist jedoch auf Grund ihrer Ähnlichkeit zu Sperrmüll dringend notwendig. Die vorkommenden Schwankungen im Aufkommen nach BRV und im BAWP sind nicht nachvollziehbar und somit äußerst kritisch zu sehen. Eine grobe Datenschätzung und -annahme ohne entsprechend fundierte Datengrundlagen zur Zusammensetzung erscheint auch im Hinblick auf eine mögliche Weiterverwendung der Daten dieser Studie (ohne jegliche Reflexion und Zusatzinformation) als nicht Ziel führend.

6.3.3 Altfahrzeuge

Altfahrzeuge im Sinne der Altfahrzeuge-Verordnung sind gebrauchte Fahrzeuge (Personenkraftwagen, Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einem zulässigen Gesamtgewicht von nicht mehr als 3,5 t sowie dreirädrige Kraftfahrzeuge mit Ausnahme von Krafträdern), die im Sinne von § 2 Abs. 1 AWG 2002 als Abfall gelten, d.h. dass sich deren der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder dass deren Entsorgung als Abfall erforderlich ist, um die öffentlichen Interessen nicht zu beeinträchtigen. Entspricht ein Fahrzeug nicht mehr den Erfordernissen der Verkehrs- oder Betriebssicherheit, so kann dies als ein Indiz gesehen werden, dass ein Altfahrzeug vorliegt. Vom Begriff der Altfahrzeuge sind Oldtimer definitiv ausgenommen.

Altfahrzeuge bestehen zu einem Großteil aus Materialien, deren brauchbare Teile als Ersatzteile weiterverwendet werden können und/oder in Aufbereitungsanlagen einer Verwertung zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen zugeführt werden. Ein Personenkraftwagen besteht aus rund 10.000 Einzelteilen und ca. 40 verschiedenen Werkstoffen. Altfahrzeuge enthalten auch gefährliche Stoffe wie Kraftstoffe (Benzin, Diesel), Motoröle, Ölfilter, Bremsflüssigkeiten, Kühlflüssigkeiten, Batterien, PCB-haltige Kondensatoren u. ä. Das Abfallaufkommen betrug 2012 laut Statusbericht 2013 rund 56.000 Tonnen (BMLFUW 2014a).

6.3.4 Straßenkehricht

Laut Statusbericht 2013 betrug das Aufkommen im Jahr 2012 rund 80.000 Tonnen. Dieser setzt sich hauptsächlich aus mineralischem Gestein zusammen und ist je nach Region vermengt mit Abrieb der Fahrbahn, Erden, Straßenbegleitgrün, Salze, Reifen und Bremsabrieb etc. Vor allem im städtischen Bereich besteht Straßenkehricht zusätzlich aus auf Straßen liegen gebliebenen Abfällen bzw. aus Abfällen aus Sammelbehältern, welche hinsichtlich ihrer Zusammensetzung mit Restmüll verglichen werden können. Bei hoher Verkehrsdichte oder in Industriegebieten nimmt die Schadstoffbelastung des Straßenkehrichts zu. Laut dem Infoblatt des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU Bayern 2010) nach weist Straßenkehricht auf deutschen Gemeindestraßen folgende Schadstoffgehalte auf. Auf Autobahnen ist mit deutlich höheren Schadstoffgehalten zu rechnen.

- Cd: 0,9 mg/kg TS
- Cu: 51 mg/kg
- Zn: 220 mg/kg TS
- PAK 1,9 mg/kg TS
- TOC 5,3 Masse-%
- Glühverlust 11,1 Masse-%

Laut Statusbericht 2013 steht rund 2/3 des eingekehrten Streusplitts nach Aufbereitung wieder für den Einsatz zur Verfügung. Ein weiterer Teil wird für Verfüllung verwendet bzw. je nach Schadstoffbelastung deponiert (BMLFUW 2014a).

6.3.5 Medizinische Abfälle

Alle Abfälle, die in Krankenanstalten oder ähnlichen Einrichtungen anfallen werden dieser Kategorie zugeordnet. Es handelt sich dabei um unterschiedlichste Abfallarten von Altpapier bis zu Körperteilen. Im Jahr 2012 sind in Summe rund 36.000 Tonnen medizinische Abfälle angefallen (BMLFUW 2014a), welche größtenteils der SN 97104 „Abfälle, die nur innerhalb des medizinischen Bereiches eine Infektions- oder Verletzungsgefahr darstellen können“ zugeordnet wurden (siehe Tabelle 6-51). Die Behandlung bzw. Beseitigung von medizinischen Abfällen wird im Detail in der ÖNROM S 2104 geregelt. Der überwiegende Anteil wird einer thermischen Behandlung zugeführt.

Tabelle 6-51: Medizinische Abfälle – Aufkommen 2012

SN	Bezeichnung	Aufkommen [t]
97101	Abfälle, die innerhalb und außerhalb des medizinischen Bereiches eine Gefahr darstellen können	1.308
97102	desinfizierte Abfälle, außer gefährliche Abfälle	3.885
97103	Körperteile und Organabfälle	20
97104	Abfälle, die nur innerhalb des medizinischen Bereiches eine Infektions- oder Verletzungsgefahr darstellen können	29.422
97105	Kanülen und sonstige verletzungsgefährdende spitze oder scharfe Gegenstände, wie Lanzetten, Skalpelle u. dgl.	722
97105 77	Kanülen und sonstige verletzungsgefährdende spitze oder scharfe Gegenstände, wie Lanzetten, Skalpelle u. dgl.	2
	Summe	**35.359**

6.3.6 Tierische Nebenprodukte

Zu den Tierischen Nebenprodukten (TNP) zählen Tierkörper, Teile von Tieren, Ausscheidungen von Tieren (Fest- und Flüssigmist), Produkte tierischen Ursprungs, die nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind, sowie Küchen- und Speiseabfälle (siehe 6.2.21). TNP stammen aus der Milchverarbeitung, der Schlachtung, der Fleischverarbeitung, dem Lebensmittelhandel, aus Restaurants, Catering-Einrichtungen sowie Groß- und

Haushaltsküchen und aus der Landwirtschaft (BMLFUW 2014a). Im Jahr 2012 betrug das Aufkommen an TNP 1.127.000 t. Davon wurden 74 % in Tierkörperverwertungsanlagen und anderen zugelassenen Betrieben zu Produkten verarbeitet, wie z.B. Tierfutter, -fett, -mehl, Gelatine und Leder, Bettwaren (Federn) und Dünger. Die übrigen 26 % (292.000 t) fielen als Abfälle an, vornehmlich Küchen- und Speiseabfälle (91.100 t), Molkereiabfälle (74.500 t) und Wirtschaftsdünger (64.500 t). Beim Wirtschaftsdünger wird nur der Anteil berücksichtigt, der in Biogas- oder Kompostanlagen behandelt wurde. Die Gesamtmenge an Wirtschaftsdünger in Österreich beträgt ca. 25 Mio. Tonnen. Von den Abfällen wurden 278.800 t (95,5 %) in Biogasanlagen und 11.300 t in Kompostierungsanlagen behandelt. 1.600 t Küchen- und Speiseabfälle aus dem grenzüberschreitenden Verkehr wurden thermisch verwertet (BMLFUW 2014a).

6.3.7 Kommunale Klärschlämme

Österreichweit fielen im Jahr 2012 rund 267.000 Tonnen Klärschlamm als Trockensubstanz aus der kommunalen Abwasserbehandlung an, welcher

- zu rund 16 % auf landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht;
- zu rund 46 % unter Nutzung der Abwärme thermisch behandelt (auch dezentral);
- zu rund 12 % deponiert;
- zu rund 26 % sonstig behandelt wurde.

Laut einer Studie von Egle et al. (2014) enthalten kommunale Klärschlamme rund 26.500 mg/kg (TS) Phosphor.

6.3.8 Rückstände aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion

Zu den Rückständen aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion werden die überwiegend pflanzlichen Rückstände aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelproduktion gerechnet. Überwiegend tierische Rückstände, wie z.B. Molkereiabfälle, werden im Rahmen der Tierischen Nebenprodukte (vgl. Kap. 6.3.6) betrachtet (BMLFUW 2014a). Das Aufkommen an pflanzlichen Rückständen aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion wird auf jährlich 1,26 Mio. t geschätzt (BMLFUW 2014a). Von diesen Rückständen wurden 35.247 t (2,8 %) als Abfälle gemeldet, die nicht biologisch behandelt werden. Die jeweiligen Abfallfraktionen und Schlüsselnummern sind der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 6-52: Abfälle aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion 2012, die nicht biologisch behandelt wurden (EDM 2012)

SN	Bezeichnung	Aufkommen [t]
111	Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion	12.419
114	Abfälle aus der Genussmittelproduktion	8.036
117	Abfälle aus der Futtermittelproduktion	11.525
121	Abfälle aus der Produktion pflanzlicher und tierischer Öle	3.095
199	Andere Abfälle aus der Verarbeitung und Veredelung tierischer und pflanzlicher Produkte	172
Summe		**35.247**

Die große Differenz zwischen der geschätzten Rückstandsmenge und der Menge an Abfällen, die unter den oben genannten Schlüsselnummern gemeldet wurden, erklärt sich daraus, dass

1. die Rückstände, die die Bedingungen des AWG § 2 Abs. 3a für Nebenprodukte erfüllen, nicht als Abfälle behandelt werden, sondern als Nahrungs- oder Futtermittel genutzt werden.
2. Abfälle, die biologisch behandelt werden, müssen mit den Schlüsselnummern der Gruppe 92 gemeldet werden, da die Schlüssel-Nummern 111, 114, 117 und 121 nicht für Abfälle zur biologischen Verwertung zu verwenden sind.

Deshalb sind zur Betrachtung des gesamten Abfallaufkommens der Nahrungs- und Genussmittelabfälle zusätzlich zu den Abfällen mit den Schlüssel-Nummern 111, 114, 117 121 und 199 auch die Nahrungs- und

Genussmittelabfälle zu berücksichtigen, die mit den Nummern der Schlüsselnummerngruppe 92 gemeldet wurden (BMLFUW 2014a).

Tabelle 6-53: Rein pflanzliche Abfälle aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion 2012, die biologisch behandelt wurden (EDM 2012)

SN	Bezeichnung	Aufkommen [t]
92110	Rein pflanzliche Press- und Filterrückstände der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelproduktion	6.895
92122	Schlamm aus der Speisefett und -ölproduktion ausschließlich pflanzlicher Herkunft	91
92202	Gering belastete Schlämme aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie ausschließlich pflanzlicher Herkunft	1.491
92203	Gering belastete Pressfilter-, Extraktions- und Ölsaatenrückstände der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie ausschließlich pflanzlicher Herkunft	9.731
92208	Kakaoschalen	2.436
Summe		**20.644**

6.3.9 Abfälle aus der Tierhaltung und Schlachtung (ohne Schlachtabfälle und Tierkörper)

Die rund 4.000 Tonnen der SN-Gruppe 13 gesammelten Abfälle aus der Tierhaltung und Schlachtung werden nicht näher betrachtet. Es handelt sich hier um eine kleine Teilfraktion der TNP, vor allem um Wirtschaftsdünger (Gülle, Mist, Kot) (siehe Kapitel 6.3.6).

6.3.10 Andere Abfälle aus der Verarbeitung und Veredelung tierischer und pflanzlicher Produkte

Die rund 310 Tonnen der SN-Gruppe 19 gesammelten Abfälle aus der Verarbeitung und Veredelung tierischer und pflanzlicher Produkte werden nicht näher betrachtet. Es handelt sich hierbei zu über 50 % um Nahrungs- und Genussmittelabfällen, wie Rückstände aus der Kartoffel- und Maisstärkeproduktion) (siehe Kapitel 6.3.8).

6.3.11 Häute und Lederabfälle

Die rund 1.000 Tonnen gesammelten Häute und Lederabfälle werden nicht näher betrachtet.

6.3.12 Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse (ohne Schlachtabfälle und tierische Fäkalien)

Bei den Abfällen pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse ohne Schlachtabfälle und tierische Fäkalien der SN-Gruppe 12 handelt es sich überwiegend um Fette, wie z.B. Frittieröle, die in der Gastronomie, in Kantinen oder Großküchen anfallen, und um die Inhalte von Fettabscheidern, die ebenso in der Gastronomie, in Kantinen oder Großküchen anfallen, aber auch in Metzgereien, Fleisch- und Wurstfabriken, in Schlachthöfen, in Tierkörperverwertungsanlagen, in Ölmühlen, Margarinefabriken, Speiseölraffinerien, in Konservenfabriken und in Betrieben zur Erzeugung von Fertiggerichten und Seifen. Zu beachten ist, dass die SN-Gruppe 12 nicht zu verwenden ist für Speiseöle und -fette und Fettabscheiderinhalte, die biologisch verwertet werden. Für diese Abfälle sind die Nummern der Abfallgruppe 92 zu verwenden (Abfälle zur biologischen Verwertung). Unter die SN-Gruppe 12 fallen also nur Fette und Fettabscheiderinhalte, die nicht biologisch verwertet werden, sowie Öl-, Fett- und Wachsemulsionen. Ölsaatenrückstände (vgl. auch Kap.6.3.8) und Molke (vgl. auch Kap. 6.3.8), die nicht biologisch verwertet werden, werden ebenfalls unter der SN-Gruppe 12 geführt (BMLFUW 2014a).

Das Aufkommen der Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse, die nicht biologisch verwertet werden, beträgt laut Statusbericht 2013 rund 75.000 t, wovon 62.500 (83 %) Fette, wie z.B. Frittieröle und Inhalte von Fettabscheidern sind (EDM 2012). Im Bundesabfallwirtschaftsplan von 2011 wurde das Aufkommen der Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugung noch auf rund 284.000 t geschätzt, allerdings waren rund 175.000 t dieses Abfallstroms Ölsaatenrückständen, die zu 100 % verwertet wurden. Im Jahr 2012 wurden nur noch 3.095 t

Ölsaatenrückstände als Abfall gemeldet. Deshalb wird davon ausgegangen, dass große Mengen als Nebenprodukte klassifiziert wurden. (BMLFUW 2011, BMLFUW 2014a). Die jeweiligen Abfallfraktionen und Schlüsselnummern der SN-Gruppe 12 sind der folgenden Tabelle dargestellt (EDM 2012):

Tabelle 6-54: Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse, die nicht biologisch behandelt werden, 2012 (EDM 2012)

SN	Bezeichnung	Aufkommen [t]
12101	Ölsaatenrückstände	3.095
12102	verdorbene Pflanzenöle	6
12301	Wachse (pflanzliche und tierische)	2
12302	Fette (z.B. Frittieröle)	30.896
12501	Inhalt von Fettabscheidern	31.620
12502	Molke	2.383
12503	Öl-, Fett- und Wachsemulsionen	6.059
12601 88	Schmier- und Hydrauliköle, mineralölfrei	33
12702	Schlamm aus der Speisefettproduktion	2
12901	Bleicherde, ölhaltig	777
Summe		**74.873**

Zur Betrachtung des gesamten Abfallaufkommens an Fetten und Fettabscheiderinhalten müssen zusätzlich zu den Abfällen mit der SN-Gruppe 12 (SN 12302: Fette (z.B. Frittieröle); 12501: Inhalt von Fettabscheidern) auch die Abfälle, die mit der SN-Gruppe 92 gemeldet wurden, berücksichtigt werden:

- SN 92121: 2.715 t Speiseöle und -fette, Fettabscheiderinhalte, rein pflanzlich
- SN 92403: 36.955 t Speiseöle und -fette, Fettabscheiderinhalte, tierisch oder tierische Anteile enthaltend

Fetthaltige Abfälle werden sowohl stofflich verwertet als auch thermische unter Nutzung des Energiegehalts behandelt. So werden die Inhalte von Fettabscheidern z.B. in der in der Verlustschmiermittelerzeugung, in der Verseifung (mit Glyceringewinnung), in der Biodieselproduktion mit Glyceringewinnung eingesetzt oder zur Energiegewinnung auf Kläranlagen verwertet. Altspeisefette werden zu Biodiesel aufbereitet und im Fahrzeugbereich eingesetzt, als Brennstoffsubstitut in einem BHKW eingesetzt oder in Faulbehältern von Kläranlagen oder sonstigen Vergärungsanlagen verwertet.

6.4 Nicht betrachtete Abfälle

Da es im Rahmen dieser Studie weder zeitlich noch finanziell möglich war alle in Österreich anfallen Abfallarten bis ins Detail zu betrachten, werden in Abstimmung mit den Auftraggebern die folgenden Abfallfraktionen im Rahmen der Studie nicht behandelt:

- Schlämme aus der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung, Rückstände aus der Kanalisation sowie Abfälle aus der Gewässernutzung (Ausnahme: kommunaler Klärschlamm)
- Mineralische Schlämme
- Sonstige feste mineralische Abfälle
- Ofenausbrüche, Hütten- und Gießereischutt
- Altreifen

Diese Zuordnung erfolgte anhand der Einschätzung der Mengen-, Ressourcen- und Schadstoffrelevanz der Abfälle durch die Projektpartner und anschließende Abstimmung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung weiterer Argumente.

Das Abfallaufkommen dieser nicht berücksichtigten Fraktionen beträgt insgesamt ca. 1 Mio. Tonnen (ca. 2 % des österreichischen Gesamtabfallaufkommens), wovon ca. 600.000 t auf die Schlämme aus der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung, Rückstände aus der Kanalisation sowie Abfälle aus der Gewässernutzung entfallen (EDM-Daten von 2012).

6.5 Abfallsammlung- und Abfalltransport

Das Thema Sammlung und Transport von Abfällen wurde bisher nur marginal in Bilanzierungsstudien mitbedacht. Transporte von Sammelzentren zu Behandlungsanlagen konnten nachvollzogen werden. Jedoch sind häufig Distanzen für die Sammlung nicht vorhanden. Im Projekt sollte dieses Themengebiet jedoch behandelt und mitberechnet werden. Hierfür war es wichtig Expertenbefragungen sowie eigene Recherchen durchzuführen, um Daten über durchschnittliche Distanzen, Umweltwirkungen und Treibstoffverbräuche zu erhalten.

6.5.1 Abfallwirtschaft und Transport - Begriffsbestimmungen

Für eine weitere Betrachtung des Bereiches Sammlung und Transport ist es essentiell, einzelne Charakteristika bzw. Begriffsbestimmungen der Branche zu beleuchten.

Abfallsammlung: Unter dem Begriff „Abfallsammlung“ versteht man alle Vorgänge, die beim Bereitstellen der Müllbehälter beginnen und enden, wenn das Müllfahrzeug befüllt ist. Diese werden von verschiedenen Personengruppen an unterschiedlichen Sammelstellen ausgeführt. Sammelsysteme bilden hier die Schnittstelle zwischen dem Abfallerzeuger und Einrichtungen zur Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen. (Noehammer & Byer, 1997)

Getrennte Sammlung: In Österreich ist die getrennte Sammlung von Haushalts- und Gewerbeabfällen flächendeckend ausgebaut. Die Sammlung kann sowohl als Einstoffsammlung, d.h. ein Altstoff pro Behälter, oder als Mehrstoffsammlung erfolgen. Bei einer Mehrstoffsammlung muss der Inhalt des Altstoffsammelbehälters einer anschließenden Sortierung unterzogen werden. (Salhofer, 2001) Bei der Erfassung stellt der Erfassungsort ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal dar.

Hol- und Bringsystem: Während im Holsystem Abfälle an deren Anfallstelle in regelmäßigen Abständen abgeholt werden, gibt es bei der Bringsammlung definierte Sammelstellen (Inselsystem, Abfallwirtschaftszentren oder Sammelhöfe) an denen der Abfallerzeuger seine Abfälle getrennt abgeben kann. Gegenwärtig ist knapp die Hälfte (49 %) der rd. 3,3 Mio. österreichischen Haushalte an ein Holsystem angeschlossen (Buchal und Scharff 2003, ARA 2014).

Systemabfuhr: Prinzipiell kann man nach Art der Behälter und der dazugehörigen Fahrzeuge zwischen einer „System-Abfuhr“ bzw. einer „systemlosen Abfuhr“ unterscheiden. Bei der erstgenannten Abfuhrvariante kommen weitgehend einheitliche Behältersysteme mit den dazugehörigen Fahrzeugen zum Einsatz. Diese Art der Erfassung ist in Österreich am weitesten verbreitet. Die systemlose Abfuhr wird im Gegensatz dazu ohne vorgegebene Behältersysteme betrieben. Sie wird in erster Linie für voluminöse Abfälle (z.B. Sperrmüll) eingesetzt (Tabasaran 1994).

Sammlung von Siedlungsabfällen und Verpackungen: Bei Hausmüll bzw. hausmüllähnlichen Abfällen handelt sich meist um festen Abfall, der entsprechend seiner Materialqualität entweder einer Aufbereitung, Verwertung oder Beseitigung zugeführt wird. Prinzipiell wird dabei das Holsystem angewandt. Bewohnern von Einfamilienhäusern stehen eigene Müllbehälter zur Verfügung. Bei Wohnhäusern bzw. Siedlungen ist meist eine gemeinsame Sammelstelle (Sammelinsel) für alle Bewohner eingerichtet. Zu den sechs häufigsten Abfallarten, die getrennt in Behältern gesammelt werden, gehören Restmüll, Altpapier und Kartonagen, Verpackungsglas (Bunt- sowie Weißglas), Leichtverpackungen, Metallverpackungen sowie biogene Abfälle (Salhofer 2001). . Jeder Eigentümer ist dazu berechtigt und verpflichtet, die auf seinem Grundstück anfallenden Siedlungsabfälle der öffentlichen Müllabfuhr zu übergeben (Andienungspflicht) (StAWG 1991).

Sammelbehältnisse: Die Sammelbehältersysteme der System-Abfuhr richten sich in erster Linie nach Art, Menge und Volumen des zu erfassenden Abfalls. Die häufigsten Behältertypen sind Umleerbehälter, jedoch wird in manchen Regionen auch mittels Einwegbehältnissen wie Säcke gesammelt (hauptsächlich für Kunststoffabfälle). Die Entleerungsfrequenz richtet sich nach dem Müllaufkommen im Haushalt und nicht zuletzt nach dem Fassungsvolumen der Behälter (Salhofer 2001).

Sammelfahrzeuge: Sammelfahrzeuge müssen auf die Art der zu entleerenden Behälter angepasst sein. Die Auswahl des Sammelfahrzeuges richtet sich nach technischen sowie ökonomischen Grundsätzen. Für die Sammlung mit Hilfe Umleerbehältern und Einwegsystemen gibt es je nach Abfallart verschiedene Aufbauten, Ladeeinrichtungen und Verdichtungssysteme für die Fahrzeuge. Loser Abfall mit einem Schüttgewicht im Bereich dem des Restmülls wird durch Verpressen, Zerkleinern, Umwälzen und Vermischen etwa auf das 3- bis 5-fache verdichtet (Tabasaran 1994, Cord-Landwehr 2000).

Gewerbemüllsammlung: Der Großteil des in Österreich anfallenden Gewerbe- und Industriemülls setzt sich aus Bodenaushub, Baurestmassen, Baustellenabfällen, Holzabfällen, Abfällen mineralischen Ursprungs und anderen, sperrigen Abfällen zusammen. Diese werden, da sie meist in großen Mengen anfallen, bevorzugt in Mulden oder Containern mit 7-90 m³ in den verschiedensten Ausführungsformen gesammelt und transportiert. Hierzu sind eigene Fahrzeugtypen mit Aufnahmevorrichtung für Container vorhanden (Tabasaran 1994).

Gefährliche Abfälle: Bei der Sammlung sowie dem Transport gefährlicher Abfälle ist zu beachten, dass die Behälter, abhängig von der Abfallart, bestimmten Umweltvorschriften genügen müssen. Die Sammlung bzw. Lagerung erfolgt in geeigneten Containern, Mulden, Fässern, Tanks oder anderen Behältnissen aus unterschiedlichsten Werkstoffen. Je nach Gefährlichkeit der Stoffe kann es auch erforderlich sein, die Sammel- und Transportbehälter z.B. mit Auffangwannen, Abdichtungen, Innenbeschichtungen, Abdeckungen etc. auszustatten. Nötigenfalls müssen sie auch in doppelwandiger und explosionsstoßdruckfester oder säurefester Ausführung bereitgestellt werden (Tabasaran 1997). Für den Transport gefährlicher Abfälle gibt es unterschiedliche Fahrzeugtypen, die eine sichere Beförderung garantieren sollen, wie beispielsweise Mehrkammer-Sammel-, Umleerfahrzeuge oder Chemie-Saug-Druck-Tankfahrzeuge.

Abfalltransport: Der Transport stellt das Bindeglied zwischen der Sammlung und der weiteren Behandlung dar. Der eigentliche Transportvorgang beginnt, wenn der letzte Behälter der Sammeltour geladen oder die zulässige Nutzlast des Sammelfahrzeuges erreicht ist und endet mit der Übergabe des Abfalls an die Behandlungsanlage. Die Rückkehr ins Sammelgebiet wird als Leerfahrt bezeichnet (Cord-Landwehr 2000). Beim Direkttransport wird der gesammelte Abfall direkt zu einer Aufbereitungs-, Verwertungs- oder Beseitigungsanlage gebracht, ohne ihn in einer Umladestation auf ein anderes Transportfahrzeug zu verladen. Das Sammelfahrzeug fungiert folglich auch als Transportfahrzeug. Der Einsatz eines Sammelfahrzeuges wird mit steigender Entfernung zwischen Sammelgebiet und nachgeschalteter Anlage immer unwirtschaftlicher. Die kritische Entfernung für den Direkttransport im Sammelfahrzeug liegt zwischen 20 und 40 km. Beim Ferntransport bringen Sammelfahrzeuge den Abfall zu zentral gelegenen Sammel- bzw. Umschlagplätzen. Der Abfall wird dort, wenn nötig, verdichtet und auf ein anderes Transportfahrzeug (LKW, Eisenbahn, Schiff etc.) umgeladen. Von hieraus erfolgt der Transport des Abfalls (z.B. mittels großräumiger Sattelzüge) zu den einzelnen Behandlungsanlagen (Schneider und Thomé-Kozmiensky 1989, Tabasaran 1994).

Weitere Charakteristika: Die einzelnen dargestellten Charakteristika haben einen essentiellen Einfluss auf die gefahrenen Transportkilometer. Transportdistanzen hängen des Weiteren von der Dichte der Behandlungsanlagen und der Bevölkerungs- bzw. Besiedlungsstrukturen ab. Österreich besteht aus städtischen und ländlichen Regionen und hat deshalb eine inhomogene Bevölkerungsverteilung. Diese Struktur wird auch aufgrund der topographischen Gegebenheiten bestimmt, welche längere Anfahrtszeiten in bergigen Regionen zur Folge haben. Die Mengen, das Gewicht der Abfallarten sowie die Häufigkeit des Anfalls bestimmen die Sammlungsintervalle und die Fahrzeugtypen sowie Behältergrößen. Die Länge der Transportdistanzen variiert aber auch durch den ökonomischen Wert des Abfalls. Beispielsweise werden edle und sortenrein getrennte Schrotte weiter transportiert als Mischfraktionen wie Restmüll. Neben dem Wert des Sekundärrohstoffes können die Behandlungskosten (gefährliche Abfälle sind teurer in der Behandlung) sowie der Energieinhalt (qualitativ hochwertige Ersatzbrennstoffe im Gegensatz zu Mischfraktion verunreinigter Kunststoff) ausschlaggebend sein. Die rechtlichen nationalen und internationalen Rahmenbedingungen zur Behandlung aber auch zum Transport von Abfällen sind, besonders wenn es um die Verbringung ins Ausland geht, ausschlaggebend.

6.5.2 Methodik und Annahmen

Das Ziel ist eine erste gesamtheitliche Erfassung der Transportdistanzen und deren Umweltauswirkungen. Als funktionale Einheit wurde eine Tonne gesammelter und mit dem LKW transportierter Abfall festgelegt. Die Systemgrenze für die Betrachtung umschließt die Sammlung und den Transport zu den Behandlungsanlagen. Die Behandlungsprozesse sowie die Materialien wurden nicht modelliert; ebenso ist die Bereitstellung der Infrastruktur ausgeschlossen. Für die Ermittlung der Transportdistanzen in Kilometern, den Verbrauch an Treibstoff und dem daraus resultierenden CO_2-Ausstoß wurde eine Erhebung für folgende Abfälle durchgeführt:

Primärabfälle

- Haushaltsabfälle (Packstoffe: Metalle, Leichtverpackungen, Papier, Glas; Biomüll, Restmüll, Sperrmüll inkl. sonstige Altstoffe, Problemstoffe und Altholz)
- Abfälle aus dem Grünbereich/sonstige biogene Abfälle
- Getrennt gesammelte Altstoffe aus Gewerbe/Industrie (Metalle, Leichtverpackungen, Papier, Glas, Holzabfälle)
- Abfälle aus dem Bauwesen
- Elektro- und Elektronikaltgeräte
- Holzabfälle
- Asbestabfälle
- Gefährliche Abfälle
- Altöle, Altschmierstoffe verunreinigte Böden
- Kunststoff und Gummi
- Aschen, Schlacken, Stäube aus Feuerungsanlagen, Metallurgische Schlacken
- Alttextilien
- Weitere Glasabfälle, Zelluloseabfälle und Metallabfälle

Sekundärabfälle (Abfälle aus Behandlungsanlagen)

Die Abfallarten und deren Mengen wurden direkt beim Ministerium für das Jahr 2012 erfragt. Die damit berücksichtigen Abfallarten ergeben insgesamt eine Menge von 17 Mio. t Abfall. Sekundärabfälle wurden in der Berechnung aufgrund der erschwerten Datenlage zusammengefasst. Daten zu den Behandlungsanlagen wurden einerseits aus dem Abfallwirtschaftsplan entnommen, andererseits wurde im EDM das zentrale Anlagenregister genutzt (EDM, 2015). Die Herausforderung hinsichtlich der Datenrecherche zu Transportdistanzen stellte die Verfügbarkeit dar – die angefragten Unternehmen und Gemeinden besitzen keine bzw. nur abgeschätzte Datensätze, welche meist auch einer anderen Erhebung unterliegen. Erst durch die Einführung von Transport- und Logistiksoftware ist die Datenerfassung vereinfacht möglich. Im Rahmen des Projektes wurde daher eine Expertenbefragung aller Abfallwirtschaftsverbände und der größten Entsorgungsunternehmen durchgeführt. Um die Daten einheitlich verarbeiten und auswerten zu können wurde ein Datenblatt erstellt. Hierbei wurden die Sammlungsart, Kilometeranzahl städtisch und ländlich sowie Sammlung bis zur ersten Behandlungsanlage und von der ersten Behandlungsanlage zum endgültigen Verbleib (Sekundärrohstoff) abgefragt. Weitere Parameter wie Euroklassen der Fahrzeuge, Treibstoffart und -verbrauch wurden ebenso ermittelt. Durch den unterschiedlichen Fokus einzelner Betriebe aber auch kommunaler Einrichtungen war es meist nicht möglich, ein komplett ausgefülltes Datenblatt zu bekommen. Trotz der wiederholten Abfragen war die Rücklaufquote schlechter als erwartet, da die Daten in den meisten Unternehmen/öffentlichen Behörden nicht vorhanden bzw. nicht in diesem Detailgrad durch unterschiedliche Erhebungsarten verfügbar waren. Die in diesem Kapitel diskutierten Datensätze sind daher mit großen Unsicherheiten (>60 %) verbunden. Durch die Diskussion mit Stakeholdern wurde jedoch versucht Mittelwerte für die Transportdistanzen abzuschätzen. Für die Haushaltsabfälle werden die Daten exemplarisch in Tabelle 6-55 dargestellt.

Tabelle 6-55: Auszug aus der Expertenschätzung für Haushaltsabfälle Quelle: eigene Erhebungen

Abfallart	Abfall gesamt-menge	Transportdistanz Sammlung bis 1. Behandlungsanlage		Fracht-menge	Gesamtkilo-meteranzahl	Gesamttreib-stoffverbrauch
Primärabfälle	[t]	ländlich 62% [km]	städtisch 38% [km]	[t]/Transport-einheit	[km]	l Diesel
Metalle	117.000	150	60	2	6.791.000	4.692.000
Leichtverpackungen	154.000	130	80	4	4.264.000	2.305.000
Papier	638.000	120	60	9	6.890.000	4.253.000
Glas	217.000	200	75	8	4.134.000	2.440.000
Biomüll	876.000	120	40*	6	13.085.000	8.762.000
Restmüll	1.965.000	120	40*	9	19.558.000	13.097.000

Mit Stern (*) gekennzeichnete Daten wurden geschätzt, da es hierzu sehr weit auseinander liegende Rückmeldungen gegeben hat. Des Weiteren mussten die Distanzen für „Alttextilien“ sowie die Sammelkategorie „Sperrmüll + sonstige Altstoffe + Problemstoffe + Altholz“ angenommen werden. Neben den Mengen ist die Transportdistanz für eine Route - von Sammlung bis zur ersten Behandlungsanlage - angegeben. Aufgrund von statistischen Daten über die Bevölkerungsverteilung Österreichs wurde angenommen, dass 38 % der gefahrenen Kilometer in der Stadt verbucht werden (Städte bis mind. 20.000 Einwohner) und die restlichen 62 % in ländlichen Gebieten zurückgelegt werden. (Statistik Austria, 2014) Die Frachtmenge gibt an, welche Abfallmenge im Fahrzeug pro Route Platz findet. Die Gesamtkilometeranzahl und der Gesamttreibstoffverbrauch wurden aus den vorhandenen Datensätzen errechnet. Für die Transportmittel wurde angenommen, dass das Primärabfallaufkommen nur durch Diesel-LKWs aufgenommen wird. Für Sekundärabfälle sind diese hier dargestellten Voraussetzungen nicht mehr konsistent begründbar, daher wurden folgend die Sekundärabfälle gemeinsam betrachtet und eigene Annahmen getroffen. Dazu wurden Mittelwerte der zuvor einzelnen Fraktionen dargestellt und immer die größere der beiden Fahrzeugtypen gewählt, die zwei unterschiedlichen Fahrgebiete wurden beibehalten.

Abb. 6-6: Darstellung der methodischen Vorgehensweise zur Erhebung der Transportdaten (eigene Grafik)

Aufgrund der unvollständigen Datensätze der Expertenbefragung wurde entschieden mittels einer im Internet verfügbaren Freeware (Google MyMaps) einen Teil der Datensätze zu verfeinern bzw. zu kontrollieren. Mit der Routenberechnungssoftware ist es möglich Landkarten zu erstellen, welche gewählte Punkte und deren Distanzen zeigen. Ziel war es den Großteil der transportierten Mengen (hauptsächlich aus dem städtischen Raum) von dem städtischen Zentrum zur nähest gelegenen Abfallbehandlungsanlage darzustellen. Somit sind hier nur Transportdistanzen und keine Sammelwege enthalten. Alle Standorte der verschiedenen Anlagentypen (CPO/CPA, Shredder, Verbrennung, EAG, MBA, Biogas, Sortierung, Kompostierung, Deponie) in der Nähe der städtischen Großräume wurden ermittelt (EDM Portal und andere Quellen). Die Recherche der einzelnen Anlagentypen wurde für 17 städtische Zentren Österreichs, unterteilt in Großstadtregionen (Graz, Linz, Innsbruck, Salzburg, Klagenfurt und Bregenz) und Mittelstadtregionen (Feldkirch, Wels, Leoben, Villach, Wiener Neustadt, Steyr, Knittelfeld, St. Pölten und Vöcklabruck) durchgeführt. Mit der Hauptstadt Wien, den sechs

Großstadt- und neun Mittelstadtregionen werden ungefähr 60 % der Bevölkerung und deren Müllaufkommen in Österreich abgedeckt (Statistik Austria & Österreichischer Städtebund, 2012).

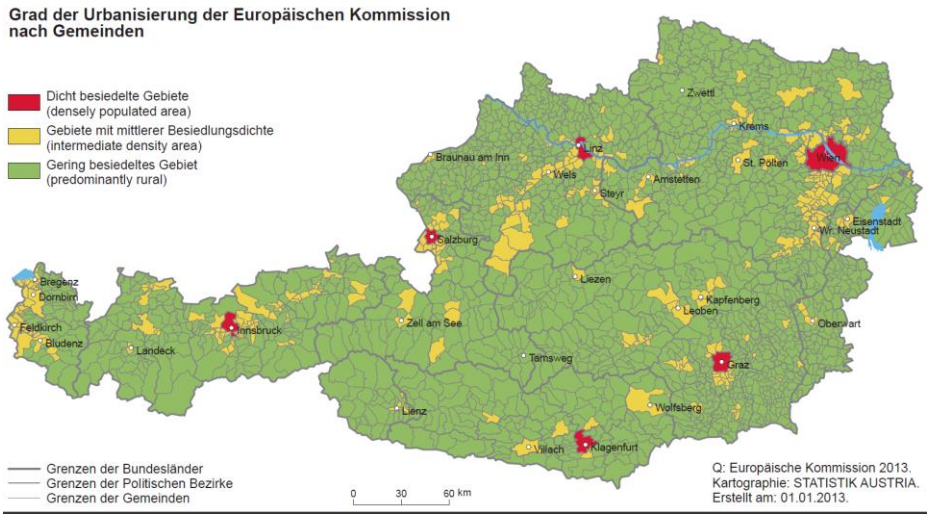


Abb. 6-7: Darstellung der Stadtregionen Österreichs Quelle: Statistik Austria

Mit diesen Erkenntnissen war es möglich, die Datentabellen zu erstellen, sie mit Google zu verknüpfen und folgende Landkarte mit Anlagendaten zu erstellen.

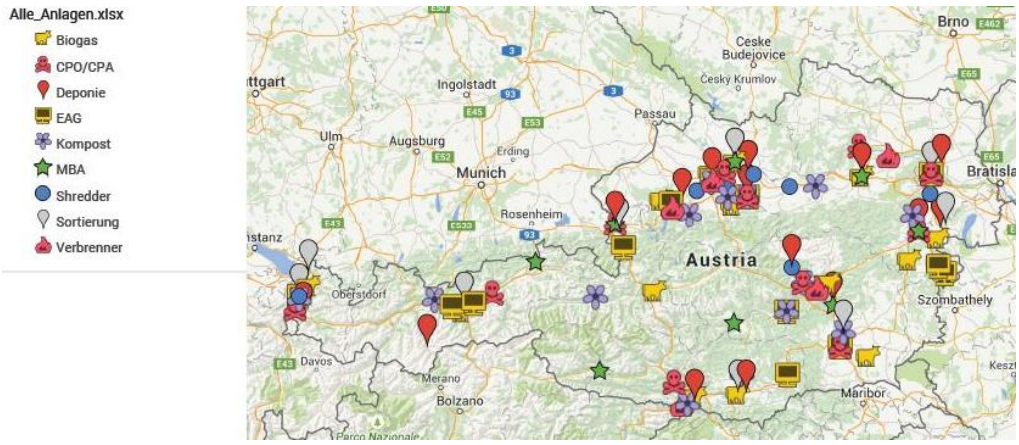


Abb. 6-8: Darstellung der nahe an den Stadtregionen befindlichen Behandlungsanlagen (Google MyMaps, eigene Daten)

Die Einzeldistanzen von jeder Stadt zur Behandlungsanlage wurden summiert und dann gemittelt. In Tabelle 6-56 werden die durchschnittlichen Transportdistanzen von der Stadt zur nähest gelegenen Behandlungsanlage dargestellt.

Tabelle 6-56: Durchschnittliche Transportdistanzen der Stadtregionen zu den nahegelegenen Behandlungsanlagen (eigene Erhebungen)

Durchschnittsdistanzen für österreichische Stadtregionen		
Sortieranlagen	27	km
Mechanisch-biologische Behandlung	70*	km
Kompostierung	25	km
Biogasproduktion	22	km
Thermische Behandlung	92*	km
Chemisch-physikalische Behandlung	28	km
Shredderanlagen	46	km
Elektroaltgeräte Aufbereitung	32	km
Deponie	22	km

Auffallend sind die relativ großen Mittelwerte (gekennzeichnet mit *) für die mechanisch-biologische und thermische Behandlung, welche damit zu erklären sind, dass im Westen Österreichs die Anlagenstruktur weitläufiger ist, jedoch in der Praxis Abfallmengen in das nähere Ausland verbracht werden. Rechnet man die zwei Extremwerte der mechanisch-biologischen und thermischen Behandlung heraus, ergeben sich folgende realitätsnahe Werte:

Tabelle 6-57: Neuberechnung nach Bereinigung der Transportdaten durch zwei Ausreißer (Region Vorarlberg – Verbringung ins Ausland) (eigene Erhebungen)

Mechanisch-biologisch Behandlung	70*	km -->	**45**	**km**
Thermische Behandlung	92*	km -->	**53**	**km**

Die in Tabelle 6-56 dargestellten Daten spiegeln gut die Werte der Expertenschätzung wieder, wenn ein durchschnittlicher Sammelweg von 20 km im städtischen Gebiet angenommen wird (Merrild et al. 2012). Für Restmüll konnte aus den Expertenbefragungen keine Transportdistanz ermittelt werden, da die Restmüllverwertung in den Bundesländern individuell geregelt ist. Hierfür wurde somit eine Annahme von 40 km getroffen, die nicht ganz mit der Einzelerhebung mittels Routenplan übereinstimmt und darum nach weiterer Recherche nochmals überarbeitet werden sollte.

Tabelle 6-58: Ergebnis der Expertenschätzung für die Haushaltsabfallsammlung Quelle: eigene Erhebungen

Metalle (Schrott und Verpackung)	60	km
Leichtverpackungen	80	km
Papier	60	km
Glas	75	km
Biomüll	40	km
Restmüll	40	km

Die Umweltbewertung wurde durch eine Lebenszyklusanalyse in Anlehnung an die Normen EN ISO 14040 bis 14044 bewerkstelligt (ISO 14040 2006, ISO 14044 2006). Im Gegensatz zu Produkt- oder Betriebslebenszyklusanalysen wurde hier nur eine Lebenszyklusphase genauer herausgegriffen. Die End-of-Life Phase, welche auch die Abfalltransporte umfasst, ist durch die Inhomogenität der Abfälle sowie die unterschiedlichen Behandlungswege gekennzeichnet. Bewertet wurde das Global Warming Potential (GWP) mittels CO_2-Äquivalenten (CO_2, CH_4, N_2O), da dieses für den Verkehr die größten Auswirkungen zeigt und hier in Zukunft weitere Einsparungen durch Technologie- und Routenoptimierung zu erwarten sind (Klöppfer 2009).

6.5.3 Ergebnisse

Generische Datensätze für die Transportfahrzeuge wurden aus ProBas entnommen. (Umweltbundesamt Deutschland, 2015) Diese variieren jeweils nach Kapazität des Fahrzeuges (3 t und 8 t Kapazität) und Fahrtenbereich (innerorts = städtischer Raum bzw. außerorts = ländlicher Raum), somit wurden für die Differenzierung vier verschiedene Datensätze verwendet. Die Charakterisierungsfaktoren wurden aus dem IPCC-Bericht von 2013 entnommen und lauten wie folgt (IPCC 2013)

Tabelle 6-59: Ausgewählte Charakterisierungsfaktoren für die Berechnung des GWP

Emission	Charakterisierungsfaktor
CO_2	1
CH_4 fossil	30
N_2O	265

Basierend auf der Expertenbefragung konnte eine Gesamtkilometeranzahl von 1.027 Mio. tkm mit einem Gesamttreibstoffverbrauch an Diesel von 203 Mio. l berechnet werden.

Tabelle 6-60: Darstellung der spezifischen bzw. gesamten Emissionen im städtischen und ländlichen Raum (eigene Berechnungen)

Emissionen	Städtischer Raum	Ländlicher Raum
Kohlendioxid (CO_2)	36.500 t	103.200 t
Methan (CH_4)	17 t	50 t
Lachgas (N_2O)	3 t	10 t
Gesamtemissionen (CO_2-Äq.)	**36.720 t**	**103.260 t**

Wie in Tabelle 6-60 gezeigt, sind die Emissionen im ländlichen Raum um einiges höher als im städtischen. Dieser Unterschied ist einerseits durch die weiteren zurückgelegten Strecken im Zuge der Sammlung begründbar, andererseits aber auch aufgrund der getroffenen Annahme hinsichtlich der Bevölkerungsverteilung (38 % städtisch, 62 % ländlich). Gesamtheitlich ergeben sich somit 146.000 t CO_2-Äq. Emissionen.

6.5.4 Diskussion und Ausblick

Aufgrund der Wirtschaftslage und steigendem Konkurrenzdruck, ob aus dem Ausland oder Inland, wird es immer wichtiger, Optimierungspotenziale in allen Lebenszyklusphasen zu identifizieren und durch diese eine Kostenreduktion und Steigerung der Kundenzufriedenheit zu bewirken. In der Vergangenheit wurden abfalllogistische Daten nur für gefährliche Abfälle genauer erhoben, um über Mengen, Anfallsorte, Verbleib und Verbringung Bescheid zu wissen. Nicht gefährliche Abfälle und deren Sammlung und Transport wurde bei weitem nicht so detailliert dokumentiert. Aufgrund dieser Umstände sind Daten betreffend der Abfalltransporte der letzten Jahre in der Literatur nicht zu finden. Durch die Entwicklung und den Einsatz von Routenplanungsinstrumenten wird die Abfalllogistik seit einigen Jahren revolutioniert und bekommt hiermit einen neuen Stellenwert. Aufgrund von Logistiksoftwarelösungen ist es möglich Daten wie beispielweise Fahrrouten, Transportkilometer und Taktzeiten sowie Informationen zu Fraktionen und An-Abfahrt zu erhalten. In Zukunft können durch diese Datensätze einfachere Schlüsse gezogen und basierend auf diesen Daten Optimierungspotentiale aufgezeigt werden. Mit der vorliegenden Studie wurde eine erste Vorarbeit zu einer genaueren Modellierung der Abfallsammlung und -transporte innerhalb Österreichs Grenzen geschaffen. Diese ist durch existierende Datenlücken mit teilweise hohen Unsicherheiten behaftet, jedoch werden durch Expertenabschätzungen sowie die Modellierung mittels Lebenszyklusanalyse eine Erstabschätzung für die Stakeholder der Abfallwirtschaft gegeben, welchen Anteil der Transport an den Gesamtemissionen des Sektors beiträgt.

6.6 Behandlungs- und Beseitigungsanlagen

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Prozesse innerhalb der österreichischen Abfallwirtschaft näher beschrieben. Als Systeminput in die jeweiligen Anlagen werden die quantitativ betrachteten Abfallströme angegeben.

6.6.1 Biotechnische Behandlung

6.6.1.1 Kompostierungs- und Biogasanlagen

In Kompostierungsanlagen zur Verwertung biogener Abfälle werden biologisch abbaubare Materialien unter Anwesenheit von Sauerstoff (aerobe Behandlung bzw. Kompostierung) in ein huminstoffreiches Produkt umgewandelt. Nach Behandlung der biogenen Abfälle werden diese als Komposte wieder in den natürlichen Stoffkreislauf rückgeführt. Die Kompostierungsverfahren/-Verfahrenskombinationen lassen sich im Wesentlichen nach folgenden verfahrenstechnischen Gesichtspunkten gliedern:

- offene oder geschlossene Systeme
- dynamische oder statische Verfahren
- Verfahren mit oder ohne Zwangsbelüftung

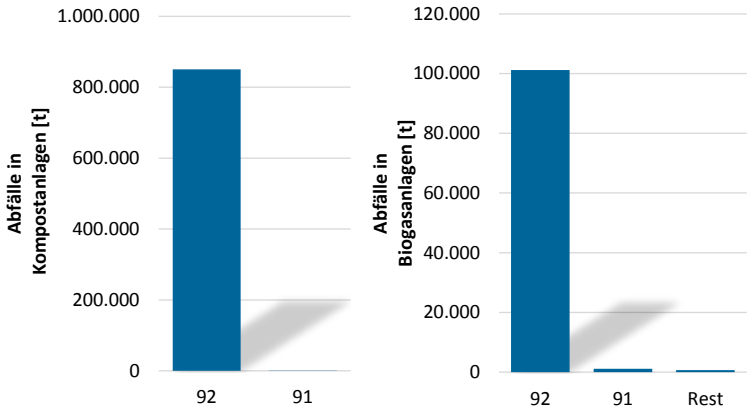
Zur Verwertung getrennt gesammelter biogener Abfälle, Küchen- und Speiseabfälle sowie von kommunalen Abfällen aus dem Grünflächenbereich (Parkabfälle, Friedhofsabfälle und Straßenbegleitgrün) und von Klärschlamm standen im Jahr 2012 466 Anlagen mit einer Kapazität von mindestens 1,3 Millionen Tonnen zur Verfügung.

Im Jahr 2009 wurden laut ARGE Kompost & Biogas etwa 947.000 Tonnen Bioabfälle in Kompostierungsanlagen verwertet. Die 6 Anlagen, die eine Kombination aus aeroben und anaeroben Verfahren einsetzen, sind im nachfolgenden Kapitel über anaerobe biotechnische Behandlungsanlagen berücksichtigt. In Biogasanlagen werden biologisch abbaubare Materialien mit einem hohen Wassergehalt unter Ausschluss von Sauerstoff (anaerobe Behandlung bzw. Vergärung) biologisch abgebaut. Prinzipiell sind fast alle biogenen Stoffe mit Ausnahme von Holz (aufgrund des Ligningehalts) als Ausgangsmaterialien für die Behandlung in Biogasanlagen geeignet: Im Rahmen dieser Studie werden jedoch nur Abfallstoffe berücksichtigt. Reststoffe aus der Landwirtschaft und nachwachsende Rohstoffe werden nicht berücksichtigt.

In einigen Ausgangsmaterialien können sich auch tierische Nebenprodukte gemäß Hygieneverordnung befinden. Diese müssen einem Hygienisierungsschritt unterzogen werden. Das entstehende Biogas, das zum Großteil aus Methan besteht, wird meist thermisch genutzt, um elektrische Energie und Wärme zu produzieren. Die verbleibenden Gärrückstände werden – unter Einhaltung der entsprechenden gesetzlichen Vorschriften – kompostiert oder direkt als Dünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht (Klärschlämme werden zu einem großen Teil verbrannt). Zur Anzahl und Kapazität von Biogasanlagen gibt es unterschiedliche Zahlen. Nach BMLFUW (2011) sind waren im Jahr 2012 157 Biogasanlagen mit einer Verarbeitungskapazität von mindestens 860.000 Tonnen zur Verwertung von Abfällen in Betrieb. Anlagen, welche ausschließlich nachwachsende Rohstoffe (Silomais, Grassilage, Grünschnitt, Futterreste) verarbeiten, sind darin nicht enthalten. ARGE Kompost & Biogas geht im Jahr 2009 nur von einer Verarbeitungskapazität von 650.000 Tonnen aus Amlinger und Tulnik (2012).

Beschreibung der Anlagen (Anzahl, Kapazitäten, Größe der Anlagen etc.,)

Von den quantitativ betrachteten Abfällen wurden rund 850.000 Tonnen in Kompostanlagen und 100.000 Tonnen in Biogasanlagen behandelt, die sich fast ausschließlich aus der SN –Groppe 92 zusammensetzen.



91 *Feste Siedlungsabfälle einschließlich ähnlicher Gewerbeabfälle* **92** *Abfälle zur biologischen Verwertung*

Abb. 6-9: biotechnische behandelte Abfälle 2012 (Kompost- und Biogasanlagen)

In Tabelle 6-61 sind die durchschnittlichen Verarbeitungskapazitäten und –mengen für Kompost- und Biogasanlagen aufgeführt. Die Zahlen, spiegeln die dezentrale Struktur der Verwertung der biogenen Abfälle wider (Ausnahme Wien). Ein großer Teil der Anlagen ist auf landwirtschaftlichen Betrieben angesiedelt. Außer in Wien sind vorwiegend geringe Verarbeitungskapazitäten vorzufinden.

Tabelle 6-61: Durchschnittliche Verarbeitungskapazität und -menge für biogene Abfälle in Kompost- und Biogasanlagen nach Bundesländern [t/a] (Amlinger und Tulnik 2012)

Bundesland	Kompostanlagen		Biogasanlagen	
[t/a]	Kapazität	Input	Kapazität	Input
Burgenland	7.011	4.859	5.387	4.712
Kärnten	2.773	2.582	2.129	1.537
Niederösterreich	4.524	3.842	11.890	9.824
Oberösterreich	1.456	1.121	5.219	4.140
Salzburg	3.421	3.318	52.940	6.074
Steiermark	1.824	1.612	14.778	9.050
Tirol	1.588	1.448	2.491	2.039
Vorarlberg	9.333	5.364	2.666	2.607
Wien	77.000	50.883	17.000	18.570
Gesamt	**2.756**	**2.233**	**5.612**	**4.581**

Es konnte keine Unterteilung der Biogasanlagen nach Anlagentyp gefunden werden. Nach Einschätzung von ARGE Kompost & Biogas (Kirchmeyer 2014) handelt es sich beim überwiegenden Teil der anderen Anlagen um Nassvergärungsanlagen, bei denen in der Regel auch keine Entwässerung nach der Vergärung stattfindet und die flüssigen Gärreste in der Landwirtschaft ausgebracht werden. Lediglich in Einzelfällen handelt es sich um Trockenvergärungsanlagen (u.a. Roppen; ca. 15.000 t/a und Salzburg Siggerwiesen; ca. 25.000 t/a). Die Anlage Wels (System LINDE, thermophil) und die Anlage Wien entsprechen dem Nassgärverfahren. Zusammen haben diese 5 Anlagen eine Behandlungskapazität von etwa 80.000 Jahrestonnen Bioabfall (Lampert et al. 2011).

In Tabelle 6-63 sind die Energieverbräuche bei der Kompostierung und Vergärung aufgeführt. Diese stellen die Hauptbetriebsstoffe und Verbräuche dar und finden Eingang in die Bewertung. Bei der Vergärung wäre noch der Einsatz von Flockungshilfsmitteln relevant, wenn die Gärreste entwässert werden. Da dies in Österreich jedoch üblicherweise nicht der Fall ist, werden die Flockungshilfsmittel als nicht relevant betrachtet.

Tabelle 6-62: Energieverbräuche bei der biologischen Abfallbehandlung (Lampert et al. 2011)

	Offene Mieten-kompostierung	(Teil)-geschlossene Kompostierung	Nass-vergärung	Trocken-vergärung
Strom (kWh/t Input)	5	55	70	70
Wärme (kWh/t)	0	0	90+50 für Hygienisierung	70
Diesel (kWh/t)	30	15	153	154

Angaben zu Emissionsfaktoren von Kompost- und Biogasanlagen finden sich bei Cuhls et al. (2008). Bei der Kompostierung entstehen Emissionen bei der Anlieferung und Aufbereitung der zu kompostierenden Abfälle, durch die bei der Behandlung eingesetzten Energieträger (Treibstoffe, Strom) sowie beim Abbau der organischen Substanz (Prozessemissionen). Die Emissionen unterscheiden sich je nach Technisierungsgrad. Bei offener Kompostierung hat Cuhls et al. (2008) höhere Emissionen gemessen als bei einer (teil-) geschlossenen Kompostierung. Bei der Vergärung sind daneben noch die Emissionen aus der Gärrestlagerung von hoher mengenmäßiger Relevanz. Insbesondere bei landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen ist ein großer Teil der Gärrestlager ohne Abdeckung und Fassung des Restgases. Hierdurch kann es bei nicht ausreichendem Ausfaulgrad des Gärrestes zu Biogas- und damit Methanemissionen kommen. Verschiedene Autoren geben Zahlen von 1 – 30 % des Gesamtgaspotentials an (Oechsner 2006, LfL Bayern 2007, FNR 2009). Cuhls et al. (2008) haben bei Messungen an Vergärungsanlagen durchschnittliche Emissionen von Vergärungsanlagen mit offenen Gärrestlagern eher Werte im unteren Bereich von 2.500 g/t Bioabfall gemessen. In der Studie von Cuhls et al. (2008) wird auf die große Bandbreite an Emissionswerten hingewiesen. Ausschlaggebend ist vor allem die Betriebsführung.

[3] Annahme: gleicher Dieselverbrauch wie bei teilgeschlossener Kompostierung
[4] Annahme: gleicher Dieselverbrauch wie bei teilgeschlossener Kompostierung

Tabelle 6-63: Durchschnittliche Emissionswerte bei der biologischen Abfallbehandlung nach Cuhls et al. (2008)

Emissionen (Gesamtprozess)	Offene Mieten-kompostierung	(Teil)-geschlossene Kompostierung	Nassvergärung abgeschätzt	Trocken-vergärung
CH_4 (g/t)	1.800	700	2.500	1.100
N_2O (g/t)	190	68	20	98
NH_3 (g/t)	850	63	700	104

Zahlreiche Verordnungen und Richtlinien regeln die Verwertung von Klärschlamm, Kompost und Gärresten. Schwerpunkt ist dabei zumeist die Vermeidung schädlicher Schadstoffanreicherungen im Boden. Dies soll durch Grenzwerte für bestimmte Substanzen und durch Beschränkungen der Aufbringungsmengen erreicht werden. Diverse Regelungen und Richtlinien enthalten auch Aspekte der Ressourcenschonung, beispielweise indem die aufgebrachten Nährstoffmengen begrenzt werden oder durch Bestimmungen, dass die Abgabemengen an den Düngebedarf von landwirtschaftlichen Kulturen anzupassen sind.

Folgende Regelwerke sind für die Verwertung der Produkte biogener Abfallstoffe relevant:

- Bodenschutzgesetze, Wasserrechtsgesetz
- Klärschlammgesetze und Klärschlammverordnungen der Bundesländer
- Kompostverordnung, Richtlinien für sachgerechte Düngung
- Richtlinie für die Anwendung von Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft
- Richtlinie „Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker und Grünland“
- Richtlinien für die sachgerechte Düngung

Das Umweltbundesamt hat jüngst eine Bioabfallstrategie (Lampert et al. 2014) vorgelegt. Darin werden auf Basis vorliegender Studien Vorschläge für die Behandlung von Bioabfällen abgeleitet. Als Hauptkriterien für die Behandlungsoptionen werden die Minimierung der Treibhausgase sowie die Nährstoffnutzung und Nutzung des enthaltenen Kohlenstoffs genannt. Es wird empfohlen, dass

- Biogene Abfälle mit höherem Gasbildungspotenzial einer Vergärung zugeführt werden sollen, da diese Behandlung eine bessere THG Bilanz als die ausschließliche Kompostierung aufweist
- die Nährstoffe und die organische Substanz in die Böden über eine direkte landwirtschaftliche Verwertung des Gärrestes rückgeführt werden

Die Ableitung der Transferkoeffizienten (siehe Tabelle 6-64 und Tabelle 6-65) der Nährstoffe und Schwermetalle erfolgte anhand von Literaturdaten. Umfangreiche Daten liegen vor zur chemisch-physikalischen Zusammensetzung von Komposten. Hier gibt es eine Unterteilung in Komposte, die vornehmlich mit Abfällen aus der Biotonne erzeugt wurden sowie solchen aus Grünabfällen (Kern et al. 2010). Eine weitere Detaillierung liegt nicht vor. Ähnliches gilt für die flüssigen Gärreste. Aus der Kenntnis des Abbaus in der biologischen Behandlung wurde die Zusammensetzung der Inputstoffe rechnerisch ermittelt. Weiterhin wurden Daten einer aktuellen Zusammenstellung von Werten zu Nährstoffen und Schwermetallen in Komposten sowie festen und flüssigen Gärprodukten der deutschen Bundesgütegemeinschaft Kompost angesetzt (Kehres 2014).

Tabelle 6-64: Transferkoeffizienten auf Güterebene (Gut) und Stoffebene bei Kompostanlagen

	Luft (Abluft)	Produkt (Kompost)	Abfall (Siebüberlauf)	Abfall (Störstoffe)
Gut	**0,52**	**0,36**	**0,09**	**0,03**
Cd		0,50	0,15	0,36
C	0,55	0,27	0,18	
Cr		0,96	0,04	
Cu		0,67	0,01	
Hg		0,86	0,02	
N	0,48	0,46	0,06	
P		0,97	0,03	
Pb		0,59	0,17	0,24
Zn		0,75	0,03	0,22

Tabelle 6-65: Transferkoeffizienten auf Güterebene (Gut) und Stoffebene bei Biogasanlagen inkl. Gärrestkompostierung

	Luft (Abluft aus Gärrest-kompostierung)	Produkt (Biogas)	Produkt (flüssiger Gärrest)	Produkt (Gärrest-Kompost)	Abfall (Störstoffe)	Abfall (Siebüber - lauf)
Gut	**0,02**	**0,12**	**0,79**	**0,02**	**0,04**	**0,00**
Cd			0,32	0,07	0,61	0,01
C	0,01	0,54	0,40	0,04		0,01
Cr			0,95	0,05		
Cu			0,65	0,06		
N	0,04		0,95	0,01		0,00
P			0,96	0,04		0,00
Pb			0,52	0,04	0,43	0,01
Zn			0,72	0,05	0,23	<0,01

6.6.1.2 Mechanisch-Biologische Anlagen

Anlagen zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA-Anlagen) verfolgten ursprünglich (vor ca. 1990) als Ziele vorwiegend die biologische Stabilisierung, die Verringerung des Abfallvolumens und die Hygienisierung der Siedlungsabfälle (inklusive ähnlicher Abfälle) vor der Ablagerung. Veränderungen in Abfallwirtschaft und Energieversorgung und die internationalen Trends in den Metallmärkten haben inzwischen dazu geführt, dass die Herstellung von Ersatzbrennstoffen und die Rückgewinnung von Eisen- und Nichteisenmetallen an Bedeutung gewonnen haben. Dies – und der technische Fortschritt generell - hat zu einer Vielzahl von MBA-Verfahrenskonzepten und Anlagentypen geführt. Um diese Vielfalt für ein bundesweites Monitoring bzw. bundesweite Güter- und Stoffbilanzen integrieren, werden in Analogie zu Nelles et al. (2012) folgende Anlagengrundtypen unterschieden:

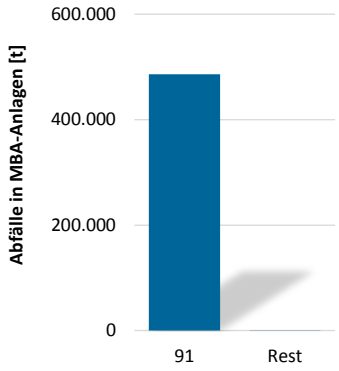
- Klassische MBA-Verfahren: Hier können bei der biologischen Stufe wiederum Anaerob- und Aerob-Verfahren unterschieden werden. Die klassischen MBA-Verfahren sind dadurch charakterisiert, dass eine biologisch stabilisierte Deponiefraktion (auch „Deponiegut“ oder „Deponat“ genannt) hergestellt wird. Ziele sind biologische Stabilisierung vorwiegend im Hinblick auf das Deponieverhalten, Verringerung des Abfallvolumens vor der Ablagerung, Rückgewinnung von Metallen, Hygienisierung und Gewinnung von Ersatzbrennstoffen. Im Fall von Anaerob-Verfahren ist die Gewinnung von nutzbarem Biogas (CH_4 + CO_2) ein zusätzliches Ziel.
- Trockenstabilisierung (MBA-TS, auch als „Mechanisch-biologischen Stabilisierung“ bezeichnet und als MBS abgekürzt). Ziele sind biologischen Stabilisierung, Rückgewinnung von Metallen, Hygienisierung, und Gewinnung von Ersatzbrennstoffen. Bei MBA-TS fällt keine Deponiefraktion an oder es wird nur ein verhältnismäßig kleiner Anteil als „Schwerfraktion“ deponiert.
- Bei der mechanischen Aufbereitung (MA, wird bei Nelles et al. (2012) als „MPS“ abgekürzt, auch „Splittinganlagen“ genannt) werden heizwertreiche Abfallbestandteile nur über mechanische und physikalische Verfahren selektiert und zu einem Ersatzbrennstoff aufbereitet. MA kann als Teil der klassischen MBA verstanden werden und erfüllt damit (gesamtheitlich gesehen) dieselben Ziele wie die klassische MBA oder MBA-TS, auch in jenem Fall bei dem MA und die nachfolgende biologische Behandlungsstufe(n) räumlich getrennt sind.

Der vorliegende Abschnitt beschäftigt sich mit den MBA-Anlagen in Österreich (inklusive MBA-TS), nicht jedoch mit rein mechanischen Anlagen ohne Biologie (MA-Anlagen). Über MA-Anlagen in Österreich liegt ein Bericht von Neubauer und Öhlinger (2008) vor, in dem auch die Summe der Input- und Output-Güter für 7 der insgesamt 24 Anlagen bilanziert wurden (Bezugsjahr: 2006).

<u>Systeminput (Massen)</u>

Der Statusbericht 2013 (BMLFUW 2014a) registrierte für das Jahr 2012 eine genehmigte Kapazität von MBA-Anlagen in Österreich von insgesamt 625.000 t/a. Gemäß Statusbericht 2013 wurden im Jahr 2012 rund 612.000 t Siedlungsabfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen sowie Sperrmüll mechanisch in MA- und/oder MBA-Anlagen aufbereitet (eine Unterscheidung der Inputmassen in MA- und MBA-Anlagen wurde hier

nicht getroffen). Dabei wurden rund 153.000 t an heizwertreichen Fraktionen ausgeschleust. Danach gelangten rund 442.000 t in die biologische Behandlung. Nach der biologischen Behandlung verblieben (abzüglich Rotteverlust) rund 280.000 t, welche einer zweiten mechanischen Behandlungsstufe (bzw. „Endabsiebung“) zugeführt wurden. Aus der zweiten mechanischen Behandlungsstufe stammen gemäß Statusbericht 2013 insgesamt rund 174.000 t Deponiefraktion und rund 106.000 t heizwertreiche Fraktion. Die Auswertung der EDM-Daten durch die Umweltbundesamt GmbH im Juli 2014 zeigt, dass die MBA-Anlagen in Österreich im Jahr 2012 insgesamt rund 0,45 Millionen Tonnen der quantitativ betrachteten Abfälle verarbeiteten.



91 *Feste Siedlungsabfälle einschließlich ähnlicher Gewerbeabfälle*

Abb. 6-10: mechanisch biologisch behandelte Abfälle 2012

Der Betrieb der MBA-Anlagen wird an die jeweiligen Marktpreise für Abfallverbrennung und Ablagerung angepasst. Bei geringen Entsorgungskosten für die thermische Verwertung/Entsorgung überwiegt die Tendenz zum Betrieb der MBA-Anlagen im Sinne der Trockenstabilisierung.

Anlagenstandorte, Kapazitäten, Systemoutput und Güterbilanzen

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden zusätzlich zu den EDM-Daten die Inputmengen und Outputmengen bezüglich Metalle und Deponiefraktionen durch eine Umfrage direkt bei den Anlagen erhoben. Diese Erhebung wurde im Juni und Juli 2014 durchgeführt und bezieht sich auf die Daten aus den Jahren 2012, 2013 und (soweit Stilllegung vorliegt) auch 2014. Themen dieser Umfrage waren insbesondere:

- Materialströme: Input, Deponiefraktion, ausgeschleuste Metallfraktion
- Zusammensetzung der Deponiefraktion (z.B. Gesamtbeurteilungen gemäß DVO (2008))
- Vorgeschaltete mechanische Anlagen
- Grundlegender Aufbau des Abluftreinigungssystems
- Verfügbarkeit von Reinluft-Messkampagnen, Abwassermanagement

Der Fragebogen wurde jeweils in Kombination mit einem telefonischen Kontakt mit dem jeweiligen Geschäftsführer oder technischen Leiter der Anlage ausgeschickt. Es liegen von allen aktiven MBA-Anlagen Antworten vor. Fallweise wurden jedoch die Antworten auch nur fragmentarisch geliefert bzw. in kurzen Telefonaten übermittelt. Die in Österreich in den Jahren 2012 bis 2014 als MBA aktiven Standorte und ein Teil der Ergebnisse werden in folgender Tabelle dargestellt (weiteres folgt im Textteil). Aufgrund der in der vorliegenden Studie erhobenen Daten hat sich inzwischen (bis Juli 2014) eine Verschiebung der Outputmengen zugunsten der heizwertreichen Fraktionen ergeben sowie eine deutliche Verringerung der abgelagerten Mengen an stabilisiertem MBA-Material.

Tabelle 6-66: MBA-Anlagen in Österreich, Inputmengen und Deponiefraktionen 2012 / 2013 und 2014

Standort	Kapazität 2013 [t/a] *(BMLFUW 2014a)* [a)]	Inputmenge (t) 2012 / 2013 *(eigene Umfrage)*	Deponiefraktion (t) 2012 / 2013 / 2014 *(eigene Umfrage)*	Anmerkungen, zusätzliche Daten *(eigene Umfrage)*
Anlage 1	82.000 / 82.000	66.930 (2013)	22.180 (2013)	
Anlage 2	27.000 / 27.000	Siedlungsabfall: 1.500 (2013)	Bezogen auf Siedlungsabfall: ca. 500 (2013)	Wird überwiegend als biologische Behandlungsanlage für Bohrschlamm, Leichfraktionen etc. betrieben.
Anlage 3	88.000 / 42.000	27.004 (2013)	4.220 (2012), 6.057 (2013)	Heizwertreiche Stoffe 16.861 t (2012), 15.774 t (2013)
Anlage 4	24.000	Ca.4.000 (2013)	gering	Deponiefraktion könnte ca.1.000 t bis 2.000 t betragen, war jedoch exakt nicht abschätzbar
Anlage 5	140.000	93.967 (2013)	19.128 (2013)	
Anlage 6	40.000 / 0	MBA mit Biologie: 0 (2013)	0 (2012); 0 (2013)	Seit 2011/2012 nur mehr mechanische Aufbereitung, Wieder-inbetriebnahme technisch möglich.
Anlage 7	15.250 / 15.250	ca.15.000 (2013)	2.358 (2012), 962 (2013)	Nachrotte 2013: nur mehr Rest aus 2012. Keine Hauptrotte ab 2013, nur mehr Trockenstabilisierung, Input aus Kapazität abgeschätzt
Anlage 8 [b)]	76.250 / 65.000	61.640 (2013)	ca. 25.000 (2013), 0 (2014)	Mit 1.1.2014 auf Trockenstabilisierung umgestellt
Anlage 9	80.000 / 80.000	62.505 (2013)	25.117 (2013)	Lagerstandsänderung -442 t
Anlage 10	4.500 / 4.500	ca. 4.500 (2013)	ca. 1.500 (2013)	Input aus Kapazität abgeschätzt
Anlage 11	25.000 / 25.000	ca. 16.000 (2013)	5.237 (2013)	Input aus Output-Massen und Rotteverlust abgeschätzt
Anlage 12	15.000 / 15.000	9.725 (2012) 9.560 (2013)	0 (2012), 0 (2013)	In den Jahren 2012/13 nur Trockenstabilisierung
Anlage 13	17.000 / 17.000	14.516 (2012)	1.953 (2012)	2013 ähnlicher Betrieb der Anlage und ähnlicher Durchsatz
GESAMT (2013)	**625.000 / 527.750**	**ca. 377.000**	**ca. 108.000**	**Summe für Österreich gesamt, ohne Anlage 6**
		ca. 417.000	**ca. 108.000**	**Inklusiv Anlage 6**

a) Erste Zahl: Genehmigte Kapazität. Zweite Zahl: Kapazität nach dem im Jahr 2013 aktuellen Betriebskonzept

b) Die Anlage 8 ist insofern ein Sonderfall, als im Jahr 2013 nur die Hauptrotte (ohne Abtrennung von Fraktionen in mechanischen Verfahrensschritten) durchgeführt wurde, und die Nachrotte und Trennung der heizwertreichen Fraktion anschließend erfolgte. Es wurde ferner keine Metallfraktion abgetrennt, weil bereits Metalle abgeschieden werden. Der biologischen vorgeschaltet ist die mechanische Behandlung der Siedlungsabfälle.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführte Umfrage bei MBA-Anlagen ergab eine Input-Menge von insgesamt ca. 377.000 t/a für das Jahr 2013. Die von der Umweltbundesamt GmbH zur Verfügung gestellte Auswertung der EDM Daten ergab für das Jahr 2012 einen Gesamtinput von rd. 0,45 Mio. Tonnen und für das Jahr 2013 insgesamt rd. 0,4 Mio. Tonnen. Damit setzt sich der bisher beobachtete Trend einer Verringerung der Inputmengen in die MBA-Anlagen in Österreich im Jahr 2013 weiter fort (vgl.: ca.612.500 t im Jahr 2006). Um keine Unterschätzung der Wirkungen und der Reststoffmengen vorzunehmen, und ferner zum Zweck der Harmonisierung des Bezugsjahres (2012) wird ein Gesamtinput von 500.000t/a verwendet. Problematischer dagegen ist die Ermittlung der Massen der Output-Güter auf Basis der EDM-Meldungen. Nur vier Schlüssel-Nummern (SN) des Abfallkataloges, nämlich SN 91105, SN 91302, SN 91303 und SN 91305 weisen einen eindeutigen Bezug zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung auf. Die Reststoffmenge der Schlüssel-Nummer 91105 „Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, mechanisch-biologisch vorbehandelt“ aus dem Jahr 2012 (101.720 t) stimmt gut mit dem in der Umfrage (ca.108.000 t, siehe Tabelle 6-66) für 2013 ermittelten Wert überein. Jedoch ergibt die Summe von Abfallarten, bei denen eine Zuordnung zum Output von MBA-Anlagen wahrscheinlich bzw. möglich ist, im Jahr 2012 insgesamt mehr als 1,4 Mio. t. Bei einem Input von nur 0,45 Mio. t ist klar, dass auch Betreiber anderer Anlagen ihre Sekundärabfälle anderen Abfallarten zuordnen. Beispielsweise können „*Ersatzbrennstoffe qualitätsgesichert“* oder „*heizwertreiche Fraktion aus aufbereiteten Siedlungs- und Gewerbeabfällen und aufbereiteten Baustellenabfällen, nicht qualitätsgesichert“* auch aus mechanischen Behandlungsanlagen (MA) für Siedlungsabfälle oder auch aus anderen mechanischen Anlagen stammen (z.B. aus der Baurestmassen-Sortierung/Klassierung).

Gemäß den im Rahmen der vorliegenden Studie erhobenen Daten liegt der Metallaustrag (Metallfraktion) bei MBA Anlagen in Österreich im Bereich zwischen 2,8 und 4,5 % (siehe Tabelle 6-72). Bei einer Menge von Restmüll, Sperrmüll und Gewerbemüll von in Summe ca.420.000 t/a im Jahr 2012 ist eine Masse der Metallfraktion von ca. 11.700 t/a bis ca. 18.900 t/a zu erwarten. Die Jahresmenge im EDM für SN 91305 *„Metallfraktion aus der Sortierung und Aufbereitung von Siedlungsabfällen (z.B Schrott) aus der MBA“* von 4.641 t/a führt demnach zu einer Unterschätzung. Neben der genannten SN 91305 werden Metallabfälle als Output aus MBA-Anlagen sehr wahrscheinlich auch unter Verwendung anderer SN von den MBA-Betreibern gemeldet (z.B SN 35103 Eisen- und Stahlabfälle, verunreinigt; SN 35315 NE-Metallschrott, NE-Metallemballagen; SN 35304 Aluminium, Aluminiumfolien). Ein guter Teil der abgeschätzten Minderbefunde könnte damit erklärbar sein. Die Feststoff-Transferkoeffizienten (FTK) betragen bei klassischen MBA-Anlagen (gerundet auf 0,05) ca. 0,6 bis 0,8 und bei der Trockenstabilisierung ca. 0,75 bis 0,9. Durch den Betrieb von Anlagen nahe dem Prinzip der Trockenstabilisierung haben auch einige klassische MBA-Anlagen in Österreich (insbesondere: die großen Anlagen) im Jahr 2013 FTK-Werte um bzw. knapp über 0,8 erreicht (eine kleinere Anlage sogar 0,90). Abzüglich der Metalle kann für 2012 und 2013 die Menge der heizwertreichen Fraktionen mit einem Transferfaktor von 0,77 gut abgeschätzt werden (FTK 0,80, Metalltransfer 0,03). Unter Verwendung der Inputmenge von 0,45 Mio. Tonnen pro Jahr ergibt sich ein Schätzwert von 0,35 Mio. Tonnen pro Jahr für die heizwertreichen Fraktionen (qualitätsgesichert und nicht qualitätsgesichert, ohne MA-Anlagen) aus MBA-Anlagen in Österreich.

Transferkoeffizienten für die festen Outputgüter

Um Transferkoeffizienten für einzelne MBA-Anlagen mit ausreichender Genauigkeit zu berechnen, sind im Idealfall die Güter und Emissionen aus abfallwirtschaftlichen Prozessen (Input und Outputs) homogen und zeitlich nur geringfügig schwankend. Bei festen MBA-Inputmaterialien können jedoch zeitliche Schwankungen sowie Schwierigkeiten durch Heterogenität auftreten, insbesondere:

- Starke Streuung der Metall- und Schwermetallgehalte von Proben, bedingt durch die Korngröße von Ersatzbrennstoffen (siehe nachfolgender Abschnitt „Problematik der Probenahme bei Ersatzbrennstoffen aus MBA-Anlagen“)
- Sehr starke Streuung der Proben, aus denen die Zusammensetzung des MBA-Inputs bestimmt wird, bedingt durch die Korngröße von Siedlungsabfall und restmüllähnlichem Gewerbeabfall
- Schwankungen durch die Jahresganglinien der Input-Güter

Die Aggregation der Flüsse mehrerer MBA-Anlagen einer Region (z.B. aller MBA-Anlagen in Österreich) stößt auf weitere methodische Schwierigkeiten, weil z.B.:

- Die Technik der Metallabscheidung nicht uniform ist;
- Unterschiedliche Korngrößen bei der Trennung von Rottegut (Input zur biologischen Behandlungsstufe) und übrigen Abfallströmen gewählt werden;
- Unterschiedliche Klärschlammanteile zu unterschiedlichem Phosphorgehalt führen
- Regionale Unterschiede in der Abfallzusammensetzung eintreten können (z.B. belastete Klärschlämme / wenig belastete Klärschlämme oder hoher Gewerbeanteil / geringer Gewerbeanteil im Input);
- Abluftemissionen durch die Ablufttechnik und den Betrieb (z.B. regelmäßige Wartung) stark beeinflusst werden.

Die folgenden zwei Abbildungen bieten einen Überblick über die wichtigsten Output-Güter und zeigen exemplarische Bilanzen für klassische MBA-Anlagen. Für die Trockenstabilisierung ist der Rotteverlust geringer und es wird weiters keine Deponiefraktion erzeugt.

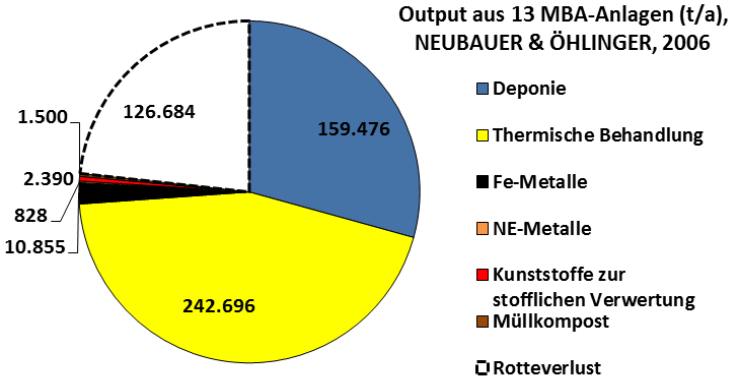


Abb. 6-11: Output-Güter der MBA-Anlagen in Österreich für das Jahr 2005

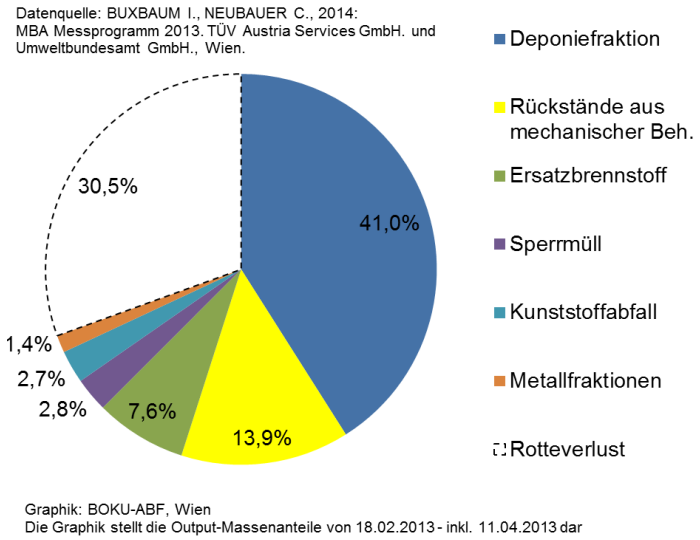


Abb. 6-12: Output-Güter der MBA Anlage Halbenrain für den Zeitraum 18.02.2013 bis 11.04.2013

Für den Wassergehalt (WG) und die Trockensubstanz (TM) von Siedlungsabfall wird derselbe Wert verwendet wie bei der Bilanzierung der Verbrennung. Die typischen Bereiche für den WG von Klärschlamm, der in MBA-

Anlagen eingebracht wird und den WG der Reststoffe aus der MBA sind nach aktuellen Angaben der Betreiber (Daten aus 2011 bis 2013), gemäß einzelnen Messungen des Institutes für Abfallwirtschaft der BOKU Wien und Literaturwerten (Harant et al. 1999, Zeschmar-Lahl et al. 2000):

- In MBA eingebrachter Klärschlamm: WG 30 % bis 75 %
- Deponiefraktion: WG 20 % bis 45 %
- Heizwertreiche Fraktionen: WG 10 % bis 40 %

Der Wassergehalt der Metallfraktionen ist in Anbetracht der verhältnismäßig geringen Masse der Metalle (ca. 2,8 % bis 4,5 % bezogen auf die Input-Masse) bilanziell vernachlässigbar. Der Kohlenstoffgehalt von Restmüll wird in der vorliegenden Studie aus der C-Bilanz von Abfallverbrennungsanlagen abgeleitet. Bei der Angabe des Kohlenstoffgehaltes für die Deponiefraktion aus MBA-Anlagen ist grundsätzlich zur unterscheiden:

- TC Gesamtkohlenstoff (inklusive anorganischer Kohlenstoff)
- TOC Gesamter organischer gebundener Kohlenstoff

Der N-Gehalt der MBA-Feststoffe ist im vorliegenden Fall der Gesamtstickstoffgehalt (N_{tot}), bestimmt z.B. durch Verbrennung der Probe im Labor nach DUMAS.

TC, TOC und N in der Deponiefraktion sind von der Technik der Abtrennung nicht abbaubarer Kohlenstoffverbindungen (Kunststoffe, Gummi) und vom Grad der biologischen Stabilisierung abhängig. Für die vorliegende Studie werden nur ausreichend stabilisierte Proben betrachtet, welche die Stabilitätskriterien der Österreichischen Deponieverordnung 2008, Anhang 1, Tabelle 9 erfüllen (AT4 < 7 mg O_2/gTM, GS_{21} < 20 Nl/kgTM oder GB_{21} < 20 Nl/kgTM). Die TOC-Werte ausreichend stabilisierter Proben aus der MBA bewegen sich – wenn die Atmungsaktivität AT4 als Kriterium herangezogen wird – im Bereich zwischen ca. 10 und 25 %TM, der Mittelwert (n=22) beträgt 16 % TOC (Binner et al. 1999). Die Auswertung eines neueren Datenpools ergab sehr ähnliche Resultate für biologisch stabile Proben (Tabelle 6-67). Die Analysen des Institutes für Abfallwirtschaft, BOKU Wien aus den Jahren 2007 bis 2009 wurden bezüglich TOC, TC und N neu ausgewertet. Die Proben wurden entsprechend der Atmungsaktivität in stabile, teilstabilisierte und nicht stabile Proben aus MBA-Anlagen eingeteilt.

- Stabile Proben, AT4 < 7 mgO_2/gTM, Mittelwert 4,0 mgO_2/gTM: (n=81)
- Teilstabilisierte Proben, 7 < AT4 < 50 mgO_2/gTM, Mittelwert 23,3 mgO_2/gTM (n=150)
- Nicht stabilisierte Proben, AT4 > 50 mgO_2/gTM

Für diese drei Gruppen wurden anschließend der Mittelwert und die Standardabweichung der Parameter TOC, TC und N bestimmt. Der Datenpool der biologisch stabilen Proben repräsentiert hierbei die Deponiefraktion, die gesetzlich zulässig abgelagert werden darf.

Tabelle 6-67: TOC, TC und N in MBA-Proben

Parameter	(Binner et al. 1999)	Auswertung der Analysen aus 2007 – 2009 (2014)	
Art der Proben, AT4, Probenanzahl n, Anzahl der Anlagen	Biologisch stabil, AT4 < 7 mgO_2/gTM (n=22) (4 Anlagen)	Biologisch stabil, AT4 < 7 mgO_2/gTM (n=80) (5 Anlagen)	Teilstabilisiert, 7 < AT4 < 50 mgO_2/gTM (n=150) (5 Anlagen)
TOC (%TM)	16 (Bereich: 10 – 25)	16,6 ± 3,9	23,3 ± 5,1
TIC (% TM)	2	1,7 ± 0,5	1,0 ± 0,2
TC (% TM)	18	18,3 ± 3,9	26,1 ± 5,1
N_{tot} (% TM)	a)	1,0 ± 0,3	1,2 ± 0,3

a) N nach DUMAS nicht verfügbar, Kjeldahl-N beträgt 0,9 %

Durch insgesamt 51 bis 55 Analysen, welche meistens im Rahmen der Gesamtbeurteilung gemäß DVO erstellt wurden, ist der Schwermetallgehalt der MBA-Deponiefraktion in Österreich gut dokumentiert (siehe Abb. 6-13). Zu beachten ist allfällig, dass die Ertüchtigung der Metallabscheidung auch zu einer Verringerung der

Metallgehalte in der Deponiefraktion führt, und die Maßnahmen zur Verbesserung der Metallabscheidung weiter voranschreiten.

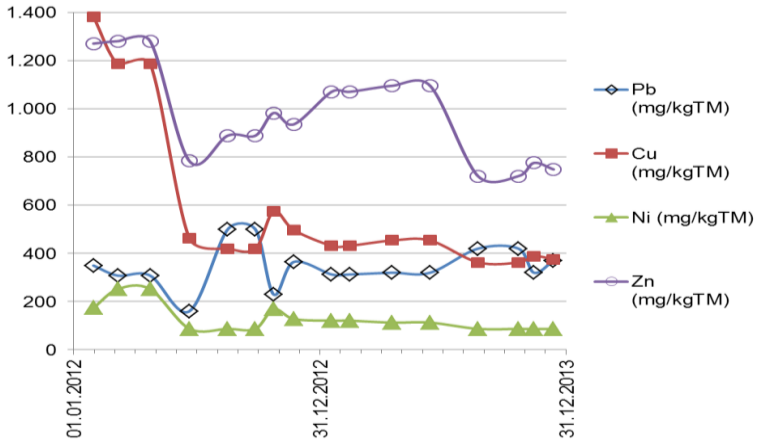


Abb. 6-13: Veränderungen der Metallgehalte der Deponiefraktion in den Jahren 2012 - 2013

Tabelle 6-68: Schwermetalle, Fe und POPs in Deponiefraktionen aus der MBA in Österreich, Anm.: Erhoben und zusammengestellt von: Institut für Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien.

MBA-Deponiefraktionen in Österreich – Zusammensetzung 2004/2005 (Gesamtgehalt, Denner und Binner, 2007, gekürzt)

Anlage	Einheit	Anlage A				Anlage B			Anlage C		Anlage D		Anlage E	Anlage F
Gesamtgehalt		MW	% RSD	MED	n	MW	% RSD	n	MW	n	MW	n	n = 1	n =1
Arsen	mg/kg TM	**5**	8	5	5	**7**	34	3	**2**	2			7	1
Barium		**450**	20	440	4	**170**	24	3	**470**	2	**1.300**	3	350	150
Blei		**290**	35	290	5	**1.500**	32	3	**390**	2	**500**	3	2.700	390
Cadmium		**2,5**	120	1,3	5	**2,9**	40	3	**3**	2	**6**	3	2	1
Chrom		**590**	18	590	5	**610**	19	3	**100**	2	**500**		190	100
Kobalt		**16**	43	16	5	**12**	13	3	**7**	2			8	15
Kupfer		**330**	29	350	5	**820**	21	3	**650**	2	**530**	3	1.100	200
Nickel		**150**	29	130	5	**680**	10	3	**47**	2	**500**	3	130	61
Quecksilber		**1,5**	58	1,6	5	**0,5**	120	3	**2**	2			2	2
Silber		**6**	46	5	5	**4**		2	**5**	2	**3**	3	3	37
Zink		**720**	17	760	5	**1.500**	8	3	**1.100**	2	**1.500**	3	950	840
16 PAK gem. EPA		**30**	100	1,8	5				**23**	2	**2**	3	3	
6 PAK gem. DIN						**4**		2					2	2

MBA-Deponiefraktionen in Österreich: von Betreibern im Sommer 2014 zur Verfügung gestellte Daten und Gesamtgehalte

		Anlage A, 2010		Anlage A, 2011		Anlage A, 2012		Anlage B, 2014		Anlage C, 2012/13		Auswertung: alle Daten von 2004-2014 a)	
Gesamt-gehalt	Ein-heit	MW	n	MW	n	MW	n	MW	n	MW	n	n	GMW
Trockensub	% FM	70,2	1	65,7	1	55,6	1		0			64	3
Eisen	% TM		0		0	1,73	3	1,38	3			2	8
Arsen	mg/kg TM	6,6	9	4,8	9	4,8	3	4,76	3	5	16	5,2	52
Barium		280	9	276	9	246	3	513	3	537	16	436	54
Blei		66	9	85	9	40	3	775	3	345	16	375	55
Cadmium		2,4	9	1,9	9	0,78	3	1,18	3	1,2	16	2	55
Chrom		91	9	139	9	39	3	62	3	402	16	271	52
Kobalt		6,4	9	6,4	9	5	3	8	3	14,8	16	10,5	52
Kupfer		198	9	447	9	150	3	545	3	587	16	465	55
Nickel		55	9	77	9	28	3	49	3	128	16	146	55
Quecksilber		<0,4	9	<0,3	9	0,36	3	0,08	33	1,33	16	0,6	52
Silber		<0,4	9	0,99	9		0	<8	3	1,39	16	3,5	51
Zink		568	9	571	9	524	3	832	3	976	16	846	55
16 PAK gem. EPA			1		1	3,4	1	141	1	24,5	16	23	32
BTEX			0		0	<0,27	1	<0,16	1	0,14	16	0,14	18
7 PCB			0		0	<0,06	1	<0,10	1			n.n	2

a) GWM… Gewichteter Mittelwert: Einbezogen wurden auch 2 Analysenwerte für Fe aus Anlage D: je 3,4% TM

Die Modellierung der Phosphorstoffflüsse für Österreich für den Zeitraum 2004-2008 (Egle et al. 2014) lieferte einen Schätzwert für die P-Fracht im Restmüll zur MBA von 910 t P/a (± 17 %) sowie von kommunalem Klärschlamm zur MBA von 280 t P/a (± 17 %). Von den insgesamt 1.190 t P/a im Input der MBA-Anlagen gelangen gemäß Egle et al. (2014) ca. 840 t P/a (± 21 %) nach der mechanischen und biologischen Behandlung auf Deponien. Die Phosphorstoffflüsse wurden hierbei aus folgenden Massenströmen und Konzentrationen abgeleitet:

Tabelle 6-69: Abfallstrom und Phosphor Konzentration in MBA-Anlagen in Österreich (Egle et al. 2014)

	Abfallstrom (t/a)	P-Konzentration (g/kg)
Input Restmüll	308.000	0,9 ± 17 %
Input Klärschlamm	35.000	26,5 ± 6 %
Output Rottegut zur Deponie	64.000	15,3 ± 37 %
Output Müllklärschlammkompost	16.000	15,3 ± 37 %

Metalle liegen im Siedlungsabfall entweder in metallischer Form (z.B. metallisches Kupfer, Messing, Zinküberzüge auf Eisen) oder in anderer chemischer Spezifizierung vor (z.B. Kupferoxid, Kupfersulfid, Zinkoxid...). Bei vielen metallbildenden Elementen, z.B. Cu, Ni überwiegt die metallische Bindungsform. Jedoch können auch Verbindungen überwiegen (z.B. Zn, Al), sodass mittels Trennaggregaten, die selektiv Metalle abtrennen nur ein geringer Masseanteil abgeschieden werden kann. Bei der Metallabscheidung bzw. mechanischen Aufbereitung ist der Transfer von Metallen von der physikalischen Struktur der Abfälle, dem Metallgehalt, den gewählten Siebschnitten und der Metall-Trenntechnik abhängig. Kleine Kornbänder, geringer Wassergehalt der Abfälle und gute Kornvereinzelung verbessern die Metallabtrennung, und somit auch den Transfer der Hauptbestandteile von Fe- und NE-Metallen (d.h. Fe, Ni, Cr, Cu, Mn, V, Mo, Al) in die Metallfraktionen. In der Studie SEMBA (Skutan und Brunner 2006) wurden Güter- und Stoffbilanzen von MA-Anlagen und MBA-Anlagen zur Behandlung von Restmüll in Österreich erstellt. Es wurden zwei Messkampagnen bei der MBA Oberpullendorf (entsprechend zwei Konstellationen der Anlage) sowie je eine Messkampagne bei der MA-Anlage Kirchdorf an der Krems und Wien (Splittinganlage im Rinterzelt) durchgeführt.

Tabelle 6-70: Transferkoeffizienten für die Anlagenkonstellation „Oberpullendorf II“ (Skutan und Brunner 2006)

Parameter a) b)	Überkorn	Organische Fraktionen			Metallfraktionen		
	> 65 mm	25-65 mm leicht	25-65 mm schwer	< 25 mm	NFe	Fe I	Fe II
TS	41	6,0	9,3	39	0,73	1,8	2,1
H2O	36	7,4	4,4	51	0,29	0,54	0,59
C	53	7,7	6,6	32	0,34	0,44	0,62
N	50	6,0	5,1	37	0,34	0,37	0,62
S	36	5,8	9,0	48	0,53	0,36	0,73
P	36	5,3	13	44	0,49	0,62	0,91
Al	37	5,2	11	31	15	0,67	0,62
Cd	31	2,2	3,3	4,5	0,1	8	51
Cr	53	5,7	7,1	15	0,15	8,7	11
Cu	55	1,8	22	11	7	1,1	2,2
Fe	31	1,3	4,8	11	0,09	25	27
Ni	37	2,6	8,5	30	1,3	9,2	11
Pb	30	2,3	27	37	2,1	1,1	0,96
Zn	37	4,5	20	25	8,5	2,6	3
Hg c)	17	1	3	79	0,07	0,3	0,17
Anmer-kungen:	a) Dimension der Transferfaktoren wie in der Originalliteratur: % b) Die Originalliteratur enthält auch die Standardabweichungen c) Große Streuung der Transferfaktoren bei Hg unvermeidbar.						

Die Anlagenkonstellation „Oberpullendorf I“ enthielt keine Aufbereitung der Mittelfraktion und erzielt aufgrund des breiten Kornbandes nur eine verhältnismäßig geringe Metallabscheidung. Die Konstellation „Oberpullendorf

l“ entspricht – wie auch der damalige Betrieb der Anlage Kirchdorf – nicht mehr der Praxis der Metallabscheidung in den MA- und MBA-Anlagen in Österreich, welche aufgrund der im Jahr 2007 gestiegenen Metallpreise ab ca.2008 bei den meisten Anlagen erweitert und/oder modernisiert wurde. Die Splittinganlage „Rinterzelt“ in Wien verwendete bereits zum Zeitpunkt der Probenahme (2003) hochwertige Trenntechnik (Magnetabscheider für Fe-Metalle und Wirbelstromtechnik für NE-Metalle), jedoch noch ein relativ breites Kornband für die Feinfraktion (0 bis 50 mm). Obwohl hier anschließend an die mechanischen Trennstufen keine biologische Behandlung der Fraktion < 50 mm erfolgte, können die Transferkoeffizienten – mit Ausnahme derjenigen von Hg, C und N - auch auf MBA-Anlagen übertragen werden. In der vorliegenden Studie werden daher die Transferkoeffizienten für die Anlagenkonstellation „Oberpullendorf II“ und für die MA-Anlage „Rinterzelt“ dargestellt.

Tabelle 6-71: Transferkoeffizienten für die Splittinganlage „Rinterzelt“ (Skutan und Brunner 2006)

Parameter a) b)	Überkorn	Organische Fraktionen		Metallfraktionen	
	> 250 mm	50-250 mm	< 50 mm	Fe	NFe
TS	6,9	42	47	4,1	1,4
H2O	2,8	36	61	0,3	0,06
C	11	59	30	0,25	0,04
N	8,8	37	54	0,28	0,05
S	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
P	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Al	3	56	35	1,2	5,0
Cd	6	20	7,1	68	0,02
Cr	3	53	25	18	0,92
Cu	10	55	26	7,3	1,2
Fe	8	9,3	8,3	75	0,03
Ni	4	43	27	25	0,98
Pb	8	50	40	1,4	0,17
Zn	3	44	41	11	0,66
Hg	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Anmer-kungen:	a) Dimension der Transferfaktoren wie in Originalliteratur: % b) Originalliteratur enthält auch die Standardabweichungen.				

Bezogen auf die Input-Masse wurden bei den Messkampagnen folgende Metallmassen abgeschieden:

- Oberpullendorf II: NFe 0,56 %, Fe I 1,3 %, Fe II 1,5 %, Summe der Metallfraktionen 3,4 %
- Rinterzelt: NFe 0,12 %, Fe 3,1 %, Summe der Metallfraktionen 3,2 %

Tabelle 6-72: Ergebnisse der Umfrage im Juli 2014 betreffen die abgeschiedenen Metallmengen

	Jahr	Fe.-Met.	NE-Met.	Summe Metallfraktionen		
		[t/a]	*[t/a]*	*[t/a]*	*% bezogen auf Input gesamt*	*bezogen auf Input Siedlungsabfall*
Anlage 1	2013	1.090	133	1.223	4,5%	
Anlage 2	2013					4,8%
Anlage 3	2013				2,8%	
Anlage 4	2012				3,7%	
Anlage 5	2013				3,6%	
Anlage 6	2012				3,8%	

Generell ist zu beachten, dass die Transferkoeffizienten für die NE-Fraktion stark von der Trenntechnik und Trennleistung der NE-Metallabscheider abhängt. Die Entwicklung der Trenntechnik für NE-Metalle und Metalle in Feinfraktionen hat durch den Kursanstieg an den internationalen Metallbörsen in den Jahren 2007 und 2008 einen Impuls erhalten, der dazu geführt hat, dass in den letzten 5 Jahren (ca. 2009 – 2014) einige neue und verbesserte NE-Aggregate am Markt angeboten werden. Ob und inwiefern diese neue technische Ausstattung und Veränderungen bei der Wahl der Siebschnitte (Kornbänder) seit ca. 2003 nicht nur die gewonnenen Metallmengen, sondern auch die Transferkoeffizienten erhöht hat, wäre in einer eigenen Studie zu prüfen.

Bei der Beurteilung von Abluftdaten ist zu beachten, dass standortspezifische Unterschiede bestehen. Um Gerüche und sonstige Emissionen in die Luft zu vermeiden, werden bei einer zeitgemäßen MBA-Anlage an zahlreichen Punkten der Anlage die Abluft erfasst, abgesaugt und einem bzw. mehreren Abluftreinigungssystem(en) zugeführt. Beispiele für die betreffenden Anlagenbereiche bzw. Arbeitsschritte sind:

- Bunker für Restmüll, Bunker für Klärschlamm
- Vorzerkleinerung, Windsichter
- Siebe, Transportsystem (Bandübergabestellen)
- Rotte / biologische Behandlung
- Nachzerkleinerung, Metallabtrennung
- Nachsiebung, Zwischenlager für Prozesswasser

Infolge der unterschiedlichen Abluftzusammensetzung wird die Abluft aus mechanischen Prozessen oftmals getrennt erfasst und behandelt. Rotte- und Bunkerabluft ist organisch stärker belastet und geruchsintensiver, sodass eine Verringerung der organischen Belastung, der Stickstoffparameter und der Geruchsfracht erforderlich ist. Die Abb. 6-14 stellt ein Beispiel für das Abluftmanagement einer MBA in Österreich dar. Es ist zu erkennen, dass für einen Teilstrom eine kaskadenartige Nutzung der Luft vorliegt – ein Teilstrom der bereits vorbelasteten Abluft aus der mechanischen Stufen kann als Zuluft bei der Rotte verwendet werden. Im vorliegenden Beispiel sind außerdem drei Endpunkte der Abluft erkennbar: Abluft aus Biofilter I, Abluft aus Biofilter II und gereinigte Abluft aus dem Schlauchfilter III. Mehrere Endpunkte der Abluft sind bei Anlagen in Österreich kein Einzelfall. Für eine Massenbilanz müssen an allen Endpunkten belastbare Daten über mittlere Konzentrationen und mittlere Volumenströme vorliegen, im Idealfall auch repräsentative zeitliche Verläufe für diese Parameter. Geschlossene Biofilter (diese sind gemäß Österreichischer MBA-Richtlinie Stand der Technik, jedoch nicht bei allen Anlagen installiert) erleichtern hierbei eine repräsentative Probenahme.

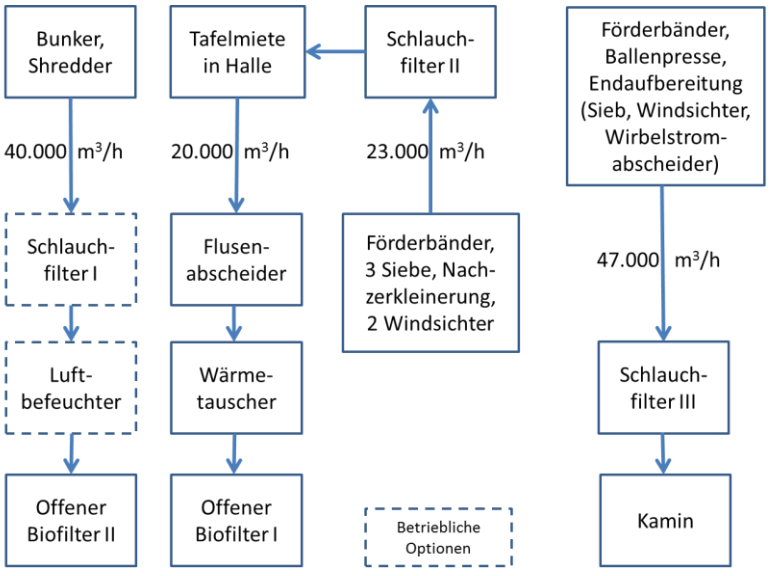


Abb. 6-14: Beispiel für das Abluftmanagement von MBA-Anlagen (Österreichische Anlage, anonymisiert, Stand 2013)

Die spezifischen Luftmengen in Österreich variieren von 3.800 m^3/t_{BA} im Rohgas (Frohnleiten) bis 12.900 m^3/t_{BA} (Halbenrain) (Neubauer und Buxbaum 2014). Der Index „BA“ bedeutet hier, dass die Abluftmenge auf eine Tonne biologisch behandelter Abfälle bezogen wird. Für die Modellierung der Stoffflüsse verwendet Lahl, 2001 einen Wert von 6.000 m^3/t (pro t Anlageninput gesamt). Fricke et al. (1996) verwenden für die Modellierung der Frachten im Abgas bei einer Rottedauer von zwei Wochen einen Wert von 3.000 m^3/t und für vier Wochen einen Wert von 5.000 m^3/t, jeweils bezogen auf den Anlageninput. Fricke et al. (2005) geben für aerobe MBA-Anlagen einen Bereich zwischen 2.000 m^3/t und 6.000 m^3/t an.

Die Angaben der spezifischen Luftmengen können in weiten Bereichen schwanken (wie durch die Daten auch ersichtlich). Bei den Daten aus deutschen Quellen ist zu berücksichtigen, dass die Anlagen nach 30. BImSchV

betrieben werden müssen und daher bestrebt sind, bei der Auslegung des Ablufterfassungssystems (vor dem Hintergrund der Abluftreinigung unter Einsatz der eher teuren RTO-Anlagen) zu geringe TOC-Konzentrationen zu vermeiden und auch möglichst geringe Luftmengen zu erzielen.

Transferkoeffizienten für Schlüssel- und Summenparameter (TOC, CH_4, N_2O, NH_3) zur gereinigten Abluft der MBA-Anlagen wurden aus den vorliegenden Langzeitmesskampagnen von Mattersteig & Co Ingenieurgesellschaft mbH (2011) abgeleitet sowie aus Neubauer und Buxbaum (2014) übernommen. Die betreffenden Messkampagnen wurden im Jahr 2013 bei den Anlagen Oberpullendorf, St.Pölten, Frohnleiten und Halbenrain durchgeführt. Zu beachten ist, dass der regelmäßigen Wartung der Abluftfilter (NH_3-Wäscher, Biofilter etc.) eine entscheidende Rolle zukommt. Den Messwerten aus den eben genannten Messkampagnen wurde als Referenzwert der typische Transferfaktor aus Zeschmar-Lahl et al. (2000) gegenübergestellt, da die Transferkoeffizienten bei Zeschmar-Lahl et al. (2000) auf einer breiteren Datenbasis (Zahlreiche Anlagen in Deutschland und Österreich, Messungen häufig aus den Jahren 1998 und 1999) basieren. Anlagen in Deutschland, welche die in Österreich nicht praktizierte RTO-Abluftreinigungstechnik verwenden, wurden hierbei nicht mit einbezogen.

Tabelle 6-73: Schlüssel- und Summenparameter in der Reinluft von MBA-Anlagen

Land	MBA-Anlage bzw. MA-Anlage	Bezugs-jahr	Datenquelle (ba=berechnet aus)	TOC (g/t)	CH_4 (g/t)	NMVOC (g/t)	CO_2 (kg/t)	NH_3 (g/t)	N_2O (g/t)
DE, AT	Anlagen mit Wäscher + Biofilter	vor 2000	Lahl et al 2000		150	450		60	6
AT	Oberpullendorf	2011	ba Mattersteig & Co, 2011	201	CH_4-C ist ca 55 - 75% des TOC			17	59
AT	St. Pölten	2011	ba Mattersteig & Co, 2011	109				2	151
AT	Frohnleiten	2011	ba Mattersteig & Co, 2011	206				n.b	<10,5
AT	Frohnleiten	2009	ba Mattersteig & Co, 2011	235				n.b	<10,4
AT	Frohnleiten	2009	ba Mattersteig & Co, 2011	308				n.b	<10,4
AT	Frohnleiten	2013	ba Neubauer & Buxbaum, 2014	301	71	230	109	71	< 5
AT	Halbenrain	2013	ba Neubauer & Buxbaum, 2014	180	39	141	149	<5	591

Anmerkungen:
N_2O-Wert für Halbenrain, 2013: Aufgrund der aeroben Stabilisierung des eingesetzten Klärschlamms und hohen Klärschlammanteils ist dieser N_2O-Wert für die übrigen Anlagen in Österreich nicht repräsentativ. Weitere *Gründe für den hohen Lachgasanteil können sein, dass generell relativ niedrige Rottetemperaturen vorliegen, auch die Abluft aus der Nachrottephase erfasst wird, sowie bei der Abluftreinigung kein saurer Wäscher zur Abscheidung von Ammoniak eingesetzt wird.*
TOC-Fracht: Die Österreichische MBA-Richtlinie sieht einen Frachten-Grenzwert von 100 g pro t Abfall vor. Aus Tabelle 6-73 ist ersichtlich, dass die Anlagen Schwierigkeiten haben, diesen Grenzwert einzuhalten.

Das beim biologischen Abbau freigesetzte Kohlendioxid stammt Großteils aus biogenen Stoffen und gilt damit als klimaneutral. Um auch Kohlenstoff zu bilanzieren und einen C-Transferfaktor für die Abluft anzugeben, wurden auch CO_2-Messungen bei MBA-Anlagen neu ausgewertet. Aus den Messungen bei den Anlagen Siggerwiesen, Halbenrain und Frohnleiten, den Abgastemperaturen sowie aus den bei Neubauer und Buxbaum (2014) angegebenen spezifischen Abgasmengen wurden folgende CO_2-Frachten pro t Rotteinput (t_{BA}) berechnet: 92,0 / 109,2 / 113,2 / 143,4 bzw. 149,5 $kgCO_2/t_{BA}$

Rotteversuche im Technikumsmaßstab zeigen, dass bei der Fraktion <20 mm (Material aus Siggerwiesen, 16,3 %C bezogen auf FM) ca. die Hälfte des Kohlenstoffs bei einer Rottedauer von 53 Tagen freigesetzt werden kann (Baumgartinger 1998). Umgerechnet auf CO_2 ergeben sich ca. 300 $kgCO_2/t_{BA}$, die jedoch nur unter optimalen Rottebedingungen (und kleiner Korngröße der mechanischen Trennschritte) im Labor erreicht werden können. Bezogen auf den Gesamt-Input ergibt sich aus Emissionsmessungen von Neubauer und Buxbaum (2014) bei der Anlage Siggerwiesen eine CO_2-Fracht von 37,7 $kgCO_2/t$ und bei Halbenrain 101 bzw. 105 $kgCO_2/t$. Bei der Anlage Frohnleiten ist zu beachten, dass die mechanische Aufbereitung bereits vorher extern (Sturzgasse, Graz) erfolgte und die Reaktivität der Inputmaterials war zum Zeitpunkt der Messungen 2013 relativ gering (AT_4= 28 mgO_2/gTM). Es ergeben sich daraus Emissionen von ca. 65 $kgCO_2/t$. Die Umrechnung von CO_2-Frachten auf C-Frachten in der Abluft erfolgte stöchiometrisch. Unter Berücksichtigung der Rotteverluste (Abb. 6-11 und Abb. 6-12) und Wasserbilanzen wurde der C-Emissionsfaktor für das Abgas grob mit 0,13 abgeschätzt (13 % Abbau,

bezogen auf die C-Fracht im Gesamtinput der Anlage). Die CO_2 Fracht im Abgas ist bei Trockenstabilisierung tendenziell kleiner. Skutan und Brunner (2006) schätzen in Vorerhebungen die Kohlenstoff-Transferkoeffizienten für konventionelle MBA („Splitting“) auf 0,15 und für die Trockenstabilisierung auf 0,046. Im Summenparameter „TOC“ bzw. „NMVOC“ sind viele unterschiedliche organische Substanzen integriert, welche aus dem biologischen Abbau stammen (z.B. Alkohole, Aldehyde, organische Säuren) oder welche infolge der Temperaturerhöhung freigesetzt werden (z.B. CKW, FCKW, Toluol, Terpene). Die Anzahl der bisher gemessenen organischen Stoffe in der Rotteabluft beträgt mehrere hundert Einzelstoffe. Hier ist demnach eine Vorauswahl aufgrund der ökologischen Auswirkungen und Konzentrationen der Inhaltsstoffe zu treffen. Von Cuhls et al. (1999) sowie Cuhls und Doendens (2000) werden – unter Berücksichtigung der Wirkungen und Konzentrationen – die folgenden organischen Stoffe als „Leitparameter“ genannt:

- Methan
- Methanol, Ethanol und weitere Alkohole
- Kurzkettige Alkane
- Toluol, Ethylbenzol, Xylole und weitere aromatische Kohlenwasserstoffe
- Dichlormethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen (CKW)
- Trichlorfluormethan = R11, Dichlordifluormethan = R12 (FCKW)
- α-Pinen, β-Pinen, Limonen (Terpene)
- Acetaldehyd, Aceton, 2-Butanon (Aldehyde, Ketone)
- Dimethylsulfid, Dimethyldisulfid (Geruchsstoffe)

Die Emissionsfaktoren für diese Leitparameter wurden erhoben und bewertet.

Tabelle 6-74: Kohlenstoff-Spezifizierung in der Abluft (Reinluft-Daten), Emissionsfaktoren für umweltrelevante organische Spurenstoffe

Emissionsfaktoren (mg pro t Input, bei Dioxin mg i-TEQ pro t Input)					
Datenquelle	**FRICKE ea., 1997**	**LAHL ea., 2000**	**MÖNKE-BERG, 2000 e)**	**HÄUSLER & ANGERER, 1999**	**Vorschlag für die Stoffbilanz**
Anmerkung		Var. 2B d)		Mittel, n=3	
Prioritäre organische Indikatoren / Einzelstoffe:					
Alkane a)	3,3E+04			5,0E+01	3,3E+04
Benzol f)		9,0E-02		3,3E+01	9,0E-02
Toluol	4,6E+03		5,3E+03	1,5E+02	5,0E+03
Ethylbenzol	5,6E+03		3,8E+03	3,2E+01	5,0E+03
Xylole b)	1,4E+04		1,6E+04	9,5E+01	1,5E+03
Styrol	3,2E+03		7,0E+02	n.n.	7,0E+02
Dichlormethan	1,6E+02			n.n.	1,6E+02
Trichlormethan	5,6E+01	1,2E+02			1,0E+02
Trichlorethen	4,6E+02			4,7E+01	1,0E+02
Tetrachlorethen	6,1E+02	2,4E+01		4,8E+02	5,0E+02
R11	1,4E+03	4,7E+01		n.n.	1,0E+03
R12	6,3E+02	2,8E+01		n.n.	5,0E+02
R113		4,0E+01		n.n.	4,0E+01
R114		2,6E+01		n.n.	2,6E+01
α- und β-Pinen b)	1,6E+04		1,2E+04	2,4E+02	1,0E+04
Limonen	4,9E+04		6,0E+03	5,6E+02	1,0E+04
Acetaldehyd	1,1E+03	1,8E+03	n.n.		1,5E+03
Aceton	5,9E+04		1,7E+02	1,3E+02	1,5E+02
2-Butanon	2,4E+04		7,0E+02	2,0E+03	1,0E+03
Ethylacetat	1,8E+04		n.n.	3,9E+02	1,0E+04
Persistente organische Schadstoffe mit hohem Wirkungspotential:					
Benzo(a)pyren	< 5E-02	9,0E-02			9,0E-02
PBDE					fehlt
PCB (DIN)	1,8E+00				siehe Textteil
Dioxin (i-TEQ)	1,40E-06	3,00E-06			
Anmerkungen/ Index:					
a) Bei FRICKE ea., 1997: Summe aus Hexan bis Decan, bei HÄUSLER & ANGERER, 1999: Summe aus Heptan bis Dokekan und Cyclohexan					
b) Summe der drei Isomeren (o-, m- und p-Xylol)					
c) Summe					
d) Variante 2B: MBA mit Biofilter					
e) Abgeleitet aus Konzentrationsangaben, Variante Biofilter					
f) Wert für Benzol wurde später vom Autor selbst in Frage gestellt					

Nach Angerer, 1999 weist das Rohgas von MBA-Anlagen im “Normalbetrieb” maßgebliche Frachten bei folgenden Parametern auf:

- Methan, NO, N_2O, NH_3, Alkane, BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole)
- CKW, FCKW (R12 Dichlordifluormethan), α-Pinen, β-Pinen, Limonen (Terpene)
- Aldehyde (Acetaldehyd), Ketone (Aceton, 2-Butanon), Acetate (Ethylacetat)

Emissionsschutz-Auflagen sehen für zumindest zwei MBA-Anlagen in Österreich auch die Bestimmung der genannten spezifischen organischen Stoffe vor (Neubauer und Öhlinger 2006), jedoch waren diese Analysenwerte nicht verfügbar. Für die Tabelle der Emissionsfaktoren musste daher auf ältere Literaturdaten zurückgegriffen werden. Eine Rückrechnung auf Transferkoeffizienten ist bei diesen spezifischen organischen Komponenten im Allgemeinen nicht möglich.

Die Quecksilberkonzentrationen in MBA-Abluft unterliegen starken Schwankungen (Zehnerpotenzen). Im Allgemeinen sind die Hg-Konzentrationen im Reingas jedoch fast immer < 1 µg/Nm^3 (Cuhls und Doendens 2000). Soyez et al. (2001) geben eine Fracht von 24 bis 46 mg Hg pro t Abfall an, Angerer (1999) für die Anlage Kufstein 6 bis 8 mg Hg pro t und Fricke et al. (1996) eine Fracht von 7,1 mg pro t Abfall-Input. Neuere Restmüllanalysen zeigen kleinere Hg-Gehalte. Die großen Streuungen, die Nachweisgrenzen, die analysentechnischen Schwierigkeiten bei der Bestimmung von Hg-Spuren in feuchtem Abgas sowie die genannten Konzentrationsbereiche lassen es nicht zu, aus diesen Daten Transferkoeffizienten für die Abluft abzuleiten. Vorerhebungen bei Skutan und Brunner (2006) ergaben Schätzwerte für Transferkoeffizienten für die klassische MBA („Splitting“) von 0,0059 und für die Trockenstabilisierung von 0,019. Es handelt sich hierbei um eine Größenordnung, welche in der vorliegenden Studie übernommen wird (daher Transferfaktor 0,01 für Hg in der Abluft). Bei persistenten und schwerflüchtigen Inhaltsstoffen, wie PCDD/F, PAK, PCBs und bromierten Flammschutzmitteln ist ein biologischer Abbau in der mechanischen und/oder biologischen Behandlungsstufe nicht zu erwarten. Der Transfer in die Abluft ist – wie Abluftmessungen zeigen und auch aufgrund der geringen Partialdampfdrücke zu erwarten ist – sehr gering. Die Summe der Transferkoeffizienten für die festen Output-Güter ist somit nahezu 1. Skutan und Brunner (2006) stellten Literaturwerte über den PCDD/F-Gehalt und PCB-Gehalt von Restmüll zusammen (Tabelle 6-75). In der genannten Expertise wird jedoch auch darauf hingewiesen dass es fraglich ist, ob es den Autoren früherer Studien gelungen ist auch die PCBs in den konzentrierten Trägern zu erfassen, da diese bei der Aufbereitung im Labor zum Teil schwierig zu zerkleinern sind (Leiterplatten, Kondensatoren, elastische Kunststoffteile). Bei PCDD/F ist gemäß Skutan & Brunner „*wegen der fehlenden Zuordenbarkeit der PCDD/PCDF zu Trägern*“ derzeit keine Aussage über die Verteilung bei der mechanischen Aufbereitung möglich. Andererseits zeigen die verfügbaren Analysen der Deponiefraktionen in Österreich aus den Jahren 2012 und 2014 (siehe Tabelle 6-75) jeweils PCB-Gehalte unter der Nachweisgrenze (<0,1 mg/kgTM).

Tabelle 6-75: PCDD/F und PCB im Restmüll (Skutan und Brunner 2006) und Klärschlämmen (Fürhacker und Bursch 2007).

PCDD/F (ng TE / kgTM) - Restmüll	PCB (mg / kg TM) - Restmüll
2,2 - 64 Abad et al. (2002)	0,064 Reinhardt, Jager (1996)
13,6 Reinhardt, Jager (1996)	1,04 Reinhardt, Jager (1996)
613 Reinhardt, Jager (1996)	0,4 Wilken, Zeschmar-Lahl (1997)
41 Fiedler, Hutzinger (1992)	9,7 Wilken, Zeschmar-Lahl (1997)
50 Wilken, Zeschmar-Lahl (1997)	0,5 Blume (1996)
200 Wilken, Zeschmar-Lahl (1997)	1,0 Blume (1996)
50 SRU (1990)	
81,4 Greiner/Stelzer et al (1991)	Literaturzitate zu diesen Quellen bei: (Skutan und Brunner 2006)
20 bis 130 Krauss (1991)	
PCDD/F (ng TE / kg) - Klärschlamm	**PCB (mg / kg) - Klärschlamm**
5 – 100, abnehmende Tendenz (Fürhacker und Bursch 2007)	0,01 – 0,02, abnehmende Tendenz (Fürhacker und Bursch 2007)

Der in Österreich und Deutschland festgelegte Grenzwert für die PCDD/F Konzentration in der Reinluft von MBA-Anlagen (0,1 ng i-TEQ/m^3) kann problemlos eingehalten werden. Beispielsweise liegen die von der Anlage Lübeck publizierten Daten ca. 2 Zehnerpotenzen unter dem Grenzwert (http://entsorgung.luebeck.de); die von der Anlage Singhofen im Jahr 2013 bei ca. 0,005 ng/m3 (http://www.rhein-lahn-kreis-abfallwirtschaft.de/files/pdf/7/22.pdf). Literaturangaben über die PCDD/F Abluft-Fracht befinden sich im Bereich zwischen 1,3 ng i-TEQ/t und 3,0 ng i-TEQ/t (Fricke et al. 1996, Zeschmar-Lahl et al. 2000, Soyez et al. 2001). Die Größenordnung der Messwerte aus den Anlagen Lübeck und Singhofen sind – wenn eine Abluftmenge von ca. 3.000 bis 5.000 m^3 pro t Input angenommen wird – mit den älteren Literaturwerten über PCCD/F Frachten konsistent. Als Vorschlag für eine Bewertung der Emissionen im Rahmen der vorliegenden Benchmark-Studie wird daher eine Fracht von 3 ng i-TEQ/t gewählt.

Der PAK-Gehalt der Deponiefraktion aus MBA-Anlagen beträgt im Mittel 23 mg/kgTM (Summe der 16 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe gemäß EPA, Analysenwerte aus 2004 bis 2014, gewichteter Mittelwert aus 4 Anlagen, 19 Proben aus Österreich). Für die Abluft aus MBA-Anlagen ist die Summe der 16

polyzyklische aromatischen Kohlenwasserstoffe gemäß EPA kein zweckmäßiger Summenparameter, das darin Stoffe mit stark unterschiedlicher Wirkung addiert werden und in MBA-Abluft die harmloseren flüchtigen Komponenten – z.B. Naphthalin – deutlich überwiegen. Es sei darauf hingewiesen, dass auch die europäische Gesetzgebung betreffend PAK-Grenzwerte in Lebensmittel inzwischen eine neue, stark reduzierte Liste enthält. Durch Einschränkung auf nur vier, besonders gesundheitsgefährdende PAK-Verbindungen (inklusive Benzo-a-Pyren, BAP) wird ein stärkerer Wirkungsbezug hergestellt und gleichzeitig der Analysenaufwand verkleinert. Diese vier PAK-Verbindungen sollten in Zukunft auch in Roh- und Reingas von MBA-Anlagen gemessen werden. Bis dahin könnte die PAK-Emission vorübergehend durch den bei Zeschmar-Lahl et al. (2000) vorgeschlagenen Emissionsfaktor für BAP bewertet werden. (0,09 mg BAP pro t Input).

Bezüglich bromierter Flammhemmstoffe (PBDE) besteht derzeit ein Datendefizit. Eine nennenswerte Freisetzung ist infolge des geringen Dampfdrucks und der Einbindung in Kunststoffmatrices nicht zu erwarten. Zur Absicherung dieser Aussage könnte diese Datenlücke insbesondere bei der Reinluft aus MBA-Messungen durch Analysen (z.B. GC/halogensensitiver Detektor) geschlossen werden.

Die Verflüchtigung von Phthalaten erfolgt in MBA-Anlagen selektiv, in Abhängigkeit vom Molekulargewicht. Im Rohgas befindet sich gemäß Häusler und Angerer (1999) eine Fracht von insgesamt ca. 40 mg pro t Input. Ein teilweiser Abbau im Biofilter ist zu erwarten.

Grundsätzlich fallen in MBA-Anlagen drei unterschiedlich belastete Abwassertypen an:

- Prozesswasser: Aus Rotteflächen, Kondensation der Rotteabluft in Leitungen, Kondensation durch Kühlung der Rotteabluft vor dem Biofilter, Ammoniakwäscher, in einem Einzelfall auch aus der Schwimm-Sink-Trennung
- Schwach belastetes Abwasser: Dachflächen, Verkehrsflächen
- Häusliches Abwasser in geringem Umfang (aus Sanitäranlagen am Standort)

Klassische MBA-Anlagen, welche Deponiefraktion erzeugen, können in Bezug auf Prozesswasser „abwasserfrei“ geführt werden, wobei das Prozesswasser rückgeführt und zur Befeuchtung des Rottegutes verwendet wird. Der Betrieb einer Kondensationsanlage, die den Biofilter gegen Überhitzung schützt, stellt die Betreiber jedoch vor ein Abwasserproblem. In Abhängigkeit vom Taupunkt und Betriebsweise des Kühlers – sowie vom gewünschten Endwassergehalt des Rottegutes – kann ein Wasserüberschuss auftreten oder auch nicht. Kondensat und Prozesswasser (inklusive Abwasser aus Ammoniakwäscher) enthalten als primäre Belastungen CSB, BSB, Salze, Sulfid und NH_4-N. Etwa die Hälfte der 12 befragten MBA-Anlagen hat in der Umfrage, die im Juli 2014 durchgeführt wurde, die Frage „*Abwassermanagement: Beschreiben Sie bitte qualitativ den Verbleib des Abwassers bzw. das Kondensat- und Abwassermanagement*“ beantwortet.

- Eine große Anlage nennt „SBR“ und anschließend Kläranlage (SBR = sequential batch reactor, ein spezifisches biologisches Abwassereinigungssystem)
- Vier der Anlagen beschreiben den Betrieb im Wesentlichen als „abwasserfrei“ bzw. nennen „Rückführung“ wobei jedoch gleichzeitig jeweils bei einer Anlage schwach belastetes Abwasser in die Kanalisation eingeleitet oder kontrolliert versickert wird.
- Eine Anlage behandelt das Abwasser aus der MBA-Anlage (Trockenstabilisierung) gemeinsam mit dem Abwasser aus der Kompostierung in einer biologischen Kläranlage, die sich am gleichen Standort befindet.
- Eine weitere Anlage betreibt eine Schwimm-Sink-Trennung. Es ist anzunehmen, dass diese MBA-Anlage nicht abwasserfrei betrieben werden kann.
- Von fünf Anlagen liegen keine Angaben vor.

Durch Kreislaufführung wird in Österreich insgesamt die Abwassermenge aus MBA-Anlagen vermindert. Es überwiegt die Tendenz zur vollständigen Vermeidung von Prozessabwasser. Die übrigen Anlagen betreiben biologische Reinigungsanlagen bzw. nutzen die Kapazität vorhandener Kläranlagen zur biologischen Reinigung des Abwassers. Bei MBA-Anlagen mit einer Schwimm-Sink-Trennung ist mit höheren BSB-, CSB- und Stickstoffbelastung des Abwassers zu rechnen. Der Wasseraustrag über die Dampfphase beträgt bei der

Trockenstabilisierung nach BZL (1998) ca. 260 kg je t Input (Bilanz der Anlage Aßlar), gemäß Wasserbilanzen die bei Fuchs (2012) dargestellt wurden ca. 300 bis 360 kg je t Input (Pilottest Frohnleiten). Geht man davon aus, dass die Abgastemperatur vor dem Biofilter ca.30°C beträgt, dann kann die Wasserfracht welche nach teilweiser Kondensation des Wasserdampfes dem Biofilter zugeleitet wird, gut abgeschätzt werden. Aus der Sättigungsdampfdruckkurve und der Schätzung der spezifischen Abluftmenge (3.000 m^3/t) ergibt sich bei 30°C eine Wasserdampf-Menge von ca. 90 kg H_2O je t Input. Somit ist im Fall der Trockenstabilisierung eine Kondensatmenge (in Leitungen, Ammoniakwäscher und Kühler) von rund 170 bis 270 kg/t zu erwarten (= Emissionsfaktor H_2O für MBA-TS). Die Abwassermenge aus MBA-Anlagen in Österreich kann derzeit nur grob geschätzt werden. Für das Jahr 2013 ergeben sich folgende Mengen:

- Anlage 1, klassische MBA-Anlage, aus Umfrage bekannte Menge: ca.6.000 m3/a
- Anlage 2, Trockenstabilisierung, Schätzung auf Basis Emissionsfaktor H_2O: ca. 2.500 m3/a bis ca. 4.000 m3/a
- Anlage 3, Trockenstabilisierung: Schätzung auf Baser Emissionsfaktor H_2O: ca. 1.600 m3/a bis ca. 2.600 m3/a
- Anlage 4, überwiegend Trockenstabilisierung: Schätzung auf Basis Emissionsfaktor H_2O: ca. 1.900 m3/a bis ca. 3.000 m3/a
- Übrige klassische MBA-Anlagen (8 Anlagen): Aufgrund der Massenbilanz und der Rückmeldung von vier Anlagen wird ein abwasserfreier Betrieb für diese Anlagen angenommen.

Insgesamt ergibt sich damit für Österreich aus MBA-Anlagen eine Abwassermenge (Prozesswasser, kein Dachflächenwasser) von ca. 12.000 m^3/a bis ca. 15.600 m^3/a.

Zusammenfassung MBA und Datendefizite

Die Mengen der Input- und Output-Güter in die MBA-Anlagen in Österreich wurden durch Auswertung der vom Umweltbundesamt GmbH zur Verfügung gestellten EDM Meldungen, Auswertung von veröffentlichten Bilanzen und auch durch eine eigene Umfrage bei den MBA-Anlagen ermittelt. Beim Gesamtinput und beim Output „Deponiefraktion“ ergab sich eine gute Übereinstimmung. Dagegen sind die bestehenden EDM Daten infolge von Mehrfach-Zuordnungen von Abfällen aus anderen Anlagen (z.B. heizwertreiche Stoffe) oder auch infolge unzureichender Meldungen (z.B. Metallfraktionen) nur sehr eingeschränkt für eine Quantifizierung der Outputmengen geeignet. Ein weitere Schwierigkeit bei der Auswertung von EDM-Daten ist die Tatsache, dass Meldungen - auch für das Jahr 2013 – sowohl auf Personen- und Standortbasis als auch auf Anlagenbasis vorliegen, und somit eine eindeutige Zuordnung zur konkreten MBA-Anlage nicht in allen Fällen einfach möglich ist. Die Stoffkonzentrationen der wichtigsten Output-Güter aus der klassischen mechanisch-biologischen Behandlung (Behandlung vor der Ablagerung) konnten ermittelt werden. Mit Ausnahme der Spezifizierung der organischen Substanz in der Abluft liegen für diese Stoffkonzentrationen auch aktuelle Daten aus den Jahren 2010 bis 2013 vor. Die Spezifizierung des Kohlenstoffs in der Abluft ist wichtig, weil einzelne Komponenten der Abluft in den Wirkungskategorien „Treibhauseffekt“ und „Bodennahes Ozonpotential“ hoch wirksam sind. Diese Spezifizierung wurde auf Basis älterer Analysen der MBA-Abluft in Österreich und Deutschland durchgeführt. Die Ermittlung der Frachten bei POPs (persistenten organischen Verbindungen) und Quecksilber (Hg) erfolgte auf Basis von Literaturdaten. Gemäß Statusbericht 2013 (Stand Dezember 2013) waren im Jahr 2013 insgesamt 13 MBA-Anlagen in Betrieb, wobei die Anlage in Zell am See nur als mechanische Anlage betrieben wird. Über die Stoffflüsse von Trockenstabilisierungsanlagen liegen bislang nur wenige Daten vor. Die Frachten nicht flüchtiger bzw. nicht abbaubarer Stoffe verteilen sich jedoch auf recyclierte Metalle und das Trockenstabilat und sind somit abschätzbar. Die Frachten im Trockenstabilat ergeben sich im Wesentlichen als Differenzen zwischen den Frachten der Input-Güter und der Metallfraktion. Die Emission flüchtiger Inhaltsstoffe geschieht gemäß Soyez et al. (2001) überwiegend in der ersten Rottewoche. Insofern sind die Emissionsfaktoren für die Reinluft der klassischen MBA auf die Trockenstabilisierung übertragbar.

Die Transferkoeffizienten für Metallfraktionen (Skutan und Brunner 2006) für MBA-Anlagen stammen aus Messungen/Bilanzen des Jahres 2003. Die Entwicklung der Trenntechnik für NE-Metalle und Metalle in Feinfraktionen hat durch den Kursanstieg an den internationalen Metallbörsen in den Jahren 2007 und 2008

einen Impuls erhalten, der dazu geführt hat, dass in den letzten 5 Jahren (ca. 2009 – 2014) einige neue und verbesserte NE-Aggregate verfügbar sind. Ob und inwiefern diese neue technische Ausstattung nicht nur die gewonnenen Metallmengen, sondern auch die Transferkoeffizienten erhöht hat, wäre in einer eigenen Studie zu prüfen. Ausgehend von den beschriebenen Datengrundlagen und Annahmen wurden folgende Transferkoeffizienten für MBA-Anlagen definiert:

Tabelle 6-76: Transferkoeffizienten für MBA-Anlagen (gemischte Transferkoeffizienten für klassische MBA und Anlagen mit Trockenstabilat)

	Luft (Rotteverlust)	Abfall-export	Abfall (Metallfraktionen)	Abfall (heizwertreich))	Abfall (Deponiefraktion)
Gut	**0,19**	<0,01	0,04	0,53	0,24
Ag	<0,01				0,11
Al	<0,01		0,16	0,51	0,33
As	<0,01				0,09
Au	<0,01				
Ba	<0,01				0,09
Be	<0,01				
Cd	<0,01		0,68	0,28	0,04
Cl	<0,01				
Co	<0,01				0,15
C	0,13	0,02	0,01	0,75	0,09
Cr	<0,01		0,20	0,59	0,21
Cu	<0,01		0,10	0,79	0,11
Fe	<0,01		0,75	0,15	0,10
Hg	0,01		0,01	0,89	0,09
Mn	<0,01				
Mo	<0,01				
Ni	<0,01		0,26	0,34	0,40
N	0,16		0,01	0,70	0,13
P			0,02	0,27	0,71
Pb	<0,01		0,04	0,81	0,14
S	<0,01		0,02		
Sb	<0,01				
Se	<0,01				
Sn	<0,01				
Tl	<0,01				
V	<0,01				
Zn	<0,01		0,14	0,71	0,15

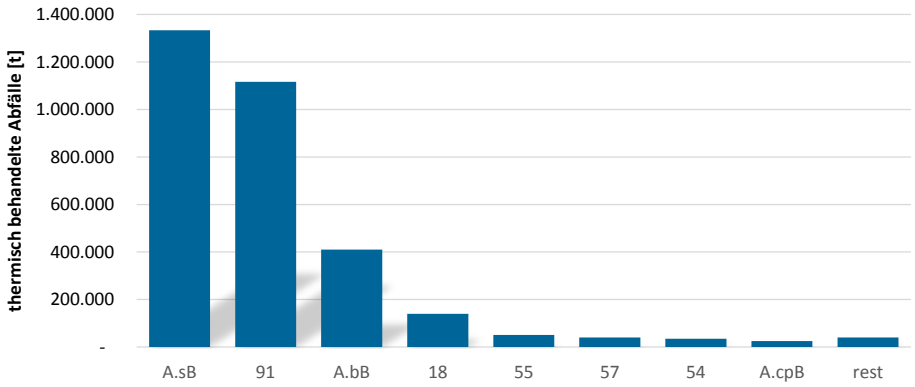
6.6.2 Thermische Abfallbehandlungsanlagen

6.6.2.1 Allgemein

Weitere rechtliche Rahmenbedingungen über die Verbrennung von Abfällen wurden mit der Richtlinie der EU 2000/76/EG geschaffen, welche durch die nationale Abfallverbrennungsverordnung umgesetzt wurde. Darin ist die thermische Behandlung von Abfällen durch alleinige Abfallverbrennung oder Mitverbrennung geregelt. Es sind sowohl die Technik und der Betrieb der Anlagen als auch die Art der eingesetzten Abfälle und Emissionsmessungen geregelt. Entsprechend dem Statusbericht 2013 werden nur jene Anlagen näher betrachtet, welche in den Geltungsbereich der EU-Richtlinie 2000/76/EG fallen. Die EU 2000/76/EG wurde Anfang 2014 aufgehoben uns ist zur Gänze in der Industrieemissions-RL (EU 2010/75/EG) aufgegangen.

Einen weiteren großen Einfluss auf die thermische Behandlung erfolgte durch die Deponieverordnung 2008. Durch ein Verbot der Ablagerung von Abfällen mit mehr als 5 % organisch gebundenem Kohlenstoff (< 5 % TOC) mussten andere Abfallbehandlungsmöglichkeiten vorgeschaltet werden. Die thermische Behandlung der Abfälle ist eine dieser Möglichkeiten.

Im Jahr 2012 wurden in ca. 70 Anlagen rund 3,2 Millionen Tonnen der quantitativ betrachteten Abfälle einer thermischen Behandlung zugeführt



18	*Zellulose-, Papier- und Pappeabfälle*
54	*Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten*
55	*Abfälle von organischen Lösungsmitteln, Farben, Lacken*
57	*Kunststoff- und Gummiabfälle*
91	*Feste Siedlungsabfälle einschließlich ähnlicher Gewerbeabfälle*
A.sB	*Sekundärabfälle aus sonstige Behandlung*
A.bB	*Sekundärabfälle aus biotechnischer Behandlung*
A.cpB	*Sekundärabfälle aus chemisch-physikalischer*

Abb. 6-15: Thermisch behandelte Abfälle 2012 (EDM 2012)

Die thermischen Behandlungsanlagen werden nach Art und Menge des Inputs klassifiziert. Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle werden gesondert betrachtet. Bei der zweiten Kategorie, „sonstige thermische Behandlungsanlagen (ohne Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle)“, wird zusätzlich unterschieden, ob es sich um Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen in der Zement-, Holz- oder Papierindustrie handelt.

6.6.2.2 Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle

Laut Statusbericht 2013 waren 2012 elf Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle (VfS) mit einer Gesamtkapazität von 2,5 Mio. t in Betrieb. In Summe wurden im Jahr 2012 rund 2,3 Millionen Tonnen Abfälle verbrannt (hauptsächlich gemischter Siedlungsabfall, heizwertreiche Fraktionen und Klärschlamm). Diese Anlagen arbeiten entweder mit Rost- oder Wirbelschichtfeuerung (siehe Tabelle 6-77) (BMLFUW 2014a).

Tabelle 6-77: Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Kapazitäten

Verbrennungsanlagen	Feuerungstechnologie (Abfallfraktion)	Kapazität [t/a]
Müllverbrennungsanlage Spittelau, Wien	Rost (Gemischter Siedlungsabfall)	250.000
Müllverbrennungsanlage Flötzersteig, Wien	Rost (Gemischter Siedlungsabfall)	200.000
Müllverbrennungsanlage Pfaffenau, Wien	Rost (Gemischter Siedlungsabfall)	250.000
Müllverbrennungsanlage WAV, Wels	Rost (Gemischter Siedlungsabfall)	300.000
Müllverbrennungsanlage Dürnrohr, Zwentendorf	Rost (Gemischter Siedlungsabfall)	525.000
Kärntner Restmüllverbrennung, Arnoldstein	Rost (Gemischter Siedlungsabfall)	96.000
Müllverbrennungsanlage Zistersdorf	Rost (Gemischter Siedlungsabfall)	130.000
Wirbelschichtofen 4 - Simmeringer Haide, Wien	Wirbelschicht (Heizwertreiche Fraktion. Klärschlamm)	110.000
Reststoffverwertung Lenzing	Wirbelschicht (Heizwertreiche Fraktion. Klärschlamm)	300.000
RHKW Linz	Wirbelschicht (Heizwertreiche Fraktion. Klärschlamm)	240.000
Thermische Reststoffverwertung, Niklasdorf	Wirbelschicht (Heizwertreiche Fraktion. Klärschlamm)	100.000

Auf Basis der angewandten Verbrennungstechnologien können die Transferkoeffizienten von Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle bestimmt werden und somit diese beiden Anlagentypen charakterisiert werden. Die folgenden Transferkoeffizienten der Rost- und Wirbelschichtfeuerung bilden eine „durchschnittliche Verbrennungsanlage für Siedlungsabfälle“ in Österreich ab. Unterschiedliche Rauchgasreinigungssysteme haben naturgemäß unterschiedliche Transferkoeffizienten. Die Summe an festen Rückständen – Schlacke, Aschen und Filterkuchen – wird durch unterschiedliche Abscheidetechnologien nicht verändert.

Rostfeuerung

Sieben der elf Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle werden mittels Rostfeuerungstechnologie betrieben. Es wird hauptsächlich gemischter Siedlungsabfall bzw. Sperrmüll und Klärschlamm eingesetzt. Die Summe der mittels Rostfeuerung thermisch behandelten Abfälle wird mit 1,7 Mio. Tonnen angenommen.

Der größte Anteil des Outputs ist das sogenannte Reingas, welches nach erfolgter Rauchgasreinigung an die Luft abgegeben wird. Die verbleibenden festen Rückstände nach der Verbrennung sind Schlacken, Aschen und Filterkuchen. Der in der Schlacke enthaltene Eisenschrott wird mittels Magnetabscheider abtgetrennt. In Tabelle 6-78 sind die für diese Studie definierten Transferkoeffizienten der Güter und einiger Stoffe dargestellt.

Tabelle 6-78: Transferkoeffizienten für Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung

	Eisen-Schrott	Schlacke	Asche	Filter-kuchen	Abwasser	Gas	Quellen
Gut	0,02	0,25	0,02	0,00	0,00	0,70	***1; 2; 3; 5***
Ag		0,84	0,16				*4*
As	0,00	0,71	0,28			0,01	*4*
C	0,00	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,98	*2; 3; 4; 5*
Cd	0,25	0,12	0,62	0,01		<0,01	*2; 3; 4; 5*
Cl		0,22	0,13		0,65		*2; 3; 4; 5*
Co	0,20	0,71	0,09				*4*
Cr	0,13	0,83	0,04				*4*
Cu	0,03	0,94	0,03				*4;5*
F		0,85	0,15				*5*
Fe	0,69	0,29	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	*4;5*
Hg		0,15	0,30	0,49	<0,01	0,05	*2; 3; 4; 5*
Mn	0,04	0,84	0,12				*4*
N		0,02		0,00	<0,01	0,98	*2; 3; 4; 5*
Ni	0,15	0,83	0,02				*4*
P		0,83	0,17				*5*
Pb		0,68	0,31	0,00	0,00	0,00	*2; 3; 4; 5*
S		0,46	0,39	0,07	0,07	0,01	*2; 3; 4; 5*
V	0,08	0,81	0,11				*4*
Zn	<0,01	0,65	0,35	<0,01			*2; 3; 4; 5*

1) Böhmer et al. (2007); 2) Brunner et al. (2001); 3) Löschau (2006); 4) Skutan und Rechberger (2007); 5) Winter et al. (2005)

Wirbelschichtfeuerung

In vier Wirbelschichtanlagen zur Verbrennung von Siedlungsabfällen werden hauptsächlich heizwertreiche Fraktionen und Klärschlamm eingesetzt. In Summe wurden im Jahr 2012 rund 0,6 Mio. Tonnen Abfälle thermisch behandelt. Als feste Rückstände aus der Verbrennung der Abfälle fallen hauptsächliche Aschen und der Filterkuchen an. Rund 2/3 des Abfallinputs verlassen die Anlage durch die Verbrennung gasförmig. Die durchschnittlichen Transferkoeffizienten einer Wirbelschichtfeuerung sind in Tabelle 6-79 abgebildet.

Tabelle 6-79: Transferkoeffizienten für Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Wirbelschichtfeuerung

	Asche	Filterkuchen	Abwasser	Gas	Quelle
Gut	0,20	0,02	0,00	0,79	*1;2;4*
Ag	1,00	<0,01	<0,01		*4*
Al	1,00	<0,01			*4*
As	0,98	0,01	0,01	<0,01	*4*
B	0,97	0,03			*4*
C	0,01	<0,01	<0,01	0,99	*3,4*
Cd	0,99	<0,01	<0,01	<0,01	*3,4*
Cl	0,45	0,01	0,54	<0,01	*3*
Co	0,99	0,01	0,01		*4*
Cr	1,00	<0,01	0,00		*4*
Cu	0,99	0,01			*4*
Fe	1,00	<0,01			*4*
Mn	0,96	0,04			*4*
N	0,01	<0,01		0,99	*3*
Ni	0,99	0,01	<0,01		*4*
P	0,83	0,17			*Annahme*
Pb	1,00	<0,01	<0,01		*3,4)*
S	0,85	0,06	0,08	0,01	*3,4*
Sb	0,99	0,01	0,01		*4*
Sn	0,94	0,06			*4*
V	1,00	<0,01	<0,01		*4*
Zn	1,00	<0,01	<0,01		*3,4*

1) Böhmer et al. (2007), 2) Brunner et al. (2001) 3) Fehringer et al. (1997b); 4) Löschau (2006)

Anm.: Für einige Metalle (Al, Sb, As, Ba, B, Cr, Fe, Co, Cu, Mn, Ni, Ag, V, Sn) wurde aufgrund der Datenlage Transferkoeffizienten der Simmeringer Haide WISO 1-3 verwendet (Löschau 2006)

6.6.2.3 Mitverbrennungs- und sonstige Abfallverbrennungsanlagen

Im Jahr 2012 wurden in ca. 60 Anlagen rund 1 Mio. Tonnen Abfälle in thermischen Behandlungsanlagen ohne Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle (tB) behandelt.

Die behandelten Abfallfraktionen sind hauptsächlich:

- Heizwertreiche Fraktionen aus der mechanisch (-biologischen) Abfallbehandlung
- Reststoffe aus der Holzbearbeitung / -verarbeitung sowie Altholz
- Klärschlämme und sonstige Schlämme
- Reststoffe aus der Papier- und Zellstoff-Produktion
- Kunststoffe und Verpackungsmaterialien
- Altreifen und sonstige Gummiabfälle
- Gefährliche Abfälle und Altöle
- Tiermehl und Tierfett
- Shredder-Rückstände

In dieser Kategorie der thermischen Behandlungsanlagen gibt es rund 60 Anlagen, von denen etwa die Hälfte eine Kapazität von <2 t/h hat. Unter sonstigen Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen finden sich sowohl reine Abfallverbrennungsanlagen als auch Mitverbrennungsanlagen verschiedenster Größe. Zur Bestimmung der Transferkoeffizienten werden die Mitverbrennungsanlagen in Anlagen der Zementindustrie, der Papier- und Zellstoffindustrie, der Holzindustrie und sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen eingeteilt.

Zementindustrie

Gemäß dem Emissionsbericht der österreichischen Zementindustrie von Mauschitz (2013) wurden im Jahr 2012 37.000 Tonnen Altreifen, 274.000 Tonnen Kunststoffabfälle und 7.000 Tonnen Altöl als Ersatzbrennstoffe in der

Zementindustrie eingesetzt. Ausgehend von den in dieser Studie quantitativ betrachteten Abfällen wurden rund 0,3 Mio. Tonnen thermisch in der Zementindustrie behandelt. In den letzten Jahren ist auch ein deutlicher Anstieg der eingesetzten Ersatzbrennstoffe zu beobachten. In fast allen Anlagen kommen Drehrohröfen nach dem Trockenverfahren mit Zyklonvorwärmern zum Einsatz (Kossina und Grech 2000). Bei der Zementherstellung verbleiben rund 30 % des Inputs im Klinker und 70 % verlassen den Prozess gasförmig (Brunner et al. 2001). Vor allem die durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen eingetragenen Schwermetalle werden im Produkt (Klinker) gebunden. In Tabelle 6-80 sind die mittleren errechneten Transferkoeffizienten auf Güter- und Stoffebene aufgelistet.

Tabelle 6-80: Transferkoeffizienten Zementindustrie

	Produkt	Reingas	*Quelle*
Gut	0,29	0,71	*1*
C	0,01	0,99	*1*
Cd	0,99	0,01	*1,2,3,4*
Cl	0,98	0,02	*1,4*
Co	1,00		*2,3*
Cr	1,00		*2,3*
Cu	1,00		*2,3*
Hg	0,67	0,34	*1,2,3,4*
Ni	1,00		*2,3*
N	0,01	0,99	*1*
P	1,00		*Annahme*
Pb	1,00	<0,01	*1,2,3,4*
S	0,90	0,10	*1,4*
Zn	1,00	<0,01	*1,2,3,4l*

1) Brunner et al. (2001) 2) Zeschmar-Lahl (2003) 3) Mauschitz (2013) 4) Fehringer et al. (1997b)

Papier- und Zellstoffindustrie

Bei der thermischen Verwertung von Abfällen innerhalb der Papier- und Zellstoffindustrie wird in Österreich nur die Wirbelschichtfeuerung eingesetzt. Der Großteil der eingesetzten Abfälle setzt sich aus Rinden, Holzabfällen, Spuckstoffen, Faserreststoffen und Klärschlammen zusammen (Boubela et al. 2004). In dieser Studie wird angenommen, dass rund 250.000 Tonnen der quantitativ betrachteten Abfälle thermisch in der Papier- und Zellstoffindustrie verwertet werden. Der Output setzt sich aus Gas, Bett- und Flugaschen zusammen. Ausgehend von den eingesetzten Abfällen kann mit einem Ascheanfall von rund 30 % gerechnet werden. Vor allem die verbrannten Rückstände aus der Papier- und Zellstoffherstellung weisen einen hohen Aschegehalt von 45-55 % auf (Tarnawski 2004). Der Aschgehalt von Klärschlamm geht mit 25 % und der von Rinde mit 3 % in die Berechnung ein. Die daraus errechneten Transferkoeffizienten auf Gütereben sowie die aus weiterer Literatur abgeleiteten Transferkoeffizienten auf Stoffebene sind in Tabelle 6-81 aufgelistet.

Tabelle 6-81: Transferkoeffizienten Papierindustrie

	Flugasche	Bettasche	Reingas	Quelle
Gut	0,32		*0,68*	*3*
As	0,90	0,10	0,01	*UBA-Zellstoff*
C	0,01		0,99	*2,3*
Cd	0,96	0,02	0,02	*2,3*
Cl	0,89	0,06	0,05	*2,3*
Co	0,90	0,10		*2*
Cr	0,90	0,10		*2*
Hg	0,75	0,05	0,20	*2,3*
Ni	0,90	0,10		*2*
NOx	0,01	0,01	0,11	*3*
P		1,00		
Pb	0,95	0,05	0,01	*2,3*
S	0,70	0,10	0,20	*3*
Zn	0,91	0,09	0,01	*2,3*

1) Tarnawski (2004) 2)Boubela et al. (2004) 3)Fehringer et al. (1997b)

Holzindustrie und Biomassefeuerung

In der Holzindustrie werden hauptsächlich innerbetrieblich anfallende Abfälle thermisch behandelt. Es werden sowohl nicht verunreinigte Rinden und Hackgut als auch chemisch verunreinigte Abfälle vorwiegend mittels Rostfeuerung verwertet (Kossina und Grech 2000). Nur zu einem geringen Anteil erfolgt in der Holzindustrie die Verbrennung von Klärschlämmen, da ein Überschuss an innerbetrieblichen Abfällen vorhanden ist. In Summe wurden rund 180.000 Tonnen der in dieser Studie quantitativ betrachteten Abfälle in der Holzindustrie thermisch behandelt. Bei der Verbrennung von Holzabfällen kann mit einem Aschgehalt von rund 5 % gerechnet werden. Somit gehen rund 95 % des Inputs gasförmig verloren. Die Transferkoeffizienten der Holzindustrie sind in Tabelle 6-82 aufgelistet. Es ist zu beachten, dass die Transferkoeffizienten mangels besserer Daten mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Tabelle 6-82: Transferkoeffizienten Holzindustrie und Biomassefeuerung

	Grob-asche	Zyklon-Flugasche	Feinst-Flugasche	Abluft	*Quellen*
Gut	0,04	0,01	<0,01	0,94	*errechnet nach 1*
C	0,01	<0,01	<0,01	0,99	3
Ca	0,52	0,41	0,08		2
Cd	0,03	0,41	0,32	0,25	3
Cl	0,57	0,17	0,04	0,23	3
Co	0,52	0,40	0,08		2
Cr	0,54	0,35	0,11		2
Hg	0,01	0,06	0,38	0,55	2,3
K	0,42	0,42	0,16		2
Mg	0,58	0,35	0,07		2
Na	0,50	0,41	0,10		2
Ni	0,52	0,41	0,07		2
NOx	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	3
P	0,49	0,41	0,10		2
Pb	0,07	0,25	0,38	0,30	2,3
S	0,51	0,15	0,04	0,30	3
V	0,53	0,42	0,05		2
Zn	0,09	0,35	0,36	0,20	2,3

1) Tarnawski (2004) 2) Kossina und Grech (2000) 3) Fehringer et al. (1997b)

Sonstige Abfallverbrennungsanlagen

Alle weiteren Abfallverbrennungsanlagen die keine Siedlungsabfälle verbrennen, werden unter dem Begriff sonstige Abfallverbrennungsanlagen subsumiert. Diesen Anlagen wird eine große Anzahl unterschiedlicher Abfälle zugeführt. Einerseits erfolgen die thermische Behandlung von Klärschlamm und weiteren nicht gefährlichen Abfällen und andererseits die Verbrennung von gefährlichen Abfällen (organischen Lösungsmitteln, Farben, Lacken, Oxide, Hydroxide und Salzabfälle, Abfälle von Säuren, Laugen, Konzentraten, Altöle und Altschmierstoffe etc.). Die Behandlung der Abfälle erfolgt hauptsächlich mittels Wirbelschichtfeuerung oder Drehrohrofen. In dieser Studie wird angenommen, dass rund 80.000 Tonnen der quantitativ betrachteten Abfälle mittels Wirbelschichtöfen und 100.000 Tonnen mittels Drehrohröfen behandelt werden. Die abgeschätzten Transferkoeffizienten für die beiden Feuerungstechnologien sind in folgenden Tabellen aufgelistet (Tabelle 6-83 und Tabelle 6-84)

Tabelle 6-83: Transferkoeffizienten sonstige Abfallbehandlungsanlagen - Wirbelschichtfeuerung

	Asche	*Filterkuchen*	*Abwasser*	*Gas*	*Quellen*
Gut	**0,18**	**0,01**	**<0,01**	**0,82**	1,2
Ag	1,00	<0,01	<0,01		3
Al	1,00	<0,01			3
As	0,98	0,01	0,01	<0,01	3
B	0,97	0,03			3

	Asche	Filterkuchen	Abwasser	Gas	Quellen
Ba	1,00	<0,01	<0,01		3
C	0,00	<0,01	<0,01	0,99	2
Cd	0,67	0,33	0,01	<0,01	2,3
Cl	0,45	0,01	0,54	<0,01	2
Co	0,99	0,01	0,01		3
Cr	1,00	<0,01	<0,01		3
Cu	0,99	0,01			3
Fe	1,00	<0,01			3
Hg	0,02	0,97	<0,01	0,01	2,3
Mn	0,96	0,04		0,00	3
N	0,01	0,00		0,99	2
Ni	0,99	0,01	<0,01		3
P	0,83	0,17			Annahme
Pb	0,98	0,02	<0,01		2,3
S	0,85	0,06	0,08	0,01	2
Sb	0,99	0,01	0,01		3
Sn	0,94	0,06			3
V	1,00	<0,01	<0,01		3
Zn	0,99	0,01	<0,01		2,3

1) Böhmer et al. (2007) 2) Brunner et al. (2001) 3) Löschau (2006)

Tabelle 6-84: Transferkoeffizienten sonstige Abfallbehandlungsanlagen - Drehrohrofen

	Schlacke	Flugasche	Filterkuchen	Eisenschrott	Abwasser	Reingas	Quelle
Gut	0,21	0,03	0,01	0,02	<0,01	0,73	1,2
Ag	0,35	0,65	0,01	<0,01	<0,01		3
Al	0,96	0,04	<0,01				3
As	0,42	0,53	0,01	0,04	0,01	<0,01	3
Ba	1,00	0,00					3
Ba	0,86	0,14	0,01				3
C	0,01	<0,01	<0,01		<0,01	0,98	2
Cd	0,05	0,83	0,12		<0,01		2,3
Cl	0,10	0,36			0,54		2
Co	0,88	0,09	<0,01	0,03	0,00		3
Cr	0,92	0,06	<0,01	0,01			3
Cu	0,76	0,16	<0,01	0,08			3
Fe	0,71	0,02	<0,01	0,27			3
Hg	0,02	0,11	0,86		<0,01	<0,01	2,3
Mn	0,88	0,09	0,02	0,02			3
N	0,01	<0,01	<0,01		<0,01	0,98	2
Ni	0,82	0,13	<0,01	0,05			3
P	0,83			0,17			
Pb	0,53	0,47	0,00	0,00			2,3
S	0,50	0,36	0,06		0,08		2
Sb	0,50	0,49	<0,01	<0,01	<0,01		3
Sn	0,56	0,44	<0,01				3
V	0,72	0,10	<0,01	0,17	<0,01		3
Zn	0,39	0,60	0,01	<0,01			2,3

1) Böhmer et al. (2007), 2) Fehringer et al. (1997b); 3) Löschau (2006)

6.6.2.4 Zusammenfassung

Im Jahr 2012 wurden in rund 70 österreichischen Anlagen ca. 3,2 Millionen Tonnen der quantitativ betrachteten Abfälle verbrannt. Ausgehend von den definierten Transferkoeffizienten fielen im Jahr 2012 rund 700.000 Tonnen Schlacken/Aschen und Flugaschen durch die Abfallverbrennung an.

Rund 600.000 Tonnen der anfallenden Aschen und Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen wurden auf österreichischen Deponien (teilweise nach Behandlung) abgelagert (BMLFUW 2014a). Rund 200.000 Tonnen

werden als stabilisierter Aschen-Schlacken-Beton zur Herstellung von Deponieflanken verwendet oder stofflich in der Zementindustrie verwertet. Der abgetrennte Eisenschrott wird Shredderanlagen zur weiteren Behandlung übergeben. Die restlichen festen Rückstände aus der Abfallverbrennung werden exportiert. Vor allem der anfallende Filterkuchen und manche Flugaschen werden in Deutschland untertage deponiert.

6.6.3 Deponie

6.6.3.1 Allgemein

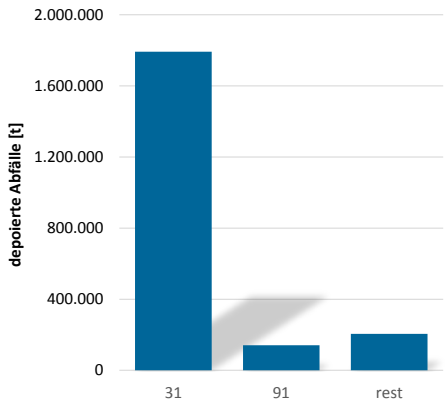
Mit In-Krafttreten der Deponieverordnung 1996 wurde die Ablagerung von Abfällen in Österreich neu geregelt. Mit Ausnahme von Inertabfällen und Abfällen bei denen keine Gefährdung für Mensch und Umwelt zu erwarten ist, dürfen nur noch behandelte Abfälle abgelagert werden. Weiters sind in der Deponieverordnung Anforderungen hinsichtlich Deponiestandort, -technik und betrieb festgelegt und Deponierungsverbote, Behandlungspflichten sowie das Abfallannahmeverfahren geregelt.

Laut Statusbericht 2013 (BMLFUW 2014a) wurden im Jahr 2012 rund 16 Millionen Tonnen Abfälle auf 694 Deponien abgelagert (siehe Tabelle 6-85).

Tabelle 6-85: Anzahl und Restkapazität [m³] der Deponien 2012

Deponietyp	Anzahl [n]	Restkapazität [Mio. m³]
Massenabfalldeponie (MAD)	31	11,3
Reststoffdeponie (RSD)	43	17,9
Baurestmassendeponie (BRMD)	79	11,6
Inertabfalldeponie (IAD)	36	5,5
Bodenaushubdeponie (BAD)	505	43,7
Summe	**694**	**90,0**

Der größte Anteil (98 %) der abgelagerten Abfälle, welche quantitativ betrachtet werden, können der SN-Gruppe 31 zugeordnet werden (siehe).



31 *Abfälle mineralischen Ursprungs (ohne Metallabfälle)*

91 *(behandelte) Feste Siedlungsabfälle einschließlich ähnlicher Gewerbeabfälle*

Abb. 6-16: Abgelagerte Massen im Jahr 2012 [t]

Seitens des BMLFUW und des Umweltbundesamtes wird derzeit an einer Zuordnung der abgelagerten Massen zu den einzelnen Deponietypen gearbeitet. Für diese Studie wird folgende Zuordnung (teilweise nach Behandlung) je Deponietyp angenommen.

Tabelle 6-86: abgelagerte Massen im Jahr 2012 je Deponietyp [t]

Gruppe	MAD	BRMD	RSD	IAD	Summe
31 *Abfälle mineralischen Ursprungs (ohne Metallabfälle)*		440.000	970.000	440.000	1.850.000
91 *(behandelte) Feste Siedlungsabfälle einschließlich ähnlicher Gewerbeabfälle*	120.000				120.000
51 *Oxide, Hydroxide, Salzabfälle*			80.000		80.000
54 *Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten*	20.000				20.000
weitere			100.000		100.000
Summe	**140.000**	**440.000**	**1.150.000**	**440.000**	**2.200.000**

6.6.3.2 Modelldeponien und Annahmen

Trotz einer Vielzahl gesetzlicher und technischer Rahmenbedingungen stellen Deponien eine potentielle Schadstoffquelle dar. Einerseits in Form des Deponiegases, welches sich hauptsächlich aus dem klimarelevanten Methan und Kohlendioxid zusammensetzt und andererseits durch belastete Deponiesickerwässer, die im Laufe der Zeit eine Gefährdung der Grund- und Fließgewässer darstellen können. Auf Bodenaushubdeponien ist ausschließlich die Ablagerung von nicht kontaminiertem Bodenaushubmaterial und nicht kontaminierten Bodenbestandteilen erlaubt. Der Einfluss der Ablagerung auf Mensch und Umwelt kann somit als gering eingeschätzt und auftretende Emissionen vernachlässigt werden. Bei anorganischen Deponietypen (RSD, BRMD, IAD) steht der Sickerwasseraustrag im Vordergrund (Laner et al. 2010) und die Bildung von CO_2 und CH_4 kann vernachlässig werden (Brunner et al. 2001). Somit werden auf Basis der von Laner et al. (2010) definierten Leitparameter zur Charakterisierung des Abfallemissionsverhaltens von Deponien die in Tabelle 6-87 genannten Stoffe und Verbindungen näher betrachtet. Für die Berechnung der Deponiegasemissonen und Sickerwasseremissionen werden nur jene Abfälle herangezogen, welche im Jahr 2012 abgelagert wurden. Altlasten (z.B. Altdeponien) werden nicht betrachtet.

Tabelle 6-87: Leitparameter zur Charakterisierung des Abfallemissionsverhaltens von Deponien

	MAD	RSD	BRMD
Deponiegas	CH_4, CO_2	-	-
Sickerwässer	TOC, NH_4, Cd, Cr, Fe, Hg, Pb, Zn	TOC, NH_4, Cd, Cr, Fe, Hg, Pb, Zn	TOC, NH_4, Cd, Cr, Fe, Hg, Pb, Zn

Anhand der in Kapitel 6.6.3.3 und 6.6.3.4 beschriebenen Berechnungsmodelle werden die Deponiegasemissionen und die Sickerwasserfrachten für ein Jahr sowie die Emissionspotentiale für die Betrachtungszeiträume von 2-100 und 101-1.000 Jahre berechnet. Zur Abschätzung der Sickerwasser- und Gasemissionen der 2012 abgelagerten Abfälle wird davon ausgegangen, dass hinsichtlich Deponiebau und -betrieb die Anforderungen der DVO 2008 eingehalten werden. Meteorologische und technische Daten/Annahmen sind in Tabelle 6-88 gelistet. Die entstehenden Sickerwasser- und Gasemissionen werden nur von den im Jahr 2012 abgelagerten Abfällen berechnet. Der Einfachheit halber wird ein quadratischer Grundriss angenommen.

Tabelle 6-88: Eingangsparameter zur Berechnung der Deponiesickerwasser- und Deponiegasemissionen

Eingangsparameter	MAD	RSD	IAD/BRMD	BAD	Quelle
Niederschlag [mm]	1.100	1.100	1.100	1.100	(ZAMG 2014) (Mittelwerte Österreich)
Verdunstung [mm]	550	550	550	550	(ZAMG 2014) (Mittelwerte Österreich)
Deponiehöhe [m]	15	15	15	15	Annahme nach (Laner et al. 2008)
Lagerungsdichte	1,3	1,5	1,9	1,8	Annahme
Ablagerungsphase [a] (Ende: Aufbringen Oberflächenabdeckung)	25	25	25	25	Annahme nach (Laner et al. 2008)

Eingangsparameter	MAD	RSD	IAD/BRMD	BAD	Quelle
Funktionierende Sickerwasserreinigung [a]	100	100	100		Annahme
Versagen technischer Einrichtungen [a] (Oberflächenabdeckung und Basisentwässerung)	100	100	100		Annahme
Sickerwasseranfall während der Ablagerungsphase (% des Jahresniederschlag)	30	30	30		Annahme nach Laner et al. (2010)
Sickerwasseranfall nach Ende der Ablagerungsphase (% des Jahresniederschlag) (Aufbringen Oberflächenabdeckung)	5	5	5		Mindestanforderung lt. DVO 2008
Sickerwasseranfall nach Versagen der technischen Einrichtungen (% des Jahresniederschlag)	30	30	30		Annahme nach Laner et al. (2010)

Auf Basis dieser Annahmen sowie der im Folgenden beschrieben Berechnungsgrundlagen werden die Emissionen aus Deponien abgeschätzt, welche grundsätzlich von eine Vielzahl an Einflussfaktoren abhängig sind (Krümpelbeck 2000).

6.6.3.3 Deponiegas

Berechnungsgrundlagen

Deponiegas entsteht durch den Abbau organischer Substanz im Deponiekörper und besteht im Wesentlichen aus Methan CH_4 (40-70 %) und Kohlendioxid CO_2 (30-60 %). Es gibt eine Vielzahl von Modellen, um das Deponiegaspotential abzuschätzen. In dieser Studie wird das Modell von Tabasaran und Rettenberger zur Abschätzung des Deponiegaspotentials herangezogen. Kühle-Weidemeier und Bogon (2008) haben die Anwendung dieses Modells auf drei Deponien überprüft. Es zeigt sich eine Überschätzung der Rechenwerte gegenüber den Messwerten. Trotzdem wird in dieser Studie aufgrund der Anwendbarkeit dieses Modell verwendet.

Gleichung 6-1

$$G_p = 1{,}868 * TOC_{abb} * (0{,}014 * T + 0{,}28)$$

G_p Gaspotential [m³/t]
TOC_{abb} biologisch abbaubarer Kohlenstoffanteil[kg C/t]
T Temperatur [°C]

Gleichung 6-2

$$Gt = Gp * (1 + 10^{-(t*k)})$$

G_t gebildete Deponiegasmenge [m³/t]
G_p Gaspotential [m³/t]
t Ablagerungszeit [t]
k Geschwindigkeitskonstante [a-1]

Bei diesem Modell wird davon ausgegangen, dass aus 12 g Kohlenstoff durch anaeroben Abbau 22,4 Normliter Deponiegas entstehen (Schachermayer 2006). Ausgehend von den Vorgaben der Autoren wurde für Temperatur 30°C und für die Geschwindigkeitskonstante 0,035 eingesetzt. Der biologische Anteil des abbaubaren Kohlenstoffs wird auf Basis der erhobenen Daten bestimmt. Folgende Abbauraten wurden in Abhängigkeit der Halbwertszeit und Abfallkategorie bestimmt (Kühle-Weidemeier und Bogon 2008).

Tabelle 6-89: Halbwertszeit und Abbauraten für Massenabfalldeponien

Abfallkategorie	Anteile [%]	Halbwertszeit [a]	k
leicht abbaubar	6	4,1	0,1691
mittel schwer abbaubar	6	8,7	0,0797
schwer abbaubar	4	23	0,0301
sehr schwer abbaubar	10	5000	0,0001
nicht abbaubar	74	-	-

Kohlenhydrate, Cellulose und Hemicellulose wurden den Kategorien leicht bzw. mittel-schwer abbaubar zugeordnet. Proteine und Fette der Kategorie schwer abbaubar und Lignine und Huminstoffe der Kategorie sehr schwer abbaubar. Bei den biologisch abbaubaren Anteilen handelt es sich großteils um Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung. Die restlichen Anteile wie mineralische Stoffe werden als nicht abbaubar eingestuft.

Während dem Betrieb der Deponie werden im Durchschnitt 50 % des gebildeten Deponiegases erfasst und verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten zugeführt (Schachermayer und Lampert 2008). Eine Reduktion der Methanemissionen kann durch eine Methanoxidationsschicht erfolgen. Mikroorganismen setzten das klimawirksamere Methan unter Vorhandensein von Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser um (Huber-Humer et al. 2008). In Abhängigkeit der verschiedenen Abdeckungen wird in der Literatur (Laner et al. 2010) ein Methanoxidationsfaktor von 0,1 für bindigen Boden bis 0,7 für optimierte Methanoxidationsschichten angegeben. In dieser Studie wird von der klassischen Rekultivierungsschicht aus Bodenaushubmaterial oder Erde ausgegangen und deshalb mit einem Methanoxidationsfaktor von 0,1 gerechnet.

Ergebnisse

Ausgehend von Gleichung 6-1 und Gleichung 6-2 produzieren die im Jahr 2012 auf österreichischen Massenabfalldeponien abgelagerten Abfälle, welche in dieser Studie quantitativ betrachtet werden, innerhalb des Betrachtungszeitraums von 1.000 Jahren rund 17 Mio. m³ Deponiegas. Wie aus Abb. 6-17 ersichtlich, werden vor allem in den ersten Jahren große Mengen an Deponiegas und nach 150 Jahren nur mehr rund 3.000 m³ Deponiegas pro Jahr produziert.

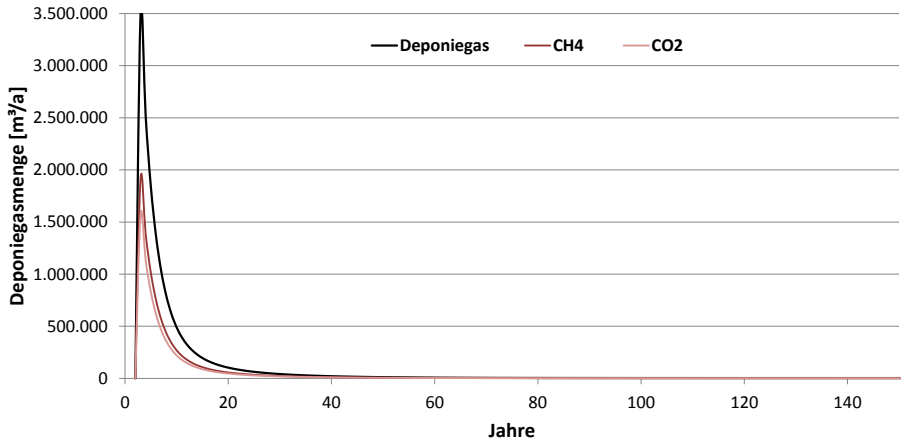


Abb. 6-17: Deponiegasproduktionsrate der österreichischen Massenabfalldeponien in m³/a

Bei Berücksichtigung der Deponiegasfassung und Methanoxidation können reduzierte Emissionen auf rund 10 Mio. m³ an Deponiegas abgeschätzt werden (siehe Tabelle 6-90 und Abb. 6-18):

Tabelle 6-90: CH_4- und CO_2 Emissionen für Massenabfalldeponien [m³] für 1y, 100y und 1.000y abzüglich Methanoxidation und Deponiegaserfassung

Zeitraum	CH_4 [m³]	CO_2 [m³]
1y	960.000	780.000
1-100y	4.200.000	3.500.000
1-1000y	5.300.000	4.600.000

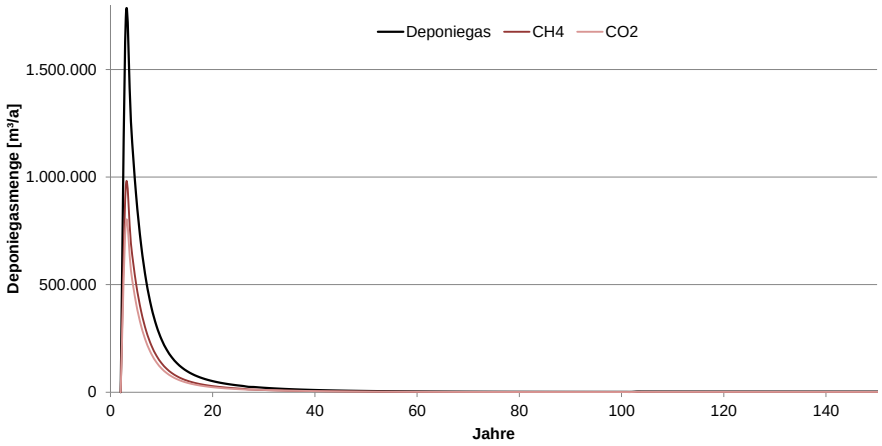


Abb. 6-18: Deponiegasemissionen (*abzüglich Methanoxidation und Deponiegaserfassung)* der österreichischen Massenabfalldeponien in m³/a

6.6.3.4 Deponiesickerwässer

Berechnungsgrundlagen

Gemäß DVO 2008 ist Deponiesickerwasser im Kompartiment anfallendes Wasser, das insbesondere durch in das Kompartiment eingedrungenes, infolge von Auslaugungsvorgängen angereichertes Niederschlagswasser, durch belastetes Überschusswasser aus Abfällen mit hohem Wassergehalt und durch infolge von Zersetzungsvorgängen entstandenes Reaktionswasser gebildet wird. Für die Beurteilung der Deponiesickerwässer ist sowohl die Quantität (Sickerwassermenge) als auch die Qualität (Zusammensetzung des Sickerwassers) von Bedeutung. Die Berechnung der Sickerwassermenge der Deponien erfolgt nach der Bilanzgleichung der Wasserhaushaltsgrößen nach Baccini et al. (1987):

Gleichung 6-3 $$NS + WG + B - (E + G + SW + OA) - S = 0$$

NS	Niederschlag [g/kg Abfall]
WG	Wassergehalt [g/kg Abfall]
B	biochemische Wasserproduktion [g/kg Abfall]
E	Evaporation [g/kg Abfall]
G	Wasser über Gaspfad [g/kg Abfall]
SW	Sickerwasser [g/kg Abfall]
OA	Oberflächenabfluss [g/kg Abfall]
S	Speicherung im Deponiekörper [g/kg Abfall]

Die Funktion der Deponie als Speicher (S) wird ausgehend von (Huber 1995) und (Spaun 1995) vernachlässigt (Brunner et al. 2001). Weiters stellte Fellner (2004) fest dass bei einer 15 Jahre alten Deponie der dampfförmige Wasseraustrag (G) und die biochemische Wasserproduktion (B) keinen wesentlichen Einfluss auf die Wasserbilanz haben (Laner et al. 2010).

Somit reduziert sich die Gleichung 6-3 auf folgende Bilanzgleichung:

Gleichung 6-4 $$NS + WG - (E + SW + OA) = 0$$

NS	Niederschlag [g/kg Abfall]
WG	Wassergehalt [g/kg Abfall]
E	Evaporation [g/kg Abfall]
SW	Sickerwasser [g/kg Abfall]
OA	Oberflächenabfluss [g/kg Abfall]

Für die Bestimmung der Sickerwasserqualität und zur Prognose zukünftiger Sickerwasserkonzentration einzelner Stoffe wird das nach von Laner et al. (2010) erweiterte Modell nach Belevi und Baccini (1989) herangezogen. Belevi und Baccini (1989) entwickelten ein Modell, um das zukünftige Verhalten der Stoffkonzentrationen im Deponiesickerwasser hervorzusagen. Es basiert auf Auswaschversuchen mit zerkleinerten Abfallproben aus einer Hausmülldeponie. Laner et al. (2010) erweiterten dieses Modell, um die

heterogenen Wasserströmungsverhältnisse in Deponien zu berücksichtigen. Dementsprechend wird die Änderung des Wasser-Feststoff-Verhältnisses über die Zeit berücksichtigt und ein Heterogenitätsfaktor h als Modellparameter eingeführt. Beim Wasser-Feststoff-Verhältnis wird in Zusammenhang mit Gleichung 6-5 von einer jährlich konstanten Zunahme für die unterschiedlichen Funktionsperioden der Oberflächenabdeckung ausgegangen. Die unterschiedlichen Funktionsperioden werden schließlich durch Aneinanderreihung der jeweiligen Kurven miteinander verknüpft. Der Heterogenitätsfaktor beschreibt die Wasserströmung im Deponiekörper und wir mit einem Wert von 2 angenommen (das bedeutet, dass 50 % des Abfalls zu den Stoffemissionen im Sickerwasser beitragen – basierend auf Döberl et al. (2005)ist der emissionsrelevante Abfallanteil in vielen, vor allem mächtig geschütteten, Deponien noch deutlich geringer).

Gleichung 6-5

$$c_a(t) = c_0 * e^{-\left(\frac{c_0}{m_v} * \Delta\frac{W}{F} * h\right) * t}$$

c_a	mittlere jährliche Konzentration nach t Jahren aufgrund Auswaschung [mg/l]
c_0	Anfangskonzentration im Sickerwasser [mg/l]
m_v	durch Auswaschung mobilisierbare Stoffkonzentration des Abfalls [mg/kg TS]
$\Delta W/F$	mittlere Änderung des Wasser-Feststoff-Verhältnisses pro Jahr [l/kg TS.a]
ΔW	mittlere infiltrierte Wassermenge pro Jahr [l/a]
F	abgelagerte Abfalltrockenmasse [kg]
h	Heterogenitätsfaktor der Wasserströmung im Deponiekörper [-]
t	Zeit [a]

In dieser Studie wird zur Bestimmung der TOC und NH_4-N Konzentrationen Gleichung 6-5 adaptiert nach Laner et al. (2010) herangezogen. Für Metalle und Phosphor wird von einer konstanten Konzentration im Sickerwasser ausgegangen. Vor allem das Lösungsverhalten von Metallen ist in erster Linie vom pH-Wert bestimmt und nicht von der verbleibenden Stoffmenge. Für die Bestimmung der Eingangsparameter m_v und c_o wurden diverse Studien herangezogen, um das Auswaschverhalten von Massenabfalldeponien, Baurestmassendeponien und Reststoffdeponien abzuschätzen. Dafür wurden entsprechend der abgelagerten Abfälle je Deponietyp (z.B. MBA-Material oder Baurestmassen) die spezifischen Werte für mobilisierbare Stoffkonzentration und die Anfangskonzentration erhoben bzw. abgeschätzt und in den Berechnungen berücksichtigt. In Tabelle 6-91 sind die einzelnen Eingangsparameter je Deponietyp gelistet.

Tabelle 6-91: Eingangsparameter: Berechnung der Deponiesickerwasser-Konzentration (gerundet auf zwei signifikante Stellen) c_o in [mg/l] m_v in [mg/kg TS]

Parameter		MAD	Quellen	RSD	Quellen	BRMD	Quellen
Cd	m_v	10,00	15	29,00	12	0,29	12;15
	c_0	0,01	9	<0,01	5;6	0,06	11
Cr	m_v	15,00	3	24,00	3	1,10	3
	c_0	0,21	9;10	0,03	5;10	0,02	10;13;14;16
Fe	m_v	18,00	1;2	36,00	1	6,00	1
	c_0	20,00	10	0,21	5	36,00	14
Hg	m_v	0,56	15	0,48	12	0,02	15
	c_0	0,01	10	<<0,01	5	0,03	11
NH_4-N	m_v	700,00	4	260,00	15	40,00	Annahme
	c_0	900,00	Annahme	65,00	15	21,00	8;13;16
P	m_v	310,00	1	100,00	1	12,00	1
	c_0	6,00	16	1,00	Annahme	1,00	Annahme
Pb	m_v	39,00	12	20,00	17	1,80	12
	c_0	0,15	9;10	0,02	5;10	0,01	8;13;14;16
TOC	m_v	950,00	4	740,00	17	35,00	errechnet nach 8
	c_0	1250,00	Annahme	41,00	2;10	14,00	errechnet nach 8
Zn	m_v	32,00	2;7	20,00	17	36,00	12;15
	c_0	0,96	9	0,24	2;10	0,10	11

1) Belevi und Baccini (1989), 2) Brunner et al. (2001), 3) BUWAL (1995), 4) Ehrig und Brinkmann (1999), 5) Hjelmar (1996), 6) Johnson et al. (1999), 7) Krümpelbeck et al. (2001), 8) Laner et al. (2010), 9) Lorber et al. (2004), 10) Obersteiner et al. (2007), 11) Stäubli (1992), 12) Van der sloot et al. (1994) ,13) Stegmann et al. (2006), 14) Weber et al. (2002), 15) Zimmermann et al. (1996), 16) Wolfgarten (2010), 17) Belevi et al. (1992)

Bei den Tabelle 6-91 genannten Werten ist zu beachten, dass teilweise keine exakten Daten je Deponietyp vorhanden waren. Deshalb wurde zur Bestimmung der initialen Stoffkonzentration c_0 im Deponiesickerwasser teilweise auf Untersuchungen von Deponiesickerwässer (unterschiedlichen Alters) zurückgegriffen und der mobilisierbare Anteil m_v auf Basis der angegebenen Quellen abgeschätzt. Die angegebenen Werte zu m_v und c_0 sollten deshalb nur als Anhaltspunkt, um zukünftige Sickerwasserkonzentrationen abzuschätzen, betrachtet werden. Während des Deponiebetriebs wird das anfallende Sickerwasser einer entsprechenden Behandlung zugeführt. Eine Untersuchung des Umweltbundesamtes (Schachermayer und Lampert 2009) zeigte, dass rund 50 % der erhobenen Deponien das anfallende Sickerwasser in die Kanalisation einleiten während die anderen das Sickerwasser am Standort behandeln. Das am Standort behandelte Sickerwasser wird vorwiegend in einen Vorfluter eingeleitet. Die möglichen Behandlungsverfahren reichen von einer biologischen (Nitrifikation und Denitrifikation) über physikalische (Filtration und Umkehrosmose) bis zur chemischen Behandlung (Fällung, Neutralisation etc.). Das gereinigte Sickerwasser wird in Fließgewässer eingeleitet und die Reststoffe deponiert. In den meisten Fällen sind mehrere Verfahren hintereinandergeschaltet. Unabhängig davon, ob das Sickerwasser am Standort selbst oder in einer kommunalen Kläranlage behandelt wird, wird die Reinigung des Deponiesickerwassers und die Entsorgung der Rückstände innerhalb des Systems „österreichische Abfallwirtschaft“ berücksichtigt. Als Rückhalteraten werden durchschnittliche Werte österreichischer Kläranlagen angenommen (Keppler et al. 2010, BMLFUW 2014b).

Tabelle 6-92: Deponiesickerwässer - Rückhalteraten

Parameter	Rückhaltevermögen [%]
TOC	95
NH_4	80
P	90
Cd	63
Cr	54
Fe	60 (Annahme)
Hg	92
Pb	89
Zn	84

Ergebnisse

Im ersten Schritt wurden auf Basis der Wasserhaushaltsgrößen (siehe Gleichung 6-4) die anfallende Sickerwassermenge aller Deponien Österreichs je Deponietyp (siehe Tabelle 6-93) errechnet.

Tabelle 6-93: Wasserhaushaltsgrößen je Deponietyp in m³/a

	MAD	RSD	BRMD	IAD
Niederschlag [m³/a]				
1-25y	13.078	126.863	64.002	64.002
25-100y	13.078	126.863	64.002	64.002
101-1.000y	13.078	126.863	64.002	64.002
Verdunstung [m³/a]				
1-25y	6.539	63.432	32.001	32.001
25-100y	6.539	63.432	32.001	32.001
101-1.000y	6.539	63.432	32.001	32.001
Oberflächenabfluss [m³/a]				
1-25y	2.616	25.373	12.800	12.800
25-100y	5.885	57.088	28.801	28.801
101-1.000y	2.616	25.373	12.800	12.800
Sickerwasser [m³/a]				
1-25y	3.924	38.059	19.200	19.200
25-100y	654	6.343	3.200	3.200
101-1.000y	3.924	38.059	19.200	19.200

Im zweiten Schritt wurden die Frachten und Konzentrationen der Deponiesickerwässer für 1 Jahr sowie die Emissionspotentiale für 1-100 und 1-1.000 Jahre ermittelt (siehe Gleichung 6-5). In Tabelle 6-94 und Abb. 6-19 bis Abb. 6-21 sind die Ergebnisse der Abschätzung dargestellt.

Tabelle 6-94: Frachten[t] im Deponiesickerwasser für 1y, 100y, 1.000y

Parameter	Zeitraum	MAD	RSD	BRMD	IAD
TOC	1y	4,5	1,5	0,3	0,2
	1-100y	51,4	55,5	4,6	4,4
	1-1.000y	53,1	376,7	5,6	5,3
NH_4-N	1y	3,2	2,4	0,4	0,4
	1-100y	37,8	67,6	5,8	5,4
	1-1.000y	39,2	132,3	6,4	6
P	1y	0,02	0,04	0,02	0,02
	1-100y	0,90	1,47	0,74	0,70
	1-1.000y	22,01	35,72	18,02	17
Cd	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	1-100y	<0,01	<0,01	0,04	0,04
	1-1.000y	0,02	0,08	1,06	1
Cr	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	1-100y	0,03	0,04	0,01	0,01
	1-1.000y	0,75	0,89	0,29	0,3
Fe	1y	0,07	0,01	0,34	0,3
	1-100y	2,81	0,31	13,16	12,4
	1-1.000y	68,40	7,50	320,85	301,8
Hg	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	1-100y	0,02	<0,01	0,02	0,02
	1-1.000y	0,19	<0,01	0,45	0,4
Pb	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	1-100y	0,02	0,03	<0,01	<0,01
	1-1.000y	0,53	0,74	0,09	0,09
Zn	1y	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
	1-100y	0,14	0,34	0,07	0,07
	1-1.000y	3,53	8,39	1,80	1,7

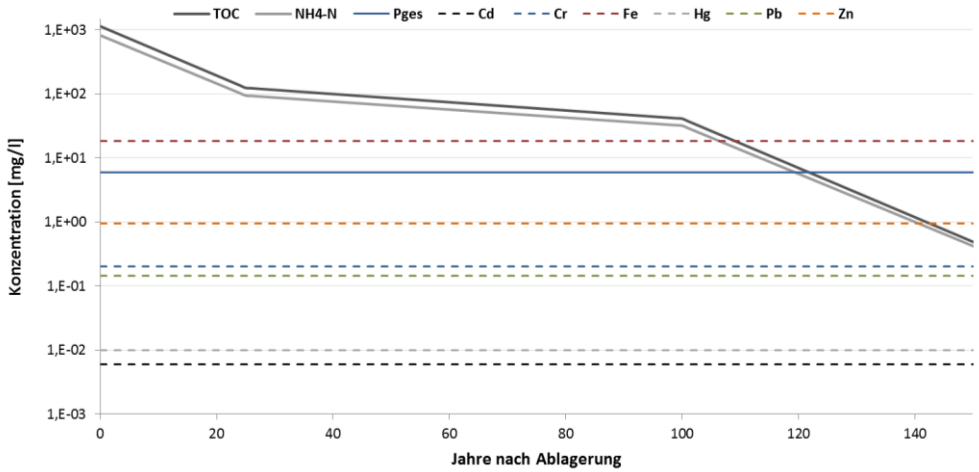


Abb. 6-19: Sickerwasserkonzentrationen [mg/l] der im Jahr 2012 abgelagerten Abfälle auf MAD

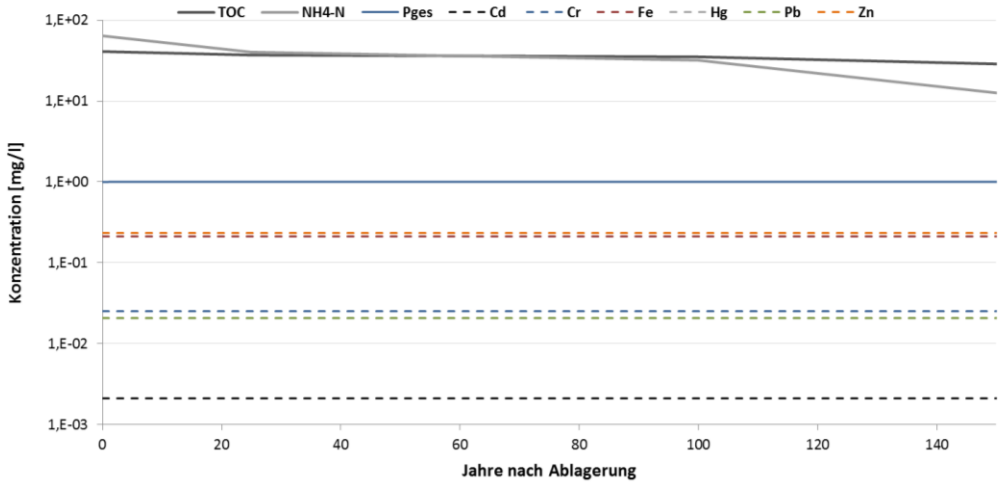


Abb. 6-20: Sickerwasserkonzentrationen [mg/l] der im Jahr 2012 abgelagerten Abfälle auf RSD

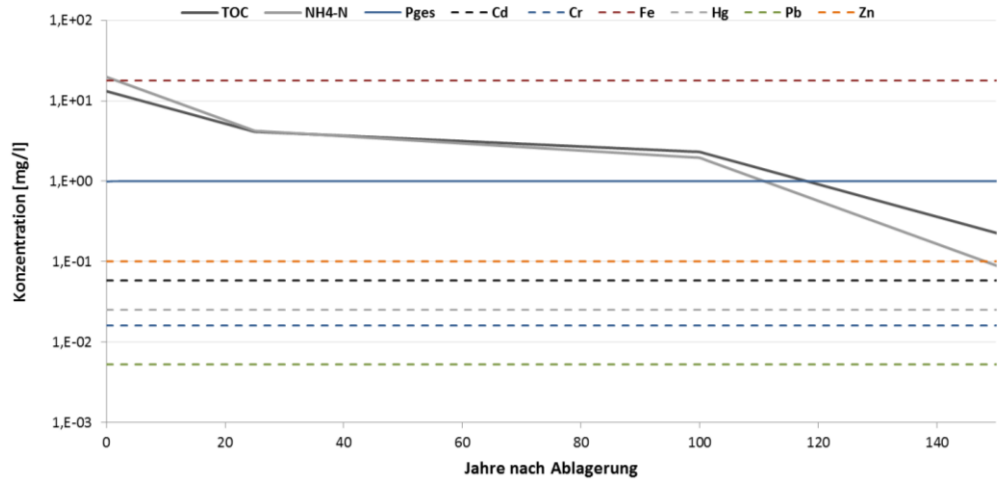


Abb. 6-21: Sickerwasserkonzentrationen [mg/l] der im Jahr 2012 abgelagerten Abfälle auf BRMD

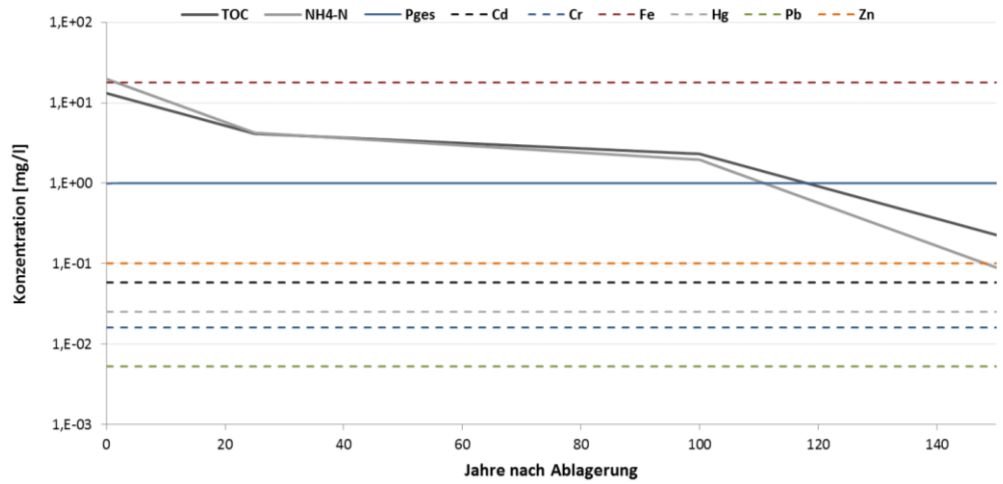


Abb. 6-22: Sickerwasserkonzentrationen [mg/l] der im Jahr 2012 abgelagerten Abfälle auf IAD

Da angenommen wird, dass in den ersten 100 Jahren nach Abfallablagerung die technischen Einrichtungen und somit die Deponiesickerwasserbehandlung funktionstüchtig sind, entsteht durch die Sickerwasserbehandlung

einerseits das Permeat (gereinigtes Sickerwasser) und andererseits das Konzentrat (Reststoffe im Zuge der Reinigung). Das Permeat wird in einen Vorfluter eingeleitet. Das Konzentrat wird zur Volumens- und Gewichtsreduktion eingedickt und anschließend an befugte Sammler und Behandler übergeben und meist untertage deponiert. Auf der Güterebene wird davon ausgegangen, dass aus der Sickerwasserbehandlung rund 1 % als Konzentrat verbleibt.

Die Output-Fraktionen der Deponiesickerwasserbehandlung für den Zeitraum von einem Jahr und 1-100 Jahre sind in folgender Tabelle 6-95 aufgelistet.

Tabelle 6-95: Deponiesickerwasserbehandlung: Frachten [t] für 1y und 1-100y im Konzentrat und Permeat

Parameter	Zeitraum	MAD		RSD		BRMD		IAD	
		Konz.	*Perm.*	*Konz.*	*Perm.*	*Konz.*	*Perm.*	*Konz.*	*Perm.*
TOC	1y	4,3	0,2	1,5	0,1	0,2	0,01	0,2	0,01
	1-100y	48,8	2,6	52,8	2,8	4,4	0,2	4,2	0,2
NH_4-N	1y	2,6	0,7	1,9	0,5	0,3	0,01	0,3	0,07
	1-100y	30,2	7,56	54,1	13,5	4,6	1,1	4,3	1,1
P	1y	0,02	<0,01	0,03	<0,01	0,02	<0,01	0,02	0,00
	1-100y	0,81	0,09	1,32	0,15	0,67	0,07	0,6	0,07
Cd	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
	1-100y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,40	0,08	0,4	0,08
Cr	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,00	0,00
	1-100y	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe	1y	0,04	0,03	0,01	0,00	3,19	0,63	3,4	0,6
	1-100y	1,68	1,12	0,29	0,18	122,88	24,13	130,6	24,1
Hg	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	1-100y	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,02	0,00
Pb	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	1-100y	0,02	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zn	1y	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	1-100y	0,12	0,02	0,29	0,06	0,06	0,01	0,06	0,01

6.6.4 CP-Anlagen

Bei den CP Anlagen existieren eine Vielzahl verschiedener Anlagentypen und Technologien mit einer Vielzahl an verschiedenen behandelten Abfallarten. Der Output aus den CP-Anlagen war aufgrund der starken Abhängigkeit vom Input schwer zu bestimmen bzw. hochzurechnen. Gerade bei gefährlichen Abfällen ist oft auch keine "typische" Zusammensetzung einer Abfallart beschreibbar. Zudem ist die Zuordnung von Abfällen zu einer Schlüsselnummer kein Garant für eine weitgehend ähnliche Zusammensetzung der Abfälle. Grundlegende Stoffdaten für alle CP-Anlagen einer Anlagenkategorie wie CPO, CPA, CPO/CPA sind nicht verfügbar. Anlagenspezifische Abfallzusammensetzungen werden meist nicht publiziert. Viele Stoffdaten und Transferkoeffizienten werden, da gesetzlich nicht vorgeschrieben, routinemäßig auch nicht untersucht und sind daher unbekannt. Die angegebenen Daten wurden soweit möglich mit Literaturdaten belegt. Teilweise wurden verfügbare anlagenspezifische Einzeldaten verwendet, die aber nicht für alle Anlagen repräsentativ sind. Die verfügbaren Datensätze sind jedoch hinsichtlich Bezugsjahr, Methode der Erhebung und Umfang der Studien unterschiedlich. Im Fall, dass keine Daten aus Literatur bzw. Industrie (insbesondere zur qualitativen Bestimmung der Abfallströme) vorlagen, wurde von einer Expertengruppe in einem Workshop eine Abschätzung getroffen und Stoffdaten bzw. Transferkoeffizienten angenommen. Sinn und Zweck der chemisch-physikalischen Abfallbehandlung ist neben der Rückgewinnung von verwertbaren Anteilen, die Vorbehandlung von (gefährlichen) Abfällen zur anschließenden stofflichen Verwertung oder thermischen Behandlung, die Abtrennung von Schadstoffen aus wässrigen Lösungen, die Reduktion des Gefährdungspotenzials und der Masse an zu deponierenden Abfällen und auch die Immobilisierung von Schadstoffen vor einer Deponierung.

Die zur Behandlung der Abfälle eingesetzten Technologien werden folgendermaßen eingeteilt:

- **Physikalische Verfahren:** Verfahren zur stofflichen Trennung. Dazu gehören beispielsweise Filtration/Entwässerung, Sedimentation und Zentrifugieren, Eindampfung und Destillation, Strippung, Membranverfahren, Adsorption, Flotation, chemische Emulsionsspaltung, Ionenaustausch.
- **Chemische Verfahren:** Verfahren zur Stoffumwandlung. Dazu zählen die Neutralisation/Fällung, Entgiftung (Reduktion, Oxidation), Elektrolyse, Nassoxidation, biologische Behandlung.

Es werden grundsätzlich zwei Arten von chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen, je nach Art des zu behandelnden Abfalls, unterschieden werden, die in den nachfolgenden Unterkapiteln kurz beschrieben werden. Neben den beiden Anlagentypen (CPO, CPA), die sich vorwiegend durch den Input und die darauf abgestimmten Behandlungsverfahren unterscheiden, werden auch Kombinationsanlagen (CPO/CPA) in Österreich betrieben, die sowohl organische als auch anorganische Abfälle behandeln. Derzeit sind 45 chemisch-physikalische Behandlungsanlagen zur Behandlung organischer (CPO-Anlagen) und/oder anorganischer (CPA-Anlagen) Abfälle in Betrieb, die eine Behandlungskapazität von ca. 1,1 Mio. Tonnen aufweisen. Der Hauptinput in lässt sich in folgende Kategorien einteilen (BMLFUW 2014a):

- **flüssiger und feststoffhaltiger organisch belasteter Abfall**, z.B. Emulsionen, Feststoff und ölhaltige Wässer, Öl- und Benzinabscheideinhalte, Rückstände aus Tankreinigungen u. ä..
  Herkunft: Betriebe der Metalle und Mineralöle verarbeitenden Industrie sowie aus Tankstellen und Kraftfahrzeug-Werkstätten.
- **flüssiger und feststoffhaltiger anorganisch belasteter Abfall,** z.B. Säuren, Laugen, Cyanid, Nitrit, chromat- und schwermetallhaltige Abwässer und Dünnschlämme
  Herkunft: aus der Metalle verarbeitenden, der elektro-technischen - und der galvano-technischen Industrie.
  Anlagen zur Verfestigung und Stabilisierung von Abfällen werden ebenfalls diesem Anlagentyp zugerechnet.

In Tabelle 6-96 wird eine aktuelle Übersicht der CP-Anlagen und deren Kapazitäten in Österreich gegeben.

Tabelle 6-96: Übersicht CP-Anlagen in Österreich (BMLFUW 2014a); („O" resp. „A" stehen für org. resp. anorganische Behandlung)

Bundesland	CPA	CPO	CPA/CPO	Gesamt	Kapazität in t/a
Burgenland	0	2	1	3	6.500
Kärnten	0	1	1	2	13.300
Niederösterreich	2	5	1	8	72.400
Oberösterreich	1	2	4	7	348.250
Salzburg	0	1	2	3	35.000
Steiermark	2	6	1	9	127.300
Tirol	0	3	1	4	40.650
Vorarlberg	0	1	1	2	91.700
Wien	6	0	1	7	426.400
Österreich	**11**	**21**	**13**	**45**	**1.161.500**

6.6.4.1 CPO-Anlagen

In CPO-Anlagen werden flüssige und feststoffhaltige organisch belastete Abfälle behandelt. Diese bestehen zumeist aus Wasser und Beimengungen aus Ölen oder Fetten. Dazu zählen beispielsweise Öl- und Benzinabscheiderinhalte, ölhaltige Reinigungsgewässer, flüssige ölhaltige Betriebsmittel, Rückstände aus Tankreinigungen und ähnliches. Die aufgeführten Abfälle stammen zumeist aus Betrieben der metall- und mineralöleverarbeitenden Industrie oder auch aus Tankstellen und Kraftfahrzeug-Werkstätten. Zielsetzung der Abfallbehandlung in CPO-Anlagen ist es, Feststoffe, Öl- und Wasserphasen zu separieren, um idealerweise saubere Abwässer und verwertbare, konzentrierte Ölphasen zu gewinnen. Je nach Beschaffenheit kann diese Phase einer stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt werden. Je nach Art des zu behandelnden Abfalles können die einzelnen Verfahrensschritte und -kombinationen variieren. In Vorbehandlungsschritt

werden beispielsweise ölhaltige Schlämme mittels 3-Phasen-Trennung (Sedimentation, Flotation, Flockung usw.) in eine Öl-, eine Öl-/Wasser-, und eine Feststoffphase getrennt. Die Öl- und Feststoffphase wird in der Regel der thermischen Verwertung zugeführt. Eine Nachbehandlung der Ölphase, um den Wassergehalt zu vermindern, ist zudem möglich. Die abgetrennte Emulsion und Öl-/Wasserphase wird zur weiteren Behandlung einer Emulsionsspaltung (z.B. Ultrafiltration) zugeführt. Dabei wird wiederum die Öl- von der Wasserphase getrennt. Die Wasserphase wird je nach anorganischer Schadstoffbelastung einer Nachbehandlung unterzogen. Dadurch wird ein einleitfähiges Abwasser erhalten. Zudem ist ein spezielles Ablufterfassungs- und Abluftreinigungssystem integriert. Neben der eigentlichen Abfallbehandlung sind Teilschritte wie die Eingangskontrolle, Zwischenlagerung und die Analytik der Abfälle beinhaltet. Die Eingangskontrolle inkludiert sowohl den Abgleich der Daten des gelieferten Abfalls mittels Begleitschein als auch die Erstabschätzung der Abfalltauglichkeit für die Anlage, das Aussuchen einer geeigneten Behandlungsmethode für den jeweiligen Abfall, und die Abschätzung des dabei entstehenden Aufwands.

6.6.4.2 CPA-Anlagen

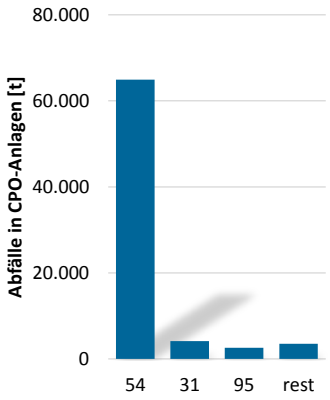
In CPA-Anlagen werden flüssige und feststoffhaltige anorganisch belastete Abfälle behandelt. Darunter fallen Säuren, Laugen, Cyanid, Nitrit, chromat- und schwermetallhaltige Abwässer und Dünnschlämme. Diese Abfälle resultieren zumeist aus Verarbeitungsprozessen der Metallindustrie, aus der Elektrotechnischen und aus der Galvanotechnischen Industrie. Unter die CPA-Anlagen fallen auch Anlagen zur Verfestigung und Stabilisierung von Abfällen. Ähnlich wie in der CPO-Anlage wird der angenommene Abfall kontrolliert und analysiert, um ein geeignetes Verfahrensmodell zu entwickeln. Danach erfolgt im Vorbehandlungsschritt die Abtrennung von Feststoffen mittels Flotation oder Filtration. Weiters wird die Entgiftung der toxischen Stoffe durch Oxidation oder Reduktion, die Neutralisation von Säuren und Laugen, das Abtrennen von fällbaren Inhaltsstoffen (z.B. Schwermetalle) und die Entwässerung der resultierenden Schlammphase durchgeführt. Daneben kann auch die Rückgewinnung von Wertstoffen (Edel- und Buntmetalle) mittels Verfahren wie Elektrolyse, Ionenaustausch oder Verdampfung angestrebt werden. Am Ende der Behandlungsschritte soll, ähnlich der CPO-Anlagen, ein Abwasser erhalten werden, welches ins öffentliche Kanalsystem eingeleitet werden kann. Auch hier wird die Abluft erfasst und gereinigt.

6.6.4.3 CP-Behandlung Musteranlagen: Qualitative und quantitative Stoffströme

Auf Basis des Bundesabfallwirtschaftsplans 2011 (BMLFUW 2011) und Statusberichtes 2013 (BMLFUW 2014a) sowie Daten aus dem EDM über die Abfallkategorien wurden die Ströme errechnet. Die CP-Anlagen zeichnen sich durch eine Vielzahl an Behandlungsverfahren aus. So zählen u.a. auch Verfestigungsanlagen, Bodenwäscheanlagen oder Anlagen zur Behandlung von medizinischem Abfall zu dieser Anlagengruppe. Die Vielfalt an unterschiedlichen Behandlungsmethoden stellte bei der Modellierung eine Herausforderung dar, zumal hier Vereinfachungen getroffen werden mussten. Da der Abfalloutput sehr stark vom Anlageninput abhängig ist und es keine belastbaren Literaturdaten bzw. veröffentlichten Studien über die Detailzusammensetzungen verschiedener Anlagentypen gibt, können hier nur Musteranlagen mit einer geschätzten Zusammensetzung des In- bzw. Outputs definiert werden. Insgesamt wurden im gegenwärtigen Projekt drei Musteranlagen definiert.

6.6.4.3.1 Musteranlage CPO

Der typische geschätzte Anlageninput ist in Tabelle 6-97 dargestellt. Die Betriebsmittel (Aktivkohle, HCl, NaOH, $FeCl_3$, organische Spaltmittel, mineralische Spaltmittel) können mit rund 0,5 % abgeschätzt werden. Von den quantiativ betrachteten Abfällen weden in Summe rund 75.000 Tonnen in CPO-Anlagen behandelt. Der größte Anteil kann der Schlüsselnummergruppe 54 „Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodutken“ zugeordnet werden.



31 *Abfälle mineralischen Ursprungs (ohne Metallabfälle)*
54 *Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten*
95 *Flüssige Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen*

Abb. 6-23: chemisch-physikalisch behandelte (organische) Abfälle 2012

Der typische Output aus CPO-Anlangen setzt sich großteils aus Abwasser und Schlämmen zusammen (siehe Tabelle 6-97).

Tabelle 6-97: Typischer Input und Output aus CPO-Anlagen (Annahme)

Fraktion	Input [%]	Output [%]
Öl-Wasser/Emulsionen	48	
Ölabscheider, Sandfanginhalte	35-40	
Säuren, Laugen	4	
Prozesswasser	10	
Betriebsmittel	0,5	
Abwasser		90
Schlamm		8
Öl mit schlechter Qualität (> 15 % Wasser)		0,5
nicht spaltbare Emulsionen		1,5

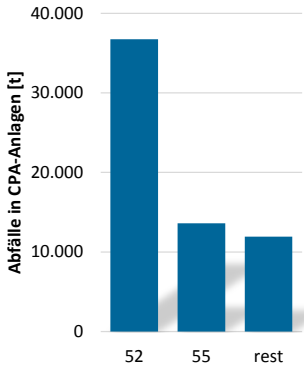
Der überwiegende Anteil der Abfälle aus CPO-Anlagen (99 %) wird in weiteren Anlagen behandelt (1/3 thermisch und 2/3 deponiert). 1 % der Emissionen gehen in das Wasser. Emissionen in Boden, Luft bzw. Produkt, Lager sind verhältnismäßig niedrig und gehen gegen 0 %. Auch der Abfallexport kann mit 0 % angesetzt werden. Für CPO-Anlagen werden folgende Transferkoeffizienten angenommen.

Tabelle 6-98: Transferkoeffizienten für CPO-Anlagen (Annahme)

Gut/Stoff	Emissionen	Abfall in weiter Anlagen	Quellen
Gut	**0,01**	**0,99**	*„Die Transferkoeffizienten beruhen nur teilweise auf abgesicherten und durch Literatur belegten Daten. Viele Daten beruhen auf Einzelwerten oder Schätzungen von Experten. Auf diesen Daten aufbauende Ergebnisse und Schlüsse müssen die Unsicherheit der zugrunde liegenden Daten berücksichtigen.“*
Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb	0,01	0,99	
C, P, Zn	0,05	0,95	
Cl	0,70	0,30	
N, S	0,10	0,90	

6.6.4.3.2 Musteranlage CPA

Aufgrund der sehr stark schwankenden und von Fall zu Fall spezifischen Input- und Outputzusammensetzung konnte keine typische Verteilung benannt werden. Von den quantitativ betrachteten Abfällen werden rund 60.000 Tonnen Abfälle in CPA-Anlagen behandelt wurden. Rund 60 % des Inputs kann der Schlüsselnummergruppe 52 „Abfällen von Säuren, Laugen und Konzentraten“ zugeordnet werden.



52 *Abfälle von Säuren, Laugen, Konzentraten*

55 *Abfälle von organischen Lösemitteln, Farben, Lacken, Klebstoffen, Kitten und Harzen*

Abb. 6-24: Chemisch-physikalisch behandelte (anorganische) Abfälle 2012

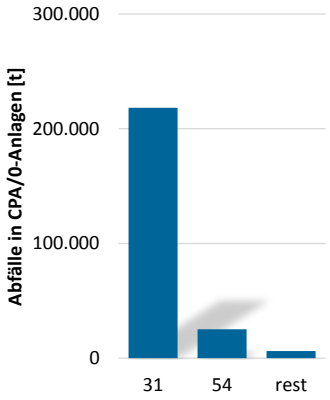
Als Abfalloutput fallen diverse Schlämme, wässrige Konzentrate und zementverfestigte Abfälle an. Der überwiegende Anteil der Abfälle aus CPA-Anlagen (97 %) wird auf Deponien abgelagert. Die Emissionen in Wasser, Boden und Luft sind mit jeweils 1 % vergleichsweise gering. Die Emissionen in das Produkt, der Abfallexport sowie die Weiterbehandlung in nachgeschaltete Anlagen kann mit 0 % angesetzt werden. Für CPA-Anlagen werden folgende Transferkoeffizienten angenommen.

Tabelle 6-99: Transferkoeffizienten für CPA-Anlagen (Annahme)

Gut/Stoff	Emissionen	Abfall in weiter Anlagen	Quellen
Gut	**0,03**	**0,97**	*„Die Transferkoeffizienten beruhen nur teilweise auf abgesicherten und durch Literatur belegten Daten. Viele Daten beruhen auf Einzelwerten oder Schätzungen von Experten. Auf diesen Daten aufbauende Ergebnisse und Schlüsse müssen die Unsicherheit der zugrunde liegenden Daten berücksichtigen.“*
Cd, C, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, N, Pb, Zn	0,03	0,97	
P	0,05	0,95	

6.6.4.3.3 Musteranlage CPO/A (inkl. Schlacken- und Aschenaufbereitung)

Rund 250.000 Tonne Abfällen wurden im Jahr 2012 in Anlagen für organische und anorganische Abfälle behandelt. Der größte Anteil kann der Schlüsselnummergruppe 31 „Abfälle mineralischen Ursprungs“ zugeordnet werden. Der Input in Anlagen zur Schlacken- und Aschenaufbereitung beträgt rund 200.000 Tonnen.



31 *Abfälle mineralischen Ursprungs (ohne Metallabfälle)*

54 *Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten*

Abb. 6-25: Chemisch-physikalisch behandelte (organisch-anorganische) Abfälle 2012

Ähnlich wie bei den CPO-Anlagen geht der überwiegende Anteil der Abfälle (99 %) in weitere Behandlungsanlagen. 1 % der Emissionen gehen in das Wasser. Emissionen in Boden, Luft bzw. Produkt, Lager sind nicht relevant und können wie der Abfallexport mit 0 % angesetzt werden. Für CPO/A-Anlagen werden folgende Transferkoeffizienten angenommen.

Tabelle 6-100: Transferkoeffizienten für CPO/A-Anlagen (Annahme)

Gut/Stoff	Emissionen	Abfall in weiter Anlagen	Quellen
Gut	**0,01**	**0,99**	*„Die Transferkoeffizienten beruhen nur teilweise auf abgesicherten und durch Literatur belegten Daten. Viele Daten beruhen auf Einzelwerten oder Schätzungen von Experten. Auf diesen Daten aufbauende Ergebnisse und Schlüsse müssen die Unsicherheit der zugrunde liegenden Daten berücksichtigen.“*
Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb	0,01	0,99	
C, P, Zn	0,05	0,95	
Cl	0,70	0,30	
N, S	0,10	0,90	

6.6.5 Weitere Abfallbehandlungsanlagen

6.6.5.1 Anlagen zu Behandlung von Elektro- und Elektroaltgeräten

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Charakterisierung der Outputfraktionen und Zuordnung zu Behandlungswegen für Elektroaltgeräten nach den 5 Gerätekategorien der österreichischen EAG Verordnung (EAG 2005): Großgeräte, Kühlgeräte, Bildschirme, Elektrokleingeräte und Gasentladungslampen.

Für jede dieser Kategorien wurden basierend auf einer Literaturauswertung die Outputfraktionen nach der Erstbehandlung identifiziert und eine Zuordnung nach Emissionen (Wasser, Luft, Boden), stofflicher Verwertung („Produkt“) und Abfälle in weitere Anlagen und Export vorgenommen. Die Mengenanteile der untersuchten Materialien und Elemente sind basierend auf den Daten der Inputanalyse berechnet. Als Datenquelle für die Zuordnung der Outputströme nach Behandlungsart wurden überwiegend Daten nach Tesar und Öhlinger (2008) herangezogen. Die Massenströme wurden dem Tätigkeitsbericht 2012 der Elektroaltgeräte Koordinierungsstelle entnommen.

Für die Analyse der Outputfraktionen nach der Erstbehandlung wurden relevante Fraktionen (z.B. Metalle, Glas, Kunststoffen usw.) aufgrund ihres wirtschaftlichen Potentials oder ihrer Umweltrelevanz gewählt und weiter analysiert.

Für die Zuordnung der Outputströme nach Behandlungsart wurde, wenn keine detaillierteren Daten zur Verfügung standen eine allgemeine Verwertungsquote für Metalle von 95% für alle Gerätekategorien festgelegt, die bisherigen Erfahrungswerten entspricht. Für die anderen Materialien (z.B. Glas, Kunststoffe) wurden Angaben aus Tesar und Öhlinger (2008) sowie ergänzende Literaturquellen verwendet. Anzumerken ist, dass das Bezugsjahr für die Daten aus der Studie Tesar und Öhlinger (2008) das Jahr 2006 ist.

<u>Outputfraktionen aus der Behandlung von Bildschirmgeräten</u>

Für die Metalle Fe, Al, Cu und Zn, welche für diese Unterkategorie wesentlich (ca. 9 Gew-%) sind, wurde die generelle Verwertungsquote von 95 % gewählt. Die restlichen 5 % werden demzufolge beseitigt. Aus der Inputanalyse ist zu erkennen, dass in dem Teilstrom „Bildschirmgeräte“ ein Anteil an Antimon von ca. 207 mg/kg vorhanden ist. Antimon wird überwiegend als Flammhemmer in Kunststoffen eingesetzt. Über die weitere Behandlung von Kunststoffen aus EAG in Österreich liegen nur wenige Daten vor, es wurde angenommen, dass der gesamte Kunststoffanteil (und damit auch das enthaltene Sb) der thermischen Behandlung zugeführt wird. Die Verwertung, Exportierung und Beseitigung von Bildschirmglas wurde aufgrund der vorhandenen Daten aus Studie Tesar und Öhlinger (2008) festgelegt. Die Daten an möglichen Transportverlusten bzw. Emissionen sind nicht verfügbar. Die weitere Behandlung von Kunststoffen wurde auf Basis der vorhandenen Daten aus der Studie Tesar und Öhlinger (2008) berechnet. Für ca. 19 % der gesamten gesammelten Menge von Kunststoffen

ist die Art der Weiterbehandlung unbekannt. Kondensatoren haben nach Tesar und Öhlinger (2008), einen durchschnittlichen Massenanteil von 0,23 % und werden zusammen mit Kondensatoren aus anderen Teilströmen als gefährlicher Abfall thermisch behandelt. Bei der Aufarbeitung von CRT – Geräten ist mit Staubemissionen bei der Bildröhrentrennung sowie bei Zerkleinerungsprozessen zu rechnen. Bei Flachbildschirmen mit Gasentladungslampen als Hintergrundbeleuchtung treten in Abhängigkeit von dem Anteil an zerbrochenen Lampen Hg-Emissionen auf. Für beide Arten von Bildschirmen liegen keine belastbaren Daten zu diesen Emissionen vor. In Tabelle 6-101 sind die Transferkoeffizienten dargestellt. Die Transferkoeffizienten der Stoffe Al, Cu, Fe und Zn beziehen sich nur auf Metalle. Sb geht als Anteil in Kunststoffen in die thermische Behandlung.

Tabelle 6-101: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Bildschirmgeräten

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen	Export	unbekannt
Gut	**0,12**	**0,14**	**0,71**	**0,03**
Al	0,95	0,05		
Cu	0,95	0,05		
Fe	0,95	0,05		
Sb		1,00		
Zn	0,95	0,05		

Outputfraktionen aus der Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten

In den Kühl- und Gefriergeräten sind folgende Metalle in relevanten Mengen zu finden: Fe und verschiedene Fe – Legierungen (65 %), Al (3,2 %) Cu (2,5 %). Wie bei Bildschirmgeräten wird die generelle Verwertungsquote für Metalle von 95 % angenommen.

Wesentliches Thema bei der Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten stellt die Handhabung von FCKWs dar. Nach Salhofer et al. (2003) ist damit zu rechnen, dass während der Sammlung und des Transports von Kühl- und Gefriergeräten durchschnittlich 17,4 % der ursprünglich enthaltenen FCKWs durch Beschädigung der Geräte in die Atmosphäre entweichen. Diese Menge wurde zusätzlich zu den von Tesar und Öhlinger (2008) angeführten Mengen aus der Behandlung berücksichtigt. Nach der Erstbehandlung wurde ca. 4 % der in den Kühl- und Gefriergeräten ursprünglich enthaltenen FCKWs in Österreich thermisch behandelt, und ca. 78 % FCKWs werden exportiert, der Rest sind Transportverluste. Laut RAL (2007) darf der Restgehalt nicht größer als 0,2 Gew-% im PUR-Schaum sein und die rückgewonnene Kältemittelmenge nicht kleiner als 90Gew-% der Summe der Kältemittel-Mengen gemäß Angaben auf den Typenschildern der Kühlgeräte betragen. Über den Verbleib der Kunststoffe aus der Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten liegen keine detaillierten Informationen vor. In Tabelle 6-80 sind die Transferkoeffizienten dargestellt. Die Transferkoeffizienten der Stoffe Al, Cr, Cu, Fe und Ni beziehen sich nur auf Metall. FCKWs werden großteils exportiert.

Tabelle 6-102: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen	Export	Emissionen	unbekannt
Gut	**0,68**	**0,04**	**<0,01**	**<0,01**	**0,27**
Al	0,95	0,05			
Cr	0,95	0,05			
Cu	0,95	0,05			
Fe	0,95	0,05			
Ni	0,95	0,05			
FCKW		0,04	0,79	0,17	

Outputfraktionen aus der Behandlung von Großgeräten

In den Großgeräten sind folgende Metalle in relevanten Mengen zu finden: Fe (42,5 %), Al (4,5 %), Cu (0,95 %), Zn (0,01 %). Mangels genauerer Daten wurde auch hier eine Verwertungsquote für Metalle von 95 % angenommen.

Stabilisierungselemente aus Beton stellen mit rd. 18 Gew. % einen wichtigen Teilstrom dar. Davon werden ca. 77 % recycelt und als Bauschutt wiederverwendet und der Rest wird direkt als Wegbaumaterial eingesetzt. Die

Kondensatoren machen, laut Tesar und Öhlinger (2008) durchschnittlich 0,1 % der Gesamtmasse aus und werden zusammen mit Kondensatoren aus anderen Teilströmen als gefährlicher Abfall thermisch behandelt. Über den Verbleib der Kunststoffe aus der Behandlung von Großgeräten liegen keine detaillierten Informationen vor. In älteren Waschmaschinen wurden PCB-haltige Kondensatoren eingebaut. Wenn sie nicht im Rahmen der Schadstoffentfrachtung entnommen wurden, werden sie im Shredder aufgebrochen und auf die Outputfraktion verteilt. Die Transferkoeffizienten der Stoffe Al, Cu, Fe und Zn beziehen sich nur auf Metalle.

Tabelle 6-103: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Großgeräten

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen	unbekannt
Gut	**0,64**	**0,03**	**0,33**
Al	0,95	0,05	
Cu	0,95	0,05	
Fe	0,95	0,05	
Zn	0,95	0,05	

Outputfraktionen nach der Behandlung von Kleingeräten

Kleingeräte sind eine inhomogene Gerätekategorie, die sich aus unterschiedlichen Teilströmen zusammensetzt: so sind hier Haushaltsgeräte (Unterkategorie 1C, 2), Geräte der Informations- und Kommunikationstechnologie (Unterkategorie 3A), Unterhaltungselektronik (Unterkategorie 4A) und eine ganze Reihe weiterer Kleingeräte (Unterkategorie 5-9) beinhaltet. Dem entsprechend wurden die genannten Unterkategorien mit Daten hinterlegt und diese anschließend entsprechend den Massenanteilen zusammengeführt. Mehr noch als bei anderen Kategorien ist hier zu beachten, dass die dargestellten Outputströme nur die in genehmigten Anlagen nach Stand der Technik behandelten Mengen abbilden. Kleingeräte finden sich aber auch in anderen Abfallströmen, beispielweise Rest- und Sperrmüll sowie Schrottfraktionen. In Kleingeräten sind folgende Metalle in relevanten Mengen zu finden: Fe (rd. 39 %), Cu (rd. 4,6 %), Al (rd. 1,9 %). Für die Zuordnung zu Outputströmen werden Transferkoeffizienten nach Morf und Taverna (2004) herangezogen. In der Behandlung von Kleingeräten stellt der Umgang mit Leiterplatten (ca. 6 Gew-%) aufgrund einer hohen Konzentration an gefährlichen Stoffen, einen wichtigen Behandlungsschritt dar. Laut Tesar und Öhlinger (2008) werden Leiterplatten in Österreich nach der Erstbehandlung entweder mechanisch zerkleinert und Metalle (Fe, Cu, Al) separiert oder direkt an die Hütten übergeben. Diese beiden Behandlungsschritte finden sowohl in Österreich als auch im Ausland statt. Die Mengenanteile sind derzeit nicht bekannt. Die Kondensatoren machen laut Tesar und Öhlinger (2008) durchschnittlich 0,14 % der Gesamtmasse aus und werden zusammen mit Kondensatoren aus anderen Teilströmen als gefährlicher Abfall thermisch behandelt. In Kleingeräten ist ein gewisser Anteil von Batterien (2.500 mg/kg) enthalten, welcher einen besonderen Abfallteilstrom ausmacht. Die gesammelten Batterien werden im gesamten Ausmaß weiterbehandelt. Emissionen: bei Zerkleinerungsprozessen (Shredder o.ä.) treten Staubemissionen auf, allerdings werden diese entsprechend der eingesetzten Technologie durch Abluftreinigungssysteme aufgefangen und in Filtern abgeschieden. Bei der Aufbereitung von Kunststoffen mit Flammhemmern kann es zur Freisetzung von halogenierten Verbindungen kommen. Eine Studie aus Schweden (Sjödin et al. 1999) zeigt, dass Beschäftige in einer Recyclinganlage für Elektroaltgeräte deutlich höhere Konzentrationen von PBDEs im Blut aufwiesen als die Kontrollgruppen. Dies ist allerdings ein vereinzelter Befund, der keine allgemeinen Rückschlüsse zulässt. Die Transferkoeffizienten der Stoffe Al, Cu, Fe und Zn beziehen sich nur auf Metalle.

Tabelle 6-104: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Kleingeräten

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen	unbekannt
Gut	**0,64**	**0,03**	**0,33**
Al	0,95	0,05	
Cu	0,95	0,05	
Fe	0,95	0,05	
Zn	0,95	0,05	

Outputfraktionen nach der Behandlung von Gasentladungslampen

In den Gasentladungslampen ist bei den Metallen nur Al in einer Konzentration von 1,4 Gew-% relevant. Für die Gasentladungslampen wird die allgemeine Verwertungsquote von 95 % angenommen. Laut Tesar und Öhlinger (2008) wird die Glas-Fraktion fast ausschließlich (ca. 94 %) für die weitere Behandlung ins Ausland exportiert. Ein Behandlungsweg für das Glas aus Sonderformen ist derzeit nicht bekannt. Quecksilber ist in Beleuchtungskörpern in einer Konzentration von 60 mg/kg zu finden. Laut Sander et al. (2013) entweicht während der Sammlung und Transport ca. 5 % der ursprünglichen Masse in die Atmosphäre. Ca. 80 % des ursprünglich enthaltenen Quecksilbers wird exportiert und der Rest wird weiter in Österreich behandelt. Die Seltenen Erden, v.a. Yttrium und Europium, sind im Leuchtpulver enthalten und kommen in einer durchschnittlichen Konzentration von 800 mg/kg vor. Die gesamte gesammelte Menge wird exportiert. Daten zu direkten Emissionen aus Behandlungsprozessen liegen nicht vor, es ist vor allem mit der Freisetzung von Hg zu rechnen.

Tabelle 6-105: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Gasentladungslampen

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen	Export	Emissionen	unbekannt
Gut	0,01	<0,01	0,93	<0,01	0,06
Al	0,95	0,05			
Hg		0,15	0,80	0,05	
Y+Eu			1,00		

6.6.5.2 Shredderanlagen für Metallabfälle (inkl. Vor-Behandlung von Altfahrzeugen)

Zur Behandlung von Metallabfällen sowie metallhaltigen Produktionsrückständen stehen in Österreich sechs Großshredderbetriebe und diverse Post-Shredderanlagen zur Verfügung. Das Kerngeschäft von Shredderbetrieben liegt in der Sammlung bzw. Übernahme von Metallabfällen, der Aufbereitung und Chargierung der Metalle sowie dem Handel mit den erzielten Metallfraktionen. Neben Neuschrotten/Produktionsrückständen werden in Groß-Shredder-Anlagen folgende Metallabfälle eingesetzt: diverser Misch- und Sammelschrott (u. a. Haushaltsschrott aus der kommunalen Sammlung) (> 50 %), Elektro- und Elektronikaltgeräte (ca. 10 %), Altfahrzeuge gemäß Altfahrzeugeverordnung (ca. 16 %), Material aus der Verpackungsmetallsammlung (< 10 %), Fraktionen aus der mechanischen Aufbereitung von Siedlungsabfällen (MVA- und MBA-Schrott) (ca. 10 %) (BMLFUW 2014a). Die Vorbehandlung (Schadstoffentfrachtung, Demontage verwertbarer Bauteile) von Altfahrzeugen gem. Altfahrzeugeverordnung, wird von mehreren hundert Kfz-Reparaturwerkstätten, Kfz-Händlern sowie von Altauto- und Altmetallverwertern übernommen. Neben Groß-Shreddern verfügen diese Betriebe auch über Schrottscheren sowie über diverse Anlagen zur weiteren Abtrennung von NE-Metall-Fraktionen wie Wirbelstromscheider, Sink-Schwimm-Anlagen oder Sensortrennanlagen. Der Anlagenbestand in Österreich wird in Tabelle 6-106 dargestellt.

Tabelle 6-106:Übersicht Shredderbetriebe in Österreich (BMLFUW 2014a)

Bundesland	Anzahl	Anlagentyp	Kapazität in t/a
Niederösterreich	2	Großshredder	200.000
Oberösterreich	1	Großshredder	80.000
Steiermark	1	Großshredder	120.000
Tirol	1	Großshredder	50.000
Vorarlberg	1	Großshredder	80.000
Summe Großshredder	**6**		**530.000**
Niederösterreich	1	Post-Shredder	120.000
Oberösterreich	1	Post-Shredder	95.000
Steiermark	1	Post-Shredder	69.800
Summe Post-Shredder	**3**		**284.800**

Die Abfallströme in Shredderbetrieben gliedern sich in folgende Abfallströme:

- Fe/Stahl-Schrott

- NE-Schrott und NE-angereicherte Fraktionen
- Shredder-Schwerfraktion
- Shredder-Leichtfraktion
- Filterstäube und Nasswäscherrückstände

Eisen-/Stahl-Schrott wird in österreichischen und ausländischen Stahlwerken verwertet. NE-Fraktionen werden entweder direkt oder nach weiterer Aufkonzentrierung in entsprechenden Metallaufbereitungsanlagen in NE-Hütten/Schmelzen und Gießereibetrieben eingesetzt. Die Shredderrückstände werden großteils in weiteren Verfahrensschritten in entsprechenden Aufbereitungs- oder sogenannten Post-Shredder-Anlagen (drei Anlagen) in weitere Eisen- und NE-Fraktionen, Kunststofffraktionen sowie in heizwertreiche und heizwertarme Restfraktionen aufgetrennt. Letztere werden deponiert; heizwertreiche Restfraktionen werden in Abfallverbrennungsanlagen (Klärschlammverbrennung, Verbrennung von gemischtem Siedlungsabfall) sowie in industriellen Mitverbrennungsanlagen (z.B. in der Zementindustrie) thermisch behandelt. Die Kunststofffraktionen werden u.a. im Hochofen eines Stahlwerkes eingesetzt oder werkstofflich verwertet. Neben den Groß-Shredder-Anlagen werden Metallabfälle in einer Vielzahl von Betrieben des Schrott- und Metallhandels sortiert. Mindestens 14 Betriebe betreiben Schrottscheren, um Metallabfälle für den anschließenden Einsatz im Stahlwerk zu zerkleinern. Zur mechanischen Aufbereitung von diversen NE-metallhaltigen Abfällen (z.B. Fraktionen aus Großshredder- oder EAG-Behandlungsanlagen, Kabelabfälle, Leiterplatten) stehen weitere Anlagen zur Verfügung. (BMLFUW 2014a)

Musteranlage Shredder: Qualitative und quantitative Stoffströme

Ähnlich wie bei anderen Anlagentypen wurde auch bei den Shredderanlagen eine Musteranlage als Referenz definiert. Inputseitig wurde für diese Anlage folgende Verteilung angenommen (siehe Tabelle 6-107):

Tabelle 6-107: Input in Shredderanlagen (Annahme)

Fraktion	[%]
Verpackungen	8
EAG groß	8
EAG klein	3
Altfahrzeuge	16
Misch- und Sammelschrott	55
MVA-Schrott	5
MBA-Schrott	5

Demgegenüber steht die Verteilung des Outputs (siehe Tabelle 6-108):

Tabelle 6-108: Output aus Shredderanlagen (Annahme)

Fraktion	[%]
Eisen	70-75
Ne-Metallmix	5-8
Rest	20-25
(Rest) Shredderleichtfraktion	65-70
(Rest) Shredderschwerfraktion	30-35

Der NE-Metallmix setzt sich zu ca. 30 % aus Rotmetallen und 70 % aus Graumetallen zusammen. In den Rotmetallen sind die Metalle Kupfer (60 %), Messing, Rotguss etc. (40 %) zu finden. Der Grauguss wiederum setzt sich zu 70 % Aluminium und ca. 30 % Magnesium + Legierungen zusammen. Diese Annahmen beruhen auf Expertenschätzungen.

Somit können inputseitig für die Behandlung der Abfälle pro Jahr für Anlagen dieses Typs folgende Abfallkategorien mengenmäßig definiert werden und demgegenüber die Verteilung der Outputmengen gestellt werden (siehe Tabelle 6-109).

Tabelle 6-109: Input in Shredderanlagen (Musteranlage – Annahme)

Fraktion	Input [t]
Metallabfälle	540.000
sortierte Altmetalle	360.000
Metalle aus Abfallverbrennungsanlagen	46.000
Metalle aus der Sortierung von Siedlungsabfällen	52.000
Metalle aus der Sortierung vor biotechnischer Behandlung	31.000
Summe	**1.000.000**

95 % Prozent der behandelten Abfälle gehen in definierte metallische Produkte. Die restlichen 5 % werden als Abfall in anderen Anlagen behandelt. Emissionen in Luft, Wasser, Boden sind zu vernachlässigen, ebenso der Abfallexport sowie der Aufbau eines Lagers und gehen somit mit 0 % ein. Die Großteils auf Schätzwerten basierenden Angaben sind in Tabelle 6-110 aufgelistet:

Tabelle 6-110: Transferkoeffizienten für Shredderanlagen

Stoffe/Gut	Produkt	Abfall in weitere Anlagen
Gut	0,95	0,05
Ag	0,95	0,05
Al	0,95	0,05
As	0,70	0,30
Au	0,95	0,05
Ba	0,70	0,30
Be	0,70	0,30
Cd	0,70	0,30
Cl	0,10	0,90
Co	0,95	0,05
C	0,10	0,87
Cr	0,95	0,05
Cu	0,95	0,05
Fe	0,98	0,02
Hg	0,90	0,10
Mn	0,98	0,02
Mo	0,98	0,02
Ni	0,98	0,02
N	0,90	0,10
P	0,90	0,10
Pb	0,90	0,10
S	0,90	0,10
Sb	0,90	0,10
Se	0,90	0,10
Sn	0,90	0,10
Tl	0,90	0,10
V	0,98	0,02
Zn	0,98	0,02

Die Transferkoeffizienten beruhen nur teilweise auf abgesicherten und durch Literatur belegten Daten. Viele Daten beruhen auf Einzelwerten oder Schätzungen von Experten. Auf diesen Daten aufbauende Ergebnisse und Schlüsse müssen die Unsicherheit der zugrunde liegenden Daten berücksichtigen.

6.6.5.3 Ex-Situ - mikrobiologische Bodenbehandlung

Ziel der Bodenbehandlung ist einerseits das Erreichen der Grenzwerte zur Deponierung und andererseits die Herstellung von Materialien für die Verwertung. In einer Erhebung des Umweltbundesamtes (Thaler und Walter 2012) wurden 18 Ex-Situ Bodenbehandlungsanlagen näher betrachtet. Davon konnten 9 der mikrobiologischen Behandlung zugeordnet werden. Weiters kommen thermische und chemisch-physikalische Verfahren zum Einsatz. In diesen Abschnitt wird nur das mikrobiologische Verfahren näher betrachtet. Laut Statusbericht 2013

fielen in Summe rund 140.000 Tonnen ölverunreinigte Böden an (SN 31423 und 54504) welche zu rund 95 % (zum Teil nach Behandlung) deponiert wurden (BMLFUW 2014a).

In dieser Studie wird angenommen, dass rund 100.000 Tonnen verunreinigte Böden der mikrobiologischen Bodenbehandlung zugeführt werden. Mikroorganismen können Kohlenstoffverbindungen und weitere organische Verbindungen zu Wasser und Kohlendioxid umwandeln. Abwasser wird meist als Prozesswasser geführt und rezirkuliert. Die Abluft wird erfasst und über einen Filter (z.B. Aktivkohle) gereinigt, welcher nach Funktionstüchtigkeit als Abfall anfällt. Trotz der sehr ausführlichen Studie des Umweltbundesamtes können aufgrund mangelnder Datengrundlage die Transferkoeffizienten nur geschätzt werden. Es wird angenommen, dass 95 % des Inputs nach Behandlung deponiert und 5 % verwertet werden.

6.6.5.4 Aufbereitungsanlagen für Baurestmassen

Die Anlagen zur Aufbereitung von Baurestmassen können grob in drei Klassen eingeteilt werden:

- Anlagen zur Aufbereitung mineralischer Abfällen (Bauschutt, Betonabbruch, Straßenaufbruch, Bitumen und Asphalt)
- Anlagen zur Aufbereitung von Gleisschotter
- Anlagen zur Aufbereitung von Baustellenabfällen (qualitative Behandlung)

Anlagen zur Aufbereitung von mineralischen Abfällen

Anlagen zur Aufbereitung von Bauschutt, Straßenaufbruch und Betonabbruch können zusätzlich noch folgend unterteilt werden:

- Mobile Aufbereitungsanlagen (trockene Verfahren)
- Stationäre Aufbereitungsanlagen (trockene und nasse Verfahren)

Diese Verfahren bestehen aus den Schritten (händische) Sortierung, Zerkleinerung, (Sichtung), Siebung. Wobei bei den trockenen Verfahren eine Abtrennung der Leichtfraktion (Kunststoffe, Holz,…) durch eine Windsichtung erfolgt und andererseits bei nassen Verfahren zum selben Zweck mittels Sink-Schwimm-Verfahren gearbeitet wird. Bei mobilen Anlagen, wird meist auf den Windsichter verzichtet. Fe-Metalle werden bei nahezu allen Anlagen mittels Magnetabscheider aussortiert. NE-Metall-Abscheider kommen in Österreich bei der Baurestmassenverwertung nicht zum Einsatz. Je nach angewandten Verfahren ergeben sich unterschiedliche Abscheideraten und Transferkoeffizienten. Herr Car (Baustoff-Recycling Verband) bestätigte im Interview die untergeordnete Rolle von stationären und vor allem stationären nassen Aufbereitungsanlagen. Mehr als 90 % der mineralischen Abfälle werden ausschließlich einem Brech- und Sieb- sowie Metallabscheideprozess unterzogen. Auf Grund entsprechender getrennter Sammlung auf der Baustelle wird der Eintrag von Verunreinigungen in die Recycling-Produkte schon vorzeitig minimiert.

Für Straßenaufbruch, Asphalt und Bitumen besteht die Möglichkeit einer sogenannten „heißen Verwertung“. Dabei wird das gebrochene Material in Asphaltmischanlagen eingesetzt. Unter Zugabe von primären Rohstoffen können bis zu 60 Masse-% Altasphalt zur Herstellung neuer Asphaltmischungen herangezogen werden. Eine andere Möglichkeit ist das In-Place-Heißverfahren, das in Österreich von untergeordneter Bedeutung ist. Hauptverwertungsweg ist nach wie vor die kalte Verwertung (bis zu 90 Masse-%) des Straßenaufbruchs und damit der Einsatz als ungebundener Baustoff oder als stabilisierter Baustoff im Straßenbau. Eine wichtige Grundlage für die Verwertung von mineralischen Abfällen stellt die Richtlinie des Baustoff-Recycling Verbandes dar, welche Qualitätsklassen von Recycling-Baustoffen mittels Eluat- und Gesamtgehalt-Grenzwerten definiert. Je nach Qualitätsklasse können die Baustoffe in unterschiedlich sensiblen hydrogeologischen Regionen eingesetzt werden. Diese Grenzwerte gelten für alle aufbereiteten Abfälle aus dem Bauwesen gleich. Die Massenverteilung der produzierten Recycling-Baustoffe bzw. eine Aufteilung in Qualitätsklassen ist derzeit nicht verfügbar. Es kann nur auf Basis der in den Anlagen produzierten Qualitätsklassen gemutmaßt werden, dass der größte Anteil an Recycling-Baustoffen aus dem Tiefbau und auch Hochbau der Qualitätsklasse A unterliegt (vgl. Tabelle 6-111). Die Anlagenliste wurde der Website des Österreichischen Baustoff-Recyclingverbandes

entnommen. Es kann auch abgeleitet werden, dass die höhere Recycling-Baustoffqualität aus den mineralischen Abfällen des Tiefbaus (z.B. Straßenbau) stammt.

Tabelle 6-111: Anlagenanzahl je Recycling-Baustoff und Qualitätsklasse

Qualitäts-klasse	Anlagenanzahl									
	Tiefbau					Hochbau				
	RA	RB	RAB	RM	RG	RZ	RHZ	RH	RMH	RS
A+	4	5		1	6				2	
A	16	20		11	5	1	2		16	3
B	1	3				2			6	1

Abkürzungen: *rezykliertes gebrochenes Asphaltgranulat (RA), rezykliertes gebrochenes Betongranulat (RB), rezykliertes gebrochenes Asphalt/Beton Mischgranulat (RAB), rezykliertes gebrochenes Mischgranulat aus Beton und/oder Asphalt und natürlichem Gestein (RM), rezykliertes gebrochenes Ziegelgranulat (RZ), rezykliertes gebrochenes Hochbau-Ziegelgranulat (RHZ), rezyklierter gebrochener Hochbausplitt, -sand (RH), rezyklierte mineralische Hochbaurestmassen (RMH), rezyklierter gebrochener Recyclingsand (RS)*

Transferkoeffizienten für die Verwertung von mineralischen Abfällen aus dem Bauwesen können vor allem auf Basis von Schachermayer et al. (1998) abgeschätzt werden. Die Transferkoeffizienten schwanken selbst in dieser Studie stark.

Somit sind die Angaben der Transferkoeffizienten ähnlichen Unsicherheiten unterlegen, wie die Angaben zu Aufkommen, Verwertung und Zusammensetzung des Inputmaterials. Ausgehend von den Angaben nach Clement et al. (2011) gilt für die meisten Aufbereitungsanlagen, die Aussage von Herrn Car, u.z. dass über 80 Masse-% der mineralischen Baustoffe in mobilen Anlagen gebrochen werden. Ob die Transferkoeffizienten nach Schachermayer et al. (1998) auch für mobile Anlagen gelten, müsste geprüft werden. In dieser Studie wird angenommen, dass die Aufteilung von 80 Masse-% in mobilen Anlagen und 20 Masse-% in stationär trockenen Anlagen ausschließlich für die Fraktion Bauschutt gilt. Für alle anderen Fraktionen wird eine ausschließliche Verwertung in mobilen Anlagen angenommen. In beiden Anlagentypen wird Eisenschrott abgetrennt, wobei ca. 25 Masse-% des Fe-Inputgehalts als Eisenschrott aussortiert wird. Der Rest verbleibt als geogen gebundener Stoff in den mineralischen Bestandteilen, da eine ca. 95 prozentige Abtrennung des Eisenschrotts angenommen wird. Der Eisenschrottanteil für Bauschutt bzw. Betonabbruch in Schachermayer et al. (1998) lag bei lediglich 0,2 Masse-%. Für die in Schachermayer et al. (1998) betrachteten Abfälle werden der Leichtfraktion, welche einer anschließenden thermischen Verwertung zugeführt wird, ca. 15 Masse-% des TOC-Gehalts vom Inputmaterial zugeordnet. Schwefel, Chrom und Cadmium können zu 3 Masse-% der Leichtfraktion zugeordnet werden. Für die restlichen Inhaltsstoffe wird angenommen, dass ca. 1,5 Masse-% des Inputs in die Leichtfraktion übergeht. In 4 Probendurchläufen identifizierten Schachermayer et al. (1998) einen Leichtfraktionsanteil von 0,05-4 Masse-%, wobei drei Werte im Bereich von 1 Masse-% lagen. Die Transferkoeffizienten in dieser Studie basieren somit auf ca. 1 Masse-% abgetrennte Leichtfraktion. Bei trockenen Aufbereitungsverfahren, gehen die restlichen Inhaltsstoffe in Recyclingbaustoffe bzw. das Deponiegut über. Eine Differenzierung zwischen Recycling-Produkt und Deponiegut ist derzeit nicht möglich. Deshalb wird in dieser Studie angenommen, dass die relativen Stoffkonzentrationen des Deponieguts mit jenen der Recycling-Baustoffe übereinstimmen und nur eine Aufteilung auf Güterflussbasis durchgeführt wird. D.h. mit Ausnahme des Einflusses von Leichtfraktion bei 15 Masse-% der verwerteten Masse sowie der Abtrennung des Eisenschrottanteils, erfolgt die Aufteilung zwischen Produkt und Deponierung anhand der Recyclingquote für die Fraktionen „Straßenaufbruch, Bitumen und Asphalt, Betonabbruch und Bauschutt“.

Ausgehend von Schachermayer et al. (1998) wurden zusammenfassend folgende Annahmen getroffen:

- Abtrennung der Leichtfraktion (ca. 1 Masse-%) ausschließlich beim Bauschutt wobei angenommen wurde, dass 15 Masse-% des TOC, sowie 3 Masse-% von Cd, S und Cr und jeweils 1,5 Masse-% aller anderen Stoffe in die Leichtfraktion übergehen
- Abtrennung einer Fe-Fraktion bei allen Abfallfraktionen wobei durchschnittlich ca. 25 Masse-% in eine reine Fe-Fraktion übergehen

- Die Transferkoeffizienten für die Deponierung ergeben sich aus dem Masseverhältnis zwischen Deponierung und Verwertung.
- Die restlichen Stoffe gehen in das Produkt „mineralische Recycling-Baustoffe“ über.

Nachdem die Eignung als Recycling-Baustoff jedoch oftmals von den Eluatgehalten bzw. einer ökonomisch möglichen Entfrachtung von Störstoffen abhängt, kann der Einfluss auf unterschiedliche Gesamtgehalte für Deponiegut und Produkt auch gering ausfallen. Die aus den oben ausgeführten Randbedingungen abgeschätzten Transferkoeffizienten sind in Tabelle 6-112 dargestellt. Wie auch die stoffliche Zusammensetzung weisen die Transferkoeffizienten, auf Grund einer exemplarischen Abbildung auf Basis einer einzigen Studie große Unsicherheiten auf, welche eine Anwendung der Transferkoeffizienten in anderen Studien nur unter Angabe und Ausweisen der in dieser Studie dargestellten Datenlücken sowie deren Reflexion ermöglicht.

Tabelle 6-112: Transferkoeffizienten Abfälle aus dem Bauwesen

Stoff	mineralisches Produkt	LF-Fraktion thermisch	Fe-Metalle Produkt	Deponie
Al	0,899	0,002		0,1
Cd	0,92	0,003		0,077
Co	0,924	0,001		0,01
Cr	0,888	0,004		0,108
Cu	0,922	0,001		0,077
Fe	0,656	0,002	0,25	0,093
Hg	0,877	0,002		0,12
H_2O	0,875	0,002		0,123
N	0,928	0,001		0,071
Pb	0,898	0,002		0,1
S	0,907	0,003		0,09
TOC	0,926	0,01		0,063

Anlagen zur Aufbereitung von Gleisschotter

Nachdem im Kapitel 1.1.1 keine Inputzusammensetzung von Gleisschotter erhoben werden konnte, wird in diesem Kapitel auch auf die Transferkoeffizienten verzichtet. Generell wird der Großteil des verwerteten Gleisschotters jedoch durch gleisgebundene Anlagen direkt als Tragschicht bei der Erneuerung des Gleisbetts eingebracht. Aufbereiteter Gleisschotter, welcher für andere Zwecke eingesetzt werden soll, unterliegt ebenfalls der Richtlinie für Recycling-Baustoffe.

6.6.5.5 Anlagen zur Sortierung und Verwertung von Altstoffen

In diesem Kapitel wird sowohl auf die Sortierung als auch die stoffliche Verwertung getrennt erfasster Altstoffe eingegangen. Es werden getrennt erfasst Altstoffe sowohl aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen als auch aus Gewerbe und Industrie berücksichtigt. Die Sortierung (Vorbehandlung) ist der erste Behandlungsschritt. Ziel der Vorbehandlung ist die Verbesserung der Qualität der Abfälle, um die weitere Verwertung zu erleichtern. Die dazu eingesetzten Verfahren sind der mechanischen Behandlung (z.B. Klassierung, Sortierung, Fe- und NE-Metallabscheidung) bzw. Konfektionierung (z.B. Zerkleinerung, Trocknung, Pelletierung) zuzuordnen. Teilweise sind diese Anlagen funktionell und räumlich direkt mit einer Verwertungsanlage verbunden.

In Österreich wurden 2012 136 Sortier- und Aufbereitungsanlagen mit einer Kapazität von mehr als 2,6 Millionen Tonnen betrieben. Darin sind sowohl Anlagen enthalten, die getrennt erfasste Altstoffen als auch Anlagen, die gemischte Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen sowie Gewerbe und Industrie behandeln. Anlagen, die funktionell und räumlich direkt mit einer Verwertungsanlage verbunden sind, sind hier nicht mit erfasst (BMLFUW 2014a). Nach der Sortierung bzw. teilweise auch ohne vorherige Sortierung erfolgt die Verwertung der getrennt erfassten Altstoffe. Zur stofflichen Verwertung von getrennt erfassten Altstoffen wurden in Österreich 2012 66 Anlagen mit einer Kapazität von mindestens 4,7 Millionen Tonnen betrieben.

Tabelle 6-113: Anlagen zur stofflichen Verwertung von getrennt erfassten Altstoffen in Österreich 2012 (BMLFUW 2014a)

Altstofffraktion	Anzahl der Anlagen
Altpapier, Pappe, Wellpappe und Kartonagen	17
Altglas	6
Altkunststoffe	22
Altholz	4
Altmetalle (FE- und NE-Metalle)	17

6.6.5.5.1 Sortierung und Verwertung von Altpapier

Im Jahr 2012 wurden in Österreich 1.446.600 t Altpapier in Haushalten, Gewerbe und Industrie getrennt gesammelt (BMLFUW 2014a). Im haushaltsnahen Bereich werden Papierverpackungen gemeinsam mit anderen Papiererzeugnissen – wie Zeitungen, Zeitschriften, Drucksorten gesammelt. Der Anteil an Papierverpackungen in der kommunalen Altpapiersammlung lag 2012 bei 13,2 %. Über die Geschäftsstraßenentsorgung (GESTRA) und Recyclinghöfe werden Verpackungen aus Papier, Karton, Pappe und Wellpappe sortenreinen erfasst (ARA 2013). Ca. ein Viertel des Inlandsaufkommens an Altpapier wird exportiert. Das in Österreich verwertete Altpapier stammt ca. zur Hälfte aus dem Inland. Die andere Hälfte wird importiert (Austropapier 2013).

Das Altpapier aus dem gewerblichen/industriellen Anfall und wird in der Regel nicht oder nur sehr grob sortiert, das Altpapier aus der Haushaltssammlung wird zu ca. 2/3 ‚vollsortiert' i. e. in deinkbare Ware und ‚Verpackungen'. Es geht dabei vor allem um die Abtrennung von Verpackungen aus Papier und Karton sowie um das Aussortieren von Störstoffen, wie Kunststoffe, Glas, Metalle, Textilien etc. Das getrennt erfasste Altpapier enthält durchschnittlich ca. 1-3 % Störstoffe. Bei der Sortierung bleiben durchschnittlich ca. 75 % als höherwertiges Altpapier (Zeitungen, Magazine, Druck- und Schreibpapier) übrig, das für die Verwendung im Deinking-Prozess geeignet ist ("Deinking-Fraktion"). Ca. 25 % werden bei der Sortierung als gemischte Altpapier-Fraktion aussortiert. Die gemischte Fraktion enthält vor allem Verpackungen und wird je nach dem Anteil an ‚brauner Ware' (Wellpappe) in Qualitäten unterschieden. Gemischte Ware geht eher in die Produktion von Faltschachtel-/Graukarton, braunere' Ware in die Produktion von Wellpappe-Rohpapieren. Die Sortierung von Altpapier geschieht durch Altpapierhändler, Entsorger oder direkt in den Papierfabriken (Brunner et al. 2001, JRC-IPTS 2011b) und Auskunft von Austria Papier Recycling GmbH)

Die Verwertung des österreichischen Altpapiers erfolgt im Inland in 17 Anlagen (BMLFUW 2014). Die Produktionskapazitäten der Anlagen, die Altpapier einsetzen, reichen von 10.000 Tonnen bis zu 540.000 Tonnen pro Jahr. Dort werden Hygienepapiere, Magazinpapiere, Zeitungsdruckpapiere, Vorprodukte für die Verpackungserzeugung, Karton und Pappe erzeugt (Austropapier 2013, Austropapier 2014). Wobei die "Deinking-Fraktion" zur Herstellung hochwertiger Papiere, wie Magazin- und Zeitungsdruckpapier verwendet wird, und unsortiertes Altpapier und die gemischte Fraktion aus der Sortierung zur Erzeugung von Karton, Pappe und Wellenstoff verwendet werden.

Die Herstellung von Altpapierstoff beginnt mit der Auflösung des Altpapiers in der Auflösetrommel. Hierbei wird das Altpapier mit der bis zu hundertfachen Menge an Wasser vermischt und mechanisch zu einem wasserhaltigen Papierbrei zerfasert. Chemikalien werden hinzugefügt, um den pH-Wert einzustellen. Kunststoff- und Metallteile sowie andere im Altpapier enthaltene Fremdstoffe werden entfernt. Metallteile werden abgesiebt oder mit einem Magnetabscheider entfernt. Fremdstoffe mit einer höheren Dichte als Papierfasern können mit Hydrozyklonen abgetrennt werden. Siebe trennen Fremdstoffe, die größer als die Papierfasern sind, ab. Schwieriger zu entfernen sind Wachsbeschichtungen, Klebstoffe, Feuchtigkeit abweisende Materialien. Klebstoffe sind enthalten in Buchbindungen, Aufklebern, Umschlägen, Etiketten, Klebebändern, etc. Nach der Fremdstoffabtrennung können verschiedene chemische Operationen folgen, z.B. können Peroxide oder Hydrosulfite zur Aufhellung hinzugefügt werden. Anschließend werden die Faserstoffe mit Hilfsstoffen versetzt, wie z.B. mit Leimungsmitteln, die das Eindringen von Tinte und Wasser in das Papier reduzieren, oder mit Entschäumern. Füllstoffe, wie Ton, Kalk und Titandioxid, werden hinzugefügt, um Glanz und Opazität (Lichtundurchlässigkeit) einzustellen. Danach wird das Wasser vom Papierbrei getrennt. Dazu werden die

Faserstoffe in der Papiermaschine über Zylinder geführt, die mit Dampf beheizt werden und damit indirekt die Fasern zunächst pressen und anschließend trocknen (bis zu einem Wassergehalt von 5-6 %). Anschließend wird das fertige Papier geschnitten und entweder auf Rollen gewickelt oder als Bögen gebündelt und verpackt (JRC-IPTS 2011b, UPM 2012, Umweltbundesamt 2014).

Altpapier kann in bedruckt (Grafikpapier) und unbedruckt unterschieden werden. Wenn aus grafischem Altpapier neues Grafikpapier produziert werden soll, ist ein Deinking-Verfahren notwendig. Unter Deinken versteht man das chemisch-physikalische Entfernen der im Altpapier enthaltenen Druckfarben, um den Weißgrad des Altpapierstoffs zu erhöhen (ca. 70 % des gesamten Farbstoffs werden entfernt). Beim Deinking erfolgt nach dem Auflösen des Papiers und dem Entfernen von Fremdstoffen das Abtrennen der Druckfarben. Das am weitesten verbreitete Deinking-Verfahren in Europa ist das Flotationsverfahren. Beim Flotationsverfahren werden Natronlauge, Wasserglas (Natriumsilikat), Wasserstoffperoxid und ein Tensid (Seife) zugesetzt. Die Chemikalien unterstützen das Auflösen des Altpapiers und bewirken zusammen mit der mechanischen Beanspruchung, dass sich die Druckfarbe von den Fasern löst. Das Bleichmittel Peroxid wird zugesetzt um eine Vergilbung der Fasern durch Natronlauge zu verhindern. Es unterstützt außerdem die Ablösung der Druckfarben und kann zusätzlich einen Bleicheffekt (Zerstörung bleichempfindlicher Farbstoffe) bewirken. Da Peroxid leicht von Schwermetallionen zersetzt wird, wird Wasserglas als Peroxid-Stabilisator zugesetzt. Wasserglas unterstützt außerdem sowohl die Druckfarbenablösung als auch die Druckfarbenentfernung bei der Flotation. Bei der Flotation wird Luft in das Faser-Wasser-Gemisch eingeblasen. Die hydrophoben Druckfarbenpartikel lagern sich an den aufsteigenden Luftbläschen an, und der an der Oberfläche entstehende Schaum wird entfernt. Im Verlauf des Deinkens wird der überwiegende Teil der Chemikalien zerstört (z. B. Peroxid). Die Tenside werden mit dem Flotationsschaum entfernt. Nach der Flotation werden mittels Sortierung noch verbliebene Verunreinigungen aus dem Altpapierstoff entfernt. Abschließend wird der Altpapierstoff gewaschen und zur Papierherstellung eingesetzt (Arge Abfallvermeidung 2005, Wikipedia 2014a).

Die Mehrheit der Fabriken zur Aufarbeitung von Altpapier ist in die Papierherstellung integriert. Die Rohstoffe für die Papierproduktion auf der Grundlage von Recyclingfasern sind hauptsächlich Altpapier, Wasser, Energie, in Form von Dampf und elektrischer Energie, und chemische Zusatzstoffe (EU-Kommission 2001).

Die Rückstände und Emissionen bei der Verarbeitung von Altpapier umfassen grundsätzlich Abwasseremissionen, feste Abfälle und Abgasemissionen. Das Abwasser wird innerbetrieblich gereinigt (Kontrolle beim Ablauf der Abwasserreinigungsanlage: BSB_5, CSB und AOX Emissionen). Der Abwasserschlamm wird innerbetrieblich thermisch verwertet. Die dabei erzeugte Energie wird innerbetrieblich genutzt. Die festen Rückstände aus der Altpapier-Aufbereitung (Reject und Deinking-Rückstände) bestehen aus Schlämmen und Mischungen von anorganischem und organischem Material, wie z.B. Faserreststoffen (zu kurze und brüchige Papierfasern), Füllstoffen (Calciumcarbonat, Kaolin, Silikate), Extraktstoffen (Fette, lösliche Druckfarben- und Strichbindemittelbestandteile) sowie Feinstoffen (unlösliche Druckfarben- und Streichfarbenbestandteile, Klebstoffbestandteile). Die getrockneten Rückstände machen ca. 2 % der eingesetzten Altpapiermenge aus. Sie werden in den werkseigenen Kraftwerken zur Erzeugung von Strom und Wärmeenergie genutzt. Die nicht brennbaren Bestandteile bleiben als (eventuell verwertbare) Asche, als Schlacke und als Filterstaub zurück. Deinkingreststoffe können auch stofflich verwertet werden. Beispielsweise werden sie wegen des hohen Fasergehalts bei der Lochziegelherstellung als Porosierungshilfsmittel genutzt, denn beim Brennen der Ziegel hinterlassen die Fasern Hohlräume, die die wärmedämmende Wirkung der Ziegel verbessern. Deinkingreststoffe sind zudem für Zementherstellung, wegen des hohen Aluminiumgehalts (aus dem Kaolin, das u. a. im Papierstrich eingesetzt wird), geeignet. Je nach verwendetem Ton kann der Zusatz der Reststoffe die Zementqualität verbessern. Organische Substanzen wie die Papierfasern oder Rückstände aus Druckfarben verbrennen beim Brennen des Zements.

Abgasemissionen treten vor allem bei der Energieerzeugung durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in Kraftwerken sowie bei der innerbetrieblichen thermischen Verwertung der Reststoffe auf. Im Abgas enthalten sind vor allem CO_2, Staub, SO_2, NO_X und CO. Bei der Verbrennung inklusive Abgasreinigung fallen außerdem Asche, Schlacke und Filterstäube an (EU-Kommission 2001, JRC-IPTS 2011b). Durch das Schließen von Stoffkreisläufen und die hohe Zahl an Recyclingzyklen können sich auch unerwünschte Stoffe in den

Altpapierkreisläufen anreichern. Es handelt sich dabei um Chemikalien, die an Papierfasern gut haften und wasserlöslich sind, wie z.B. bestimmte Mineralölbestandteile in Druckfarben, Bisphenol A aus Kassenzetteln und gewisse Phthalate aus Klebstoffen. Diese Verunreinigungen gefährden z.B. den Einsatz von Altpapier als Lebensmittelverpackung oder im Hygienepapierbereich (Umweltbundesamt 2013).

Verschiedene Ökobilanzen belegen, dass der Altpapiereinsatz bei der Papierproduktion der meisten Papierarten den Holz-, Wasser- und Primärenergieverbrauch pro Tonne Papier senkt. Außerdem werden Abgasemissionen und Abwasseremissionen reduziert. So belegt eine Ökobilanz des deutschen Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2000 z.B. dass es wesentlich umweltverträglicher ist, grafische Papiere aus Altpapier herzustellen, als dafür frische Fasern aus dem Rohstoff Holz zu benutzen, und dass es wesentlich umweltverträglicher ist, Altpapier stofflich zu recyceln, als es zu verbrennen, um daraus Energie zu gewinnen. Ein ökologischer Vergleich des Heidelberger Instituts für Energie- und Umweltforschung (IFEU) von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff aus dem Jahr 2006 bestätigte die Einsparungen von Energie und Wasser und die Emissionsminderungen durch Recyclingpapier (IFEU 2006, JRC-IPTS 2011b, Umweltbundesamt 2013). Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Altpapier.

Tabelle 6-114: Angenommene Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Altpapier“ für ausgewählte Stoffe

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen	Abfallexport
Gut	**0,74**	**0,02**	**0,24**
Cl, C, Fe, N, P, S, Ca, K, Mg	0,74	0,02	0,24

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- 24 % des österreichischen Altpapiers werden exportiert (Austropapier 2013).
- Der Störstoffanteil im Altpapier liegt laut der verwendeten Quellen bei durchschnittlich 1 - 3 % (Brunner et al. 2001, JRC-IPTS 2011b) und wird hier mit 2 % angesetzt. (Da es sich um einen Sehr geringen Störstoffanteil handelt, wird als vereinfachende Annahme bei der Berechnung der Stoffkonzentrationen vernachlässigt, dass sich die stoffliche Zusammensetzung des Störstoffanteils von der des Altpapiers unterscheidet.)
- Das sortierte und das unsortierte Altpapier werden zur Herstellung von neuem Papier oder Karton eingesetzt.

Für die Verwertung der weiteren Papierabfälle von rund 400.000 Tonnen werden die gleichen Transferkoeffizienten gemäß Tabelle 6-114 angenommen.

6.6.5.5.2 Sortierung und Verwertung von Altglas

Im Jahr 2012 wurden in Österreich rund 286.500 t Altglas in Haushalten, Gewerbe und Industrie getrennt gesammelt (BMLFUW 2014). Davon waren rund 265.400 t Verpackungsglas (91.500 t Weißglas und 173.900 t Buntglas) und 21.100 t (7,4 %) Flachglas (BMLFUW 2014a). Zusätzlich sind rund 6.000 Tonnen Glasabfälle (z.B. Flachglas) der SN 31408 angefallen, welche nicht der Fraktion Altglas zugordnet werden.

Der Exportanteil der Altglassammelmenge schwankte in den Jahren 2000 bis 2012 zwischen 13 und 29 % und lag im Mittel bei ca. 20 %. Dabei handelt es sich um Altglas, das in den österreichischen Anlagen bedarfs- und qualitätsbedingt nicht mehr verarbeitet werden konnte. Dieses Altglas wurde zur Verwertung nach Deutschland, Italien und Tschechien exportiert. Gleichzeitig wird von den österreichischen Glaswerken Altglas importiert, da manche Scherben, wie z.B. Braunglas, in Österreich nicht in ausreichender Menge verfügbar sind (AGR 2013, BMLFUW 2014a).

Die Sortierung und Verwertung des im Auftrag der Austria Glas Recycling (AGR) getrennt gesammelten Verpackungsglases erfolgt in Österreich direkt in den Glaswerken, und zwar vor allem in den zwei Glaswerken der Vetropack Austria GmbH in Pöchlarn und Kremsmünster, in denen ausschließlich Verpackungsglas erzeugt

wird. Außerdem wird österreichisches Altglas in geringen Mengen in vier weiteren österreichischen Glaswerken eingesetzt: im Glaswerk der Stölzle Oberglas GmbH in Köflach, wo Verpackungsglas und weitere Glasarten wie Wirtschaftsglas, Medizinalglas, Parfümflakons, Beleuchtungsglas und Geschenkartikel aus Kristall erzeugt werden, und in drei weiteren Anlagen, wo z.B. Wirtschaftsglas, Pressglas, Scheinwerfergläser, technisches Glas, Beleuchtungsglas sowie Glaswolle und Dämmstoffe erzeugt werden (Fachverband der Glasindustrie 2013, BMLFUW 2014a).

Bevor das Altglas als Sekundärrohstoff wieder eingeschmolzen wird, wird es in den Glashütten sorgfältig sortiert, um Fehlwürfe und Fremdstoffe zu entfernen (ARA 2013). Dazu kommt das gesammelte Altglas, getrennt nach Bunt- und Weißglas, auf Förderbänder. Ein Magnetabscheider erfasst eisenhaltige Fremdstoffe, andere Fremdstoffe werden händisch aussortiert. Ein Brecher zerkleinert das Altglas auf die für den Schmelzvorgang erforderliche Scherbengröße (15 mm). Eine Lochsiebrinne siebt das zerkleinerte Altglas, das feinkörnige fällt dabei durch das Sieb und wandert zum zweiten Magnetabscheider. Fremdstoffe, die leichter als Glas sind (z.B. Kunststoffe), werden vor der Lochsiebrinne abgesaugt. Optische Verfahren erkennen lichtundurchlässige Fremdstoffe wie Keramik oder Aluminium und scheiden diese aus. Per Hand erfolgt eine Nachsortierung. Restliche eisenhaltige Stoffe entfernt ein weiterer Magnetabscheider aus dem zerkleinerten Altglas. Nach einer abschließenden Prüfung an der Kontrollstation ist das aufbereitete Altglas fertig zum Einsatz als Sekundärrohstoff bei der Produktion von neuen Glasverpackungen. Die aussortierten Fremdstoffe werden entweder weiter verwertet oder entsorgt (AGR 2010, AGR 2014).

Der Anteil der Fehlwürfe in der Altglassammlung beträgt abhängig von der Art des Sammelsystems und der Glasfraktion zwischen 1 % und 10 % und setzt sich wie folgt zusammen (jeweils bezogen auf die Gesamtsammelmenge) (Arge Abfallvermeidung 2005):

- 2 – 7 % Fehlfarben
- 0,2 – 6 % andere Glasarten, wie z.B. Geschirrglas, Leuchtstoffröhren, Glühbirnen, Hochtemperaturglas, Fenster, Spiegel, Bauglas
- 0,2 – 0,5 % Verschlüsse
- 0,2 – 0,4 % Keramik, Stein, Porzellan (KSP)
- 0,2 – 2 % sonstiger Müll

Die sorgfältige Abtrennung der Fehlwürfe ist sehr wichtig, da Störstoffe die in die Schmelze gelangen einerseits Maschinenschäden anrichten und damit Produktionsstillstände verursachen können. Andererseits können die Störstoffe die Qualität der Glasschmelze so stark beeinflussen, dass z.B. die gewünschte Festigkeit oder Homogenität des Glases nicht mehr gegeben ist und das Glas zum Ausschuss wird. Zu den besonders problematischen Fehlwürfen, die teilweise schwer auszusortieren sind, zählen folgende:

- Keramik, Steine, Porzellan (KSP) (verursachen kleinste, mit freiem Auge kaum sichtbare Haarrisse im Glas)
- Hochtemperaturgläser (schmilzt erst bei höheren Temperaturen als in der Glasschmelze herrschen und wird zu einer zähflüssigen Masse)
- Neonröhren, Bildschirme (enthalten Schwermetalle, das Glas wird verunreinigt (erhöhter Schwermetallgehalt) und die Einsatzquote von Altglas als Sekundärrohstoff muss gesenkt werden, um die Schwermetallgrenzwerte einzuhalten.
- Bleiglas (bleioxidhaltiges Glas, sogenanntes „Bleikristall“, enthält hohe Mengen an Blei (ca. 25 % Bleioxid) und verunreinigt das Glas)
- Trinkgläser (verursachen Inhomogenität in der Schmelzmasse, die Einsatzquote von Altglas als Sekundärrohstoff muss gesenkt werden)
- Fehlfarben (Weißglas verträgt maximal 0,5 % gefärbtes Glas, Zuviel Buntglas im Weißglas erfordert entweder eine Entfärbung oder den Einsatz der Fraktion im Buntglas)

Altglas aus Gewerbe und Industrie wird in Österreich auch von der deutschen Firma Schirmbeck GmbH aufbereitet, die einen Standort in Kraubath an der Mur hat und dort Recyclinganlagen für Flach- und Hohlglas betreibt (Schirmbeck GmbH 2014).

Laut Statusbericht macht der Anteil an getrennt gesammeltem Flachglas in Österreich mit 7,4 % nur einen kleinen Teil der Gesamtaltglasmenge aus. Über 90 % dieses gesammelten Flachglases stammen aus Industrie und Gewerbe, z. B. aus Glasereien/Schreinereien, Fensterfabriken, aus Autowerkstätten und Altautodemontageanlagen und von Gebäudeabrissen. Eine Verwertung ist nur möglich, wenn große Mengen sortenrein gesammelter Scheiben anfallen. Folgende sortierte Flachgläser (ohne anhaftende Verschmutzungen und ohne Störstoffe) werden derzeit in Österreich getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt: Fensterglas, Verbundglas-Autoscheiben, Sekuritglas, Isolierglas, Spiegelglas und Drahtglas. Laut Statusbericht kann für diese Fraktion von einer gänzlichen Verwertung der anfallenden Abfälle ausgegangen werden (BMLFUW 2014a). Die aufbereiteten Flachglasscherben werden z.B. wieder zur Herstellung von Flachglas eingesetzt oder bei der Herstellung von Gussglas, Behälterglas, Dämmwolle aus Glasfasern, Schmirgelpapier bis hin zur Produktion von Glasbausteinen verwendet (BVSE 2014).

Im Schmelzofen werden die aufbereiteten Altglasscherben gemeinsam mit den Primärrohstoffen Quarzsand, Kalk, Dolomit und Soda geschmolzen und zu neuen Glasprodukten geformt (ARA 2013). Gebrauchte Glasverpackungen sind der mengenmäßig wichtigste Rohstoff für die Herstellung neuer Verpackungen. Die maximal mögliche Altglaseinsatzquote variiert je nach Glasfarbe und kann z.B. bei Weißglas bis zu 60 % und bei Grünglas sogar bis zu 90 % betragen. Der tatsächliche Scherbenanteil in der Glasproduktion liegt laut Vetropack derzeit bei knapp 40 % für Weißglas und bei ca. 70 % für Grünglas, da für höhere Einsatzquoten u.a. die Altglasmengen in entsprechender Qualität fehlen (Vetropack 2012).

Bedenkliche Stoffe, wie z.B. Schwermetalle können sich mit der Zeit im Recyclingkreislauf anreichern. Sie können z.B. durch eine Verunreinigung der eingesetzten Rohstoffe oder der Brennstoffe, inklusive Altglasscherben, in das Glas gelangen, oder sie werden bewusst zugesetzt, um z.B. bestimmte Glasfärbungen zu erreichen (z.B. Chrom (III)-Oxide bei Grünglas), zur Herstellung von Bleikristallgläsern (Bleioxide) oder zur Entfärbung der Schmelze (Selen). Die im Glas gebundenen bedenklichen Stoffe sind jedoch fest in das Glasgitter eingebaut und werden nur in sehr geringem Maße an die Umwelt abgegeben. Der Auslaugungsmechanismus erfolgt in wässrigen Medien nur in einer Oberflächenschicht von etwa 1 – 2 µm. Durch eine Verarmung der Oberfläche an diesen relativ leicht herauszulösenden Ionen wird der weitere Transport erschwert. Meist werden nur Alkalien aus dem Glas herausgelöst (SMUL 2000).

Ein anderer möglicher Verbreitungsweg für die bedenklichen Glasinhaltstoffe in die Umwelt ist durch Glasstaub. Staubemissionen entstehen bei der Glasherstellung, der Nutzung und dem Recycling, wie dem Leeren der Altglascontainer, beim Transport, beim Abladen und Füllen der Rohstoffbunker und bei der Zerkleinerung der Scherben bei der Aufbereitung. Laut dem Bericht der JRC-IPTS reduziert das Glasrecycling jedoch alle Arten von Emissionen, die bei der Glasherstellung entstehen, eingeschlossen Staubemissionen, mit der einzigen, gut dokumentierten Ausnahme von Bleiemissionen. Wenn jedoch die Inputmengen an bleihaltigen Gläsern limitiert sind, ist mit keinen erhöhten bleihaltigen Staubemissionen beim Einsatz von Altglasscherben zu rechnen (JRC-IPTS 2011a).

Der Energieverbrauch der Scherbenaufbereitung beträgt ca. 4,2 kWh pro Tonne unaufbereiteter Fremdscherben (Frischenlager et al. 2010), aber da Altglas bei niedrigeren Temperaturen schmilzt als Primärrohstoffe (Quarzsand, Kalk, Dolomit und Soda), verringert sich insgesamt der Energiebedarf in der Glasproduktion durch den Einsatz von Glasscherben. Durch weniger Einsatzmengen an Energie bzw. Heizöl kommt es beim Schmelzprozess geringeren Emissionen von Staub, Stickoxiden (NO_X), Schwefeldioxid (SO_2) und Kohlendioxid (CO_2). Je Einsatz von 10 % Altglas bei der Glasproduktion können 2,5 - 3 % Energie und 7 % CO_2-Emissionen eingespart werden, so dass sich bei einem Altglasanteil von 70 % (Grünglas) eine Energieeinsparung von etwa 20 % ergibt (SMUL 2000, Frischenlager et al. 2010, AGR 2013, ARA 2013, Fachverband der Glasindustrie 2013).

Einsparung an Primärrohstoffen und Naturraum: Der Einsatz von gebrauchten Glasverpackungen reduziert den Bedarf an Primärrohstoffen, wie Quarzsand, Kalk, Dolomit und Soda, und schont Naturraum, da einerseits diese Rohstoffe nicht abgebaut werden müssen (für 1 m³ Primärrohstoff müssen 7 m³ Gestein abgebaut werden) und andererseits durch das Recycling Abfall vermieden wird und damit Deponievolumen nicht für Einwegglas verbraucht wird (AGR 2013, Wikipedia 2014c).

Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Altglas“.

Tabelle 6-115: Angenommene Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Altglas“ für ausgewählte Stoffe

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen	Abfallexport
Gut	**0,74**	**0,06**	**0,20**
Al	0,66	0,14	0,20
C	0,00	0,80	0,20
Ca	0,76	0,04	0,20
Cr	0,76	0,04	0,20
Fe	0,66	0,14	0,20
Na	0,76	0,04	0,20
O	0,74	0,06	0,20
Si	0,75	0,05	0,20

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- 20 % des österreichischen Altglases werden exportiert (Durchschnittswert der letzten Jahre) (AGR 2013). (Annahme: Zuerst wird der Exportanteil abgetrennt, danach wird der Rest sortiert.)
- Von den restlichen 80 % der Altglasmenge werden bei der Sortierung 7 % Fehlwürfe abgetrennt (AGR 2010). Für die Fehlwürfe wird folgende Zusammensetzung angenommen:
    - 3,5 % Fehlfarben,
    - 2 % andere Glasarten,
    - 0,3 % Verschlüsse (0,15 % Fe, 0,15 % Al),
    - 0,3 % Keramik, Stein, Porzellan (KSP) (= Silicatkeramik aus SiO2 mit 0,14 % Si und 0,16 % O (vereinfachende Annahme)),
    - 0,9 % Sonstiger Müll (= Organik aus 0,6 % O und 0,3 % C (vereinfachende Annahme))

6.6.5.5.3 Sortierung und Verwertung der Kunststoff-Leichtfraktion

Im Jahr 2012 wurden in Österreich 174.600 t Leichtfraktion (SN 91207), in Haushalten, Gewerbe und Industrie getrennt gesammelt. 41.800 t (ca. 20 %) davon stammten aus Gewerbe und Industrie (BMLFUW 2014a). Die Kunststoffverpackungen aus Gewerbe und Industrie werden überwiegend direkt am Anfallsort sortenrein erfasst, d. h. getrennt nach den Kunststoffarten, wie z.B. Polyethylen (HDPE / LDPE), Polypropylen, PET, Polystyrol und expandiertes Polystyrol (EPS) (BMLFUW 2014a). Hier erfolgt laut ARA vor der Verwertung eine Qualitätssicherung (ARA 2013).

Die Sortierung der Abfälle aus der Haushaltsammlung erfolgt laut Auskunft der ARA zu ca. einem Drittel über Anlagen mit reiner Handsortierung (durchschnittliche Anlagengröße bis zu 10.000 t/a) und zu zwei Dritteln mit automatischen Sortieranlagen, inkl. Handsortierung zur Qualitätssicherung (durchschnittliche Anlagengröße 30.000 t/a). Bei der automatischen Sortierung kommen unterschiedliche Sortierverfahren zum Einsatz, wie Siebung, Magnetabscheidung, Windsichter, ballistische Sortierung (schwer/leicht, 2D/3D), sensorgestützte Sortierung (Nahinfrarot, Röntgen-Fluoreszenz, Laser), , Sortierung durch elektrische Aufladung etc. (Ecker 2013). Die Sortierung erfolgt aber immer ohne Wasser (Waschung) (Auskunft der ARA).

Eine der modernsten Sortieranlagen für Kunststoffverpackungen in Europa wurde 2010 in Pfaffenhofen in Betrieb genommen. Dort können täglich bis zu 80 t Kunststoffverpackungen sortiert werden. Mittels Nah-Infrarot wird die Art des Kunststoffes erkannt, wie z.B. PET (Getränkeflaschen), HDPE (Kosmetik- und Haushaltsflaschen), PS/PP (Joghurtbecher), LDPE (Folien) und Getränkeverbundkartons. Anschließend werden die Kunststoffe durch optische Sortieraggregate zusätzlich nach Farben getrennt, z.B. blaue, grüne und weiße Getränkeflaschen (PET). Zum Abschluss erfolgt eine manuelle Sortierung. Danach werden die sortenreinen Kunststoffe zu Ballen verpresst und zur Verwertung an die Industrie verkauft (Höpperger GmbH & Co KG 2010).

2012 wurden laut ARA von den getrennt gesammelten Leichtverpackungen ca. 20 % als Sortierabfall abgetrennt und ca. 80 % verwertet und zwar ungefähr zur Hälfte stofflich und zur Hälfte thermisch. Die Fraktion zur

stofflichen Verwertung wurde laut Angaben der ARA zu 99 % sortenrein, d.h. nach Kunststoffarten getrennt, den Verwertungsbetrieben übergeben (Folie, PET, HDPE, PS/PP, EPS/XPS etc.). 1 % wurde als gemischte Kunststofffraktion stofflich verwertet (ARA 2013).

Die im Verpackungsbereich eingesetzten Kunststoffe setzen sich anteilig ungefähr folgendermaßen zusammen: 32 % PE-LD, 19 % PE-HD, 19 % PP, 16 % PET, 7 % PS und EPS (Styropor), 7 % sonstige (JRC-IPTS 2013). PE-LD, PE-HD, PP und PS eignen sich zur Erzeugung von Regranulat. Dazu werden die sortenreinen Kunststoffabfälle im Verwertungsbetrieb zur Abtrennung von Störstoffen teilweise noch einmal manuell nachsortiert (unerwünschte Kunststoffsorten, Verbundstoffe, andere Reststoffe). Anschließend werden die Kunststoffverpackungen zerkleinert, gewaschen und mit einem Hydrozyklon oder einem Schwimm-Sink-Becken von Fremdstoffen getrennt. Danach werden die Kunststoffpartikel entwässert, getrocknet und in einem Extruder zu Regranulat verarbeitet. Das Regranulat dient in der Kunststoffverarbeitung zur Herstellung von neuen Fertigprodukten (Grüne Punkt 2014).

PET-Flaschen werden nach Farben sortiert, gemahlenen und zur Entfernung von Fremdstoffen gewaschenen. Die Verschlusskappen, die häufig aus Polyethylen bestehen, werden mittels Dichtetrennung aussortiert. Es entstehen PET-Flakes, die zu Fasern, Folien, Bänder und auch wieder zu Flaschen (Bottle-to-Bottle-Verwertung) verarbeitet werden. In Österreich gibt es zwei Anlagen für die Bottle-to-Bottle-Verwertung von PET-Flaschen, eine in Völkermarkt (Kärnten) und eine in Müllendorf (Burgenland) (Frischenlager et al. 2010).

Styroporverpackungen (EPS) werden derzeit hauptsächlich gemahlen und als Zuschlagstoff für verschiedene Anwendungen im Baubereich verwendet. Mit Zement gemischt entstehen daraus leichte und wärmedämmende Baumaterialien (Ecker 2013). Aus gemischten Kunststoffabfällen können dickwandigere Produkte für den Baubereich, Dachziegel, Rasengittersteine, Balken, Stangen, Drainage-Rohre, Standfüße für mobile Verkehrsschilder etc. produziert werden (Ecker 2013). Bei der Sortierung werden die Aufbereitungshallen der Sortieranlagen abgesaugt und die abgesaugte Luft wird über eine Abluftreinigungsanlage geführt. Das ist in der Regel ausreichend, um die Emissionswerte für Staub einhalten zu können. Mit relevanten Emissionen an anderen Schadstoffen ist nicht zu rechnen (Brunner et al. 2001). Die Sortierabfälle werden energetisch genutzt oder einer anderen Abfallbehandlung zugeführt. In den Verwertungsbetrieben fallen als Reststoffe die manuell aussortierten Störstoffe an, die ebenfalls energetisch genutzt oder anderweitig behandelt werden. Beim Waschen der Kunststoffabfälle fällt Abwasser an, das mehrfach im Kreis geführt wird, zwischendurch ein Absetzbecken durchläuft und schließlich in der Regel an eine kommunale Kläranlage weitergegeben wird. Die Abwasserschlämme aus dem Waschvorgang und die Rückstände aus dem Hydrozyklon bzw. dem Schwimm-Sink-Becken (Kunststoffschnitzel von Fremdkunststoffen oder mit Etiketten, verschiedene Störstoffe etc.) müssen ebenfalls entsorgt werden (Brunner et al. 2001).

Kunststoffe enthalten neben dem Polymer Additive, um bestimmte Eigenschaften des Polymers zu verbessern, wie z.B. Weichmacher, Flammschutzmittel, UV-Schutzmittel, Füllstoffe, etc. Außerdem werden auch während der Verarbeitung Zusätze hinzugefügt, wie z.B. Schmierstoffe, Katalysatoren, Stabilisatoren, Lösungsmittel, etc. Der Anteil an Additiven in Kunststoffe variiert von unter 1 % bei PET und bis zu 50 - 60 % in PVC. Die meisten Additive bergen keine Gefahr für Umwelt und Gesundheit, aber einige Substanzen sind als problematisch anzusehen (JRC-IPTS 2013). Um eine hochwertige stoffliche Verwertung sicherzustellen, muss die Verschleppung dieser problematischen Substanzen in den Verpackungsbereich verhindert werden. Es muss gewährleitet werden, dass die Qualität der aus Abfällen erzeugten Sekundärrohstoffe mindestens der Qualität der vergleichbaren Primärrohstoffe entspricht.

Es gibt zahlreiche Studien, die die ökologischen Auswirkungen verschiedener Verwertungswege von Kunststoffverpackungsabfällen untersuchen. Die Ergebnisse unterscheiden sich zwar je nach den gewählten Rahmenbedingungen, doch die meisten Studien kommen zu dem Schluss, dass die stoffliche Verwertung(Heyde et al. 2010) von Kunststoffabfällen aus ökologischer Sicht die beste Lösung ist (ACRR 2004). Exemplarisch werden im Folgenden zwei Beispiele genannt:

- In einer Studie des Instituts für Energie- und Umweltforschung (IFEU) von 2009 wurde im Auftrag des DSD die stoffliche mit der thermischen Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland hinsichtlich

klimarelevanter Emissionen und Primärenergiebedarf verglichen, mit dem Ergebnis, dass in Deutschland signifikante Nachteile hinsichtlich klimarelevanter Emissionen und Primärenergiebedarf entstünden, wenn alle Verpackungsabfälle über Müllverbrennungsanlagen entsorgt werden würden .

- Forscher der Hochschule Magdeburg-Stendal haben im Auftrag der Kunststoffrecycling-Unternehmen mtm plastics GmbH, Multiport GmbH und MultiPet GmbH errechnet, dass jede Tonne Recyclingkunststoff, die anstelle vergleichbarer Neuware zum Einsatz kommt, zwischen 1,45 und 3,22 Tonnen klimarelevante Treibhausgase in Form von CO_2-Äquivalenten vermeidet. Untersucht wurden die im Verpackungsrecycling gebräuchlichsten Kunststoffe PE-/PP-Mischungen, PE-HD und PET (MultiPet GmbH 2014).

Die Frage nach der letzten Senke für in Kunststoffen enthaltene Schadstoffe (z.B: PBDE, Schwermetalle) wurde bisher noch nicht geprüft.

Die folgende Tabelle enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Leichtfraktion“

Tabelle 6-116: Angenommene Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Leichtfraktion“ für ausgewählte Stoffe

Stoffe/ Gut	Abfall-export	Produkt – Stoffliche Verwertung der Leichtfraktion	Produkt – in thermische Verwertung	Abfall in weitere Anlagen - Sortierabfälle
Gut	**0,05**	**0,38**	**0,38**	**0,20**
C	0,06	0,41	0,41	0,11
N	0,05	0,32	0,32	0,32
P	0,04	0,29	0,29	0,39
Fe	0,02	0,17	0,17	0,64
Cd	0,06	0,41	0,41	0,13
Al	0,03	0,21	0,21	0,55
Cl	0,05	0,34	0,34	0,27
S	0,05	0,36	0,36	0,22

Die in obiger Tabelle angegebenen Werte wurden mit Hilfe folgender Annahmen berechnet:

- Bei der Sortierung werden durchschnittlich 19,5 % Sortierabfall abgetrennt (Fehlwurfanteil in der Leichtverpackungssammlung laut ARA). Es handelt sich hierbei sowohl um stoffgleiche mitgesammelte Nichtverpackungen (ca. 7 %) als auch um sonstige Störstoffe (ca. 12,5 %) (ARA 2013).
- Durchschnittlich 5 % der getrennt gesammelten Leichtverpackungen werden zur Verwertung in nahe Ausland exportiert.
- Der Rest wird zu 50 % stofflich und zu 50 % thermisch verwertet (ARA 2013)
- Sowohl der Sortierabfall als auch der Anteil zur thermischen Verwertung gehen als Abfall in weitere Anlagen.

Für die Verwertung der weiteren Kunststoffabfälle von rund 121.000 Tonnen wird nach Bauer und Lehner (2013) angenommen, dass nach Aufbereitung 30 % stofflich verwertet und 70 % thermisch behandelt (als Ersatzbrennstoff oder in Abfallbehandlungsanlagen).

6.6.5.5.4 Sortierung und Verwertung von Altholz

Bevor das getrennt gesammelte Altholz verwertet werden kann, muss es aufbereitet werden. Dies kann in eigenen Aufbereitungsbetrieben erfolgen, oder aber dort stattfinden, wo das Altholz letztendlich stofflich oder thermisch verwertet wird. Bei der Anlieferung zur Aufbereitung erfolgt für gewöhnlich eine Registrierung der Menge, der Herkunft und der Art des Altholzes. Nach der visuellen Eingangskontrolle wird das Altholz manuell und/oder mechanisch vorsortiert und in unterschiedliche Qualitätsgruppen getrennt. Danach erfolgt die mechanische Aufbereitung. Diese variiert in der Praxis von Betrieb zu Betrieb. Üblicherweise wird das Altholz zunächst in einem Vorbrecher zerkleinert. Danach werden mittels eines Magnetabscheiders Eisenanteile wie Schrauben, Nägel, Klammern usw. entfernt. Anschließend können noch große Metallteile, Kunststoffe, Papier,

Textilien, Dachpappe oder Bitumenreste von Hand aussortiert werden. Eine Nachzerkleinerung (auf eine Größe von ca. zehn bis 60 Millimeter) und nochmalige Eisen- und NE-Metallabscheidung kann der weiteren Qualitätssteigerung eingesetzt werden. Danach ist das Hackgut bereit zur Verwertung (Darman 2004, Haider 2011).

Altholz kann stofflich verwertet oder thermisch als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden. Nicht verwertbare Althölzer werden in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen genutzt. Die Holzwerkstoffindustrie und die Betreiber von Holzkraftwerken konkurrieren um das zur Verwertung geeignete Altholz. Der Anteil, der stofflich verwertet wurde, lag in Österreich 2010 bei etwa 10 % (Windsperger 2010). Für Deutschland liegen die Zahlen für die stoffliche Verwertung zwischen 10 und 20 % (Windsperger 2010, Mantau et al. 2012). In Italien werden bis zu 80% der Sekundärspäne aus Altholz für die Herstellung von Spanplatten verwendet (Amt der Tiroler Landesregierung 2008). Neben dem Einsatz von Altholz in der Spanplattenindustrie gibt es in geringem Umfang weitere stoffliche Verwertungswege (Darman 2004):

- Ersatz von Primärstoffen bei der Papierherstellung
- Einsatz als Strukturmaterial bei der Kompostierung
- Gewinnung von Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung,
- Herstellung von Aktivkohle/Industrieholzkohle
- Als Einstreu in der Tierhaltung sowie als Reitplatzbelag
- Die Verwendung von geshreddertem Altholz und Rindenmulch im Garten- und Landschaftsbau
- Einsatz als Porosierungsmittel in der Ziegelindustrie

Da die Aufbereitung von Altholz rein mechanisch erfolgt (Abtrennung von Störstoffen und Zerkleinerung), handelt es sich bei den möglichen Emissionen im Wesentlichen um Staubemissionen. Außerdem ist zu beachten, dass die Lagerflächen der Aufbereitungsanlagen befestigt und wasserundurchlässig sein müssen und das Niederschlagswasser in die Kanalisation abgeleitet oder in einem Sammelbecken erfasst werden muss, da es je nach Altholzqualität eventuell mit Schadstoffen belastet sein könnte (Haider 2011).

Je nach vorherigem Einsatzbereich kann Altholz mit einer Vielzahl von organischen und anorganischen Schadstoffen belastet sein. Der Schadstoffeintrag erfolgt insbesondere durch Beschichtungen (Farben, Lacke, halogenorganische Beschichtungen) sowie durch Imprägnierung (Holzschutzmittel). Als anorganische Holzschutzmittelwirkstoffe sind insbesondere Chrom, Kupfer, Fluor, Bor, Arsen und Quecksilber, als organische Holzschutzmittelwirkstoffe PCP, Lindan, PAK und Teeröle zu nennen. Farbanstriche enthalten häufig Chrom, Blei, Zink, Barium, Cadmium, Eisen und Titan. Spanplatten enthalten zusätzlich große Mengen an Kleb- und Zusatzstoffen (Darman 2004). Da diese Schadstoffe nachträglich kaum noch aus dem aufbereitetem Hackgut entfernt werden können, ist auf eine sortenreine Trennung des Altholzes zu achten, um eine hochwertige stoffliche Verwertung sicherzustellen.

Die Recyclingholzverordnung, die 2012 in Kraft getreten ist, legt fest, welche Abfallarten für das Recycling verwendet werden dürfen und setzt Grenzwerte für verschiedene Schadstoffe für das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie. Außerdem werden Probenahme, Untersuchungs- und Nachweispflichten geregelt, und für Altholz mit besonders guter Qualität Voraussetzungen für ein Abfallende festgelegt.

Die folgenden Tabellen enthält die im Rahmen dieser Studie angenommenen Transferkoeffizienten für Altholz (Holzverpackungen & sperriges Altholz) und für Holzabfälle. Ausgehend von den EDM-Daten werden rund 1 Million Tonnen Holz (rd. 600.000 Altholz und rd. 400.000 weitere Holzabfälle) aufbereitet.

Tabelle 6-117: Angenommene Transferkoeffizienten für Holzabfälle für ausgewählte Stoffe

	Produkt (stoffliche Verwertung)	thermische Behandlung
Gut	**0,106**	**0,894**
Cd	0,114	0,886
C	0,106	0,894
Fe	0,050	0,95
N	0,090	0,91
P	0,104	0,896
Cr	0,108	0,892
Cu	0,088	0,912
Hg	0,084	0,916
Mn	0,060	0,94
Mo	0,060	0,94
Ni	0,096	0,904
Pb	0,112	0,888
Zn	0,108	0,892

Die Transferkoeffizienten für Altholz aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen, für getrennt erfasstes Altholz aus Gewerbe und Industrie und weitere Holzabfälle wurden mit Hilfe einer Abschätzung von (Domenig 2013) ermittelt. Nicht stofflich verwertete Abfälle werden thermisch behandelt (als Ersatzbrennstoff oder in Abfallbehandlungsanlagen).

6.6.5.5.5 Sortierung und Aufbereitung von Altmetallen

Die getrennt gesammelten Alt-Metallverpackungen werden im Auftrag der ARA in Sortieranlagen oder Shredderbetrieben konditioniert: Durch die unterschiedlichen Verfahren (Magnetabscheidung, Shredder) wird das Material maschinell sortiert, dadurch von anderen Metallen sowie Fremd- und Störstoffen getrennt. Der aussortierte Anteil an Störstoffen beträgt ungefähr 15 %. Zu Paketen verpresst oder zu Shredderschrott verdichtet, gelangt der Verpackungsschrott zum Verwerter, wo das Altmetall – im Gemenge mit anderen Schrottsorten und Roheisen – als hochwertiger Rohstoff bei der Stahlerzeugung eingesetzt wird. Aluminiumverpackungen werden aus der Metallsammelware der ARA AG entweder durch händische Sortierung aussortiert oder mithilfe von Wirbelstromabscheidern durch Separierung der elektrisch leitfähigen Materialien von den nichtleitfähigen abgetrennt. Das sortenrein erfasste Aluminium wird anschließend wieder zur Aluminiumproduktion eingesetzt (ARA 2013). In den Sortieranlagen werden Metalle und Störstoffe händisch oder Hilfe von Metallabscheidern voneinander getrennt. Dabei entstehen im Wesentlichen Staubemissionen. Der separat erfasste Eisen und NE-Schrott wird geshreddert und somit gelten die Transferkoeffizienten gemäß Kap. 6.6.5.2. Die Transferkoeffizienten für Metallverpackungen (rd. 100.000 Tonnen) sind in der folgenden Tabelle dargestellt. N, P und Cd sind nur im Sortierabfall enthalten. Fe und Al gehen zu 100 % ins Produkt. C ist vor allem im Sortierabfall, aber zu einer geringen Menge auch in den Eisenmetallen enthalten (vgl. auch die Annahmen zu den Stoffkoeffizienten Metallverpackungen in Tabelle 6-17).

Tabelle 6-118: Angenommene Transferkoeffizienten auf Stoffebene für Metallverpackungen aus der Haushaltssammlung für ausgewählte Stoffe

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen
Gut	**0,85**	**0,15**
C	0,02	0,98
N	0,00	1,00
P	0,00	1,00
Fe	1,00	0,00
Cd	0,00	1,00
Al	1,00	0,00
Sn	1,00	0,00

Für Altstoffe aus Gewerbe und Industrie (rund 850.000 Tonnen) wird angenommen, dass rund 32 % weiter in Shredderbetrieben behandelt werden und der Rest direkt verwertet wird. Diese Annahme beruht darauf, dass sich rund 50 % des Shredderinputs aus diversen Misch und Sammelschrott zusammensetzt.

Tabelle 6-119: Angenommene Transferkoeffizienten auf Stoffebene für Altmetalle aus der Gewerbe und Industrie

	Produkt	Abfall in weitere Anlagen
Gut	**0,68**	**0,32**
C, N, P, Fe, Cd	0,68	0,32

6.6.5.5.6 Sortierung und Verwertung von Alttextilien

Die Stoff- und Gewebereste bzw. Alttextilien aus der getrennten Sammlung von Gewerbe und Industrie (2012: rd. 15.000 Tonnen) setzen sich hauptsächlich aus Stoff- und Gewebereste der textilver- und -bearbeitenden Industrie (Naturfasern, Mischgewebe, Synthesefasern, Schnittreste, Gestrick- und Gewebereste und Garne) zusammen und enthalten nur in sehr geringen Mengen auch Altkleider. Die Abfälle werden meist sortenrein erfasst und direkt einer Verwertung zugeführt. Laut Statusbericht 2013 werden rund zwei Drittel dieser stofflich verwertet. Der Rest, wird unter Ausnutzung der Energieinhalte verbrannt (BMLFUW 2014a).

Die Sortierung der aus dem Haushaltsbereich erfassten Alttextilien muss fast ausschließlich händisch erfolgen. Die Alttextilien werden dabei üblicherweise in die folgenden Teilfraktionen aufgetrennt:

- Wiederverwendbare Bekleidung, Schuhe; Gute Qualität.
- Wiederverwendbare Bekleidung, Schuhe; Mindere Qualität.
- Ausgangsmaterial zur Lappenerzeugung.
- Minderwertiges, verwertbares Material.
- Abfälle.

In der Praxis wird die wiederverwendbare Bekleidung in bis zu 200 Qualitäten unterschieden (Brunner et al. 2001). Für die Alttextilien aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen (2012: 27.400 t) errechnen sich aus den EDM-Daten ein stofflicher Verwertungsanteil von ca. 30 % und ein Verbrennungsanteil von ca. 70 %. Für die gesamte Fraktion Alttextilien (SN 58107) (Haushalte und Gewerbe & Industrie) errechnet sich damit eine durchschnittliche Quote von ca. 40 % stoffliche Verwertung und 60 % Verbrennung (EDM 2012).

6.6.5.6 Mechanische Anlagen für Siedlungs- und Gewerbeabfälle

Laut einem Bericht des Umweltbundesamtes (Neubauer und Öhlinger 2008) waren 2007 mindestens 24 mechanische Behandlungsanlagen mit eine Kapazität von rund 1,2 Millionen Tonnen in Betrieb. Im Jahr 2012 wurden rund 1 Millionen Abfälle mechanisch behandelt. Wesentlicher Input in die MA-Anlagen sind Restmüll und gemischte Gewerbeabfälle, die unbehandelt oder bereits vorbehandelt eingebracht werden. Weitere Abfallarten sind u. a. Sperrmüll, getrennt gesammelte Verpackungsabfälle, Altholz, Baurestmassen sowie Rejekte aus der Papierindustrie. Die mechanische Sortierung der Abfälle erfolgt entweder mit dem primären Ziel der Herstellung höherwertiger Brennstoffe oder zur Aufkonzentrierung/Reinigung von verwertbaren Verpackungsabfällen. Da nur sehr wenige Angaben über die Stoffzusammensetzung der mindestens 24 MA-Anlagen vorliegen ist eine Hochrechnung der Güterbilanzen für den Gesamtraum Österreich mit großen Unsicherheiten behaftet. Vor allem hat sich die Situation seit 2006 deutlich geändert (z.B. Verbesserungen bei Metallabscheidung, Veränderungen der Marktsituation für heizwertreiche Fraktionen). Ausgehend von der Studie des Umweltbundesamtes (Neubauer und Öhlinger 2008) werden rund zwei Drittel des Abfalloutputs einer thermischen Behandlung zugeführt. In Tabelle 6-120 sind die abgeschätzten Transferkoeffizienten auf Güterebene nach Neubauer und Öhlinger (2008) dargestellt. Die Transferkoeffizienten auf stofflicher Ebene wurden nach Skutan und Brunner (2006) abgeschätzt. Die in Tabelle 6-120 angegebenen Transferkoeffizienten sind als sehr unsicher anzusehen. Für Anlagen zur mechanischen Sortierung (MA-Anlagen) sind aktuelle und weitere Erhebungen mit dem Ziel der Erstellung von Güter- und Stoffbilanzen erforderlich.

Tabelle 6-120: Transferkoeffizienten für mechanische Anlagen für Siedlungs- und Gewerbeabfällen

	Abfälle zu therm. Beh.	Abfälle zu MBA	Schrott	Abfälle zu Dep.	*Quellen*
Gut	**0,70**	**0,10**	**0,05**	**0,15**	**abgeschätzt nach Neubauer und Öhlinger (2008)**
Cd	0,12	0,15	0,70	0,04	abgeschätzt nach Skutan und Brunner (2006)
C	0,56	0,35		0,09	abgeschätzt nach Skutan und Brunner (2006)
Fe	0,27	0,13	0,57	0,03	abgeschätzt nach Skutan und Brunner (2006)
N	0,51	0,39		0,10	abgeschätzt nach Skutan und Brunner (2006)
P	0,41	0,43	0,06	0,11	abgeschätzt nach Skutan und Brunner (2006)

6.7 Kostensätze

Als Kostensatz wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ein bestimmter Preis pro Einheit, z.B. der Preis zur Behandlung einer Tonne einer bestimmten Abfallart, der Preis einer Tonne eines Schadstoffs oder der Preis einer bestimmten Abfallbehandlungsanlage verstanden. Somit wird unterstellt, dass diese (Schatten-) Preise die Kosten des Ressourcenverzehrs ohne Verzerrungen widerspiegeln (d.h. den volkswirtschaftlichen Knappheitsverhältnissen entsprechen), wobei Preise auf Basis von Vollkosten ermittelt wurden. Genauere Erläuterungen dazu finden sich in Kapitel 5.3. Die hier verwendeten (Schatten-) Preise (Kostensätze) sind daher von den Marktpreisen beispielweise für einen bestimmten Behandlungsprozess unterschiedlich.

Die Erhebung der Kostensätze ist die Grundlage der Berechnung der gesamten volkswirtschaftlichen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft. Diese Berechnung erfolgt nach dem Prinzip „Menge x Kostensatz“. Die entsprechenden Mengen (Anzahl der Anlagen, Höhe des Durchsatzes, Mengen an emittierten Schadstoffen etc.) werden also mit dem jeweiligen Kostensatz multipliziert. Diese Bewertung in Preisen kann als eine „Normierung“ verstanden werden. Ist diese Normierung erfolgt, können sämtliche, dann in Euro ausgedrückten Beträge aufsummiert werden. Die Summe drückt die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten der österreichischen Abfallwirtschaft aus. Wie in Kapitel 5.3 erläutert, werden die volkswirtschaftlichen Kosten dabei in drei Bereiche gegliedert.

- die internen Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinn ieS,
- die Kosten der Abfallwirtschaft im weiteren Sinn iwS (Kosten der Haushalte und Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen, die zur Zielerreichung des AWG beitragen, z.B. die Aufwendungen für die Trennung von Abfällen)
- die externen Kosten, die durch negative externe Effekte entstehen.

Die Ermittlung der Kostensätze für diese drei Bereiche beruht auf unterschiedlichen Methoden und Datengrundlagen. In einem ersten Schritt wurden die bestehende Fachliteratur und weitere verfügbare Materialien über die drei oben genannten Bereiche ausgewertet und darauf aufbauend Berechnungen durchgeführt. Zusätzliche Kalkulationsgrundlage waren die Ergebnisse aus verschiedenen eigenen Primärerhebungen bei Anlagenbetreibern und Anlagenherstellern sowie BranchenexpertInnen und Verbänden. Für einzelne abfallwirtschaftliche Behandlungsprozesse wurden ergänzend auch Jahresabschlüsse einer Reihe von Unternehmen aus verschiedenen Jahren ausgewertet, um weitere Schätzgrößen, insbesondere für die Investitionskosten, zu erhalten. Im Bereich der Kosten der Haushalte wurde ein eigenes Schätzmodell erarbeitet, dass einen Orientierungspunkt für die Beiträge der Haushalte in der Abfallwirtschaft iwS liefert.

Die Erarbeitung der unten genannten Kostensätze erfolgte in mehrere Schritte. Insbesondere mussten die gesammelten monetären Größen vereinheitlicht und normiert werden, sodass am Ende ein Preis (im Sinne des Ressourcenverzehrs) je Tonne oder Zeiteinheit sowie je Abfallart/-prozess stand. Ebenfalls im Zuge dieser Vereinheitlichung musste ein gemeinsamer Preisstand erarbeitet werden. Als Resultat weisen sämtliche Kostensätze den Preisstand von 2012 auf. Laufende Preise anderer Jahre wurden mithilfe des Verbraucherpreisindex der Statistik Austria auf die Preisbasis 2012 vereinheitlicht.

6.7.1 Kostensätze zur Berechnung interner Kosten der Abfallwirtschaft ieS

Unter den internen Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinn werden die einmaligen und die periodisch anfallenden Investitions-, Betriebs-, Erhaltungs- und Instandhaltungskosten, die in den Bereichen Sammlung, Transport und Behandlung und Entsorgung anfallen, verstanden. Umgerechnet werden diese Kosten in einem weiteren Arbeitsschritt in Vollkosten in Euro pro Tonne des jeweiligen Abfallbehandlungsprozesses. Diese Vollkosten beinhalten somit sämtliche periodisch anfallenden Kosten des jeweiligen Behandlungsprozesses sowie die einmalig anfallenden Kosten in periodisierter Form (die Kostensätze zur Bewertung der einzelnen Prozesse und Mengen sind somit die gesamten volkswirtschaftlichen Produktionskosten).

Die erhobenen Kostensätze stellen Selbstkosten dar, d.h. sie enthalten neben den Herstell-kosten auch die umgelegten Vertriebs- und Verwaltungsgemeinkosten, nicht jedoch kalkulatorische Anteile für Wagnis & Gewinn. Weiters handelt es sich bei den erhobenen Kostens-ätzen um „Bruttokosten"; dies bedeutet, dass allfällige Erlöse eines Prozesses (z.B. Wärme- bzw. Wertstofferlöse auf Basis von marktfähigen Kuppelprodukten) nicht berücksichtigt werden. Die wichtigsten Erlöskategorien werden am Ende von Kapitel 6.7.1.2. als Hintergrundinformation dargestellt und im Rahmen der durchgeführten modifizierten Kosten-Wirksamkeitsanalyse optional berücksichtigt. Wie eingangs erwähnt bilden bestehende Sekundärquellen sowie eigene umfangreiche Erhebungen (Befragungen sowie Auswertungen der Jahresabschlüssen) die Datengrundlage für die Ermittlung der internen Kostensätze.

6.7.1.1 Bereich Sammlung und Transport

Kostensätze und eine beispielhafte Berechnung der Kosten der Sammel- und Transportprozesses von Siedlungsabfällen finden sich in Kranert und Cord-Landwehr (2010). Als wesentliche Elemente identifizieren sie die Anzahl und den Aufstellort von Abfallbehältern, Personal und Fahrzeuge. Kostensätze werden sowohl pro Einheit als auch pro Abfallmenge angegeben. Zur Ermittlung dieser Kostensätze sind naturgemäß Annahmen zu treffen. Für die Fahrzeugkosten wird von einem einheitlichen Fahrzeugtyp (Hecklader (FA) 3-Achsfahrzeug), mit Investitionskosten in der Höhe von 166.000 EUR ausgegangen (Kranert und Cord-Landwehr 2010). Kapital-, Reparatur- und Betriebskosten ergeben zusammen periodisch anfallende Kosten von 60.400 EUR pro Jahr (Kranert und Cord-Landwehr 2010). Hinzu kommen noch Treibstoffkosten (6,64 EUR/h). Dies ergibt bei angenommen rund 2.000 Einsatzstunden im Jahr Fahrzeugkosten von rund 40 EUR/h.

Personalkosten werden mit 31,9 EUR/h je Mitarbeiter (2 Personen je Fahrzeug) angenommen. Kosten für die Behälter schlagen mit 4,7 EUR je Stück (120 L) bzw. 9,4 EUR je Stück (240 L) und Jahr zu Buche (siehe Tabelle 6-121).

Tabelle 6-121: Kosten der Sammlung von Siedlungsabfällen ((Kranert und Cord-Landwehr 2010), eigene Berechnung des Preisstandes 2012)

Element	Kosten pro Stück	Kosten pro Tonne Abfall	Kommentar
Behälterkosten	4,70 EUR/(Behälter*Jahr)	7,68 EUR/t	n=10 mittleres Behälterinhaltsgewicht: 11,5 kg wöchentliche Leerung
Personalkosten	31,89 EUR /(Mitarbeiter*h)	53,92 EUR/t	Lohnkosten: 47.500 EUR Arbeitsstunden: 2002 h 2 Personen Zeitbedarf Sammlung: 0,85 h/t (120L)
Fahrzeugkosten	38,98 EUR /(Fahrzeug*h)	32,95 EUR/t	Einsatzstunden; 2002 h Zeitbedarf Sammlung: 0,85 h/t (120L)
GESAMT		96,4 EUR/t	

Für die weitere Verwendung dieser Kostensätze muss zwischen Hol- und Bringsystemen differenziert werden. Diese Differenzierung wirkt sich auf die Mengen aus (weniger Behälter in der Abfallwirtschaft i.e.S. bei einem Holsystem, höhere Fahrzeugkosten bei einem Holsystem) nicht jedoch auf die Kostensätze.

6.7.1.2 Bereich Behandlung und Entsorgung

Sortierung Siedlungsabfälle

Fleischhacker beschäftigt sich in ihrer Masterarbeit zum Thema „Stoffliche Verwertung von Abfällen – Einsatz der Nahinfrarot-Sortiertechnik im Bereich von Gewerbeabfällen“ auch mit der Wirtschaftlichkeit von Sortieranlagen (Fleischhacker 2011). Als Investitionskosten für eine Nahinfrarotsortiermaschine mit einer Sortierbreite von 2,8 Metern inkl. Fracht, Verpackung, Montageüberwachung, Inbetriebnahme und Schulung werden 223.870 EUR genannt. Im genannten Beispiel wurde eine derartige Anlage zur Sortierung von Altpapier eingesetzt. Zwei Förderbänder und eine passende Stahlkonstruktion werden auf weitere 134.000 EUR geschätzt. Geht man von einer Abschreibungsdauer von 10 Jahren und jährlichen Instandhaltungskosten in der Höhe von 3 % der Investitionskosten aus, ergeben sich, jährliche Fixkosten von 36.861 EUR. Daneben fallen im laufenden Betrieb (Annahme: Betriebsdauer: 4000 h im Jahr; Durchsatz: 10.500 t im Jahr) Energie- und Druckluftkosten von 7.386 EUR pro Jahr insgesamt sowie Personalkosten als Manipulationskosten mit einem Wert von 3,60 EUR/t (siehe Tabelle 6-122).

Tabelle 6-122: Behandlungskosten für Sortierung von Siedlungsabfällen (Eigene Erhebungen und Berechnungen auf Basis von Fleischhacker (2011) [EUR]

Kostenkategorie	Anschaffungskosten	Lfd. Kosten	Kommentar
Maschine, inkl. Montage	223.870		Durchsatz: 10500 t/a
Förderbänder und Stahlkonstruktion	134.000		
Abschreibung (AfA)		35.787	n= 10
Instandhaltung		1.074	3 % von AfA
Energie- und Druckluftkosten		7.386	14 kW, 6,8 Cent
Personal		38.934	3,6 EUR/t

Zuzüglich eines 30 % Aufschlags für Vertriebs- und Verwaltungsgemeinkosten ergibt sich für das Jahr 2012 ein Behandlungswertansatz von rund 10 EUR je Tonne (Schwankungsbreite: +/- 10%)

Verpackung/Immobilisierung von Asbest

Für die Entsorgung von Asbest fallen im wesentlichen Kosten für die Verpackung bzw. Immobilisierung von Asbest an. Dabei kommen in der Regel so genannte Big Bags zum Einsatz, in denen Asbest bzw. asbesthaltiges Material verpackt und transportfähig gemacht wird. Die Kosten für einen Big Bag bewegen sich zwischen 10-15 EUR umgelegt auf eine Tonne. Hinzu kommen noch allfällige Entsorgungskosten auf der Deponie (Annahme: 60 EUR je Tonne). (Schwankungsbreite: +/- 32%)

Behandlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten

Zur Behandlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) liegen bis dato wenig Untersuchungen vor, was angesichts des relativ neuen abfallwirtschaftlichen Prozesses erklärbar ist.

Auf Basis einer Expertenschätzung konnten Bandbreiten für die Behandlung von den fünf in der Studie betrachteten Hauptkategorien der Elektroaltgeräteverordnung (EAG 2005) ermittelt werden (siehe Tabelle 6-123). Dabei handelt es sich um mittel- bzw. langfristige Wertansätze auf Vollkostenbasis zum aktuellen Stand der Technik (2014). Kurzfristige Abweichungen davon sind möglich.

Tabelle 6-123: Behandlungskosten für EAG je Gerätekategorie (Expertenschätzung) [EUR/t]

EAG Gerätekategorie	Minimum	Maximum	Einfacher Durchschnitt
Bildschirmgeräte	220	260	240
Kühl- und Gefriergeräte	240	270	255
Großgeräte	40	70	55
Kleingeräte	90	160	125
Gasentladungslampe	500	700	600

Aufbereitungsanlagen für Baurestmassen

Aufbauend auf einer Untersuchung von 11 Aufbereitungsanlagen für Baurestmassen schätzen Bilitewski und Härdtle (2013) die spezifischen Kosten (EUR/t) in Abhängigkeit von der Anlagengröße (siehe Abb. 6-26). Neben der Fixkostendegression zeigt sich auch ein leichter Rückgang in den variablen Kosten bei steigender Anlagengröße. Die Bandbreite der so erhaltenen durchschnittlichen spezifischen Gesamtkosten (10-20 EUR/t) deckt sich mit der Schätzung eines österreichischen Experten (siehe Tabelle 6-124).

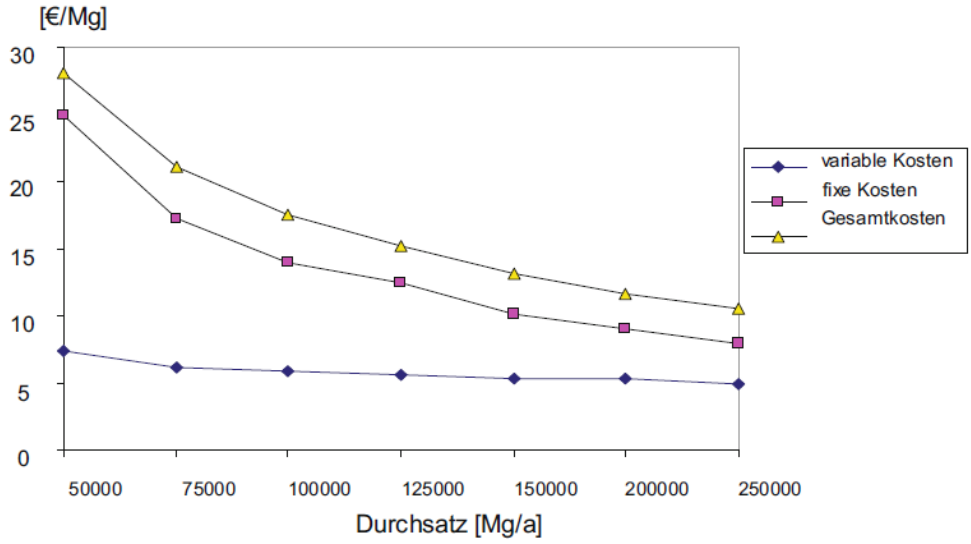


Abb. 6-26: Spezifische Kosten von 11 Aufbereitungsanlagen für Baurestmassen in Abhängigkeit vom Durchsatz (Bilitewski und Härdtle 2013)

Tabelle 6-124: Behandlungskosten (EUR/t) für Baurestmassen (Expertenschätzung) [EUR/t]

Prozess	Minimum	Maximum	Einfacher Durschnitt
Aufbereitungsanlagen für Baurestmassen	13	19	16

Anlagen zur Verwertung/Sortierung getrennt erfasster Altstoffe und Holzabfälle

Unter die Anlagen zur Verwertung/Sortierung getrennt erfasster Altstoffe und Holzabfälle fallen Behandlungsanlagen für Altpapier, Altglas, Altmetalle, Altholz- und Holzabfälle, sowie für Altkunststoffe.

Altpapier

In einer Erhebung der EU-Kommission Anfang der 2000er-Jahre wurden rund 34 EUR (valorisiert) je Tonne für eine Altpapiersortieranlage mit einer Jahreskapazität von ca. 25.000 Tonnen veranschlagt (EU 2002). Die zugrunde gelegte Anlage besteht unter anderem aus einem Lager, einer Beschickungseinheit, inklusive Frontlader, einer mechanischen Vorsortierung, einem Fließband mit manueller Sortierung und einer Ballenpresse.

Sortieranlagen für Altpapier werden von Bilitewski und Härdtle (2013) auf ihre Kosten unter-sucht (siehe Tabelle 6-125). Bei dieser Tabelle fällt auf, dass bei Anlagen mit hohen Investitionskosten auch höhere Betriebskosten anfallen. Aus dieser Sicht wäre es also unwirtschaftlich in eine stärker automatisierte Anlage zu investieren. In den angegebenen Betriebskosten sind jedoch keine Personalkosten enthalten. Stärker automatisierte Anlagen benötigen weniger Personal und können einen höheren Durchsatz bearbeiten (Bilitewski und Härdtle 2013). Ergänzend ist auch anzumerken, dass sich die hier berichteten Daten auf die erste Hälfte der 2000er Jahre beziehen.

Tabelle 6-125: Investitions- und Betriebskosten von Altpapiersortieranlagen (Eigene Erhebungen und Berechnungen auf Basis (Bilitewski und Härdtle 2013))

Konfiguration	Investitionskosten	Betriebskosten (ohne Personal)	Kommentar
Grundkonfiguration	32.400 – 86.400	16 – 21 EUR/t	hoher manueller Sortieranteil
Erweiterte Konfiguration	130.000 – 1.620.000 EUR	18 – 32 EUR/t	mechanische Vorsortierung

Im Rahmen eigener Erhebungen zeigte sich, dass die Kosten für die Sortierung von Altpapier mittlerweile zwischen 20 und 30 EUR /t liegen. Einer Expertenschätzung eines österreichischen Branchenvertreters zufolge bewegen sich die Sortierkosten in diesem Intervall. Erhebungen von deutschen KollegInnen der Papiertechnischen Stiftung kommen zu einem etwas höheren Kostensatz von rund 30EUR/t in modernen Sortieranlagen mit einer Kapazität von 30.000 Tonnen im Jahr. Für die vorliegende Untersuchung wird von einem durchschnittlichen Satz von 25 EUR/t ausgegangen. (Schwankungsbreite: +/- 20%)

Altglas

Die Kosten für die Sortierung von Altglas wurden auf Basis der Expertenschätzung eines führenden österreichischen Anlagenherstellers ermittelt (Tabelle 6-126). Dieser Größenordnung wurde auch durch einen weiteren österreichischen Branchenvertreter bestätigt, der zusätzlich auch auf ähnliche Kostendimensionen in Deutschland hinwies. Eine ältere Studie im Auftrag der EU-Kommission kommt auf rund 18EUR/t (valorisiert) bei einer angenommen Anlagenkapazität von 100.000 t im Jahr (EU 2002). Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen der Studie 25 EUR/t an Kosten für die Altglassortierung angesetzt. (Schwankungsbreite: +/- 20%)

Tabelle 6-126: Behandlungskosten (EUR/t) für Altglassortierung (Expertenschätzung)

Prozess	Minimum	Maximum	Einfacher Durschnitt
Altglassortierung	20 EUR/t	30 EUR/t	25 EUR/t

Altmetalle

Im Rahmen der vorliegenden Erhebungen gelang es trotz intensiver Bemühungen nicht, konkrete Kostensätze für die Sortierung von Altmetallen zu ermitteln. Wir gehen in den Berechnungen daher von den Wertansätzen aus, die für anderen Altstoffe ermittelt wurden. Als gemittelter Wertansatz werden daher rund 25 EUR/t angenommen. (Schwankungsbreite: +/- 20%)

Altholz- und Holzabfälle

Für die Kosten der Aufbereitung von Altholz kommt Wolff (2004) in einer Untersuchung für Deutschland zu Werten zwischen 19 und 26 EUR/t. Das Verhältnis von anteiligen Fix-kosten (Anlagen, Radlader und Greifbagger, Grundstück, Gebäude) zu variablen Kosten (u.a. Personal, Energie, Reparatur) beträgt rund 50:50. In den variablen Kosten sind aller-dings auch anteilige Entsorgungskosten für Metalle und Kunststoffe enthalten. Als durchschnittlichen Wertansatz für die Aufbereitung von Altholz werden daher 25 EUR/t angenommen. (Schwankungsbreite: +/- 32%)

Tabelle 6-127: Behandlungskosten für Altholz – eigene Berechnung nach (Wolff 2004)

Prozess	Konfiguration	Investitionskosten	Betriebskosten
Minimum Variante (Grober Output < 200 mm)	Aufgabe mit Radlader und Greifbagger Sortierkabine Prallmühle Klassierung mit Linearwucht-/Schwingsiebmachine Stromversorgung über Stromaggregate Entstaubung mit 5.000 m³/h Abluftstrom Jahresdurchsatz: 45.000 t	AK: 810.000 EUR	10 EUR/t

Prozess	Konfiguration	Investitionskosten	Betriebskosten
Maximum Variante (Feiner Output < 30 mm & < 10 mm)	Aufgabe mit Radlader und Greifbagger Sortierkabine Prallmühle + 2-rotorige Hammermühle Klassierung mit Linearwucht-/Schwingsiebmachine Stromversorgung über Stromaggregate Entstaubung mit 75.000 m³/h Abluftstrom Jahresdurchsatz: 45.000 t	AK: 1.720.000 EUR	14 EUR/t

Altkunststoffe

Im Vergleich zu den Altstoffen mit hohem Schüttraumgewicht (z.B. Altglas, Altpapier) verursachen Altkunststoffe relativ hohe spezifische Kosten je Tonne im Rahmen der Sortierung. Dies wird unter anderem auch von (Bilitewski und Härdtle 2013) in ihrer Kalkulation thematisiert. Die Autoren stellen fest, dass „niedrige Schüttgewichte, geringe Einzelteil-massen, hohe Verunreinigungsgrade, Artikel- und Stoffvielfalt sowie eine starke Heterogenität bezüglich aller physikalischen Parameter (…) eine mechanische Aufbereitung der Leichtverpackungsgemische erschweren (…)".

Je nach Grad der Automatisierung/Technisierung unterscheiden Bilitewski und Härdtle (2013) drei Konfigurationen von Anlagen: Die Grundkonfiguration zeichnet sich durch niedrige Kapitalkosten (55.000-160.000 EUR), sehr hohe Zuverlässigkeit bzw. Anlagenverfügbarkeit sowie hohe Flexibilität aus. Dabei werden ein einfaches mechanisches Absieben sowie eine manuelle Sortierung angenommen. Wesentlicher Nachteil neben den relativ hohen Personalkosten ist der relativ geringe Durchsatz (1t/h je Prozesslinie). In der erweiterten Konfiguration werden zusätzliche Prozessschritte wie z.B. Sortierung mittels Infrarottechnologie und verschiedene Trennstufen zur Abtrennung von Eisen- und Nichteisenmetallen integriert. Je nach Ausgestaltung (u.a. Anlagengröße) fallen dafür zwischen 150.000 und 2.500.000 EUR/t an Investitionskosten an. Die am weitesten automatisierte Konfiguration kombiniert in zwei aufeinanderfolgenden Schritten trockene und nasse mechanische Prozesse mit einer anschießenden Veredelung von Kunststoffen zu Polymergranulaten in definierten Qualitäten. Die Vorteile dieser Konfiguration liegen im hohen Durchsatz und dem spezifischen Granulat-Output. Gleichzeitig ist diese Anlage aber relativ inflexibel und reagiert sensibel auf Inputänderungen.

Tabelle 6-128: Behandlungskosten für Altkunststoffe - Eigene Erhebungen und Berechnungen auf Basis (Bilitewski und Härdtle 2013)

Prozess	Investitionskosten	Gesamtkosten	Kommentar
Grundkonfiguration	55.000-160.000 EUR	163-325 EUR/t	Durchsatz: 1t/h
Erweiterte Konfiguration	150.000-2.500.000 EUR	163-244 EUR/t	Durchsatz: 1-3t/h
Fortgeschrittene Konfiguration	k.a.	262-297 EUR/t	Durchsatz: 5-6t/h

Eine ältere Studie gibt die Kosten für die Sortierung je Tonne Altkunststoff mit rund 347 EUR/t (valorisiert) an (EU 2002). Angenommen wird ein Flachbunker, eine Beschickungseinheit, inklusive Frontlader, ein Trommelsieb, ein Fließband mit manueller Sortierung, ein Magnetabscheider und eine Ballenpresse.

Im Rahmen dieser Studie gehen wir von einem durchschnittlichen Wertansatz von 245 EUR/t Altkunststoff aus. Dieser ergibt sich als einfacher Mittelwert aus den auf Basis von (Bilitewski und Härdtle 2013) ermittelten Gesamtkosten. (Schwankungsbreite: +/- 45%)

Shredderanlagen für Metallabfälle

Die durchschnittlichen Kosten für diesen Behandlungsprozess wurden auf Basis einer Expertenschätzung eines österreichischen Branchenvertreters festgelegt. Dabei wurden das Intervall mit 80-120 EUR/t ermittelt. Als einfachen Mittelwert wurden 100 EUR/t als Behandlungskosten angenommen. Als Vergleichswerte für einzelne Prozessschritte sind in Tabelle 6-129 Kostensätze für einzelne Prozesse auf Basis interner Erhebungen der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen dargestellt.

Tabelle 6-129: Kostensätze der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen (Eigene Darstellung auf Basis (BDSV 2007))

Prozess	Konfiguration	Aufbereitungs-kosten EUR/t	Leistung t/h
Shredder	3000 PS und mehr 1250 PS – 2500 PS Kleinshredder unter 1000 PS und Mühlen	44 50 67	65-90 38-50 10-16
Großscheren	ab 1000 t Schneiddruck 600-1000 t Schneiddruck 350-600 t Schneiddruck Jahresdurchsatz: 45.000 t	11 16 24	28-60 14-26 8-13
Pressen	Pressen	21	9-13
Brennschneiden	Schwerer Stahlschrott und Kupolofenschrott chargierfähig (bis 150x50x50 cm) Vorschneiden für andere Verarbeitung	31 21	2-3 3-5

Behandlungsanlagen für verunreinigte Böden

Eine Studie im Auftrag der Universität Stuttgart (VEGAS 2008) beschäftigt sich mit den Kosten verschiedener Ex-Situ-Reinigungsverfahren. Für eine thermische Ex-Situ-Bodenreinigung werden in der Studie rund 244 EUR/t (Pyrolyse) bzw. 130 EUR/t (Dampfextraktion) angegeben (LUA NRW 2005, zitiert nach (VEGAS 2008)). Inkludiert sind dabei die Arbeitsschritte Klassierung, Zerkleinerung und Abluftreinigung. Als relevante Einflussgrößen werden Schadstoffzusammensetzung, Behandlungsmasse und Bodenfeuchte genannt. Für eine Ex-Situ-Bodenwäsche liegen die Kosten bei rund 116 EUR/t. Dieser Wert ist jedoch sehr stark von Art des Bodenmaterials, dem Feinkornanteil und den Schadstoffen abhängig (LUA NRW 2005, zitiert nach (VEGAS 2008)).

Für die in der hier vorliegenden Studie primär betrachte mikrobiologische Bodenbehandlung (ex-situ) wird ein Wertansatz von 58 EUR je Tonne genannt (ibid.; valorisiert). Bei dem Verfahren wird das kontaminierte Material zumeist in Hallen zu Mieten aufgeschüttet und teilweise belüftet und gewendet. Kosten für Aushub, Bodentransport und Wiederverfüllung sind hier nicht berücksichtigt. In einem Expertengespräch wurde dieser Wertansatz für Österreich als plausibel erachtet. (Schwankungsbreite: +/- 32%)

Thermische Anlagen (Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle, Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen)

Daten über Investitions- und Betriebskosten von thermischen Anlagen sind verhältnismäßig gut verfügbar. Aufgrund der großen Verbreitung dieses Anlagentyps konnten gleich mehrere zuverlässige Datenquellen für Investitions- und Betriebskosten ermittelt werden.

Die Studie „Stand der Technik bei Abfallverbrennungsanlagen“, herausgegeben von Stubenvoll et al. (2002) weist Investitions- und Betriebskosten gegliedert nach einzelnen Verfahren und entsprechenden Anlagenteilen (Wasser-Dampf-Kreislauf, Rauchgasreinigung, Nachgasreinigung, Wirbelschichtfeuerungen), sowie je nach spezifischem Durchsatz (zwischen 70.000 und 300.000 t/a) aus.

In einer neueren Untersuchung aktualisieren (Hauer 2010) diese Wertansätze und ergänzen sie mit Anlagendaten aus dem deutschsprachigen Raum. Daraus ergibt sich ein Intervall an Investitionskosten zwischen 500 und 1000 EUR/t Jahreskapazität. Die variablen Kosten werden mit rund 50 EUR/t angenommen. Diese Parameter wurden mit einem Betreiber einer österreichischen Abfallverbrennungsanlage besprochen und für die österreichischen Anlagen wie in Tabelle 6-130 dargestellt konkretisiert. Für die Analgen mit Rostfeuerung wurden 850 EUR je installierter Jahrestonne an Investitionskosten angenommen, für die Wirbelschichttechnologie 550 EUR je Jahrestonne. In beiden Fällen wurden 50 EUR/t als variabler Kostenanteil angenommen. Daher ergeben sich für diese Studie Kostenansätze von 117 bzw. 93 EUR/t Siedlungsabfall. Diese Wertansätze werden auch durch eine kürzlich durchgeführte Studie von Trendresearch (2014; zitiert nach

EUWID 2015) bestätigt, wonach sich die Kosten bei Abfallverbrennungsanlagen zwischen 89 und 110 EUR/t bewegen.

Tabelle 6-130: Behandlungskosten für Thermische Behandlung von Siedlungsabfällen - Eigene Erhebungen und Berechnungen auf (Stubenvoll et al. 2002, Hauer 2010)

Prozess	Investitionskosten	Gesamtkosten	Kommentar
Rostfeuerung	850 EUR je Jahrestonne	67 + 50 EUR/t	n= 15 Auslastung: 85 % BK: 50 EUR/t
Wirbelschicht	550 EUR je Jahrestonne	43 + 50 EUR/t	n= 15 Auslastung: 85 % BK: 50 EUR/t

Für den Bereich „Mitverbrennung“ konnten nur sehr eingeschränkt Kostensätze ermitteln. Auf Basis einer Veröffentlichung des deutschen Umweltbundesamtes (2008) konnten für den Bereich „Mitverbrennung Zement“ folgende Werte ermittelt werden. Als zusätzliche spezifische Investitionskosten pro bestehender Verwertungsanlage werden 1,4-6,5 Mio. EUR angenommen. Daraus ergeben sich Behandlungskosten zwischen 33 und 54 EUR/t. Als einfacher Mittelwert werden im Rahmen der Studie 45 EUR/t angenommen. Diese Größenordnung scheint auch für Österreich plausibel. In Ermangelung zuverlässiger Quellen für diesen sehr heterogenen Bereich wurde der Wert aus der „Mitverbrennung Zement“ auf die Bereiche „Mitverbrennung Holz“ sowie „Mitverbrennung Papier“ übertragen.

Kompostierungsanlagen

Auch die Kosten von Kompostierungsanlagen werden in der Literatur vielfach behandelt (Lemser et al. 1999, Kranert und Cord-Landwehr 2010, Bilitewski und Härdtle 2013). Da die letztgenannten beiden Quellen zum einen aktueller sind und zum anderen auch zur Analyse der Kosten anderer Anlagentypen herangezogen wurden, werden sie im weiteren Verlauf der Studie vorrangig behandelt.

Kranert und Cord-Landwehr (2010) befassen sich mit Bioabfallkompostierungsanlagen und gliedern sie nach eingehausten und nicht eingehausten Anlagen sowie jeweiligem Anlagen-durchsatz. Die jeweiligen Investitions- und Betriebskosten sind in Tabelle 6-131 ersichtlich (Preisstand 2010).

Tabelle 6-131: Investitions- und Betriebskosten von Bioabfallkompostierungsanlagen

Nicht eingehauste Anlagen	kleiner 5.000 T/a	Investitionskosten	350-700 EUR/(t*a)
		Betriebskosten	70-140 EUR /t
	10.000 T/a	Investitionskosten	250-500 EUR /(t*a)
		Betriebskosten	50-100 EUR /t
	25.000 T/a	Investitionskosten	200-400 EUR /(t*a)
		Betriebskosten	40-80 EUR /t
	50.000 T/a	Investitionskosten	150-300 EUR /(t*a)
		Betriebskosten	30-60 EUR /t
Eingehauste Anlagen	kleiner 5.000 T/a	Investitionskosten	70-1.200 EUR /(t*a)
		Betriebskosten	110-220 EUR /t
	10.000 T/a	Investitionskosten	600-1.000 EUR /(t*a)
		Betriebskosten	100-200 Euro/t
	25.000 T/a	Investitionskosten	450-750 EUR /(t*a)
		Betriebskosten	75-150 EUR /t
	50.000 T/a	Investitionskosten	350-600 EUR /(t*a)
		Betriebskosten	70-120 EUR /t

Bilitewski und Härdtle (2013) nennen Kosten und Erlöse bei bestimmten Vergärungsverfahren (Boxenverfahren, Propfenstromverfahren, Nassvergärung).

Tabelle 6-132: Investitions- und Betriebskosten bei bestimmten Vergärungsverfahren nach Bilitewski und Härdtle (2013)

Vergärungsverfahren als Vorschaltanlage vor der Kompostierung	Boxenverfahren	minimale spezifische Investitionen	160 EUR/t
		maximale spezifische Investitionen	310 EUR/t
		minimale spezifische Betriebskosten	15 EUR/t
		maximale spezifische Betriebskosten	30 EUR/t
	Pfropfenstrom-verfahren	minimale spezifische Investitionen	250 EUR/t
		maximale spezifische Investitionen	470 EUR/t
		minimale spezifische Betriebskosten	18 EUR/t
		maximale. spezifische Betriebskosten	38 EUR/t
	Nassvergärung	minimale spezifische Investitionen	260 EUR/t
		maximale spezifische Investitionen	480 EUR/t
		minimale spezifische Betriebskosten	20 EUR/t
		maximale spezifische Betriebskosten	40 EUR/t

In Österreich dominiert die offene Mietenkompostierung. Eingehauste Anlagen kommen nur an sehr wenigen Standorten zum Einsatz und werden dann als integrierte Biogas/Kompostierungsanlagen betrieben (z.B. Spittal/Drau). Bei geschlossenem Rottensystem ist aufgrund der höheren Investitions- und Betriebskosten von wesentlich höheren Kosten auszugehen (ca. doppelt so hoch). Auf Basis einer Expertenschätzung können die Behandlungskosten mit 40-50 EUR/t abgeschätzt werden. Im österreichischen Kontext werden daher 45 EUR/t angesetzt.

Biogasanlagen

Für Biogasanlagen finden sich viele Kostensätze und Modellrechnungen in der Literatur (Vogel 1997, Lemser et al. 1999, Güssing Energy Technologies 2011). Im Unterschied zu herkömmlichen Biogasanlagen benötigen Biogasanalgen, die auch Inputs aus der Abfallwirtschaft verwerten, zusätzliche Technologie zur Hygienisierung von Abfällen, die sich insbesondere in höheren Investitionskosten niederschlägt. Positiv wirkt sich aus, dass für diese Inputs aus der Abfallwirtschaft zum Teil Erlöse generiert werden können, während sie im herkömmlichen Anlagensetting (Mais) als Kosten auftauchen.

Die Kosten für solche spezialisierten Abfallverwertungsanlagen wurden auf Basis einer Expertenschätzung ermittelt. Die angenommenen Gesamtkosten liegen zwischen 60-110 EUR/t Inputmaterial. Angenommen wurden dabei ein Anlagengröße von 2.000-3000 Jahrestonnen und eine Abschreibungsdauer von 15 Jahren. Der variable Kostenanteil der Gesamtkosten je Tonne liegt bei rund 50 %. Für die Studie wird daher von einem Mittelwert von 85 EUR/t ausgegangen.

Mechanisch-biologische Abfallbehandlung

Eine sehr detaillierte Aufstellung von Kosten mechanisch-biologischer Abfallbehandlungsanlagen (MBA-Anlagen) befindet sich in der Studie „Kostenstrukturuntersuchung von Abfallbeseitigungsverfahren“ von Auksutat und Löffler (1997). Sowohl Investitions- als auch Betriebskosten verschiedener Anlagentypen und -teile werden genannt und auf verschiedene Durchsätze an-gewandt. Die Kalkulation der Studie bezieht sich allerdings bereits auf Mitte der 1990er Jahre. Bedeutend neuer sind die Angaben in Bilitewski und Härdtle (2013). Investitionskosten (Bau-, Maschinen-Anschaffungs- und Ausrüstungskosten) und Betriebskosten (Personal-, Wartungs- und Energiekosten, sowie sonstige Kosten) werden für die Kompostierung und die Pelletierung in einer MBA (jeweils für verschiedene Durchsätze) angegeben. Die Bandbreite bei den Investitionskosten reicht von 12 Mio. EUR für eine Anlage mit rund 50.000 Jahrestonnen bis zu 40 Mio. EUR für eine Anlage mit 220.000 Tonnen Jahreskapazität. Als Gesamtkosten werden je nach Konfiguration der MBA-Anlage zwischen 40 und 100 EUR je Tonne angenommen. Eine Studie von Trendresearch (2014; zitiert nach EUWID 2015) schätzt die Behandlungskosten von MBA-anlagen auf 88 bis 104 EUR je Tonne. Der Mittelwert von 95 EUR je Tonne wird als Wertansatz für die Studie angenommen.

Deponierung

Kostensätze für die Investitions- und Betriebskosten von Deponien finden sich bei (Kranert und Cord-Landwehr 2010). Dort finden sich folgende Anhaltswerte:

Tabelle 6-133: Investitions- und Betriebskosten von Deponien (Kranert und Cord-Landwehr 2010)

Baukosten	32–42	EUR/t
Betriebskosten	16–32	EUR/t
Nachsorgekosten	10–21l	EUR/t

Exaktere Kostensätze, aufgegliedert nach den einzelnen Deponiearten finden sich in der umfassenden Studie von (Brunner et al. 2001). Diese Kostensätze sind um den damals zu entrichtenden Beitrag entsprechend dem Altlastensanierungsgesetz (ALSAG-Beitrag) reduziert. Nachteile dieser Kostensätze sind, dass sie vor mittlerweile 15 Jahren erhoben wurden und die Technologien und gesetzlichen Rahmenbedingungen sich weiterentwickelt haben (Neu-Kategorisierung der Deponiearten). Dennoch sind die Werte mit jenen von Kranert vergleichbar.

Eine relativ aktuelle Erhebung der (EU 2012) zu ökonomischen Instrumenten in der Abfallwirtschaft enthält Angaben zu den durchschnittlichen kostendeckenden Preisen von unterschiedlichen Deponiearten (siehe Tabelle 6-134). Für die Behandlung von einfachem Bodenaushub werden 3,70 bis 5 EUR je Tonne angesetzt. Für die näher betrachteten Baurestmassendeponie und Inertabfalldeponie werden Werte von rund 18 EUR je Tonne genannt. Durchschnittliche Übernahmepreise für Reststoffdeponien und Massenabfalldeponie betragen 70 EUR bzw. 82 EUR je Tonne. (Schwankungsbreite: +/- 20% Baurestmassen- und Inertabfalldeponie, +/- 32% für Reststoff-und Massenabfalldeponie)d

Tabelle 6-134: Durchschnittliche kostendeckende Übernahmepreise von Deponien (EU 2012)

Bodenaushubdeponie	3,7-5	EUR/t
Baurestmassendeponie	18,50-20	EUR/t
Inertabfalldeponie	18,50-20	EUR/t
Reststoffdeponie	70	EUR/t
Massenabfalldeponie	82	EUR/t

Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen (CPO, CPA, CPOA)

Aufgrund der großen Vielfalt an chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen (CP-Anlagen) stellte das Auffinden von Kostensätzen für diese eine besondere Herausforderung dar. Auf Basis von zwei Expertenschätzungen von Anlagenbetreibern wurde die Bandbreite der durchschnittlichen Behandlungskosten mit 85-115 EUR je Tonne angenommen und in der Folge ein Mittelwert von 100 EUR je Tonne für die vorliegende Studie angenommen.

6.7.2 Kostensätze zur Berechnung externer Kosten

Unter den externen Kosten der Abfallwirtschaft werden jene Kosten verstanden, die von den Akteuren der Abfallwirtschaft verursacht, aber nicht getragen werden. Klassischerweise handelt es sich dabei um Schadstoffemissionen, die in allen Bereichen der Abfallwirtschaft (Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung) anfallen können. Die emittierten Stoffe sind üblicherweise keine privaten Güter, weshalb es keinen Markt und damit auch keinen Marktpreis gibt. Die Ermittlung der externen Kosten muss folglich anders erfolgen als jene der internen Kosten. Zentrale Quelle für die Ermittlung der Kostensätze (jeweils in EUR/kg, Preisstand 2012) ist die Studie „Ecocosts 2012“ (Vogtländer 2013). Wird eine andere Quelle für externe Kosten verwendet, so ist diese angegeben.

Ein Ansatz, um externe Effekte, die durch wirtschaftliche Aktivitäten verursacht werden, zu messen, ist der Vermeidungskosten-Ansatz. Dieser Ansatz wurde in der Studie „Ecocosts 2012“angewendet. Vermeidungskosten sind jene Kosten, die aufgewendet werden müssen, um den durch einen negativen externen Effekt hervorgerufenen Schaden zu vermeiden. Beispielhaft stelle man sich den Einsatz eines Filters in einer schadstoff-emittierenden Abfallbehandlungsanlage vor. Durch den Einbau des Filters wird eine gewisse Menge eines bestimmten Schadstoffs vermieden. Stellt man die Kosten des Filters dieser Menge gegenüber, können bestimmte Vermeidungskosten (in EUR) pro Schadstoffmenge (in kg) berechnet werden. Nun ist es so, dass nicht jedes Gramm vermiedenen Schadstoffs den gleichen positiven Effekt aufweist. In der Ecocost-Studie werden die Vermeidungskosten deshalb regionsweit (in diesem Fall für die gesamten Niederlande) berechnet

und auf Europa umgelegt. Auch wirken Schadstoffe in bestimmten Umweltmedien unterschiedlich stark, weswegen mitunter verschieden hohe Euro-Werte für die gleiche vermiedene Schadstoffmenge ausgewiesen werden können, je nachdem in welches Umweltmedium (Luft, Boden, Wasser) emittiert wird. Auch der Begriff des Schadens muss noch näher betrachtet werden: Schädlich (und damit als volkswirtschaftlicher Ressourcenverbrauch zu werten) ist nicht nur die Zerstörung der Umwelt (durch Versäuerung, Eutrophierung etc.), sondern selbstverständlich auch die Gefährdung der menschlichen Gesundheit.

In Tabelle 6-135 sind demgemäß die wichtigsten Schadstoffe, die in abfallwirtschaftlichen Prozessen entstehen können, ausgewiesen, wobei jeweils angegeben ist, welche Art von Schaden vom jeweiligen Schadstoff zu erwarten ist. Für jedes Umweltmedium wird dem Schadstoff ist ein Kostensatz in EUR/kg zugeordnet, der die Vermeidungskosten für diesen Schadstoff angibt. Zusätzlich wird in einer Spalte „Ressourcenverbrauch" gezeigt, welche Kosten durch den Gebrauch des jeweiligen Stoffes entstehen. Hintergrund ist dabei die Tatsache, dass gewisse Stoffe in anderen Prozessen zweckmäßig eingesetzt werden könnten und entsprechend eine Zahlungsbereitschaft (z.B. ausgedrückt durch Marktpreise) für diesen Stoff besteht. Als Beispiel sei hier Blei genannt, das zwar Schäden verursacht, wenn es in den Boden oder in Gewässer gelangt, allerdings auch ein wertvoller Rohstoff in der Produktion von Gütern sein kann.

Tabelle 6-135: Externe Kosten (in EUR/kg) ausgewählter Schadstoffe ((Vogtländer 2013), eigene Berechnungen)

Schadstoff	Ress.verbrauch	Luft	Boden	Gewässer	Schaden
Cd	*2,57*		*7,12*	*15,48*	*Ö, K*
CH_4					
CO		*0,04*			*F*
CO_2		*0,14*			*T*
Cr_{gesamt}	*10,30*				
Cu	*2,44*		*41,61*		*Ö*
Fe	*0,13*				
Hg	*7,72*		*109,70*	*155,27*	*Ö, K*
N				*1,18*	*Eu*
N_2O					
NH_3				*0,97*	*Eu*
NH_4				*0,92*	*Eu*
Ni	*9,00*		*31,24*		*Ö, K*
NO_2		*14,74*			*V, Ö, S, F*
NO_3		*0,03*			*Ö*
P			*11,82*	*11,82*	*Eu*
Pb	*1,03*		*0,52*	*0,88*	*Ö, K*
Zn	*1,54*				

T…	Treibhauseffekt	S…	Sommersmog	K…	Krebs
V…	Versäuerung	F…	Feinstaub		
Eu…	Eutrophierung	Ö…	Ökotoxizität		

Erlöse für Wertstoffe und Wärmelieferung

Als ergänzende Information zu den Bruttokostensätzen findet sich in Tabelle 6-136 eine Auswahl an Erlösen für Wertstoffe bzw. Wärmeerlöse, die einen Teil der Einnahmen der Abfallwirtschaftsunternehmen abbilden. Der Bereich der Altmetalle ist äußert heterogen und die dazugehörigen geschätzten durchschnittlichen Erlöse reichen von 110 EUR/t für Haushaltsschrott bis zu hochpreisigen Altmetallen wie Nickel (3.300 EUR/t) und Kupfer (2.475 EUR/t) (Preisinformationen Altmetallhändler). Für Altglas ergibt sich ein geschätzter durchschnittlicher Erlös von 25 EUR/t laut Altglas Recycling Austria. Der durchschnittliche Preis für Altpapier im Jahr 2012 betrug laut Informationen der Austropapier rund 120 EUR/t. Für den sehr heterogenen Bereich der Altkunststoffe wurden 400 EUR/t auf Basis der Preisspiegel von EUWID und plasticker.de angenommen. Wertstofferlöse für Altholz werden mit durchschnittlich 20 EUR/t geschätzt (Basis EUWID). Für die Baurestmassen wurde auf Basis der Erhebungen des Österreichischer Baustoff-Recycling Verbands ein durchschnittlicher Erlös von 5,20 EUR/t geschätzt. Der angenommen Erlös für Kompost beruht auf Erhebungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost. Für Alttextilen wurden im Schnitt im Jahr 2012 durchschnittlich

350 EUR/t gezahlt (Handelsblatt 2013). Im Bereich der thermischen Verwertung wurden auf Basis von Expertenschätzungen durchschnittlicher Wärmeerlöse von 17,5 EUR/t angenommen.

Tabelle 6-136: Erlöse für Wertstoffe und Wärmelieferung (in EUR/t)

Fraktionen	Erlöse [EUR/t]
Metalle	
Metallabfälle (Haushaltsschrott)	110
Metallabfälle (Metallverpackungen)	110
Metallabfälle (Altmetalle)	110
Metallabfälle (Aluminium, Aluminiumfolien)	850
Metallabfälle (Blei)	600
Metallabfälle (Eisen und Stahlabfälle)	110
Metallabfälle (Kupfer)	2.475
Metallabfälle (NE-Metallabfälle)	200
Metallabfälle (Nickel und nickelhaltige Abfälle)	3.300
Metallabfälle (weitere)	200
Metallabfälle (Zink, Zinkplatten)	900
Glas	25
Papier	120
Kunststoff	400
Holz	20
Sonstiges	
Baurestmassen	5,2
Kompost	5,8
biogene Abfälle	3
Gärreste	5
Biogas	1
Textilien	350
Elektroaltgeräte (Teile)	100
Boden	1
Deponiegas	1
Eisenschrott aus thermischer Behandlung	110
Batterien und Akkumulatoren	90
Thermische Verwertung (Wärmeerlöse)	17

6.7.3 Kostensätze zur Berechnung der Kosten der österreichischen Haushalte

Für die ökonomische Abschätzung der Beiträge österreichischer Haushalte zur Zielerreichung des AWG wurden Kostensätze für die Maßnahmen, die die österreichischen Haushalte zur Zielerreichung des AWG leisten, ermittelt. Dabei wurden folgende Kostenarten berücksichtigt: Zeitkosten, Raumkosten, Fahrtkosten und Materialkosten. Soweit dies möglich und sinnvoll war, wurden diese Kostenarten für die folgenden drei Haushaltstypen differenziert betrachtet: Typ 1 (Wohnung in der Stadt), Typ 2 (Ein- oder Mehrfamilienhaus am Stadtrand), Typ 3 (Einfamilienhaus im ländlich-peripheren Raum).

Zeitkosten

Als Wertansatz für eine Stunde, die von Haushalten in der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne aufgewendet wird, wird ein Zeitkostensatz von 8 EUR je Stunde angenommen. Diese 8 EUR spiegeln Opportunitätskosten wider, die dadurch entstehen, dass durch die Ausführung einer Aktivität im Rahmen der Abfallwirtschaft iwS gleichzeitig auf alternative Aktivitäten verzichtet werden muss. Zeitkostensätze kommen insbesondere im Rahmen der Verkehrsplanung zur Anwendung. Für Österreich sind besonders die im Zuge der Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) genannten Werte relevant. Hier wird für die Bewertung von privaten Aktivitäten/Freizeit ein Satz von 8 EUR je Stunde genannt. Dieser kommt für die vorliegende Studie zur Anwendung.

Raumkosten

Zur Monetarisierung des Raumbedarfs für die Lagerung wird ein „Raumkostensatz“ benötigt. Als Referenzpunkt wird der durchschnittliche Wohnungsaufwand gemäß Statistik Austria herangezogen. Dieser setzt sich aus der Miete und den Betriebskosten sowie Garagenplatzkosten zusammen. Im Jahr 2012 betrug dieser Wohnungsaufwand (EUR je m²) zwischen 4,93 EUR (Burgenland) und 7,84 EUR (Vorarlberg). Im Österreich-Schnitt waren es 6,69 EUR. Vor diesem Hintergrund werden für die unterschiedlichen Haushaltstypen folgende Raumkosten angenommen:

Tabelle 6-137: Raumkosten für Haushaltstypen (eigene Darstellung, auf Basis (Graser 2014)))

Haushaltstyp 1 (städtisch)	7	EUR/m²
Haushaltstyp 2 (Stadtrand)	6	EUR/m²
Haushaltstyp 3 (ländlich)	5	EUR/m²

Fahrtkosten

Eine detaillierte Grundlage für die Abschätzung der Fahrtkosten bietet die Überprüfung von rund 4.400 Automodellen auf ihre monatlichen Kosten und auf die Kosten pro Kilometer durch den ÖAMTC in Kooperation mit dem MAGAZIN FORMAT. Die Berechnung beruht in Anlehnung an die Verkehrsplanungspraxis auf den Kosten eines Neuwagens, der über fünf Jahre 12.000 km pro Jahr gefahren wird (format.at 2012). Die berechneten Anteile sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 6-138: Fahrkosten für einen durchschnittlichen Haushalt (eigene Darstellung, auf Basis (Graser 2014)))

Wertverlust	0,34	EUR/km
Versicherung	0,11	EUR/km
Wartung	0,06	EUR/km
Kraftstoff	0,07	EUR/km
Nebenkosten	0,02	EUR/km
Gesamt	0,60	EUR/km

Materialkosten.

Als Materialkosten fließen einmalige Kosten für langlebige Behältnisse zur Lagerung des Abfalls in der Wohnung bzw. im Haus ein sowie laufend anfallende Kosten für Müllsäcke für Biomüll und Restmüll. Die folgenden Werte wurden dafür angesetzt:

Tabelle 6-139: Materialkosten für einen durchschnittlichen Haushalt (eigene Darstellung, auf Basis Graser (2014))

Müllsäcke (Restmüll)	0,05	EUR/Stk.	Volumen: 9 l
Biomüllsäcke	0,20	EUR/ Stk.	Volumen: 9 l
Mülleimer, Papierkorb	1,50	EUR/a	n=10 Jahre

6.8 Kritische Beurteilung der Datenbeschaffung und Daten

In den Kapiteln 6.1 bis 6.7 wurden die Datengrundlagen im Detail beschrieben und auf vorhandene Unsicherheiten der recherchierten bzw. abgeschätzten Daten hingewiesen.

Die Hauptdatenquellen hinsichtlich des Abfallaufkommens und der Behandlung der Abfälle sind der Statusbericht 2013 sowie die Daten des elektronischen Datenmanagements (EDM-Daten 2012) zum Statusbericht, welche seitens des BMLFUW und Umweltbundesamtes zur Verfügung gestellt wurden. Diese Daten beziehen sich auf jene von Abfallsammlern-und behandlern gemeldeten Abfallbilanzen für das Jahr 2012. Je nach Abfallfraktion ergeben sich somit unterschiedliche Datenqualitäten. Da keine exakten Informationen zur Datenunsicherheit bekannt sind wurden relative Unsicherheiten je Abfallfraktion zugewiesen (siehe Tabelle 19-1).

Trotz intensiver Recherche war es teilweise nicht möglich belastbare Daten zu erheben und es musste auf Expertenschätzungen und Annahmen zurückgegriffen werden. So ergeben sich Unsicherheiten einerseits

aufgrund mangelnder Datengrundlage und anderseits sind Werte aus der Literatur ihrerseits schon mit Unsicherheiten behaftet bzw. aufgrund des Erscheinungsjahres nicht mehr repräsentativ. **Hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung sind Daten zusätzlich aufgrund der Heterogenität einzelner Abfallströme mit großen Unsicherheiten behaftet; dies gilt speziell für gefährliche Abfälle und Abfälle aus dem Bauwesen.** Die Unsicherheiten im Bereich der Anlagen resultieren hauptsächlich aufgrund der unterschiedlich eingesetzten Technologien je Analgentyp. In vielen Fällen war es deshalb notwendig Musteranlagen (z.B. Deponie, CP-Anlagen) zu definieren.

Für die Generierung von Informationen über die qualitative und quantitative Abfallstromzusammensetzung und zur wissenschaftlich fundierten Vorgehensweise wären bei den Inputströmen in vielen Fällen laboranalytische Bestimmungen notwendig, da in der einschlägigen Literatur keine Daten vorhanden sind bzw. viele Stoffströme noch nicht untersucht wurden. Hinsichtlich der Outputströme wären zusätzlich zur Erfassung der Abfallströme Aufzeichnungen zu den Abwässern und Luftemissionen notwendig bzw. eine genaue Differenzierung zwischen Primär- und Sekundärabfällen.

Ein Alleinstellungsmerkmal dieser Benchmarking-Studie ist die Anwendung des Bilanzierungsprinzips. Dadurch kann die Datenqualität überprüft werden. Inputs und Outputs von Anlagen und Prozessen müssen sich entsprechen und zwar sowohl auf Güter- wie auch auf der stofflichen Ebene. Die dargestellten Resultate zeigen, dass die Datenqualität – beurteilt anhand des Bilanzprinzips – sehr heterogen ist. Einzelne Verfahren und ihre Transferkoeffizienten sind recht gut bekannt und beschrieben, den anderen fehlen quantitative Angaben, die eine Bilanz ermöglichen würden, völlig. Im Gegensatz zum Bundesabfallwirtschaftsplan bzw. Statusbericht wird in dieser Studie nicht nur eine Bilanz über die einzelnen Verfahren der Abfallwirtschaft angestrebt, sondern über die gesamte Abfallwirtschaft. Das heißt, ein Input in das System „österreichische Abfallwirtschaft“ soll durch das gesamte System bis zum Abfallende oder letzten Senke nachvollziehbar sein. Dieser hohe und bisher einzigartige Anspruch bedarf einer verhältnismäßig sehr guten Datenbasis, die bisher noch nicht vollständig sondern erst in Teilen erarbeitet werden konnte.

Es muss festgehalten werden, dass im Rahmen der vorliegenden Studie aufgrund des vorgegebenen Zeit- und Kostenrahmens fast ausschließlich auf Literaturdaten zurückgegriffen wurde. Mangels nationaler Daten wurde hierzu auch internationale Literatur (z.B. Zusammensetzung von Restmüll) zurückgegriffen. Da nicht immer aktuelle Informationen (auch hier v.a. in Bezug auf die jeweilige stoffliche Zusammensetzung der Abfallfraktionen) vorlagen musste zusätzlich oft auch auf ältere Literatur (vor 2000) zurückgegriffen werden. Besonders große Unsicherheiten und kaum nationale Daten sind hier für die Fraktion der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle anzumerken. Dasselbe gilt für Sperrmüll. Für biogene Abfälle war die Abschätzung der Inputzusammensetzung nur aus den Outputwerten möglich. Für viele Abfallfraktionen mussten Vereinfachungen getroffen werden. So wurden z.B. zur Berechnung des Wassergehaltes und der Stoffkonzentrationen für Kunststoffe nur die chemischen Analysewerte der Fraktionen „Kunststoffverpackungen/Folien“ und „Verbundverpackungen“ einer deutschen Studie herangezogen. Auch hier waren keine genaueren österreichischen Daten verfügbar. Insgesamt ist festzuhalten, dass v. a die verwendeten Daten zu den Stoffkonzentrationen mit großen Unsicherheiten behaftet sind und hier Defizite gegenüber generischen österreichischen Daten bestehen.

CP-Anlagen

Die bekannten Inputmengen, die sich aus mehreren Abfallarten zusammensetzen, waren sehr oberflächlich. Trotz intensiven Recherchen und auch auf Nachfragen direkt bei den Betreibern konnten bislang, mit wenigen Ausnahmen, keine belastbaren Daten gefunden werden. Der Output aus den CP-Anlagen war aufgrund der starken Abhängigkeit vom Input ebenso schwer zu bestimmen bzw. hochzurechnen. Insbesondere zur qualitativen Bestimmung der Abfallströme in den drei definierten Musteranlagen musste auf Expertenschätzungen zurückgegriffen werden. Dabei sei erwähnt, dass diese weder auf Analysedaten noch auf Aufzeichnungen von Anlagebetreibern beruhen. Um die Datenlage zu verbessern, wurde ein Dialog mit den Anlagenbetreibern angestoßen; aufgrund der schlechten Rücklaufquote der versandten Fragebögen (kein Fragebogen wurde trotz mehrfachen Urgierens an das Projektteam übermittelt) und der oftmaligen Berufung auf

die Wahrung von Betriebsgeheimnissen war es aber nicht möglich die Datenlage zu verbessern. Stoffdaten für Input und Output nach Abfallart und Transferkoeffizienten für CP-Anlagen sind somit trotz umfangreicher Recherche als sehr unsicher zu bezeichnen.

Biotechnische Behandlung

Um Transferkoeffizienten für biotechnische Anlagen mit ausreichender Genauigkeit zu berechnen, sind im Idealfall die Güter und Emissionen aus abfallwirtschaftlichen Prozessen (Input und Outputs) homogen und zeitlich nur geringfügig schwankend. Sie unterliegen jedoch zeitlichen Schwankungen sowie treten Schwierigkeiten durch Heterogenitäten auf.

Thermische Behandlung

Unsicherheiten bei der Bestimmung von Transferkoeffizienten der thermischen Behandlung ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Feuerungstechnologien, Rauchgasreinigungssysteme, der zeitlich unterschiedlichen Metallabscheidung sowie der eingesetzten Abfälle. Die ermittelten Transferkoeffizienten spiegeln somit eine durchschnittliche österreichische Verbrennungsanlage (je Typ) wider. Speziell bei den Mitverbrennungsanlagen musste auf ältere Studien zurückgegriffen werden, welche ihrerseits schon auf vorhandene Unsicherheiten hinweisen. Generell sind die Transferkoeffizienten von Abfallverbrennungsanlagen am besten untersucht.

Deponie

Zur Ermittlung der Emissionen aus Deponien musste erstens eine Zuordnung der Abfallarten je Deponietypen erfolgen. Weiters waren weitere Annahmen hinsichtlich Geometrie, Deponietechnik, Alter, abgelagerte Abfallfraktionen und –mengen notwendig, da es im Laufe dieser Studie nicht möglich ist alle Deponien im Detail zu untersuchen. Betrachtet wurden nur jene Abfälle die im Jahr 2012 auf Deponien abgelagert wurden.

Mittels der Definition einer Modelldeponie wird einerseits davon ausgegangen, dass der Stand der Technik gemäß DVO 2008 eingehalten wird und andererseits wurden Annahmen hinsichtlich der Geometrie getroffen. Für die Berechnung der Deponiesickerwasseremissionen musste vor allem der mobilisierbare Anteil einzelner Stoffe abgeschätzt werden, was in vielen Fällen nur auf Basis älterer Daten bzw. durch Annahmen möglich war. Speziell mit Inkraftreten der DVO 2008 kam es zu wesentlichen Änderungen im Zusammenhang mit der Ablagerung von Abfällen, die derzeit noch nicht ausreichend mit Literaturquellen belegt ist.

EAG-Behandlungsanlagen

Bei der Behandlung von EAG liegen speziell für den Verbleib der Kunststoffe aus der Behandlung keine detaillierteren Informationen vor.

Shredderanlagen

Der Datenbestand bei den Shredderanlagen erwies sich im Vergleich zu den anderen Anlagen um einiges besser. Neben den guten Daten zu den mengenmäßigen Anlageninputs, gibt es outputseitig eine relativ gut recherchierte und auch von Experten bestätigte qualitative Aufteilung der Mengenströme des Outputs. Stoffdaten für Input und Output nach Abfallart und Transferkoeffizienten für Shredderanlagen sind allerdings derzeit trotz umfangreicher Recherche als unsicher zu bezeichnen.

Ex-Situ – mikrobiologische Bodenbehandlung

Trotz der sehr ausführlichen Studie des Umweltbundesamtes können aufgrund mangelnder Datengrundlage die Transferkoeffizienten nur geschätzt werden und sind damit als unsicher einzustufen.

Aufbereitungsanlagen für BRM

Bei Angaben von Abfällen aus dem Bauwesen ist mit großen Unsicherheiten zu rechnen. Eine durchgehende Dokumentation von Abfällen aus dem Bauwesen ist nicht gewährleistet bzw. erfolgt gar keine Dokumentation. Die Einführung der Recycling-Baustoff Verordnung könnte eine bessere Dokumentation der stofflich verwerteten Fraktionen bringen und bestehende rechtliche „Grauzonen“ verringern. Speziell zu Gleisschotter ist keine

verfügbare Datengrundlage vorhanden. Eine durchschnittliche stoffliche Zusammensetzung von Baustellenabfällen abzuschätzen.

Anlagen zur Sortierung und Verwertung von Altstoffen

Aufgrund der Heterogenität und Vielzahl der Anlagen und der Inputströme ist die Datenqualität zur Sortierung und Verwertung von Altstoffen sehr unterschiedlich. Notwendige Abschätzungen und Annahmen sind in Kapitel 6.6.5.5 dargestellt.

Mechanische Anlagen von Siedlungsabfällen

Da nur sehr wenige Angaben über die Stoffzusammensetzung der mindestens 24 MA-Anlagen vorliegen ist eine Hochrechnung der Güterbilanzen für den Gesamtraum Österreich mit großen Unsicherheiten behaftet. Vor allem hat sich die Situation seit 2006 deutlich geändert (Insbesondere: Verbesserungen bei Metallabscheidung, Preisveränderungen am Markt für heizwertreiche Fraktionen).

Kosten

Bei der Abschätzung der volkswirtschaftlichen Kosten liegen Datenbestände mit unterschiedlicher Qualität zu Grunde. Für den Bereich der internen Kosten konnten trotz der hohen Sensibilität in diesem Bereich für viele abfallwirtschaftliche Prozesse solide Kostensätze – auf Basis der Literatur sowie eigener Erhebungen - ermittelt werden. Um auf größere Unsicherheiten einzugehen wird im Rahmen der textlichen Beschreibung der Unsicherheiten diese noch mit Zahlen versehen, um auch in der Materialflussanalyse Bereiche mit größeren Unsicherheiten klar hervorzuheben.

Für den Bereich der externen Kosten ist die Datengrundlage als zuverlässig einzustufen. Zu verbessern wäre allenfalls der Transfer einzelner Vermeidungskosten vor dem österreichischen Hintergrund. Zu beachten ist allerdings, dass nur eine begrenzte Anzahl an Stoffen mittels des Vermeidungskostenansatzes berücksichtigt werden konnte und deshalb die Gesamtsumme an externen Kosten als ein Minimum anzusehen ist.

Für die Abschätzung der Beiträge der Haushalte in der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne sind die dargelegten Kostensätze als plausibel einzustufen – wenn man den vorgeschlagenen Weg der Quantifizierung und Monetarisierung der Maßnahmen der Haushalte akzeptiert.

Leider konnten wir für die Beiträge der sonstigen Unternehmen der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne keine zuverlässigen, verallgemeinerbaren Kostensätze ermitteln. Daher wurde auf Daten der Statistik Austria (Umweltschutzausgabenrechnung 2012) zurückgegriffen, um einen ersten (konservativen) Schätzwert für diesen Bereich zu erhalten.

7 Materialflussanalyse der österreichischen Abfallwirtschaft

Ausgehend von dem in Kapitel 4 beschrieben System und den in Kapitel 6 beschriebenen Datengrundlagen wurden eine Güterbilanz sowie Stoffbilanzen mit dem Softwareprogramm STAN erstellt. Ein detaillierter Überblick über das STAN-System inkl. aller Subsysteme findet sich im Anhang 19.1 bzw. gibt folgende Tabelle einen groben Überblick über die Prozesse und Abkürzungen.

Tabelle 7-1: MFA – System der österreichischen Abfallwirtschaft: Abkürzungen und Bezeichnungen

Abkürz-ung	Prozesse	Subsysteme	Sub-Subsysteme
sB	Sonstige Behandlungs-anlagen	sB - Verpackung/ Immobilisierung von Asbest	
		sB - mikro.-biol. Behandlungsanlagen	
		sB - Aufbereitungsanlagen für Baurestemassen	
		sB - mechanische Beh. von Siedlungsabfälle	
		sB - Behandlungsanlagen für Elektroaltgeräte	sB - Bildschirmgeräten
			sB - Kühl-Gefriergeräten
			sB - Gasentladungslampen
			sB - Elektrokleingeräten
			sB - Großgeräten
		sB - Sortierung Altstoffe/weiterer Abfälle	sB - Altpapier/weitere Papierabfälle
			sB - Altglas/weitere Glasabfälle
			sB - Altmetalle
			sB - Altholz/weitere Holzabfälle
			sB - Altkunststoffe/weitere Kunststoffabfälle
			sB - Alttextilien
		sB- Shredderanlagen	
tB	Thermische Behandlungs-anlagen	VfS - Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle	VfS - Rostfeuerung
			VfS - Wirbelschichtfeuerung
		s - tB-sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen	s - tB - in Holzindustrie
			s - tB - in Zementindustrie
			s - tB - Papier- und Zellstoff- industrie
			s - tB - Wirbelschichtfeuerung
			s - tB - Drehrohrofen
bB	Biotechnische Behandlungs-anlagen	bB - Kompostieranlagen	
		bB - Biogasanlagen inkl. Gärrestkompostierung	
		bB - mechanisch biologische Abfallbehandlung	
Dep	Deponien	Dep - Baurestmassen	
		Dep - Inertabfälle	
		Dep - Reststoffe	
		Dep - Massenabfälle	
cpB	Chem.-physik. Behandlungs-anlagen	cpB - organische Abfälle	
		cpB - anorganische Abfälle	
		cpB - für organisch/ anorganische Abfälle	
Sons.Verw.	Sonstige Verwertung		
Export	Export		

7.1 Güterbilanz

Der Systeminput setzt sich aus den quantitativ betrachteten Abfällen (ohne Sekundärabfälle) von rund. 17 Millionen Tonnen sowie dem Niederschlag auf Deponien zusammen. In Summe werden rund 22 Millionen Tonnen Abfälle (Primär- und Sekundärabfälle) behandelt, exportiert oder direkt verwertet. Sekundärabfall sind jene Rückstände aus Abfallbehandlungsanlagen, welche wieder Abfallbehandlungsanlagen zugeführt werden. Die größten Anteile können der Aufbereitung und Sortierung von mineralischen Baurestmassen (BRM) und Altstoffen (sowie ähnlichen Abfällen) zugeordnet werden *(A.sB)*. Rund 15 % der Abfälle werden thermisch behandelt und rund 10 % großteils nach Behandlung deponiert. Biotechnisch werden rund 7 % entweder in Kompost-, Biogas-oder MBA-Anlagen behandelt. Die weitere Behandlung beinhaltet die chemisch-physikalische

Behandlung, Shredderanlagen und EAG-Aufbereitung. Unter den Begriff direkte Verwertung ist die Verwertung ohne vorherige abfalltechnische Behandlung der Abfälle zusammengefasst. Die gesammelten Abfälle (17 Millionen) werden zu rund 65 % verwertet, 12 % deponiert und 5 % exportiert. Der Rest rund 18 % emittiert vor allem durch thermische und biologische Behandlung (siehe Abb. 7-1).

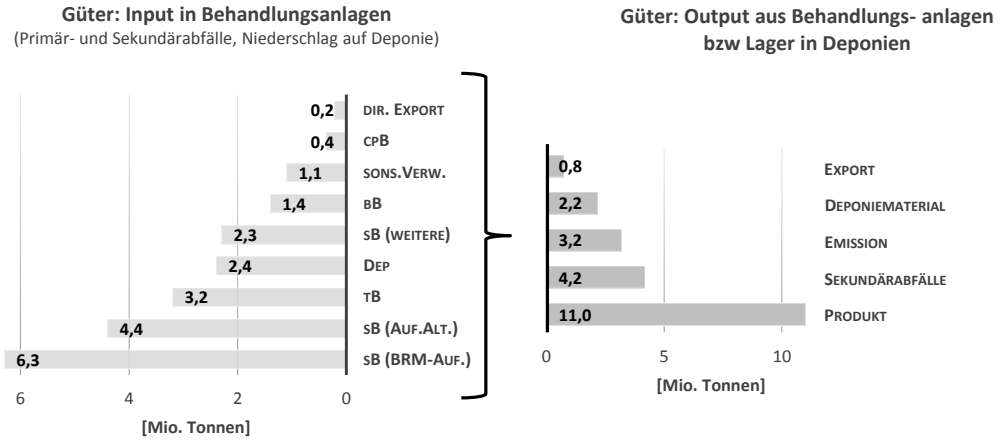


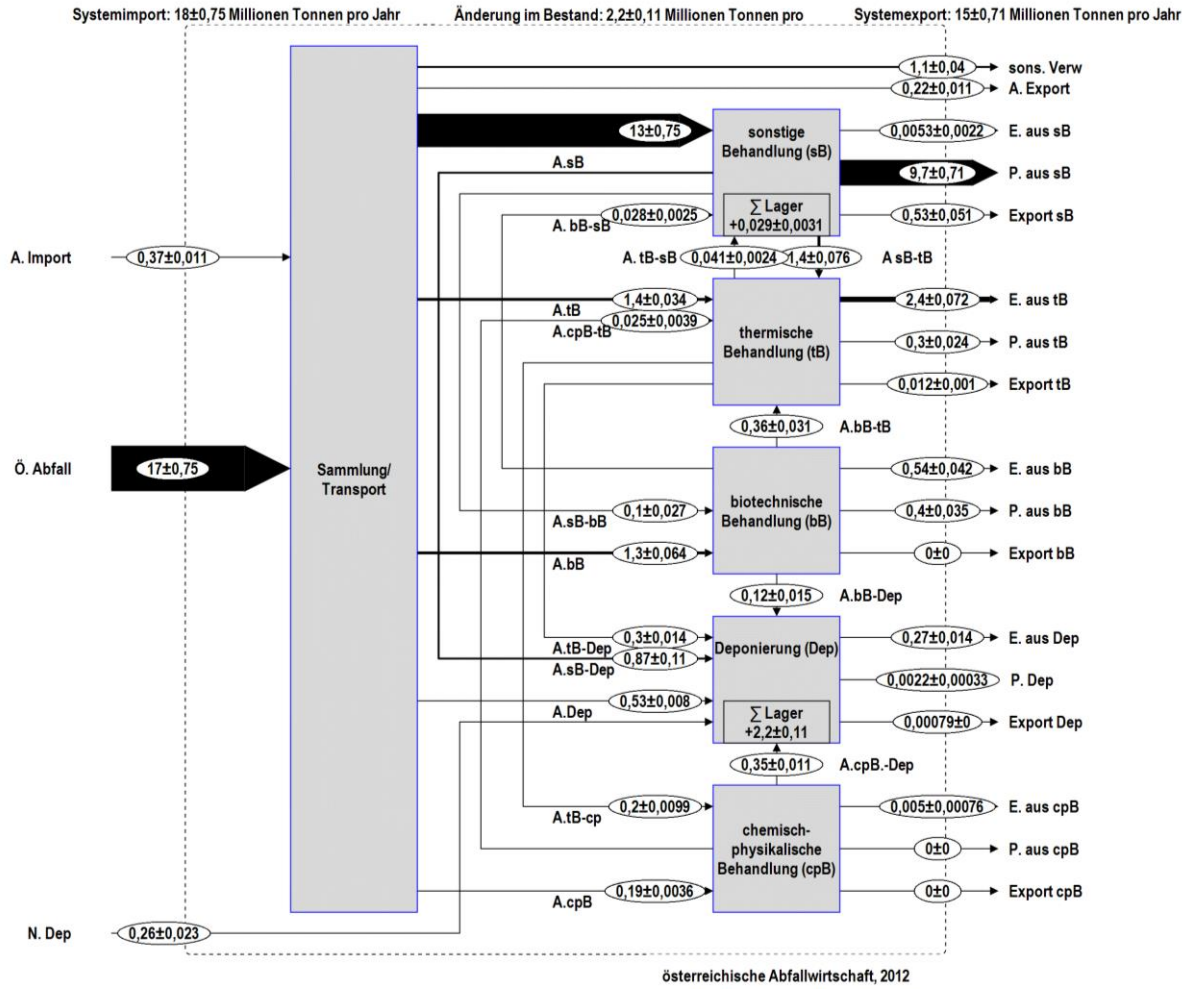
Abb. 7-1: Güterebene: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 22 Mio. Tonnen Güter) und aggregierte Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

Der größte Teil der Emissionen aus der österreichischen Abfallwirtschaft sind Abgase aus der thermischen (E. aus tB) sowie der biotechnischen Behandlung *(E. aus bB)*. Der größte Anteil der deponierten Massen sind Aschen und Schlacken aus Verbrennungsprozessen *(A.tB-Dep)*, sowie Baurestmassen *(A.sB-Dep)* und mechanisch biologisch behandelte Abfälle *(A.bB-Dep)*. Bei den direkten Exporten handelt es sich, wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben nur um Abfallexporte, welche notifiziert wurden. In Tabelle 7-2 sind die Produkte (wie in dieser Studie definiert) im Detail gelistet. Der größte Anteil kann der Fraktion Baurestmassen zugeordnet werden, sowie der Verwertung von diversen Metallen, Papier und Holz *(P. aus SB)*.

Tabelle 7-2: Produkte aus der österreichischen Abfallwirtschaft

	Fraktion	Tonnen
Produkte (nach abfalltechnischer Behandlung)	BRM	5.707.000
	Metalle	1.574.000
	Papier	1.378.000
	Holz	552.000
	Kompost	305.000
	Asche und Schlacke	301.000
	Glas	218.000
	Kunststoffe	207.000
	weitere Produkte	141.000
Produkte (direkte Verwertung)	Eisen und Stahlabfälle	349.000
	biogene Abfälle	282.000
	Aluminium, Aluminiumfolien	112.000
	Metallabfälle	64.000
	gebrauchte Öle	64.000
	Kupfer	43.000
	Nickel und nickelhaltige Abfälle	23.000
	Zellulose, Papier, Kartonagen (Papierreste)	22.000
	weitere Abfälle	102.000
Summe		**11.444.000**

In folgender Abbildung ist die Güterbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft mit dem Software-Programm STAN für das Jahr 2012 dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-2: Güterbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Millionen Tonnen

7.2 Stoffbilanzen

Folgend sind die Stoffbilanzen für C, Cd, Cu, Fe, Hg, N, Ni, P, Pb und Zn dargestellt. Die Bilanzierung der Stoffe erfolgt auf Basis der Güterebene und den in Kapitel 6.2 und 6.6 ermittelten Stoffkonzentrationen und Transferkoeffizienten. Einzelne Informationen zu den Stoffen wurden aus Römpp (2014) entnommen. Die Stoffbilanzen werden für die Beurteilung von AWG Ziel 4 (Schadstoffe in Produkten) herangezogen und dienen als Grundlage für die Bewertung von AWG Ziel 5.

7.2.1 Kohlenstoffbilanz

Kohlenstoff kommt in diversen Verbindungen chemisch gebunden oder in komplexen Molekülen vor. In Summe gehen rund 2,8 Millionen Tonnen Kohlenstoff in die österreichische Abfallwirtschaft. Die größten C-Flüsse innerhalb der Abfallwirtschaft können den biogenen Abfällen, dem Altholz, dem Altpapier, den Kunststoffen und dem Restmüll zugordnet werden. Rund die Hälfte des Kohlenstoffoutputs findet sich in Produkten wie Papier, Holz, Kunststoffen *(P. aus sB)* und Kompost *(P. aus bB)* wieder. Etwa ein Drittel des Kohlenstoffs emittiert hauptsächlich als CO_2 und zu einem kleinen Teil als CH_4 in die Luft *(E. aus tB).* Hier ist zu beachten, dass nur der fossile Anteil des Kohlenstoffs als klimarelevant zu beurteilen ist, sowie die deutlich höhere Klimarelevanz von CH_4. Rund 4 % des Kohlenstoffinputs werden, hauptsächlich nach einer Behandlung, deponiert.

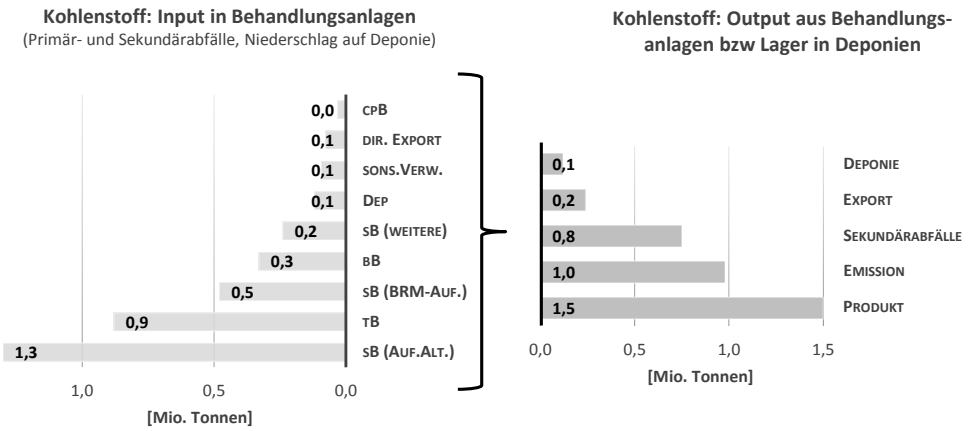
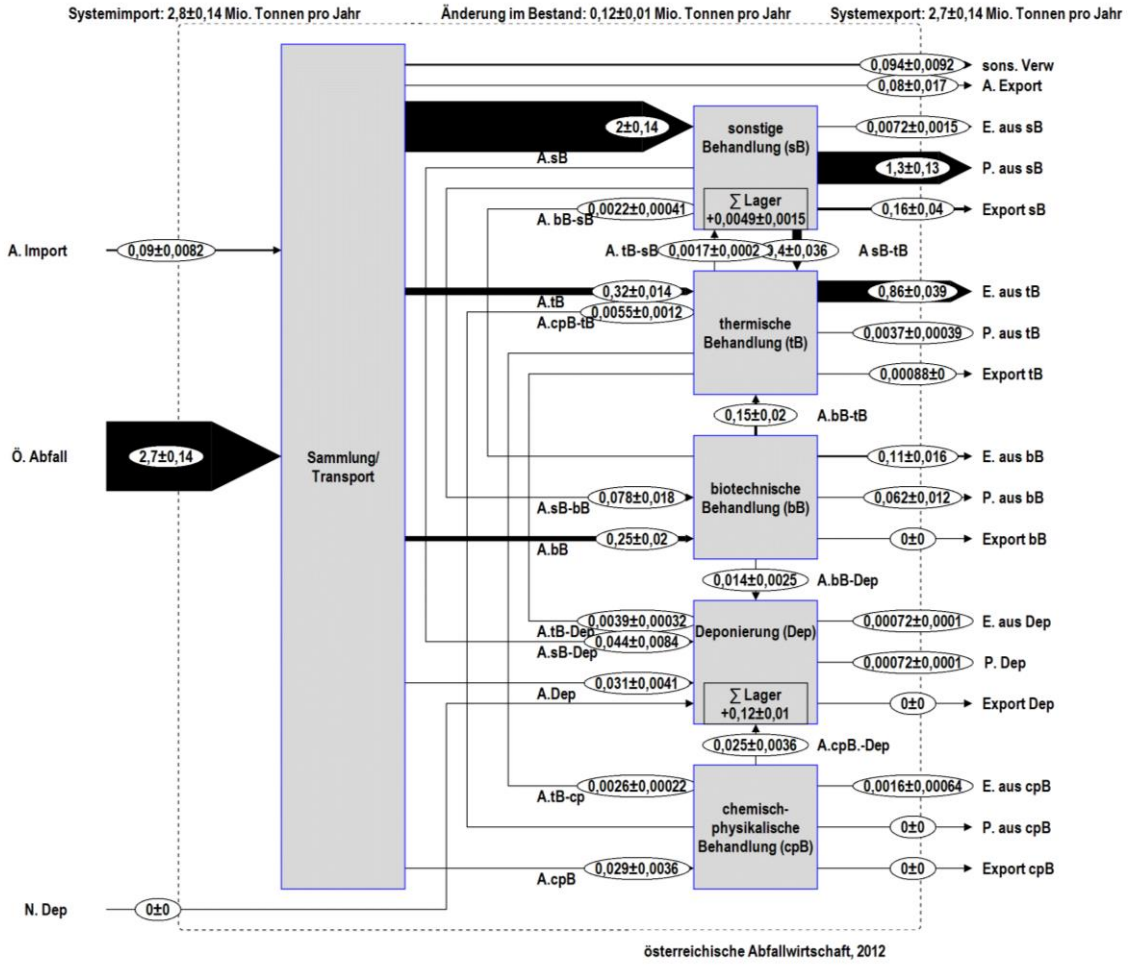


Abb. 7-3: Kohlenstoffebene: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 3,5 Mio. Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Kohlenstoffbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-4: Kohlenstoffbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Mio. Tonnen

7.2.2 Cadmiumbilanz

Cadmium ist ein silberweißes, glänzendes, ziemlich weiches und plastisch verformbares Metall und zählt aufgrund seiner toxikokinetischen Eigenschaften zu den Kumulationsgiften. Akute Vergiftungen können durch inhalative Aufnahme von Cadmium-haltigen Stäuben und Aerosolen auftreten. Für den Menschen wird eine inhalative Dosis von 5–6 mg/m³ /8 h als letale Dosis angesehen. Cadmium und seien Verbindungen bedingen weiters chronische Vergiftungen, Nierenfunktionsstörungen und zeigen krebserzeugende Wirkungen (RÖMPP, 2014). Von wirtschaftlicher Bedeutung ist heute nur noch die Verwendung von Cadmium in Ni-Cd-Akkumulatoren, welche auch deutlich die höchste Cd-Konzentration der untersuchen Abfälle aufweisen. Weitere relevante Cadmium-Flüsse innerhalb der Abfallwirtschaft finden sich in metallurgischen Schlacken, Flugaschen, Kunststoff- und Metallabfällen. In Summe wurden rund 110 Tonnen Cadmium als Primärabfälle in die österreichische Abfallwirtschaft eingebracht.

Rund je die Hälfte des Cadmiums wurden deponiert oder recycelt. Die rund 58 Tonnen Cadmium, welche deponiert wurden, stammen aus Rückständen thermischer Verfahren *(A.Dep und A.tB-Dep).* Hauptsächlich handelt es sich im Schlacken und Aschen aus industriellen Anlagen. Das recyclierte Cadmium findet sich großteils in Metallen und Kunststoffen wieder *(P. aus sB).*

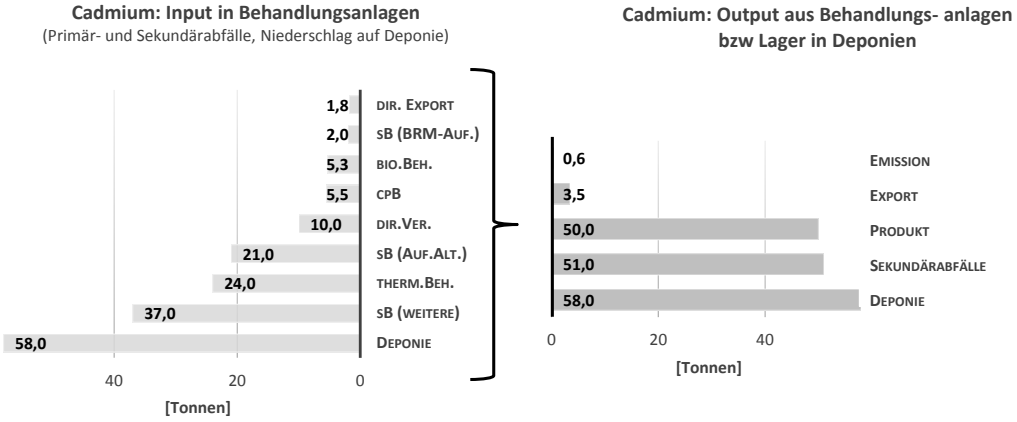
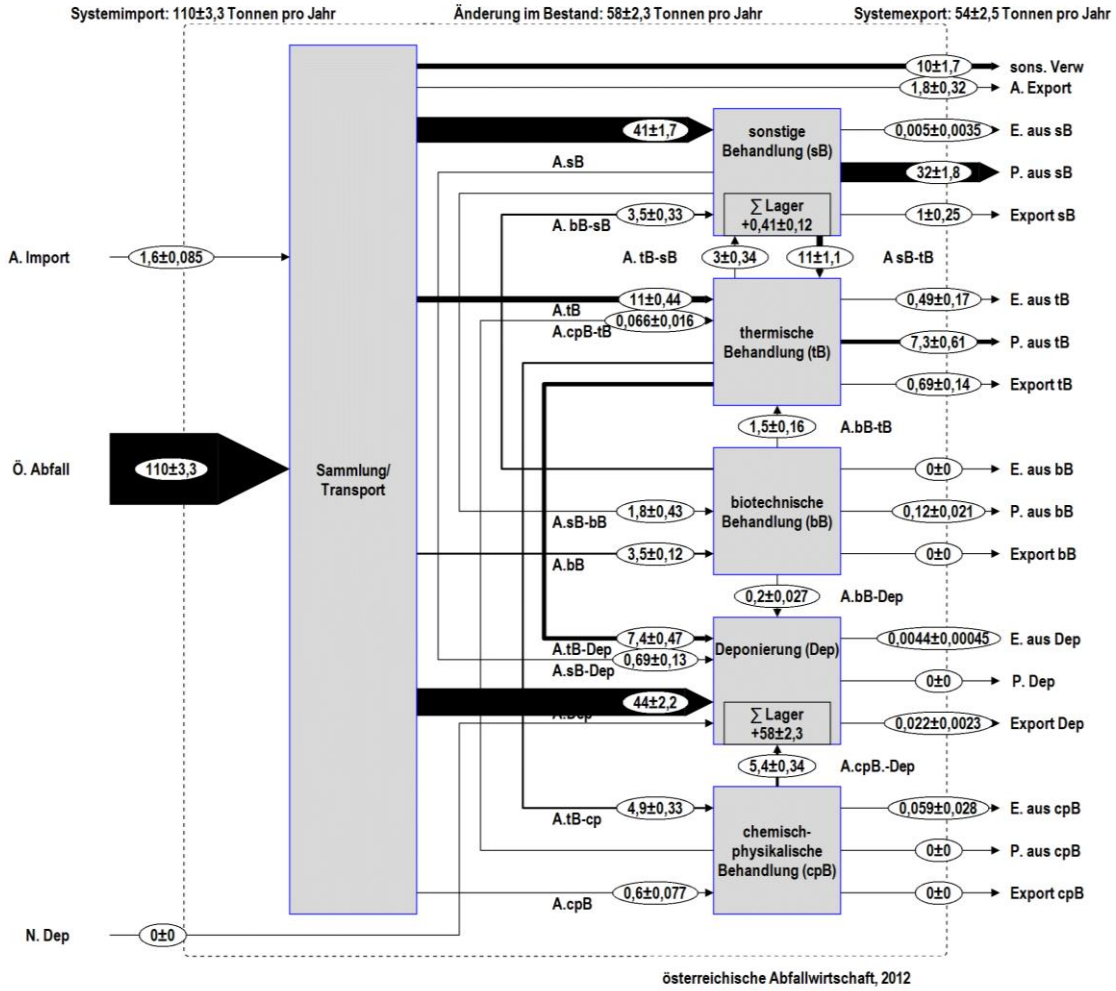


Abb. 7-5: Cadmiumebene: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 160 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Cadmiumbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-6: Cadmiumbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.2.3 Kupferbilanz

Kupfer ist ein ziemlich hartes, dabei zähes und dehnbares Metall, das man zu dünnen Blättern und feinen Drähten formen kann. Kupfer ist insbesondere für aquatische Organismen ökotoxisch, und kann auch zu Vergiftungserscheinungen bei Mensch und Tier führen. Nach Inhalation von Stäuben und Dämpfen kann es zu akuten Irritationen der oberen Atemwege kommen (RÖMPP).

In Summe beträgt der Input an Kupfer in die Abfallwirtschaft rund 50.000 Tonnen, wobei der wesentliche Anteil (rund 80 %) der SN 35310 (Kupfer) zuzuordnen ist und direkt einer Verwertung zugeführt wird *(sons.Verw)*. Weiters wird Kupfer nach Aufbereitung, Sortierung und Shreddern diverser Metallabfälle verwertet *(P. aus sB).* Rund 4 % des Kupfers in der Abfallwirtschaft werden deponiert; hauptsächlich in Form von Rückständen aus Feuerungs- und Abfallverbrennungsanlagen.

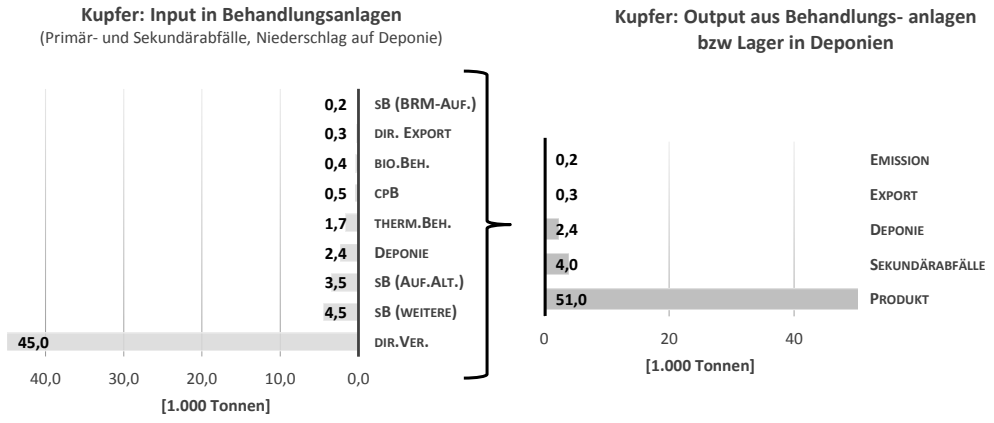
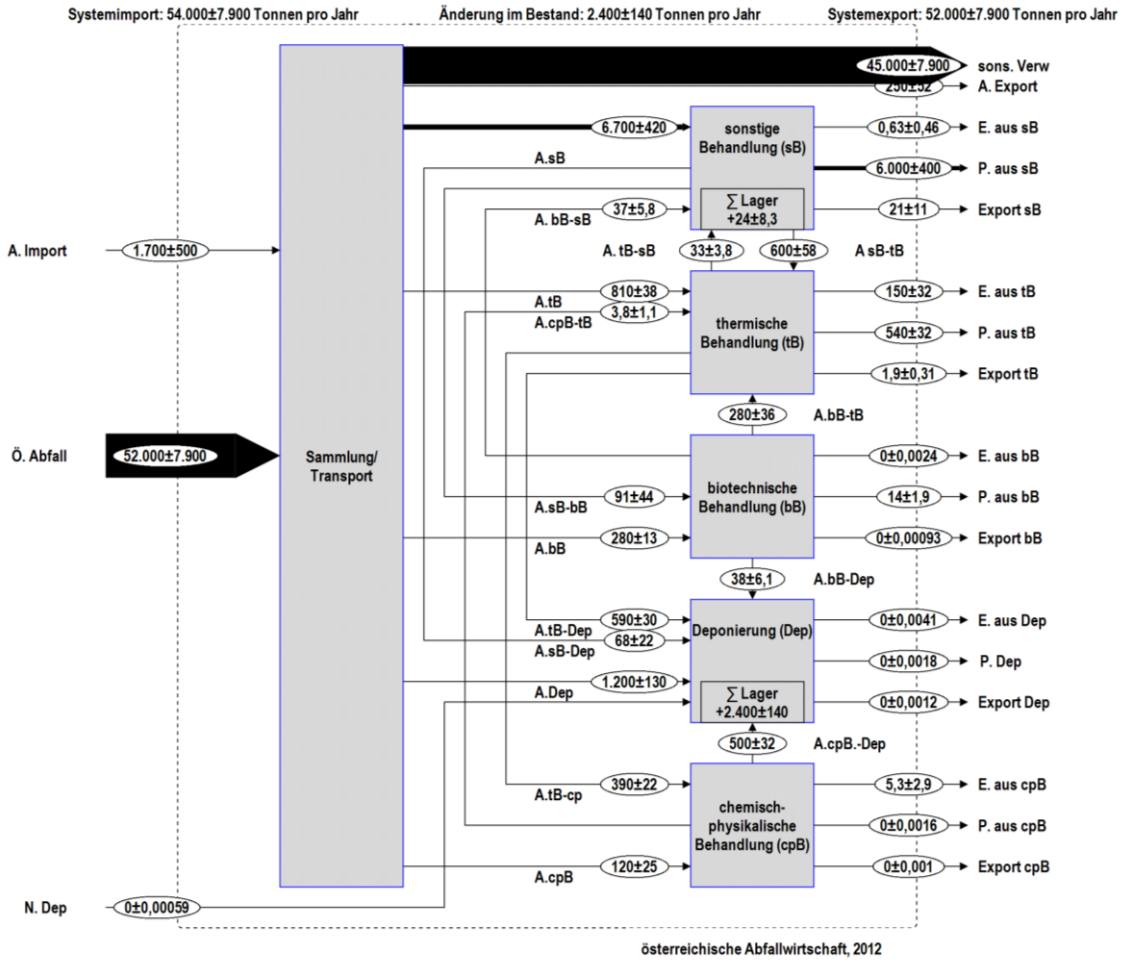


Abb. 7-7: Kupfer: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 58.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Kupferbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-8: Kupferbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.2.4 Chrombilanz

Chrom ist ein silberglänzendes, in reinem Zustand zähes, dehn- und schmiedbares, bei Verunreinigung mit Wasserstoff oder Sauerstoff hartes, sprödes Metall. Verwendung findet Chrom als Legierungselement zum Beispiel in Chromstählen oder zur Verchromung von diversen Metallen (RÖMPP, 2014). Toxikologisch bedeutsam sind Chrom(VI)-Verbindungen. Chrom(VI)-Verbindungen sind mutagen und werden als krebserzeugend beim Menschen angesehen. Lokale Einwirkung von Chrom(VI)-Verbindungen führt zu Verätzungen der Haut und der Schleimhäute. Der Primäreffekt akuter Einwirkung ist auf die starke Oxidationswirkung zurückzuführen. In der aquatischen Umwelt wirken sowohl lösliche Chrom(VI)- als auch Chrom(III)-Verbindungen gegenüber niederen Organismen (Algen, Daphnien) toxisch. Lösliche Chrom(III)- und Chrom(VI)-Verbindungen im Boden haben phytotoxische Wirkungen, die sich in Verkümmerung, Missgestaltung und Chlorose sowie bei Nutzpflanzen in Ertragsminderung äußern (RÖMPP, 2014).

In Summe wurden rund 10.000 Tonnen Chrom in die österreichische Abfallwirtschaft eingebracht. Der größte Chromfluss kann der Abfallfraktion Eisen- und Stahlabfälle zugeordnet werden, welche großteils nach Aufbereitung wieder als Produkt eingesetzt wird *(P. aus sB)*. Rund die Hälfte des Chrominputs wird deponiert. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Metallhydroxide *(A.Dep)*.

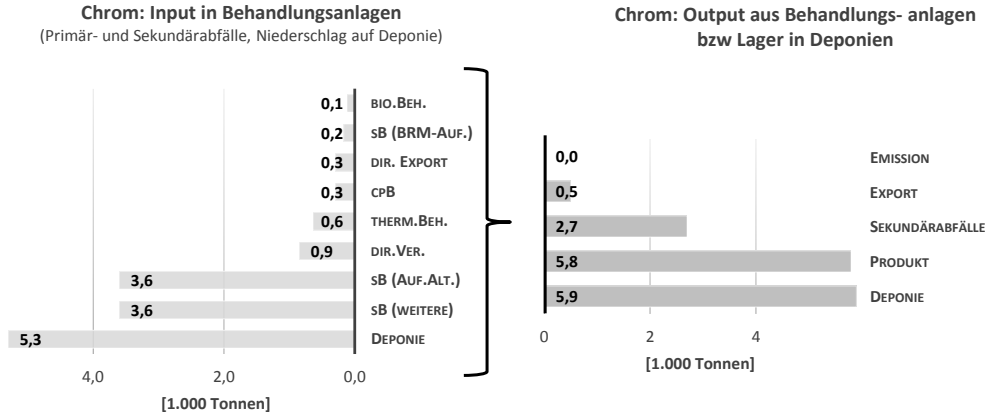
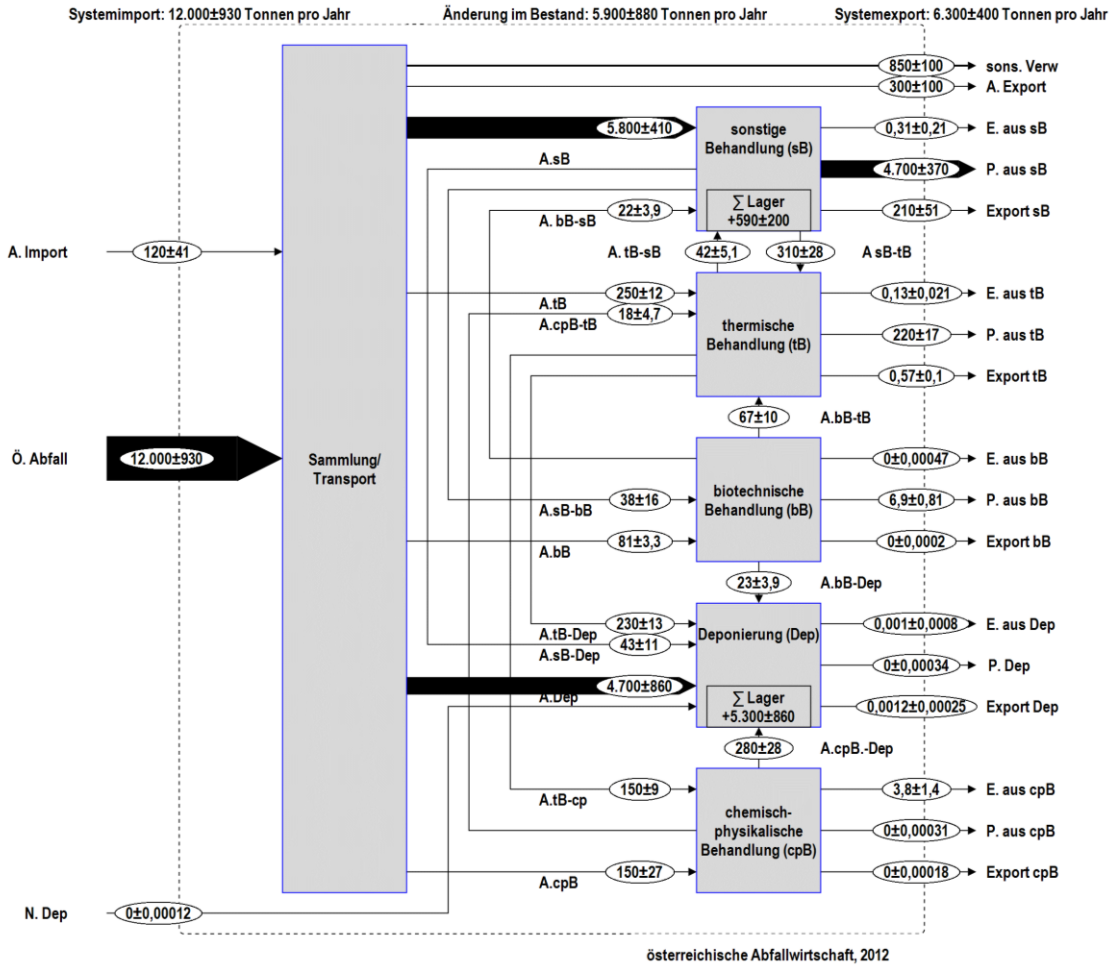


Abb. 7-9: Chrom: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 15.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Chrombilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-10: Chrombilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.2.5 Eisenbilanz

Eisen ist bei weitem das wichtigste Gebrauchsmetall. Eisen im technischen Gebrauch ist eine Legierung aus Eisen und Kohlenstoff. Der Eisen-Input in die österreichische Abfallwirtschaft beträgt rund 1,5 Millionen Tonnen. Davon entfallen allein rund 1 Millionen Tonne auf die Abfallfraktion Eisen- und Stahlabfälle, welche nach Aussortierung von Störstoffen, fast vollständig wieder als Produkt eingesetzt wird *(P. aus sB und sons.Verw)*. Rund 4 % des Eisens werden deponiert. Hier handelt es sich hauptsächlich um Rückstände der thermischen Behandlung und Metallhydroxide.

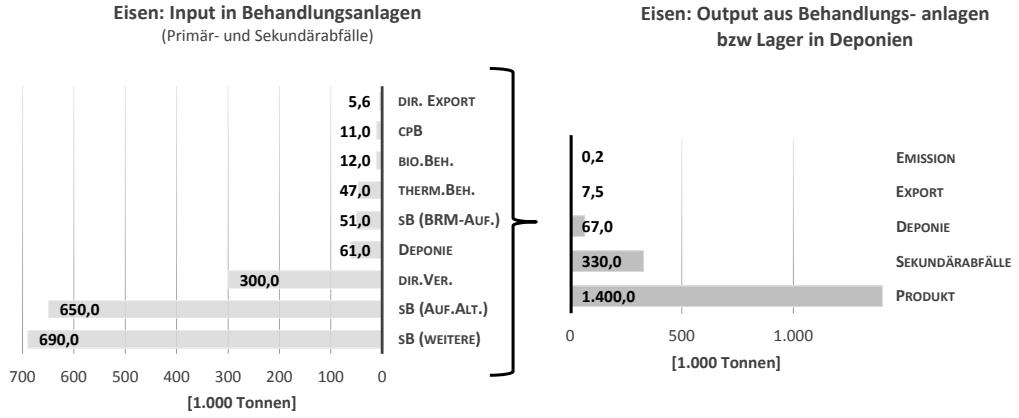
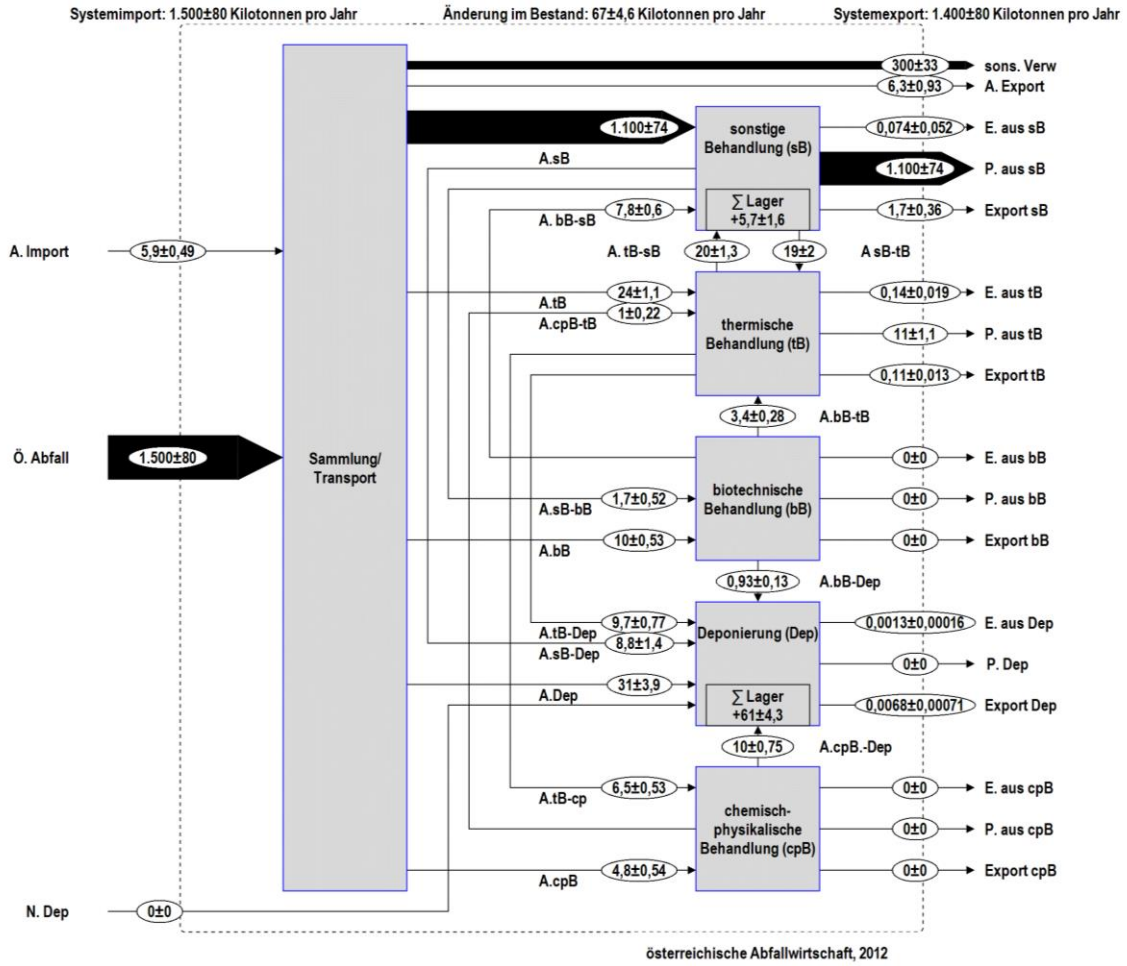


Abb. 7-11: Eisen: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 1,8 Mio. Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Eisenbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-12: Eisenbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Kilotonnen

7.2.6 Quecksilberbilanz

Quecksilber ist das einzige bei 20°C flüssige Metall. Es zeichnet sich durch gute Wärmeleitfähigkeit aus und zeigt eine verhältnismäßig geringe elektrische Leitfähigkeit. Im Gehirn verursacht die Oxidation von Quecksilber eine Akkumulation, welche die Blut-Hirn-Schranke nicht überwinden kann und stellt dadurch ein Risiko für eine Langezeitexposition selbst kleinster Dosen von Quecksilberdämpfen dar.

Der Quecksilberinput in die österreichische Abfallwirtschaft beträgt 14 Tonnen. Etwa 3 Tonnen Quecksilber enthalten Flugaschen und -stäube aus sonstigen Feuerungsanlagen. Weitere relevante Quecksilber-Mengen finden sich in metallurgischen Schlacken, Krätzen und Stäube, Metallhydroxiden, Elektroofenschlacke, Altpapier und Altkunststoffen wieder. Der größte Anteil des Quecksilbers wird deponiert (A.Dep). Rund 15 % des Quecksilbers landet in Produkten wie Papier und Kunststoffen (P. aus sB) mit Quecksilberkonzentration von rund 1 mg/kg. Weitere 15 % werden exportiert - hauptsächlich Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (A.Export)

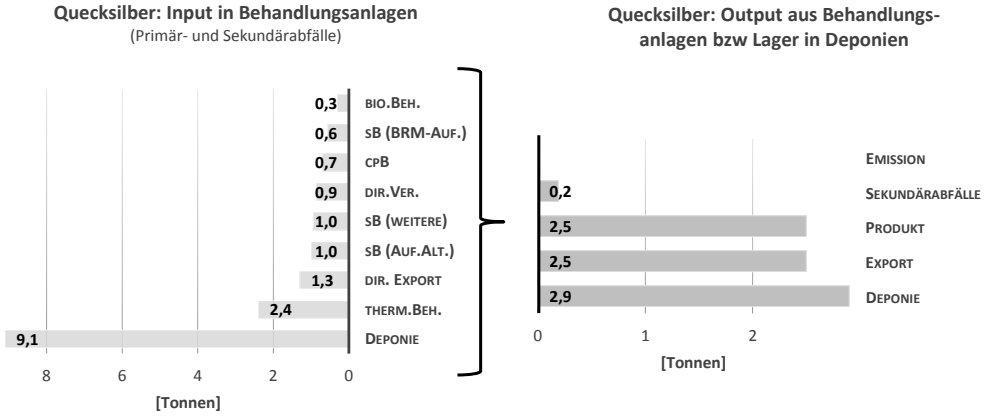
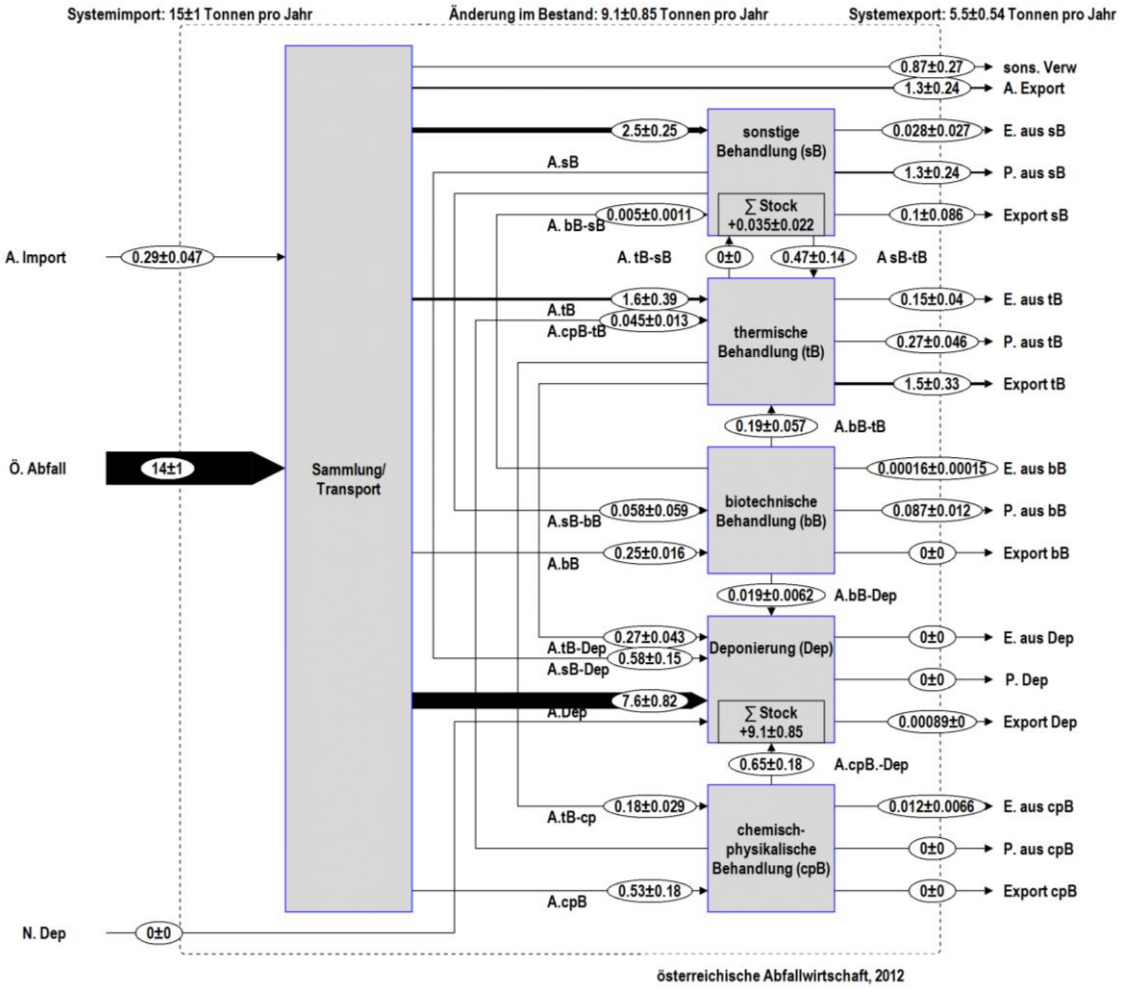


Abb. 7-13: Quecksilber: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 17 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Quecksilberbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-14: Quecksilberbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.2.7 Stickstoffbilanz

Stickstoff (N_2) ist ein farbloses und geruchloses, geschmackfreies, nicht brennbares Gas. Die wichtigsten Verbindungen des Stickstoffs sind Ammoniak, Nitrate, Nitrite, Stickoxide, Ammonium und Cyanide. Die toxischste Wirkung des Stickstoffs ist durch die Aufnahme von Nitrit und Nitrat über das Trinkwasser bedingt.

Der Stickstoffinput beträgt rund 45.000 Tonnen. Der größte Anteil des Stickstoffs findet sich in biogenen Abfälle, Siedlungsabfällen, Altpapier und Altholz wieder. Etwa die Hälfte des Stickstoffs emittiert vor allem als elementarer Stickstoff durch thermische *(E. aus tB)* aber auch biotechnische *(E. aus bB)* Behandlung. Rund ein Drittel des Stickstoffs verbleibt im Produkt Papier und Altholz (P. aus sB) und 5 % werden deponiert.

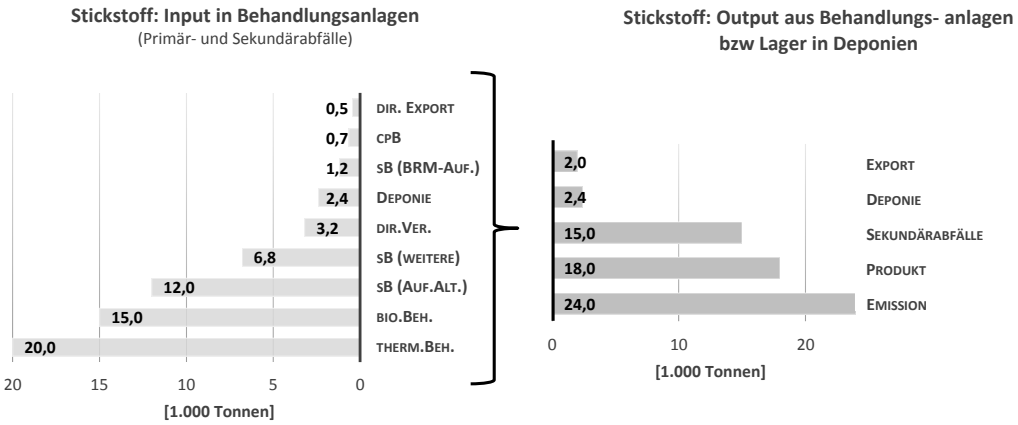
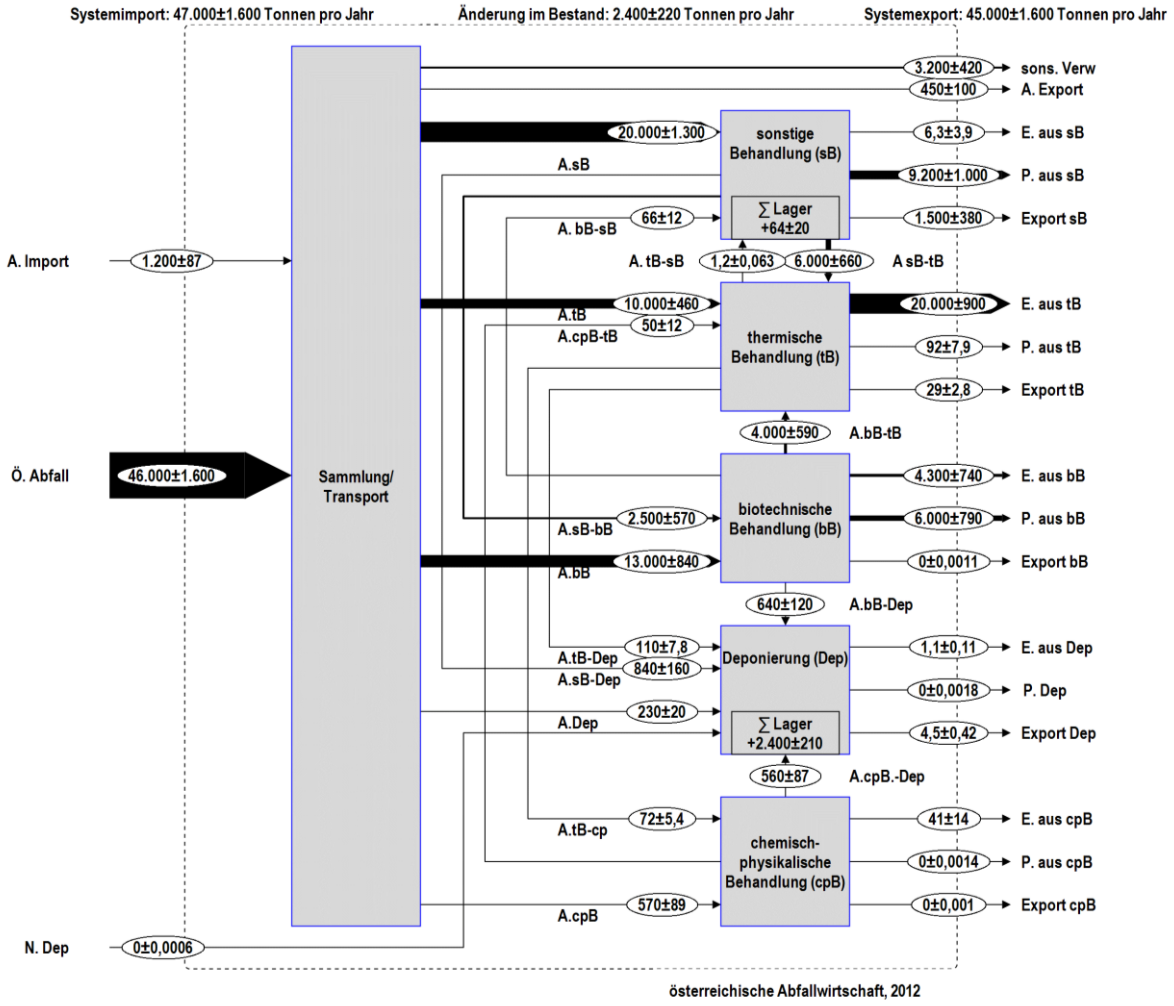


Abb. 7-15: Stickstoff: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 62.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Stickstoffbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-16: Stickstoffbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.2.8 Nickelbilanz

Reines Nickel ist ein silberglänzendes Metall, das sich ähnlich wie Eisen polieren, schmieden, schweißen, zu Blech walzen und zu Draht ziehen lässt. Die inhalative Aufnahme von Nickelstäuben und Nickelsalzen führt zu Lungenentzündung, Lungenödem und Blutungen. Eine orale Vergiftung mit Nickel-Verbindungen kann zu Nierenschäden führen. Der größte Teil der Nickel-Produktion wird zur Stahlveredlung und für Nickel-Basislegierungen verwendet.

Der Nickelinput in die österreichische Abfallwirtschaft beträgt rund 170.000 Tonnen, wobei vor allem die Abfallfraktion Eisen- und Stahlabfälle, wie auch Nickel selbst und nickelhaltige Abfälle zu nennen ist. Nickel und nickelhaltige Abfälle werden einer direkten Verwertung zugefügt *(sons.Verw)*. Eisen und Stahlabfällen werde vor der Verwertung aufbereitet, sortiert und/oder geshreddert. Somit ergibt sich, dass in Summe rund 93 % des Nickels wieder in Produkten zu finden sind *(P. aus sB)*. Rund 7 % werden deponiert. Hierbei handelt es sich vor allem um Flugaschen und Metallhydroxide.

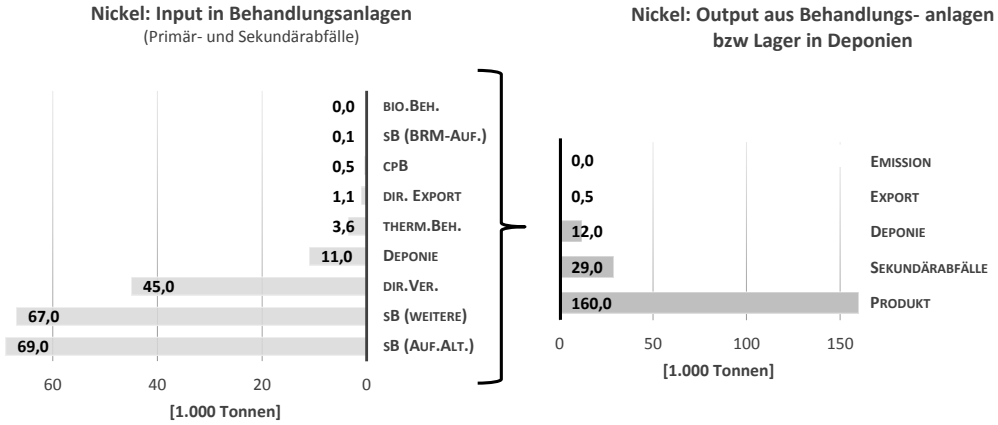
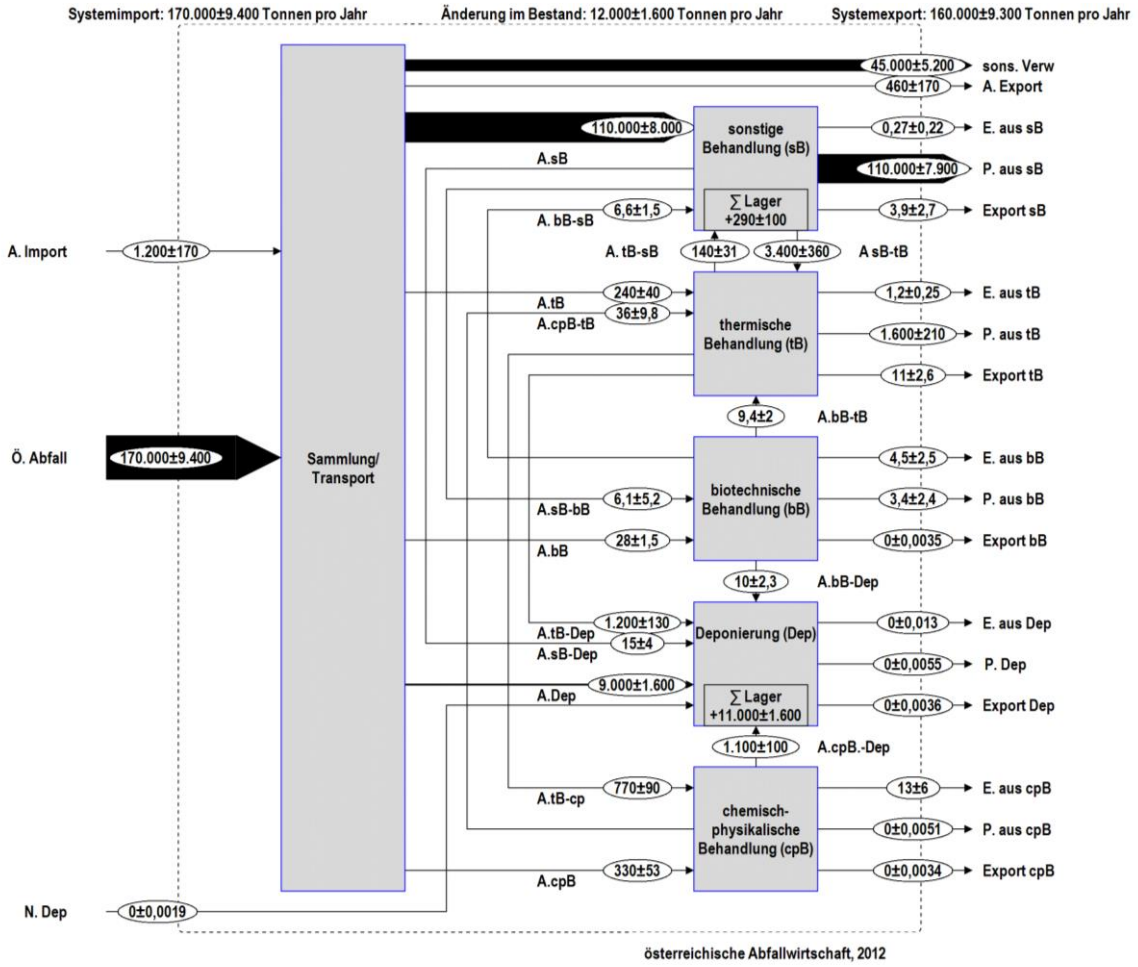


Abb. 7-17: Nickel: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 200.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Nickelbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-18: Nickelbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.2.9 Phosphorbilanz

Phosphor gehört zu den Nährstoffen. Etwa 90 % des in den weltweit abgebauten Phosphat-Mineralen enthaltenen Phosphors werden zur Düngemittel verarbeitet und auf landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgebracht (RÖMPP, 2014).

Der Phosphor-Input in die österreichische Abfallwirtschaft (ohne kommunalen Klärschlamm siehe Kapitel 6.3.7) beträgt rund 15.000 Tonnen. Mehr als die Hälfte des Phosphors ist in diversen Aschen aus sonstigen Feuerungsanlagen und Schmelzprozessen enthalten und rund 4.000 Tonnen Phosphor in biogene Abfällen und Siedlungsabfällen.

Etwa je ein Drittel des Phosphors wird deponiert *(A.Dep)*, exportiert *(A.Export)* oder findet sich in Produkten wieder. Ein Teil des Phosphors findet sich in Produktenwieder, welche auf landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgebracht werden können *(P. aus bB)*. Ein weiterer Teil des verwerteten Phosphors ist in Aschen und Stäuben enthalten, die entweder zur Herstellung von Aschen-Schlacken-Beton verwendet oder stofflich in der Zementindustrie verwertet werden *(P. aus tB)*. Aschen und Stäube aus industriellen Verbrennungsprozessen führen weiters dazu, dass rund 40 % des Phosphors innerhalb der österreichischen Abfallwirtschaft deponiert werden bzw. dass rund ein Drittel exportiert wird.

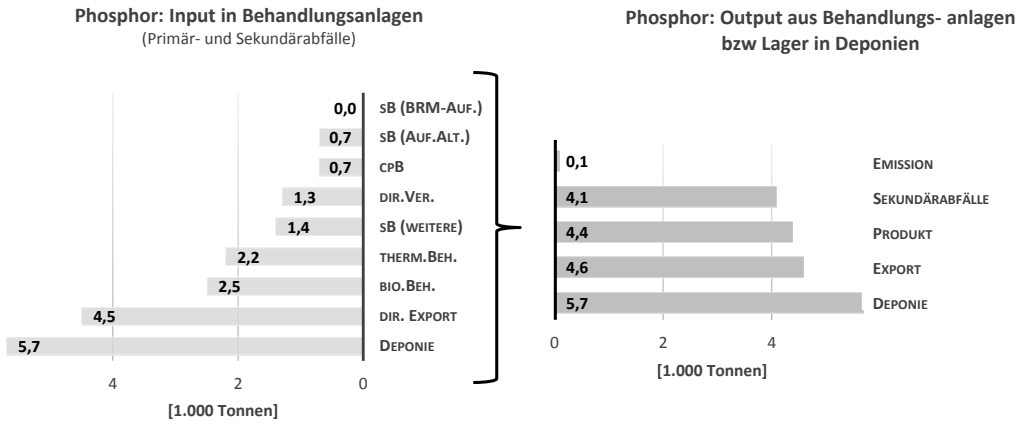
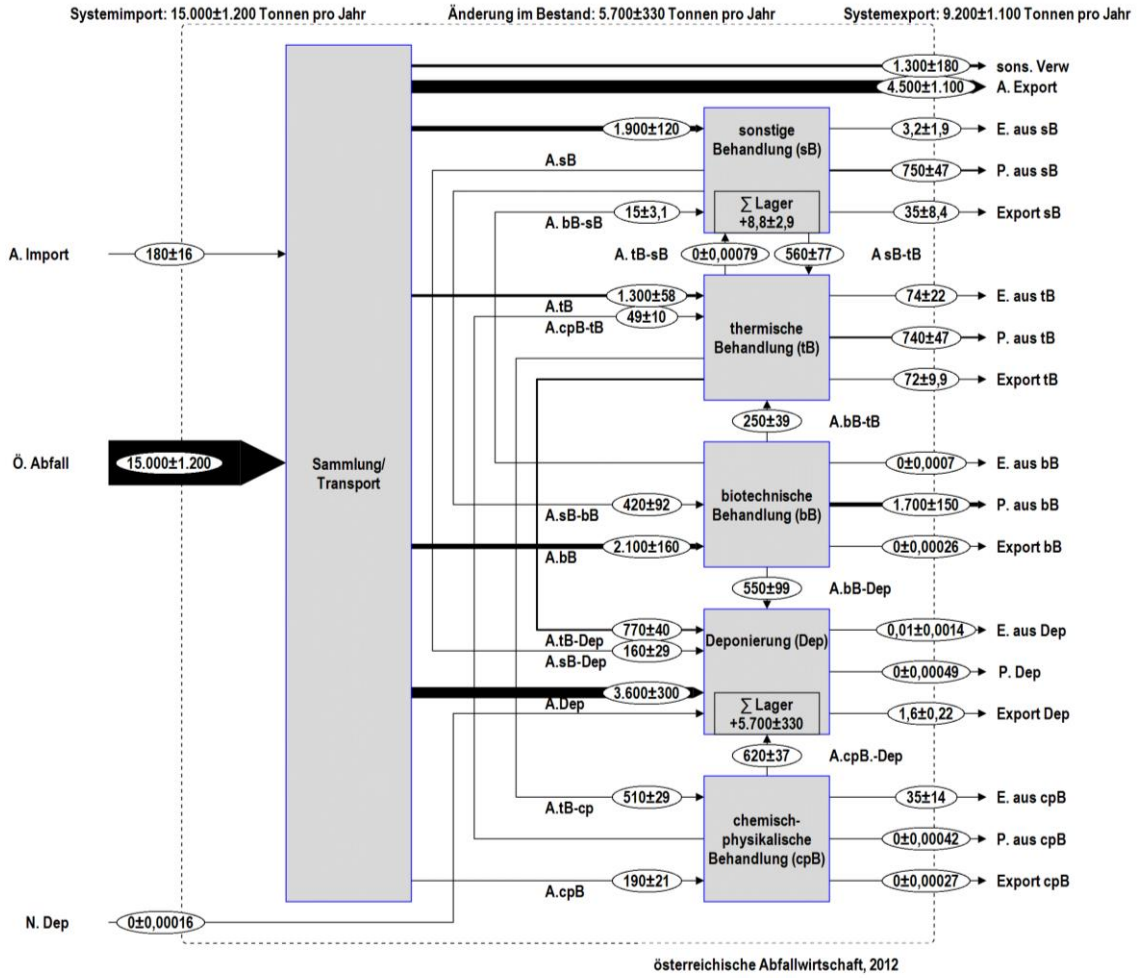


Abb. 7-19: Phosphor: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 19.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Phosphorbilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-20: Phosphor: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.2.10 Bleibilanz

Blei ist ein an frischen Schnittflächen bläulich-farblos glänzendes, an der Luft grau anlaufendes, weiches Schwermetall. Sowohl metallisches Blei als auch seine Verbindungen sind giftig mit dem wahrscheinlichen Risiko fruchtschädigender Wirkung; sie können durch Einnahme, Inhalation oder Hautresorption in den Körper gelangen. Akute Bleivergiftungen sind relativ selten, und nur bei Aufnahme sehr hoher Dosen zu erwarten.

Der Blei-Input in die österreichische Abfallwirtschaft beträgt rund 17.000 Tonnen hauptsächlich in Form von Bleiakkumulatoren, welche großteils einer direkten Verwertung zugeführt werden *(sons.Verw)*. Eine weitere wichtige Abfallfraktion ist die SN 35302 (Blei), welche getrennt gesammelt und auch direkt verwertet wird. Etwa ein Drittel des Bleis gelangt auf Deponien, dabei handelt es sich hauptsächlich um Schlacken und Aschen aus industriellen Prozessen *(A. Dep)*.

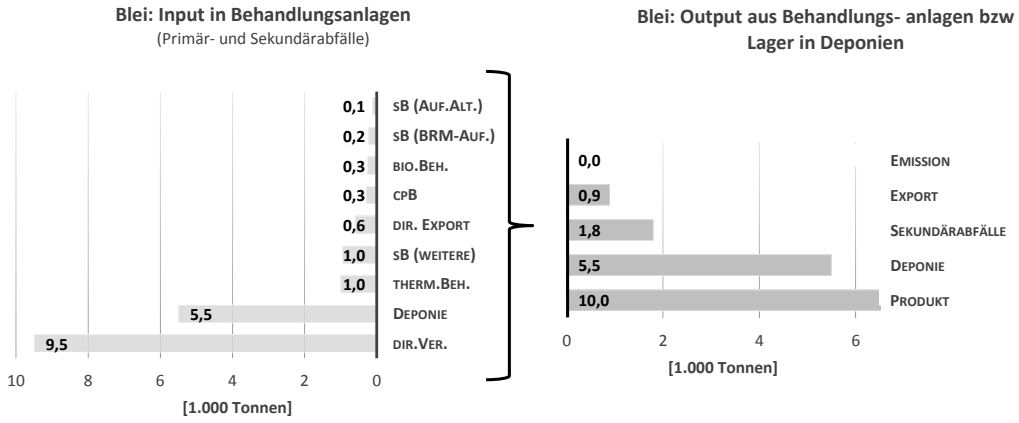
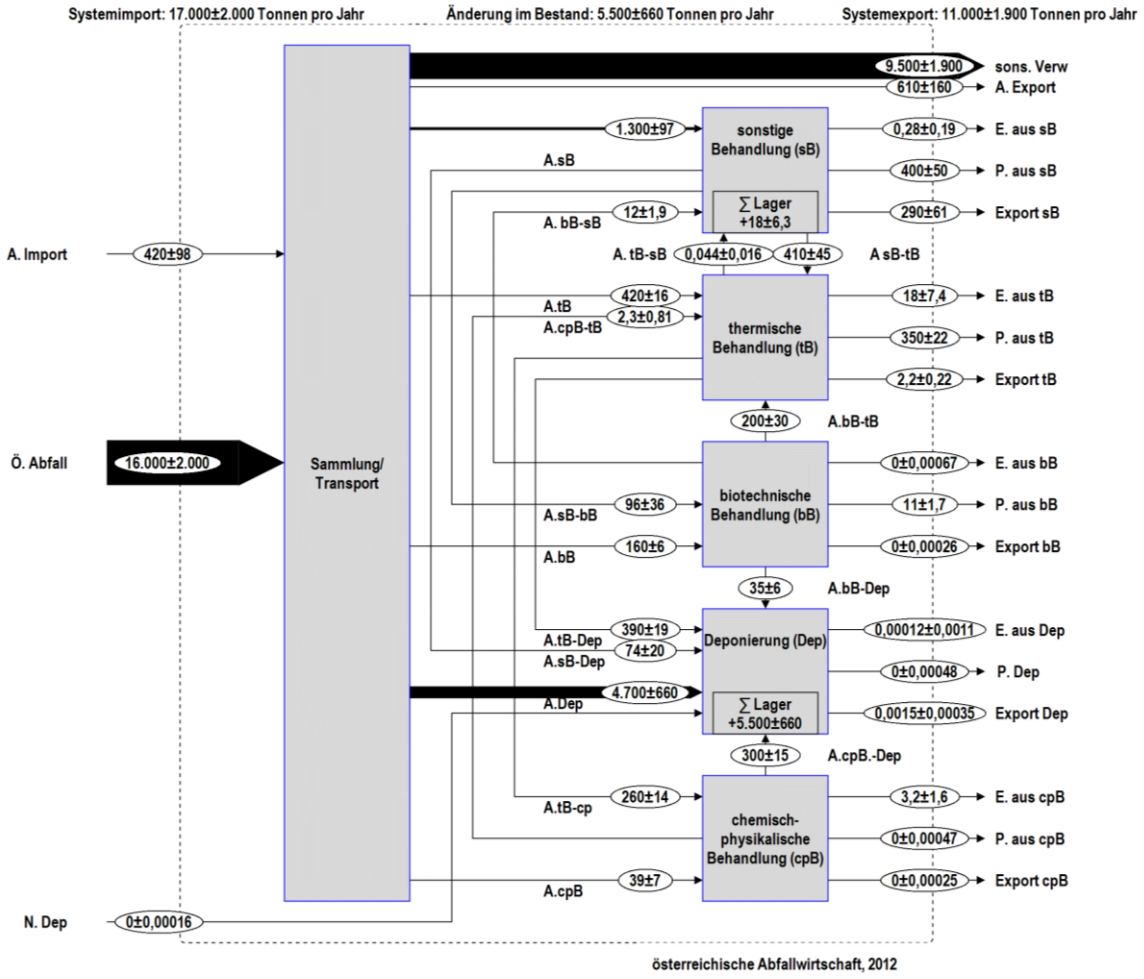


Abb. 7-21: Blei: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 18.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Bleibilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-22: Blei: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.2.11 Zinkbilanz

Zink ist ein bläulich-weißes, an blanken Oberflächen stark glänzendes, kristallisierendes Metall. Die toxischen Grenzen von metallischem Zink und Zinksalzen liegen weit höher als bei anderen essentiellen Spurenelementen, wie z. B. Kupfer. Zink wird für das Verzinken von Eisen verwendet, in Anstrichstoffen als Korrosionsschutz oder für diverse Legierungen.

Der Zink-Input in die österreichische Abfallwirtshaft beträgt rund 20.000 Tonnen. Die größten Zinkfrachten können den Abfallströmen Zink und Zinkplatten, Batterien und Akkumulatoren, sowie Aschen und Schlacken zugeteilt werden. Vor allem Zink und Zinkplatten sowie Batterien und Akkumulatoren werden einer direkten Verwertung zugeführt *(sons. Verw.)*. Aschen, Schlacken und Stäube (Primär- und Sekundärabfälle) werden deponiert und führen dazu, dass rund die Hälfte des Zinks abgelagert wird – großteils aus industriellen Prozessen.

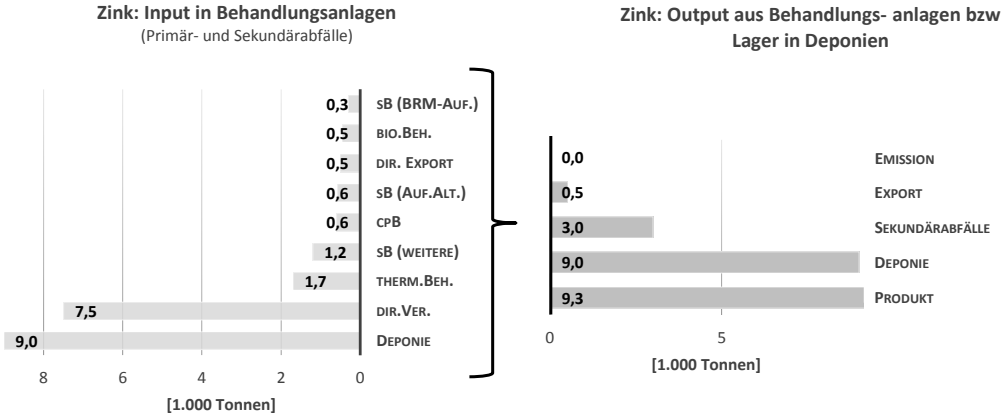
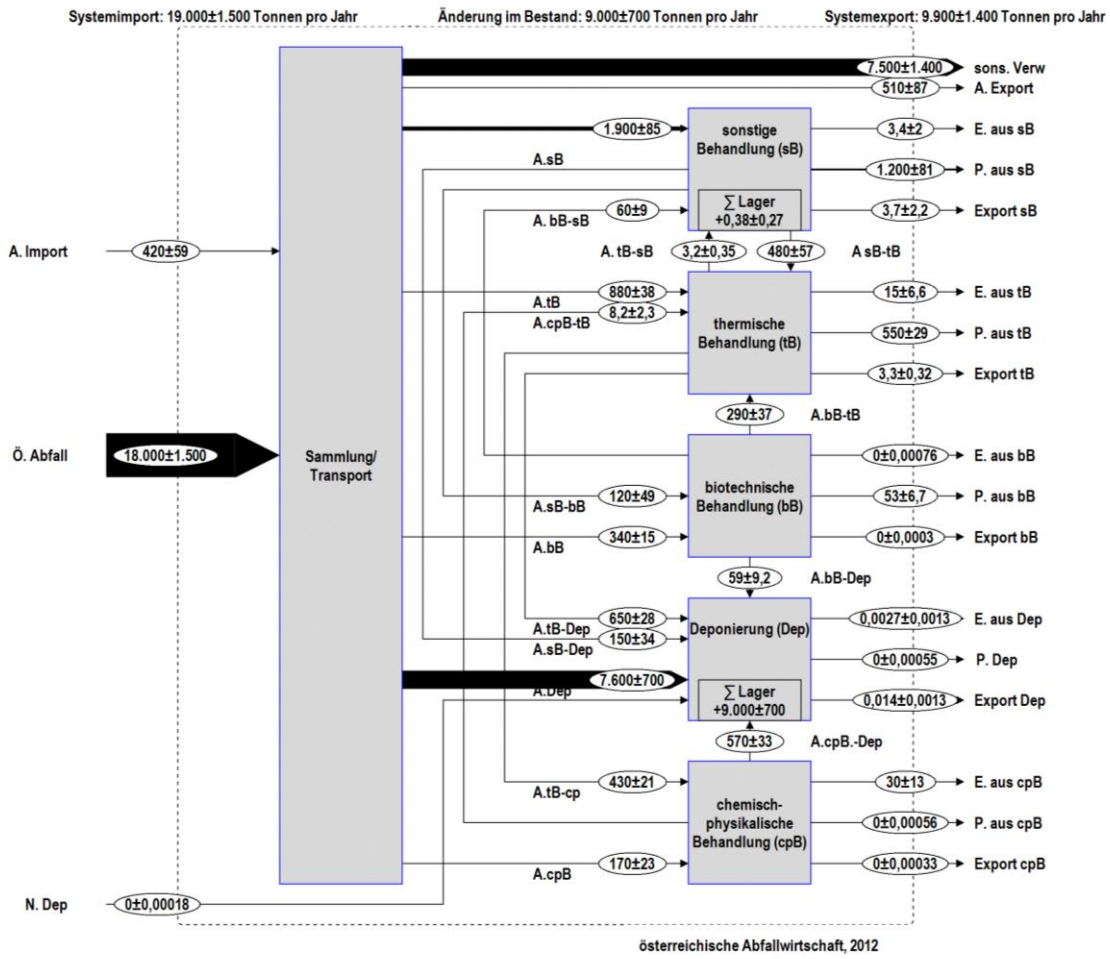


Abb. 7-23: Zink: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 22.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgender Abbildung ist die Zink-Bilanz der österreichischen Abfallwirtschaft dargestellt.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 7-24: Zink: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen

7.3 Zusammenfassung MFA

In den folgenden Tabellen (Tabelle 7-3 und Tabelle 7-4) sind die Ergebnisse der Materialflussanalyse für das System österreichische Abfallwirtschaft im Jahr 2012 zusammengefasst. Der Input (Abfall und Niederschlag) ist dem Output (Produkt, Emissionen und Export) sowie dem Lager gegenübergestellt. Bei den Produkten handelt es sich um Güter zur stofflichen Verwertung und Produkte zur thermischen Behandlung.

Tabelle 7-3: Zusammenfassung der MFA-Ergebnisse [1.000 Tonnen] 1/2 (gerundet auf 3 signifikante Stellen)

	Fraktion	Güter	C	Cd	N	P	Fe
Input	Abfall	17.300	2.810	0,113	47,2	14,9	1.490
	Niederschlag	265					
Lager		2.160	120	0,059	2,44	5,68	67,0
Output	Produkt	11.400	1.470	0,050	18,5	4,46	1.420
	Emission	3.190	978	0,001	24,2	0,113	0,220
	Export	761	245	0,004	2,00	4,63	8,07

Tabelle 7-4: Zusammenfassung der MFA-Ergebnisse [1.000 Tonnen] 2/2 (gerundet auf 3 signifikante Stellen)

	Fraktion	Güter	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Input	Abfall	17.300	12,2	54,0	0,0147	169	16,6	18,8
	Niederschlag	265						
Lager		2.200	5,87	2,42	0,00913	11,5	5,49	8,99
Output	Produkt	11.400	5,78	51,2	0,00249	157	10,2	9,29
	Emission	3.190	0,004	0,153	0,000192	0,0191	0,0220	0,0475
	Export	761	0,504	0,325	0,00286	0,480	0,897	0,5170

8 Life Cycle Assessment (Ökobilanz)

Wie in schon Kapitel 5 beschrieben, werden die ökologischen Auswirkungen der im Zuge des Projektes entwickelten Maßnahmen und Ideen mittels Ökobilanzansatz bewertet. Die Methode der Ökobilanz ist eine international anerkannte und standardisierte Methode (DIN ISO 14040ff.).

8.1 Allgemeines zu Ökobilanzen (Life-Cycle-Assessment, LCA)

Die Grundsätze und Rahmenbedingungen der Ökobilanz sind in der ISO Norm 14040 aus dem Jahr 2006 festgelegt. Die Norm ISO 14044 „Ökobilanz-Anforderungen und Anleitung“ ebenfalls aus dem Jahr 2006 geht genauer, vor allem auf die tatsächliche Durchführung der Ökobilanzierung ein. Die Ökobilanzierung ist eine modulare, systematische und iterative Methode zur Analyse von Umweltaspekten und potenziellen Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebensweges eines Produktes bzw. Prozesses (ISO 14040 2006). Dabei kann die Ökobilanz z.B. umweltrelevante Produktverbesserungen aufdecken bzw. Entscheidungsträger bei Planung, Priorisierung oder Produkt- und Prozessentwicklung unterstützen. Jedoch liegen ökonomische und soziale Aspekte und Wirkungen in der Regel außerhalb des Untersuchungsrahmes der Ökobilanz. Die Ökobilanzierung ist ein relativer Ansatz, bei dem ausgehend von Wirkungskategorien alle In- und Outputs auf die jeweilige funktionelle Einheit (z.B. die Verwertung von einer Tonne Bioabfall) bezogen werden. Wie schon oben erwähnt, ist die Ökobilanzierung ein iteratives Verfahren, d.h. die einzelnen Phasen bauen auf den Ergebnissen davor liegender Phasen auf. Dabei werden die (Zwischen-) Ergebnisse immer mit den zuvor definierten Zielen abgeglichen und falls notwendig werden einzelne Stufen wiederholt bzw. angepasst. Eine Ökobilanz-Studie gliedert sich in folgende vier Phasen (siehe auch Abb. 8-1):

- Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

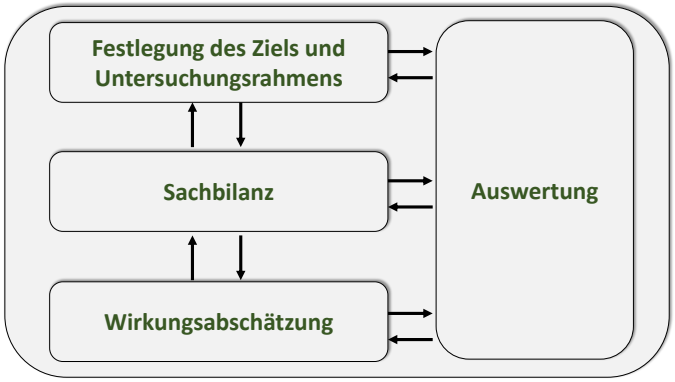


Abb. 8-1: Struktur Ökobilanz (ISO 14040, 2006)

8.1.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Das schriftlich festgelegte Ziel einer Ökobilanz beinhaltet die beabsichtigte Anwendung derselben, die Gründe für die Durchführung der Studie sowie die angesprochene Zielgruppe. Im Untersuchungsrahmen sind die wesentlichen Eckpfeiler der Ökobilanz festgehalten, die in der ISO-Norm 14040 (2006) vollständig aufgelistet sind. Beispiele sind:

- das zu untersuchende Produktsystem;
- die Systemgrenzen;
- die funktionelle Einheit (auf was wird die Berechnung bezogen);
- die Allokationsverfahren (Wie wird z.B. mit mehreren Outputs aus einem System umgegangen? umgegangen? Wem werden die Aufwendungen angelastet?);
- Einschränkungen und Annahmen

Systemgrenzen

Die Systemgrenzen beschreiben die Schnittstellen des untersuchten Produktsystems zur Umwelt und zu anderen Produktsystemen und legen fest, welche Prozessmodule in die Untersuchung miteinbezogen bzw. ausgegrenzt werden. Im Idealfall sind alle Inputs und Outputs des untersuchten Systems Elementarflüsse (siehe Kapitel 8.1.2). In der Praxis werden jedoch nicht alle Inputs bzw. Outputs oder Prozesse in die Ökobilanz miteinbezogen. Es gibt verschiedene Abschneidekriterien, wonach diese von der Analyse ausgeschlossen werden können. Diese Kriterien sind nicht starr festgelegt, sondern müssen immer von Fall zu Fall ermittelt und begründet werden. Die wichtigsten sind:

- Masse: Massenströme unterschreiten einen zuvor festgelegten prozentuellen Anteil.
- Energie: Energieströme unterschreiten einen zuvor festgelegten prozentuellen Anteil.
- Umweltrelevanz: Inputs bzw. Outputs unterschreiten zuvor festgelegte Umweltwirkungen.

Weiters können die vorgesehene Anwendung der Studie, die zuvor getroffenen Annahmen oder Daten- und Kostenbeschränkungen zur Einschränkung der Systemgrenzen führen.

Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit bezeichnet die Bezugsgröße auf die unter anderem die Input- und Outputflüsse und letztendlich auch Resultate normiert werden (z.B. Verwertung von 1 Tonne Bioabfall). Wichtig bei der funktionellen Einheit ist, wie schon der Name sagt, die FUNKTION bzw. der NUTZEN eines Verfahren, Prozesses oder einer Dienstleistung. Sollen Vergleiche zwischen Szenarien durchgeführt werden, ist es wichtig, dass die Funktion bzw. der Nutzen der Verfahren auch gleich bzw. vergleichbar ist.

8.1.2 Sachbilanz

Die Sachbilanz gliedert sich in Datenerhebung sowie Datenberechnung und dient zur Quantifizierung relevanter Input- und Outputflüsse des Produktionssystems (ISO 14044, 2006). Dabei müssen alle Prozessmodule, welche innerhalb der Systemgrenzen liegen berücksichtigt werden. Inputs bzw. Outputs werden in einem ersten Schritt meist als Materialströme oder Energieströme betrachtet. Darauf können Elementarflüsse bezogen werden. Beispiele für Elementarflüsse sind:

- Emissionen in die Luft (z.B. SO_2, CO_2, NO_x)
- Emissionen in Wasser (z.B. Verunreinigungen in Abwässer)
- Emissionen in Boden (z.B. Sickerstoffe aus Mülldeponie)

Zusätzlich können aber auch Daten bezüglich Lärm, Geruch oder Abwärme in die Ökobilanz mit einbezogen werden.

Datenerhebung

Zu erhebende Daten müssen auf ihre Qualität hin analysiert werden. Dabei sind unter anderem der zeitbezogene, geographische und technologische Erfassungsbereich bzw. Präzision, Vollständigkeit, Repräsentativität, Konsistenz, Vergleichbarkeit und Unsicherheit der Daten von Bedeutung. Die Daten können qualitativer oder auch quantitativer Natur sein und durch Messung, Berechnung oder Schätzung gesammelt werden. Die erhobenen Daten werden in weiter unten aufgelistete Hauptgruppen, die in der ISO-Norm 14044 (2006) vollständig aufgelistet sind eingeteilt, wobei eine feinere Kategorisierung individuell vorgenommen werden kann. Die Hauptgruppen sind:

- Energieinputs, Rohstoffinputs, Betriebsstoffinputs, andere physikalische Inputs
- Produkte, Kuppelprodukte und Abfall
- Emissionen in Luft, Wasser und Boden
- Weitere Umweltaspekte

Datenberechnung

Der Punkt Datenberechnung umfasst das Umrechnen von Inputs und Outputs, die Datenvalidierung, der Bezug der Daten auf ein Prozessmodul bzw. eine funktionelle Einheit und schließlich die Datenallokation. Das

Umrechnen von Inputs und Outputs bezieht sich zum Beispiel auf brennbares Material, bei dem der Massenstrom mit Hilfe des Energiegehalts (Heizwert) der Energiestrom errechnet werden kann. Die Datenvalidierung liefert den Nachweis, dass die zuvor definierten Anforderungen an die Datenqualität erfüllt wurden. Quantitative Input- und Outputdaten eines Produktionsmoduls müssen auf einen Referenzfluss und in weiterer Folge auf die funktionelle Einheit bezogen werden. Werden dabei Daten aggregiert, so ist darauf zu achten, dass diese auf gleichwertige Stoffe und ähnliche Umweltwirkungen bezogen sind.

8.1.3 Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung hat zum Ziel potentielle Umweltwirkungen auf Basis der Sachbilanz zu beurteilen (ISO 14040, 2006). Sie erhebt allerdings keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da nur Umweltthemen betrachtet werden, die im Ziel und Untersuchungsrahmen festgelegt wurden. Die Wirkungsabschätzung baut auf die Ergebnisse der Sachbilanz auf und gliedert sich in verbindliche und optionale Bestandteile. Wirkungskategorien beschreiben potentielle Auswirkungen auf Umwelt bzw. Mensch und können in räumliche Bezüge (global, regional und lokale Wirkung) unterteilt werde. Für jede Wirkungskategorie müssen, zusammengefasst, folgende Faktoren bestimmt werden (ISO 14044, 2006):

- Wirkungsendpunkt(e)
- Wirkungsindikator für die vorgegebenen Wirkungsendpunkt(e)
- Identifizierung geeigneter Sachbilanzergebnisse, die unter Berücksichtigung des Wirkungsindikators dem Wirkungsendpunkt zugeordnet werden kann.
- Identifizierung des Charakterisierungsmodells

Zur Wirkungsabschätzung der Auswirkungen auf den Treibhauseffekt wird im Rahmen dieser Studie die Methode ReCipe 1.08 bzw. CML 2001 – Nov. 2010 verwendet. Für die zumeist betrachtete Wirkungskategorie „Klimawandel“ bzw. „Treibhauspotential“ ergeben sich keine Unterschiede zwischen den Methoden, da ReCiPe ein Nachfolgeprodukt von CML ist, bei dem noch weitere Wirkungskategorie berücksichtigt wurden. ReCiPe wurde von der Europäischen Kommission als beste Methode für viele Kriterien wie Treibhauseffekt, Eutrophierung oder Photooxidantienpotential ausgewählt (European Commission (2010b), weshalb eine Verwendung dieser Methode als „Stand der Technik“ angesehen werden kann).

Klassifizierung

Klassifizierung bedeutet, dass die Ergebnisse der Sachbilanz den zuvor ausgewählten Wirkungskategorien (Umweltwirkungen) zugeordnet werden. Dabei sind folgende Punkte zu berücksichtigen (ISO 14044, 2006):

- Wirkt ein Sachbilanzergebnis nur auf eine Wirkungskategorie, so ist sie dieser voll zuzurechnen.
- Wirkt ein Sachbilanzergebnis jedoch auf mehrere Wirkungskategorien, so muss man unterscheiden, ob es sich dabei um einen parallelen oder seriellen Mechanismus handelt.
    - Paralleler Mechanismus: Wirkt ein Sachbilanzergebnis parallel auf mehrere Wirkungskategorien, so muss es aufgeteilt werden (z.B. SO_2 Emission wird zwischen den Wirkungskategorien „menschliche Gesundheit“ und „Versauerung“ aufgeteilt).
    - Serieller Mechanismus: Wirkt ein Sachbilanzergebnis seriell auf mehrere Wirkungskategorien, so kann die Emission als Beitrag zu allen Kategorien klassifiziert werden

Charakterisierung

Charakterisierung bedeutet, dass mit Hilfe eines Charakterisierungsmodells die klassifizierten Sachbilanzdaten in Wirkungsindikatormengen umgerechnet werden (ISO 14044, 2006). Verschiedene Sachbilanzdaten der gleichen Wirkungskategorie werden auf eine gemeinsame Einheit des Wirkungsindikators bezogen und sind somit leichter vergleichbar bzw. aggregierbar. Die Wirkungsindikatormenge stellt ein Maß für den Schaden, der durch die Emission verursacht wird, dar. Aus diesem Grund ist das Charakterisierungsmodell eine Funktion von Wirkungsdauer und Wirkungsstärke. Dies bedeutet, dass gleichen Mengen von länger wirkenden und

schädlicheren Emissionen verglichen mit „harmlosen“ Emissionen durch das Charakterisierungsmodell höheren Wirkungsindikatormengen zugeordnet werden.

Im Falle des Treibhauseffekts (GWP: global warming potential bzw. Climate Change) werden alle relevanten Emissionen auf kg-CO_2 Äquivalente bezogen. Aktuelle Umrechnungsfaktoren werden von IPCC-Richtlinien (Integrated Pollution Prevention and Control) zur Verfügung gestellt.

8.1.4 Auswertung

In der Auswertungsphase werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung mit dem zuvor festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen abgeglichen, mit dem Zweck daraus Schlussfolgerungen, Einschränkungen und Empfehlungen abzuleiten. Die Ergebnisse sollen dabei leicht verständlich, vollständig und in sich schlüssig sein (ISO 14040, 2006).

8.1.5 Gutschriften

Durch die Aufbereitung von Abfällen werden Sekundärstoffe, Energie oder auch Teile und komplexe Güter wiedergewonnen, die einen nachfolgenden Einsatz als Produkt erlauben. So können sie die Primärproduktion vergleichbarer Materialien, Energie oder Produkte ersetzen. In vorliegender Arbeit wird dieser Tatsache anhand der sogenannten Recyclierbarkeits-Substitutionsmethode Rechnung getragen. Das bedeutet, dass die vermiedenen Aufwendungen der Primärproduktion eines ersetzten Gutes dem End-of Life Produkt bzw. dem Abfall entsprechend des Grades seiner Rezyklierbarkeit gutgeschrieben werden. Die vermiedenen Emissionen werden demnach von den Emissionen, die durch den Verwertungsprozess entstehen abgezogen. Dadurch kann es zu negativen Werten in der Darstellung kommen, die keinesfalls als absolut umweltverbessernd anzusehen sind, da die mit der Produktproduktion einhergehenden Umweltauswirkungen entsprechend der üblichen Systemgrenzen nicht berücksichtigt werden. Die negativen Werte zeigen lediglich die positiven Umweltauswirkungen von Recycling oder energetischer Nutzung von Abfällen im Vergleich zu Entsorgungsvarianten, wo es zu keiner Bereitstellung von Sekundärprodukten kommt.

In nachfolgenden Ergebnisgrafiken zur Ökobilanz stellen negative Balken demnach immer eine Gutschrift dar und sind demnach positiv zu bewerten.

8.2 Modellierung der Ökobilanz der österreichischen Abfallwirtschaft

Ziel der Ökobilanz im Rahmen der Benchmarking-Studie ist die Analyse des Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft hinsichtlich der AWG Ziele 1 „Vermeidung von schädlichen und nachteiligen Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze, deren Lebensgrundlagen und Umwelt“, AWG Ziel 2 „Vermeidung und Verringerung von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen“, AWG Ziel 3 „Schonung von Ressourcen (Energie)“ sowie eine nachfolgende Szenarienanalyse dazu.

Aus den Zielsetzungen und Vorgaben der Benchmarking-Studie lassen sich der Untersuchungsrahmen und die funktionelle Einheit eindeutig ableiten. Berücksichtigt wurde demnach die Entsorgung von in Österreich im Jahr 2012 angefallenen Abfällen (entsprechend der getroffenen Einschränkungen). Exporte wurden nicht weiter berücksichtigt.

8.2.1 Güterflüsse - Massenbilanz

Für die Modellierung der Ökobilanz werden die in Kapitel 6 und 7 angeführten Datengrundlagen und Güterflüsse herangezogen. Das bedeutet, dass z.B. für die thermische Behandlung soweit möglich die gegebenen Transferkoeffizienten hinsichtlich der Outputs (Metalle, Schlacke, Aschen, Filterkuchen) berücksichtigt wurden. Auch die Zusammensetzung der Inputs wurde für die relevanten Prozesse angepasst.

8.2.2 Stoffflüsse

Eine Berücksichtigung der bereits mittels STAN modellierten Stoffflüsse ist zwar technisch möglich, in seiner gesamten Konsequenz unter den gegebenen finanziellen und personellen Rahmenbedingungen für die Modellierung der gesamten österreichischen Abfallwirtschaft in diesem Projekt nicht umsetzbar.

Prinzipiell folgt auch die Ökobilanzierung dem Bilanzprinzip im Sinne von Masse Input entspricht Masse Output. Die Zusammensetzung des Inputs bedingt nachfolgende Outputs und Emissionen. Eine Änderung der in vorhandenen Datensätzen verwendeten Transferkoeffizienten für alle Stoffe war im Rahmen der gegebenen Restriktionen nicht möglich. Nachdem hier aber keine gravierenden Abweichungen zu erkennen waren und die vorhandenen Datensätze und Modelle prinzipiell den Erkenntnissen der einschlägig bekannten Literatur entsprechen, ist für das Gesamtergebnis kein maßgeblicher Einfluss zu erwarten.

8.2.3 Nicht berücksichtigte Prozesse

Nicht berücksichtigt wurden Anlagen zur „sonstigen thermischen Behandlung“, da keine Inputspezifikation bzw. kein Heizwert zur Verfügung standen. Nachdem die Menge der in derartige Anlagen verbrachten Abfälle im Verhältnis zum z.B. verbrannten Siedlungsabfall gering ist, sollte dies das Ergebnis nicht maßgeblich beeinflussen.

Auch eine Berücksichtigung der chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen (CP-Anlagen) war im Rahmen der Ökobilanzierung nicht möglich. Jedoch ist auch hier die Abfallmenge, die in derartige Anlagen geht eher gering (1 Mio. t) Die Anlagenvielfalt in Österreich macht es zudem nicht möglich eine konkrete Anlage darzustellen bzw. genauer auf die damit zusammenhängende Umweltbelastung einzugehen. Aufgrund der Inhomogenität der Stoffströme ist es auch schwierig In- und Output-Bilanzen generell aufzustellen, da je nach Einstufungen Stoffströme in CP-Anlagen gehen oder andere Behandlungswege einschlagen.

Des Weiteren wurden die Prozesse Verwertung von Alttextilien (erfolgt größtenteils im Ausland), EAG Behandlung, Behandlung kontaminierter Böden, sowie Baurestmassen und Asbest-Behandlung mangels belastbarer Daten nicht in der Modellierung berücksichtigt.

8.2.4 Sachbilanz: Modellierung der Szenarien mittels Software GaBi 6.0

Jede Ökobilanz ist nur so gut wie die verwendeten Datensätze! Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen soll hier auf die verwendeten Datensätze zur Modellierung der einzelnen Prozesse eingegangen werden. Möglich war der Einsatz der Methode der Ökobilanzierung zur Analyse der Umweltauswirkungen der österreichischen Abfallwirtschaft nur unter den gegebenen Rahmenbedingungen, dass am Institut für Abfallwirtschaft der BOKU (ABF BOKU) bereits seit dem Jahr 2000 regelmäßig abfallwirtschaftliche Ökobilanzen durchgeführt werden und so ein entsprechend großer Pool an österreichbezogenen abfallrelevanten Datensätzen aufgebaut werden konnte. Als relevante Projekte in denen Datensätze erarbeitet wurden, die im Rahmen dieser Benchmarking Studie zum Einsatz kamen seien genannt:

Tabelle 8-1: Verwendete Datensätze für die Modellierung mittels GaBi 6.0

Ökologische Relevanz der Transportlogistik in der Abfallwirtschaft (2001-2002)	Darstellung des Transporteinflusses auf und detaillierte Modellierung von stofflicher und thermischer Verwertung von Altpapier sowie Kartonagen und Kunststoffen (Fokus: HDPE, LDPE, EPS, Kühlgeräte); Anlagendaten!
LCA-IWM (FP5) (2002-2005)	Die Verwendung von Ökobilanzierungsinstrumenten für die Entwicklung von integrierten Abfallwirtschaftsstrategien für Städte und Regionen mit rasch wachsenden Wirtschaftssystemen, Vertiefung der gesamthaften Abfalldatensätze
Erarbeitung von Grundlagen für einen Salzburger Abfallwirtschaftsplan (2000)	Modellierung der Abfallwirtschaft im Bundeslandsalzburg, Anlagendaten für Salzburger Anlagen (MBA), generische Daten Verbrennung (von Stubenvoll).

BiogasLCA (2010-2011)	Ökobilanz der anaeroben Behandlung von Bioabfällen in Wien mit besonderer Berücksichtigung unterschiedlicher Varianten der Gärrückstandsbehandlung ; Anlagendaten, Literatur
Klimarelevanz der Kompostierung unter Berücksichtigung der Verfahrenstechnik und Kompostanwendung (2004)	Analyse zur offenen Mietenkompostierung
ZeroWin (FP7) (2009-2014)	Neue Datensätze im Bausektor, Updates zu den Verwertungsdatensätzen von Kunststoffen und Metallen; die im Rahmen dieses Projektes erstellten Bilanzen wurden extern reviewt
TransWaste (Central Europe) (2009-2012)	Vergleich von ReUse mit Recycling/thermische Verwertungsvarianten unterschiedlicher Abfallfraktionen (u.a. Metalle, neu PP, Altholz)
Einweg versus Mehrweg - Ökobilanz zum Marmeladeglas (Masterarbeit 2014/15)	Modellierung der Glasverwertung (Anlagendaten)

Zusätzlich ergab die Kooperation mit thinkstep (Vertreiber der verwendeten Software) weitere Updates der Datensätze. Vom ABF-BOKU wurde ein spezielles Modell zur Kompostierung entwickelt, welches ausgehend von den Inputparametern auf Stoffebene, eine detaillierte Modellierung der unterschiedlichen Kompostiervarianten (u.a. Einstellung der Zugabe an Strukturmaterial) zulässt. Eine aggregierte Version dieses Modells wurde wie bei thinkstep üblich in die Software integriert und ist ab dem nächsten Update öffentlich zugänglich. Im Gegensatz dazu wurden dem ABF BOKU Unit Process Modelle zur Verbrennung und Deponierung zur Verfügung gestellt, welche ebenfalls Inputorientiert (detaillierte Stoffzusammensetzung des Inputmaterials) arbeiten und eine parametrisierte Anpassung aller relevanten Einzelprozesse ermöglichen.

8.2.5 Erläuterungen zu den verwendeten Datensätzen

Basierend auf der geschilderten Datenbasis kamen folgende Datensätze für die Modellierung der österreichischen Abfallwirtschaft zum Einsatz.

Tabelle 8-2: verwendete Datensätze

Abfallkategorie	Verwendete Datensätze
Deponie	Auf die österreichischen Verhältnisse und die in Kapitel 6 zur Verfügung gestellten Informationen adaptiertes Spezialmodell von GaBi; z.T. generische GaBi Datensätze
Thermische Verwertung/Behandlung	Auf die österreichischen Verhältnisse und die in Kapitel 6 zur Verfügung gestellten Informationen adaptiertes Spezialmodell von GaBi; in Einzelfällen für untergeordnete Mengenströme
Elektrische Energie (auch Gutschriften)	Generische GaBi Datensätze (AT Energiemix, 2013)
Thermische Energie (auch Gutschriften)	Generische GaBi Datensätze (AT thermische Energie aus Gas, 2013)
Alttextilien	Nicht berücksichtig
EAG	Nicht berücksichtig
Kontaminierte Böden	Nicht berücksichtig
Asbest	Nicht berücksichtig
BRM	Nicht berücksichtig
Altpapier	Eigene ABF Datensätze (für Österreich modellierte Anlagendaten)
Kunststoffe	Großteils eigene ABF Datensätze (für Österreich modellierte Anlagendaten)
Altmetall	Nur Stahl modellierte, da keine Details verfügbar (generische GaBi Datensätze)
Glas	Eigene ABF Datensätze (Anlagendaten)
MBA	Eigene ABF Datensätze/Modelle
Kompostierung	Eigene ABF Datensätze/Modelle (approbiert von thinkstep)
Vergärung	Eigene ABF Datensätze/Modelle (approbiert von thinkstep)

8.3 Ergebnisse der Ökobilanzierung

Das AWG Ziel „Vermeidung von schädlichen und nachteiligen Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze, deren Lebensgrundlagen und Umwelt“ wurde gegliedert in:

- Verringerung der direkten Einwirkung auf den Menschen
- Verringerung der direkten Einwirkungen auf die Umwelt
- Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt

Das AWG Ziel „Vermeidung und Verringerung von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen“ wurde gegliedert in:

- Verringerung von Luftschadstoffen
- Verringerung von klimarelevanten Emissionen

Eine Bewertung der Zielerreichung des AWG für diese beiden Ziele erfolgt über die Wirkungskategorien Klimawandel, Versauerungspotential, Eutrophierung und Photooxidantienpotential. Abb. 8-2 zeigt die Ergebnisse der Ökobilanz zum Treibhauspotential der österreichischen Abfallwirtschaft. Beherrscht wird das Bild durch die bereits näher erläuterten Gutschriften, die zu negativen Werten bei der sonstigen Behandlung (Shredderanlagen, Aufbereitungsanlagen für Altstoffe) führen. Ein Großteil der vermiedenen Umweltauswirkungen ist hier auf die Sekundärproduktion von Metallen zurück zu führen, da die zum Teil energieaufwendige Primärproduktion vermieden wird.

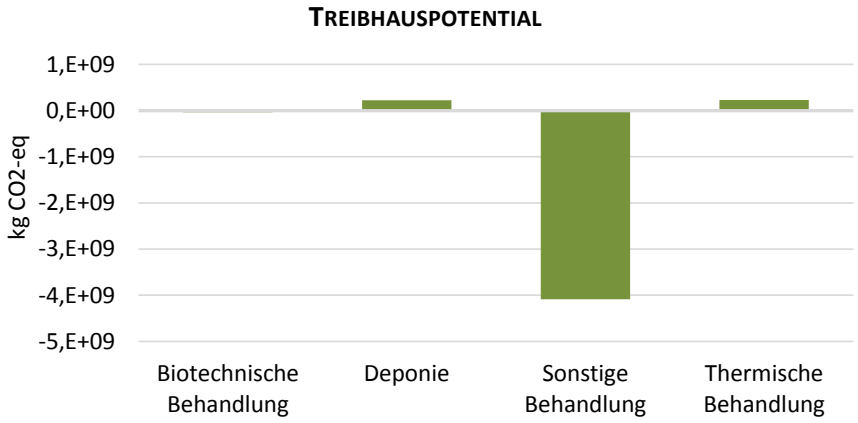


Abb. 8-2: Treibhauspotential der österreichischen Abfallwirtschaft

Laut Ökobilanzierung werden in Summe durch die österreichische Abfallwirtschaft 2012 rund 3,5 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente eingespart. Dazu ist anzumerken, dass alleine im Rahmen der sonstigen Behandlung u.a. durch Recycling von Metallen, Kunststoffen, Altpapier und Glas 4 Millionen Tonnen an CO_2-Äquivalente eingespart werden. Die direkten Treibhausgasemissionen (ohne Gutschriften) betragen rund 1,9 Mio. CO_2-Äquivalente. Im Klimabericht (APCC 2014) werden der österreichischen Abfallwirtschaft ohne Abfallverbrennung für das Jahr 2011 1,7 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente zugeordnet. Ein direkter Vergleich der aktuellen Studie mit den Ergebnissen des Klimaberichtes ist aufgrund der unterschiedlichen angewandten Methode demnach nicht möglich. Die der Ökobilanz eigene Methode Gutschriften für sekundär produzierte Materialien für die Einsparung der Primärressourcen zu berücksichtigen wurde im Klimaschutzbericht nicht angewendet. Daneben sind noch folgende wesentlichen methodischen Unterschiede zu erwähnen. In der aktuellen Studie wurden in Bezug auf die Deponierung von Abfällen z.B. nur aktuell (2012) deponiertes Material und die dadurch verursachten zukünftigen Umweltauswirkungen berücksichtigt. Bereits bestehende Deponien und deren Auswirkungen waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Abwasserbehandlung wurde im Klimaschutzbericht berücksichtigt war aber nicht Thema der aktuellen Ökobilanz. Im Klimabericht wird weiters die Abfallverbrennung mit anschließender Energiegewinnung dem Sektor Energieaufbringung zugeordnet.

Ähnliche Ergebnisse wie für den Treibhauseffekt, nämlich vorherrschende negative Werte (Gutschriften) durch die sonstige Behandlung neben denen die Umweltauswirkungen der biotechnischen sowie der thermischen Behandlung und sogar der Deponierung eher nicht relevant erscheinen sind auch für die Wirkungskategorien Versauerung und Photooxidantienpotential zu erkennen (Abb. 8-3).

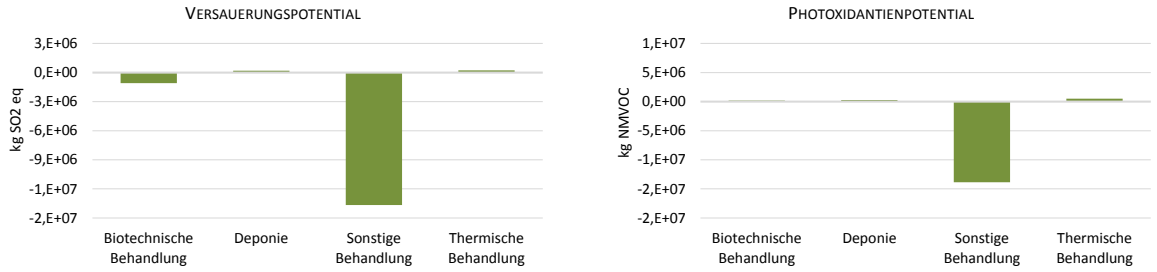


Abb. 8-3: Versauerungs- und Photooxidantienpotential der österreichischen Abfallwirtschaft

Geringeren Einfluss zeigen die Auswirkungen des Recyclings bei der Wirkungskategorie Eutrophierung wo jeweils die Deponierung die höchsten Auswirkungen zeigt (Abb. 8-4).

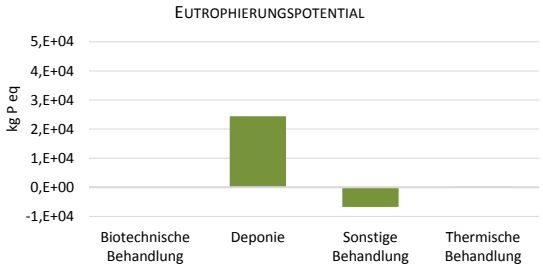


Abb. 8-4: Eutrophierungspotential der österreichischen Abfallwirtschaft

Für die Bilanzierung des Status Quo für AWG Ziel 2 werden die Ergebnisse der Ökobilanz auf Einzelparameterebene herangezogen und um die jeweiligen Gutschriften reduziert. Somit sollen die Ergebnisse die direkt mit der Abfallwirtschaft zusammenhängenden Emissionen widerspiegeln ohne etwaige positiven Effekte durch Recycling oder thermische Verwertung zu berücksichtigen. In einigen wenigen Fällen, wie z.B. bei der MBA aber auch bei einzelnen thermischen Verfahren wurden aggregierte Datensätze verwendet, die entweder der GaBi Datenbank entnommen wurden, oder wie im Fall der MBA bereits in früheren Arbeiten als eigene aggregierte Datensätze erstellt wurden. Diese aggregierten Datensätze beinhalten zumeist sämtlich mit dem Prozess in Verbindung stehende negative und positive Umweltauswirkungen und somit zum Teil auch Gutschriften. Die Gutschriften aus den aggregierten Datensätzen zu extrahieren war im Rahmen des Projektes nur teilweise möglich, da dies einer Neumodellierung des Datensatzes gleichkommt. Es ist daher für die Ergebnisse zu AWG Ziel2 anzumerken, dass es nicht für alle Prozesse möglich war, für die Berechnungen die Gutschriften abzuziehen. Dies betrifft jedoch nur einen Bruchteil der Gesamtprozesse und hat auf das Gesamtergebnis keinen nennenswerten Einfluss.

Umweltauswirkungen der österreichischen Abfallwirtschaft – normalisierte Ergebnisse

Die Normalisierung ermöglicht es das relative Ausmaß der spezifischen Umweltauswirkung im Verhältnis zu einem Referenzwert zu berücksichtigen. Dafür werden die Ergebnisse der einzelnen Umweltauswirkungen mit z.B. europäischen Referenzwerten verglichen um entscheiden zu können, ob sich die Umweltauswirkungen in einem normalen (den Erwartungen entsprechenden) Rahmen bewegen oder nicht. Für die Normalisierung werden Referenzgrößen für eine bestimmte Region (Österreich, Europa) über eine bestimmte Zeiteinheit (1 Jahr) herangezogen. Konkret bedeutet dies z.B. für das Treibhauspotential die Gesamtemissionen für Österreich oder die entsprechenden CO_2-Äquivalente, welche eine Person innerhalb eines Jahres in Westeuropa verursacht, als Referenzwert herangezogen werden. Wenn nun alle Wirkungskategorien in Bezug zu ihren Referenzwerten

gesetzt werden, so ermöglicht dies die einzelnen Wirkungskategorien gemeinsam darzustellen und so ihre relative Relevanz zu vergleichen.

Mangels österreichischer Vergleichswerte für alle Wirkungskategorien wurde die Normalisierung über europäische Personenäquivalente durchgeführt (Sleeswijk et al. 2008).

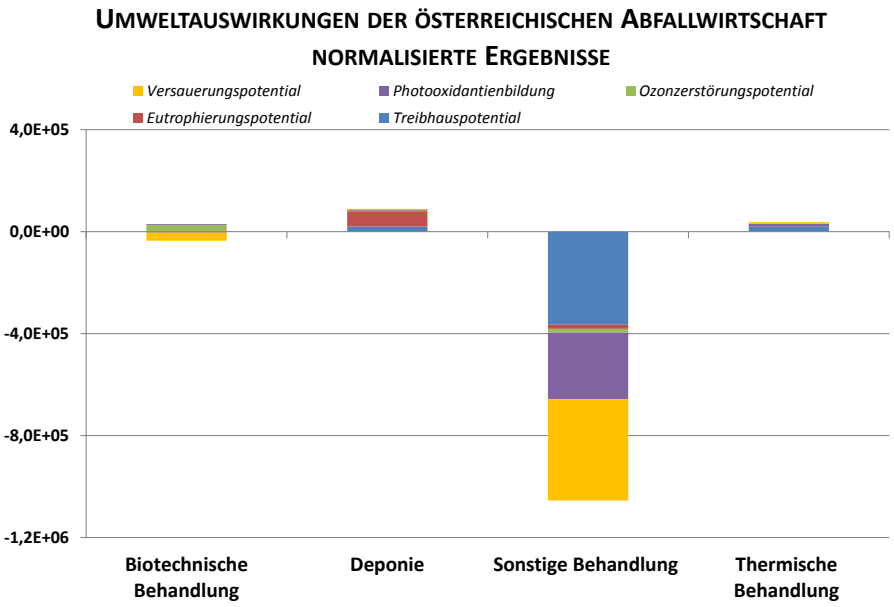


Abb. 8-5: Umweltauswirkungen der österreichischen Abfallwirtschaft, auf EU25 normalisierte Ergebnisse in Personenäquivalenten

Durch die Normalisierung der Ergebnisse erkennt man die relativ hohe Relevanz der abfallwirtschaftlichen Auswirkungen bei der Wirkungskategorie Versauerungs- und Treibhauspotential. Aber es wird auch deutlich, wie abfallwirtschaftliche Maßnahmen zur Herstellung von Sekundärrohstoffen (sonstige Behandlung) zur Vermeidung von Umweltauswirkungen beitragen.

9 Status Quo und Bewertung

Ausgehend von der im Kapitel 5 beschriebenen methodischen Vorgehensweise und den in den Kapiteln 6, 7 und 8 beschriebenen Datengrundlagen erfolgt die Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft. Der Status Quo für die Indikatoren zu AWG Ziel 1, 2 und 3 (Teil Energie) wurde anhand der Ökobilanz ermittelt, wobei bei AWG Ziel 1 zusätzlich die Gutschriften (z.B. durch Recycling) berücksichtigt werden. Der Status Quo für die Indikatoren zu AWG Ziel 3 (Rohstoffe und Deponievolumen), 4 und 5 wurde anhand der Materialflussanalyse ermittelt, wobei bei AWG Ziel 5 zusätzlich die langfristigen Emissionen (2 - 1.000 Jahre) in die Bewertung einfließen (siehe Abb. 9-1).

Abb. 9-1: Überblick: Systemgrenzen für die Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Bewertung je AWG Ziel dargestellt.

9.1 AWG Ziel 1 – Schutz Mensch, Tier Umwelt

9.1.1 Treibhauspotential

Betrachtet man den Status Quo so zeigt sich, dass durch die abfallwirtschaftliche Tätigkeit, in Summe rund 3,5 Mio. t an CO_2-Äquivalenten im Jahr eingespart werden. Zieht man für das Benchmark die Emissionen an CO_2-Äquivalenten heran, die ca. 80 Mio. t/a betragen (siehe Kapitel 5.4.1.2) und normiert man diesen Wert über die Bruttowertschöpfung (es bleiben = rd. 450.000 t CO_2-Äquivalente pro Jahr), so ergibt sich ein hoher Grad der Zielerreichung bzw. die maximale Nutzenpunkteanzahl von 10 (siehe Abb. 9-2). Durch die Berücksichtigung von Gutschriften für eingesparte Emissionen ergibt sich demnach für alle Wirkungskategorien, wo ein negativer Wert als Bilanzergebnis aufscheint, ein hoher Zielerreichungsgrad im AWG Ziel 1.

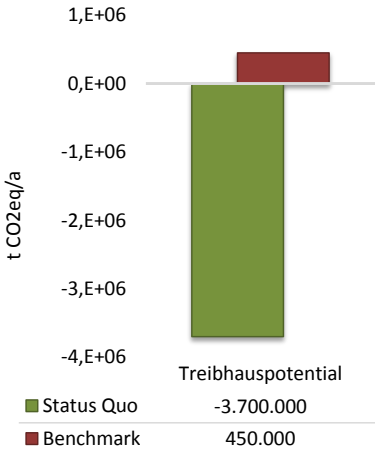


Abb. 9-2: Status Quo AWG Ziel 1: Klimawandel

9.1.2 Terrestrische Versauerungspotential

Die abfallwirtschaftliche Tätigkeit führt insgesamt gesehen zur Einsparung von 14.000 t $SO_{2\text{-eq}}$/a. Zieht man für das Benchmark die Gesamtemissionen an SO_2-Äquivalente der wirtschaftlichen Tätigkeit heran, die ca. 17.290 t/a betragen (siehe Kapitel 5.4.1.3) und normiert man diesen Wert über die Bruttowertschöpfung so ergibt sich ein Benchmark von 4.800 t $SO_{2\text{-eq}}$/a. Daraus errechnet sich ein hoher Grad der Zielerreichung bzw. die maximale Nutzenpunkteanzahl von 10 (siehe Abb. 9-3).

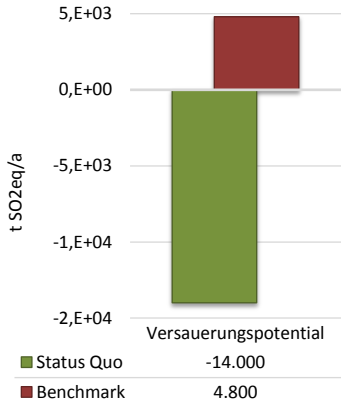


Abb. 9-3: Status Quo AWG Ziel 1: Terrestrische Versauerung

9.1.3 Photooxidantienpotential

Die abfallwirtschaftliche Tätigkeit führt insgesamt gesehen zur Einsparung von rund 13.000 t NMVOC/a. Zieht man für das Benchmark die NMVOC-Emissionen (ca. 133.000 t/a), hervorgerufen durch die wirtschaftlichen Tätigkeit in Österreich heran. Normiert man diesen Wert über die Bruttowertschöpfung (=750 t NMVOC/a), so ergibt sich ein hoher Grad der Zielerreichung bzw. die maximale Nutzenpunkteanzahl von 10 (siehe Abb. 9-4).

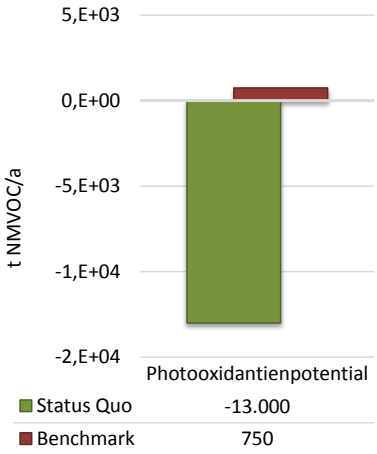


Abb. 9-4: Status Quo AWG Ziel 1: Photooxidantienpotential

9.1.4 Eutrophierungspotential

Das Eutrophierungspotential der österreichischen Abfallwirtschaft beträgt rund 18 Tonnen Phosphor Äquivalente. Der Benchmark beträgt rund 24 Tonnen Phosphor Äquivalente. Obwohl der Benchmark eingehalten wird, werden für diesen Indikator nur 4 von 10 möglichen Nutzenpunkten vergeben, da die Vergabe der Nutzenpunkte in Abhängigkeit von Zielerreichungsgrad von den Bearbeitern des AWG-Ziel 1 so gewählt wurde (siehe Kap. 5.3.4).

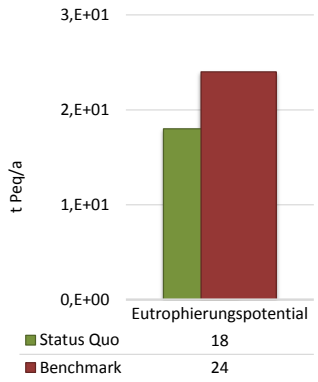


Abb. 9-5: Status Quo AWG Ziel 1: Eutrophierung

9.2 AWG Ziel 2 – Reduktion von klimarelevanten Gasen und Luftschadstoffen

Der Ansatz der Ökobilanzierung zur Darstellung des Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft lieferte folgendes (siehe Abb. 9-6). Die Beurteilung von AWG Ziel 2 erfolgt ohne Gutschriften (z.B. Recycling) - es werden somit nur die direkten Emissionen der österreichischen Abfallwirtschaft bewertet.

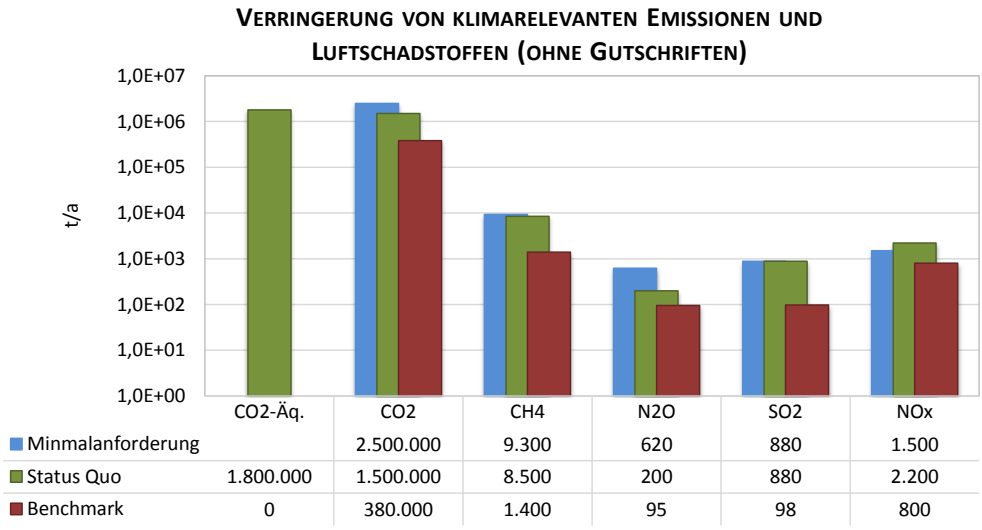


Abb. 9-6: Status Quo AWG Ziel 2: klimarelevante Emissionen und Luftschadstoffe (ohne Gutschriften)

Die gesamten Treibhausgasemissionen in CO_2-Äquivalenten sind ergänzend dargestellt, gehen allerdings nicht in die Bewertung ein. Für das AWG Ziel 2 wurden nur die direkten Treibhausgas relevanten Emissionen aus der Abfallwirtschaft (ohne Gutschriften) berücksichtigt. Wird von dem oben dargestellten Status Quo ausgegangen, zeigt sich, dass die definierten Benchmarks nicht einhalten werden. Die Bilanzierungsergebnisse zeigen, dass hier die Emissionen, die direkt aus der Abfallwirtschaft kommen jene des definierten Sollwertes (=Anteil der Abfallwirtschaft an den Gesamtemissionen) zum Teil um ein Vielfaches überschreiten. Die Minimalanforderungen, welche auf Basis von Gesetzen bzw. Zielformulierungen definiert wurden, können von drei Parametern eingehalten werden. Vor allem bei NO_x Emissionen zeigt sich ein Verbesserungspotential innerhalb der Abfallwirtschaft. Derzeit kann auch Gesamt-Österreich die genannten Ziele für NO_x-Emissionen nicht erreichen.

Da durch die Tätigkeiten der Abfallwirtschaft auch Emissionen vermieden werden (beim Ersatz von Primärressourcen durch Sekundärressourcen), sind in folgender Abbildung zusätzlich die Ergebnisse der Bewertung von AWG Ziel 2 unter Berücksichtigung der sich bei der Ökobilanzierung ergebenden Gutschriften dargestellt. Unter Berücksichtigung der Gutschriften ergibt sich für alle Luftemissionen außer N_2O eine positive Bilanz durch die Abfallwirtschaft.

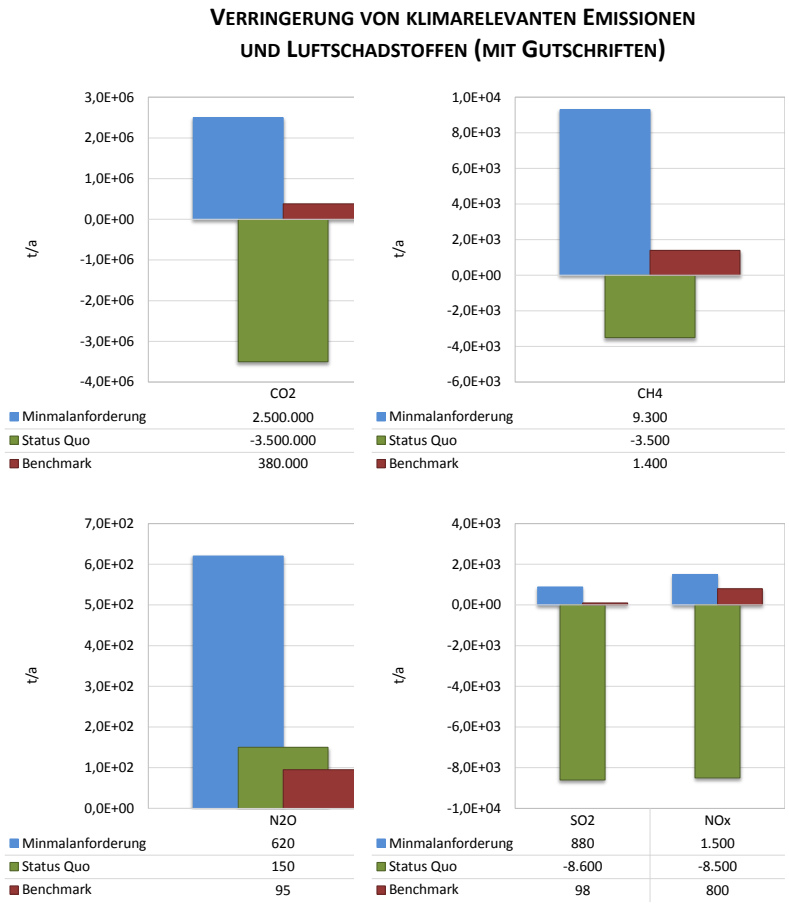


Abb. 9-7: Status Quo AWG Ziel 2: klimarelevante Emissionen und Luftschadstoffe (mit Gutschriften)

9.3 AWG Ziel 3 – Schonung von Ressourcen

9.3.1 Schonung von Rohstoffen

Bei den Rohstoffen werden STAN-Daten für Metalle, Kunststoffe, Glas, Papier und Holz zur Erhebung des Status Quo und die folgende Bewertung im Sinne eines Benchmarks herangezogen. Ein Benchmarking wird insofern durchgeführt, indem der rezyklierte Sekundärrohstoff (Status Quo) dem jeweiligen Gesamtabfallaufkommen (Benchmark) gegenübergestellt wird. Hier ist das Ziel, dass der Status Quo höher als der definierte Benchmark ist (siehe Kapitel 5.3.4). Die Bewertung zeigt, dass vor allem die stoffliche Verwertung von Metallen positive Resultate aufweist und auch Glas sowie Papier in einem hohen Maß recycelt wird. Im Bereich von Kunststoffen und Holz ist ein deutliches Verbesserungspotential zu erkennen.

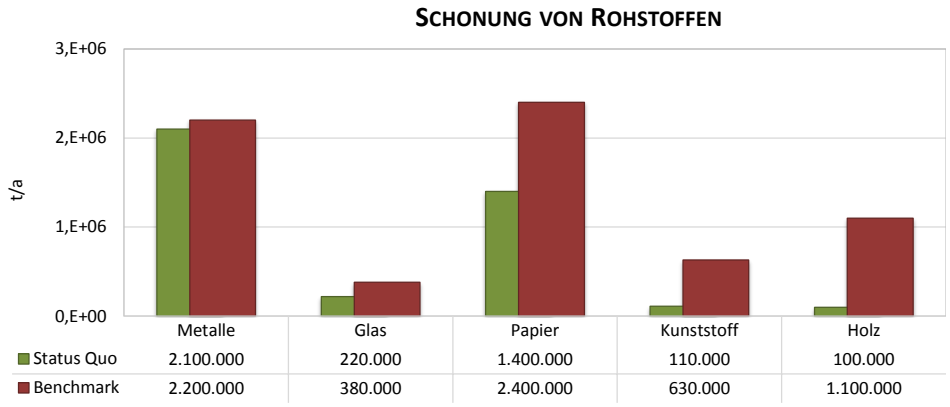


Abb. 9-8: Status Quo AWG Ziel 3: Schonung von Rohstoffen

In Tabelle 9-1 wird auch der Gesamteinsatz an Rohstoffen, d.h. der jährliche Bedarf der österreichischen Wirtschaft dargestellt. Daraus kann wiederum der Deckungsgrad des Recyclings und die Versorgung an Sekundärrohstoffen in Prozent ausgedrückt werden. Dieser ist im Bereich der Metalle 12 %, beim Glas 42 %, beim Papier 53 %, bei den Kunststoffen 12 % und beim Holz 0,4 %. Eine 100 % Deckung des Rohstoffbedarfs durch aus durch die Abfallwirtschaft bereitgestellten Sekundärrohstoffen ist derzeit, aber auch zukünftig, allein aus den Bedarfsmengen heraus nicht möglich. Zusätzlich müssen die Lebensdauern unterschiedlicher Produkte berücksichtigt werden, die am Beispiel der Kunststoffe (insbesondere bei den Verpackungen) deutlich niedriger als bei Metallen (z.B. aus dem Baubereich) sind.

Tabelle 9-1: AWG Ziel 3 – Rohstoffe: Status Quo und Gesamteinsatz an Rohstoffen

Indikator	Status Quo [t]	Gesamteinsatz [t]
Metalle	2.100.000	17.000.000
Glas	220.00	520.000
Papier	1.400.000	2.700.000
Kunststoffe	110.000	950.000
Holz	100.000	7.500.000

Abb. 9-9 verdeutlicht in einer Darstellung des österreichischen Rohstoffeinsatzes, des Abfallaufkommens und der daraus zurückgewonnenen Sekundärrohstoffe die Grenzen der Rohstoffbereitstellung durch die Abfallwirtschaft.

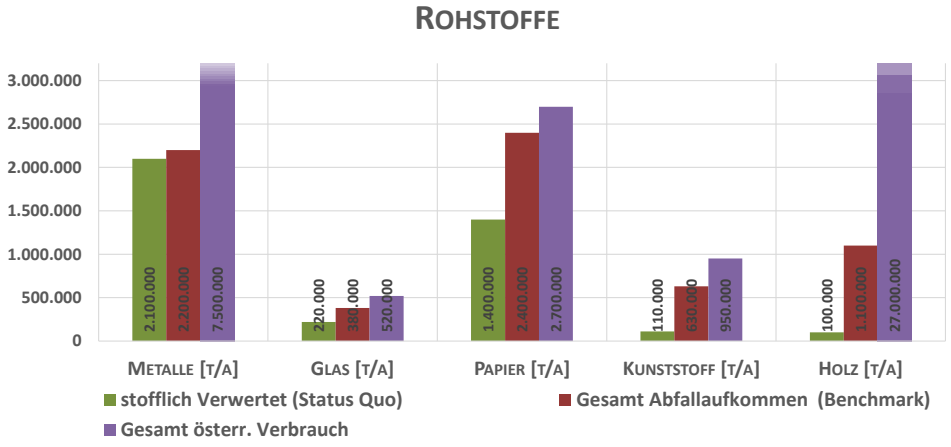


Abb. 9-9: Grenzen der Rohstoffbereitstellung aus Abfällen

9.3.2 Schonung von Energie

Der Energieverbrauch der Abfallwirtschaft übersteigt wie in Abb. 9-10 gezeigt den Benchmark. Für den Bereich der Energie wurde die eingesetzte Energiemenge, die für die abfallwirtschaftliche Tätigkeit benötigt wird, d.h. der Energieverbrauch herangezogen und bewertet. Der definierte Benchmark von 8.000 TJ (gesamtösterreichischer Energieverbrauch normiert über die BWS) kann nicht eingehalten werden. In Summe können 3 Nutzenpunkte für diesen Bereich erreicht werden. Dies kann relativiert werden, würde man sich die Energiebilanz ansehen. Hierzu ist eine Darstellung der Energieerzeugung, die in diesem Projekt nicht der Fokus war, nötig und die Gegenüberstellung der beiden.

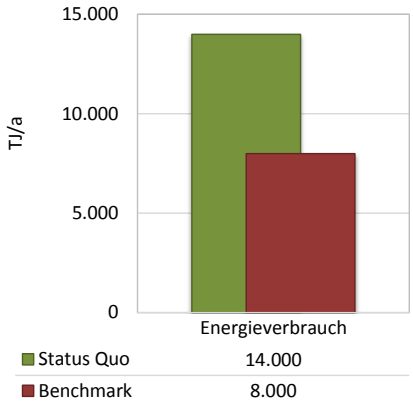


Abb. 9-10: Status Quo AWG Ziel 3: Schonung von Energie

Der Benchmark mit ungefähr 8.000 TJ/a ist knapp die Hälfte des Status Quo (14.000 TJ/a). Anzumerken ist das jedoch auch bei der Darstellung des Status Quo einzelne Stoffströme bzw. ein Teil der Behandlungsanlagen ausgeschlossen wurde. Energieeffizienzmaßnahmen sind in neueren Anlagen schon inkludiert. Bei älteren Bestandsanlagen sind hier sicher Optimierungspotentiale zu finden. Die Herstellung bzw. Aufbereitung und der Einsatz von Sekundärrohstoffen führt zu einer Energieeinsparung. Diese kann, wie in Tabelle 9-2 dargestellt, beziffert werden und beläuft sich insgesamt auf 8,5 % des energetischen Endverbrauchs in Österreich (siehe Abb. 9-11).

Tabelle 9-2: Energieeinsparung durch Sekundärproduktion [basierend auf UBA, 20101]

Indikator	Sekundärproduktion [t/a]	Energieeinsparung durch Sekundärproduktion [GJ/t]	Gesamteinsparung durch Sekundärproduktion [TJ]
Metalle	2.100.000	49,3	89.000
Glas	220.00	3,16	700
Papier	1.400.000	0,3	400
Kunststoffe	110.000	27	3.000
Holz	100.000	0,3	30

[1] *UBA-Studie: Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich*

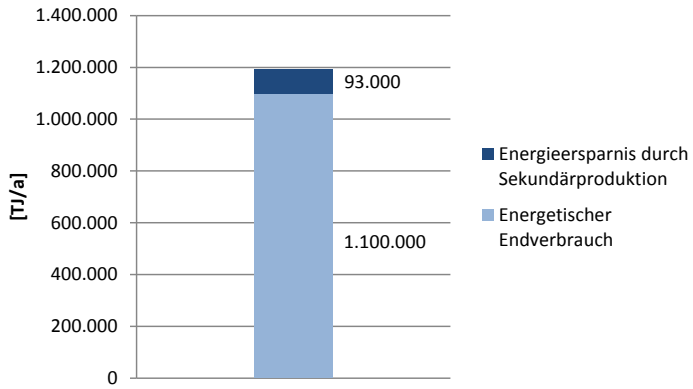


Abb. 9-11: Energieeinsparung durch Recycling von Altstoffen im Vergleich mit dem österreichischen Endenergieverbrauch

Ausgedrückt durch den kumulierten Energieaufwand (KEA), lassen sich auf Basis von Tabelle 9-2 beispielhaft für die Fraktionen Metalle, Glas und Kunststoffe beim Recycling folgende Einsparungspotentiale (Abb. 9-12) darstellen.

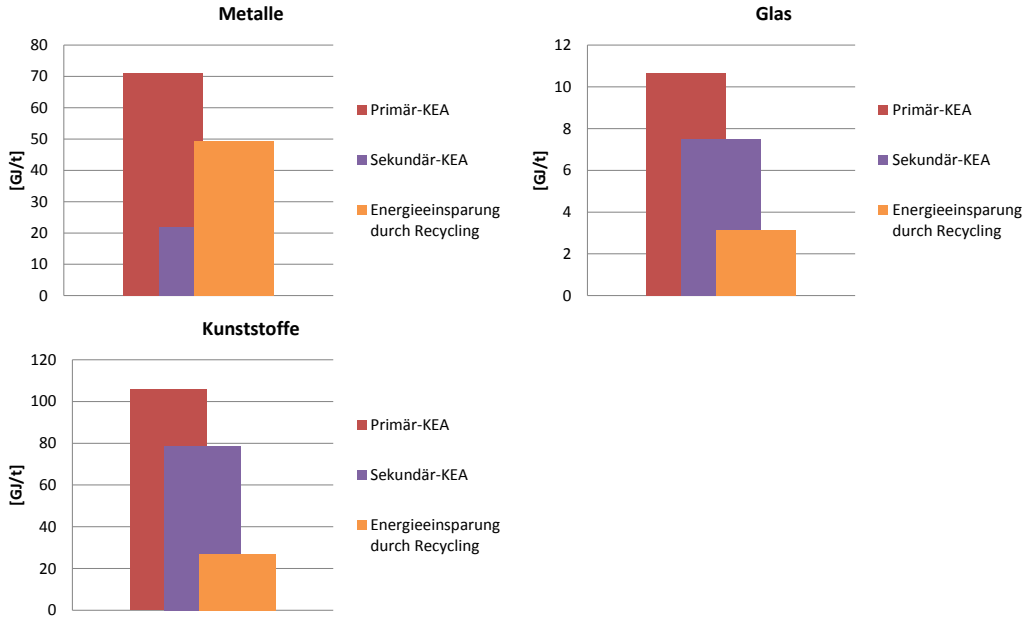


Abb. 9-12: Energieeinsparungspotentiale ausgedrückt durch den kumulierten Energieaufwand

9.3.3 Schonung von Flächen

Der Flächenverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft kann auf Grund der mangelnden Datengrundlage nur abgeschätzt werden. Für das Jahr 2014 ergibt sich dabei für die Abfallwirtschaft im engeren Sinne (Altlasten, Deponien, Abfallbehandlungsanlagen) ein Flächenverbrauch von ca. 7.000 Hektar (70 km²). Zusätzlich kann die Fläche, die für die Abfallsammlung von Privathaushalten im öffentlichen Raum verwendet wird (Sammelinseln und Recyclinghöfe) mit ca. 102 Hektar abgeschätzt werden (ca. 12 m² pro 100 Einwohner). Damit ergibt sich insgesamt ein Flächenverbrauch von 7.102 ha, was ca. 0,2 % des Dauersiedlungsraums in Österreich entspricht. Die Flächen von innerbetrieblichen Abfallbehandlungsanlagen und von (Zwischen-)Lagern für Abfälle sind in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.

Abschätzungen für den Zeitraum 1950-2014 ergeben den höchsten Flächenverbrauch der Abfallwirtschaft im engeren Sinne mit ca. 9.700 Hektar für 1990. Das entspricht einer Abnahme des Flächenverbrauchs von 1990 bis 2014 um ca. 27 %. Seit 1995 steigt der Flächenverbrauch durch Abfallbehandlungsanlagen stetig an, aber

durch das Verbot der Deponierung von unbehandelten Abfällen und die Sanierung von Altlasten konnte der Flächenverbrauch durch die Abfallwirtschaft insgesamt erheblich verringert werden. Bis 2013 nahm die verbrauchte Fläche kontinuierlich ab. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die in Anspruch genommene Fläche in Zukunft wieder steigen wird, bedingt durch die zunehmende Ausdifferenzierung der Abfallwirtschaft (Zunahme von Verwertungs- und Behandlungsanlagen, vermehrte Abfalllagerung und -sortierung). Für die Abfallwirtschaft in engeren Sinn kann daher ein jährlicher Zuwachs der Flächeninanspruchnahme von ca. 50 ha prognostiziert werden (Scholz 2015).

9.3.4 Schonung von Deponievolumen

Von den quantitativ betrachteten Abfällen wurden im Jahr 2012 rund 3,7 Millionen m³ (2,2 Mio. Tonnen) auf Deponien abgelagert. Der Vergleich mit der definierten Minimalanforderung und dem Benchmark (siehe Kapitel 5.4.3.5) ist in Abb. 9-13 dargestellt.

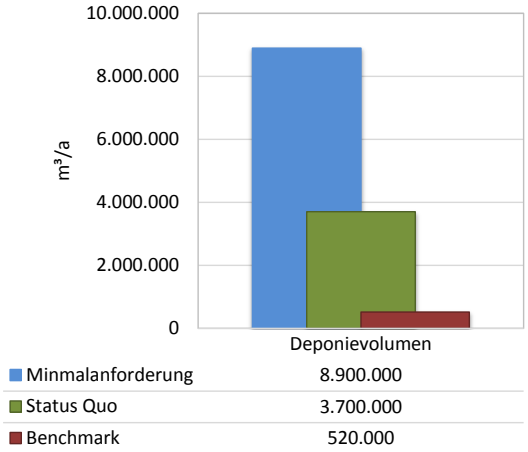


Abb. 9-13: Status Quo AWG Ziel 3: Deponievolumen

Die Beurteilung des AWG Ziels Schonung von Deponievolumen zeigt, dass die Minimalanforderung eingehalten wird. Damit werden in Österreich deutlich mehr Volumina bergbaulich abgebaut als Abfälle in Deponien wieder eingebaut. Bei der Beurteilung der Minimalanforderung ist zu beachten, dass sich nicht jeder bergbaulich genutzte Standort auch als Deponiestandort eignet. Der Vergleich mit EU-Staaten zeigt allerdings, dass eine Reduktion der abgelagerten Abfallmengen möglich ist. Minimal werden in der EU 3 % des Gesamtaufkommens von Abfällen (ohne Bodenaushub) deponiert. Von den quantitativ betrachteten Abfällen werden in Österreich allerdings rund 12 % deponiert. Somit wird der Benchmark nicht erreicht. In folgender Grafik ist die prozentuelle Zusammensetzung in Masseprozent der deponierten Abfallfraktionen dargestellt.

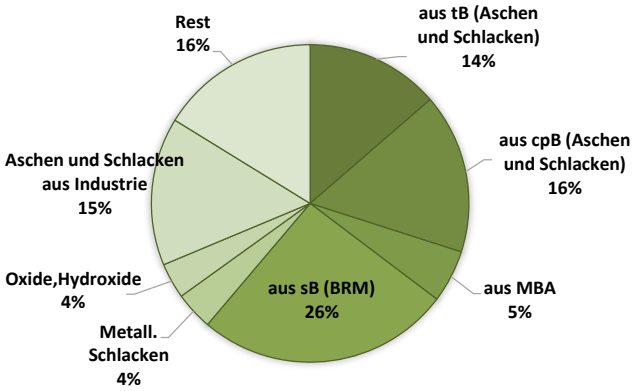
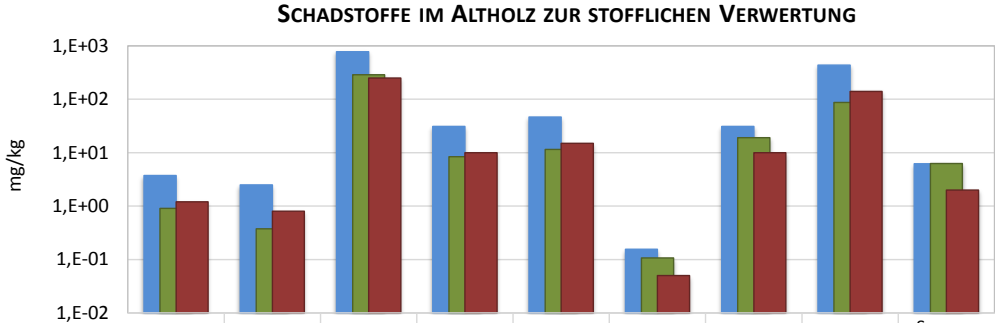


Abb. 9-14: Deponierte Abfallfraktionen in Masseprozent

9.4 AWG Ziel 4 – keine Gefährdung durch Recycling

9.4.1 Altholz zu stofflichen Verwertung

Für die Beurteilung der Zielerreichung wurden als Minimalanforderung die Grenzwerte der Recyclingholzverordnung für einen 30 % Recyclingholzanteil und als Benchmark die Grenzwerte der Recyclingholzverordnung für einen 100 % Recyclingholzanteil herangezogen (siehe 5.4.4.1). Die Schadstoffkonzentrationen im stofflich verwerteten Altholz wurden auf Basis der Stoffflussanalyse abgeschätzt, wobei die zugrunde gelegten Stoffkonzentrationen und Transferkoeffizienten den Werten der Tabelle 6-15 und Tabelle 6-117 entsprechen. Für die nicht mit STAN abgebildeten Schadstoffe (As, Cl, F und Summe PAK) wurden die Schadstoffkonzentrationen direkt aus den Werten der Tabelle 6-15 berechnet. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung sind in Abb. 9-15 dargestellt.



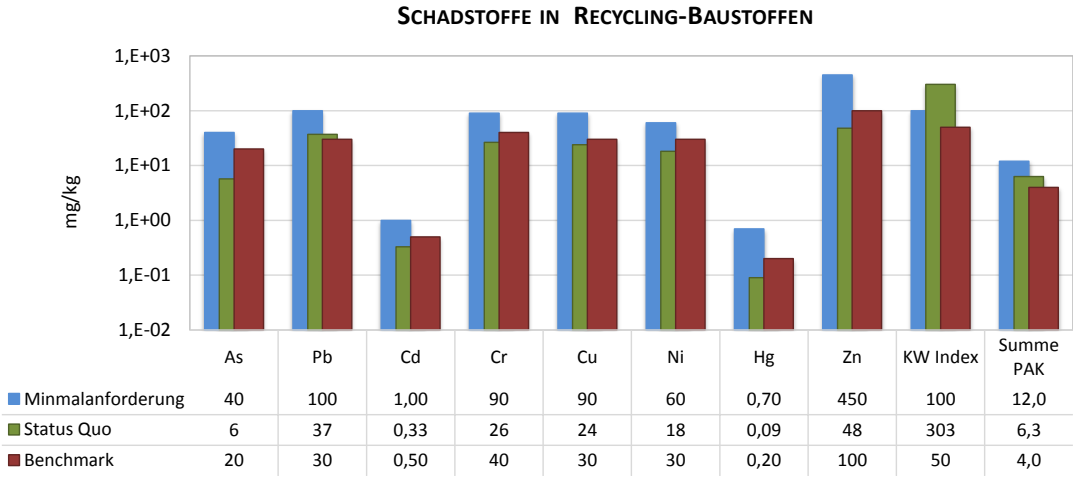
	As	Cd	Cl	Cr	F	Hg	Pb	Zn	Summe PAK
Minmalanforderung	3,72	2,48	775	31,0	46,5	0,16	31	434	6,20
Status Quo	0,91	0,37	287	8,4	11,4	0,11	19	87	6,25
Benchmark	1,20	0,80	250	10,0	15,0	0,05	10	140	2,00

Abb. 9-15: Status Quo AWG Ziel 4: Altholz zur stofflichen Verwertung

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Minimalanforderungen (max. 30 % Recyclingholzanteil in der Spanplatte) für alle Schadstoffe eingehalten werden, bzw. für die Summe PAK ganz knapp überschritten werden. Der Vergleich mit den Benchmarks (100 % Recyclingholzanteil im Sekundärprodukt) zeigt zusätzlich eine Überschreitung für Quecksilber (Hg), Blei (Pb) und Chlor (Cl). Da zur Ermittlung der Schadstoffkonzentrationen keine spezifischen Daten der österreichischen Holzindustrie zur Verfügung standen, erfolgte die Bewertung aufgrund von Literaturwerten. Aus Gesprächen mit der österreichischen Holzindustrie und dem Umweltministerium ist jedoch bekannt, das die Vorgaben der Recyclingholzverordnung für alle Schadstoffe eingehalten werden, mit der Ausnahme von Chlor und Summe PAK, für die derzeit laut Revisionsklausel in der Verordnung die Grenzwerte noch nicht einzuhalten sind.

9.4.2 Recycling Baustoffe

Für die Beurteilung der Zielerreichung wurden als Minimalanforderung die Grenzwerte der Recycling-Baustoffverordnung und als Benchmark die Grenzwerte der BRV-Richtlinie herangezogen (vgl. Kap. 5.4.4.2). Die Schadstoffkonzentrationen in den Recycling-Baustoffen wurden auf Basis der Stoffflussanalyse abgeschätzt, wobei die zugrunde gelegten Stoffkonzentrationen den Werten der Tabelle 6-29 entsprechen. Für die nicht mit STAN abgebildeten Schadstoffe (As, KW-Index und Summe PAK) wurden die Schadstoffkonzentrationen anhand von Literaturwerten abgeschätzt (Grech, 2002, unveröffentlichte Daten des BMLFUW, 2013). Die Ergebnisse der Gegenüberstellung sind in Abb. 9-16 dargestellt.



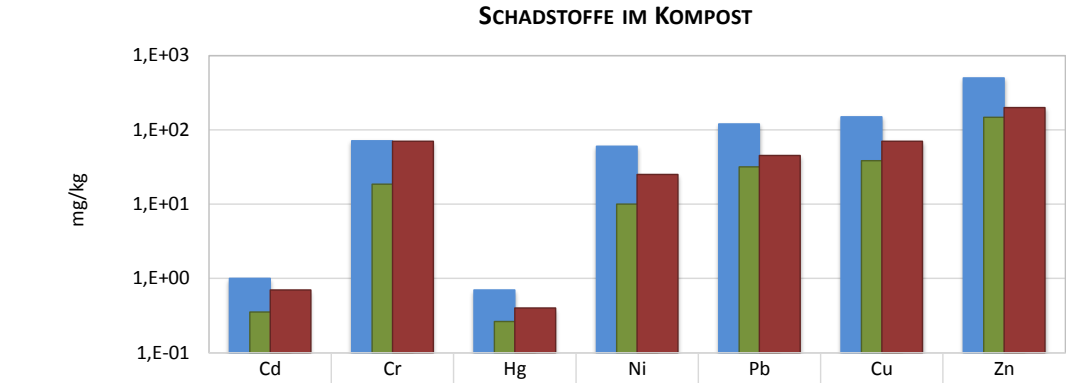
	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	KW Index	Summe PAK
Minmalanforderung	40	100	1,00	90	90	60	0,70	450	100	12,0
Status Quo	6	37	0,33	26	24	18	0,09	48	303	6,3
Benchmark	20	30	0,50	40	30	30	0,20	100	50	4,0

Abb. 9-16: Status Quo AWG Ziel 4: Schadstoffe in Recycling-Baustoffen

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Minimalanforderungen für alle Schadstoffe bis auf den KW-Index eingehalten werden. Für den KW-Index liegt der Wert deutlich über der Minimalanforderung. Der Vergleich mit den Benchmarks zeigt zusätzlich eine Überschreitung für Summe PAK und Blei (Pb). Ein Vergleich der mit STAN ermittelten Status Quo-Werte für Recycling-Baustoffe mit aktuellen, noch unveröffentlichten Daten des BMLFUW zeigt, dass die Werte sich in der gleichen Größenordnung bewegen und sich bei der Bewertung der Zielerreichung nur minimale Abweichungen ergeben würden.

9.4.3 Kompost aus biogenen Abfällen

Für die Beurteilung der Zielerreichung wurden als Minimalanforderung die Grenzwerte der Kompostverordnung (Kompost-VO 2001) für die Qualitätsklasse A und als Benchmark die Grenzwerte der der Kompostverordnung für die Qualitätsklasse A+ herangezogen (vgl. Kap. 5.4.4.3). Die Schadstoffkonzentrationen im Kompost wurden auf Basis der Stoffflussanalyse abgeschätzt, wobei die zugrunde gelegten Stoffkonzentrationen den Werten der Tabelle 6-6 entsprechen. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung sind in Abb. 9-17 dargestellt.



	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Zn
Minmalanforderung	1,00	71	0,70	60	120	150	500
Status Quo	0,35	19	0,26	10	32	38	148
Benchmark	0,70	70	0,40	25	45	70	200

Abb. 9-17: Status Quo AWG Ziel 4: Schadstoffe im Kompost

Die Gegenüberstellung zeigt, dass sowohl die Minimalanforderungen als auch die Benchmarks für alle Schadstoffe eingehalten werden. Vergleicht man die Benchmarks nicht mit den die Schadstoffkonzentrationen, die sich aus der Berechnung mit STAN ergeben, sondern mit Analysewerten der ARGE Kompost & Biogas für 2015, ergibt sich ebenfalls, dass die Benchmarks für alle Schadstoffe eingehalten werden (vgl. Tabelle 9-3).

Tabelle 9-3: Gegenüberstellung: Schadstoffkonzentrationen in Komposten (Mittelwerte der ARGE Kompost & Biogas, 2015), Status Quo, Minimalanforderung und Benchmark

Indikator	Mittelwerte ARGE Kompost & Biogas 2015 *mg/kg*	Status Quo *mg/kg*	Minimal-anforderung *mg/kg*	Benchmark *mg/kg*
Cd	0,5	0,35	1	0,7
Cr	25,1	19	70	70
Hg	0,3	0,26	0,7	0,4
Ni	18,0	10	60	25
Pb	26,1	32	120	45
Cu	53,1	38	150	70
Zn	173	148	500	200

9.4.4 Kunststoffabfälle / Sekundärkunststoffe

Eine Bewertung des Status Quo ist nicht möglich, da keine Benchmarks ermittelt werden konnten (vgl. Kap.5.4.4.4). Auf Basis der Materialflussanalyse ist allerdings eine Abschätzung der Stoffkonzentrationen in Kunststoffabfällen zur stofflichen Verwertung möglich (siehe Tabelle 9-4).

Tabelle 9-4: Stoffkonzentrationen in Kunststoffen zur stofflichen Verwertung

Stoff	Stoffkonzentration [mg/kg]
Cd	20
Cr	70
Cu	50
Hg	2
Ni	20
Pb	200
Zn	140

9.4.5 Zusammenfassung

Für die Beurteilung von AWG Ziel 4 wurden Literaturwerte der einzelnen Fraktionen herangezogen. Von den vier zur Bewertung ausgewählten Abfällen/Sekundärrohstoffen konnten drei bewertet werden.

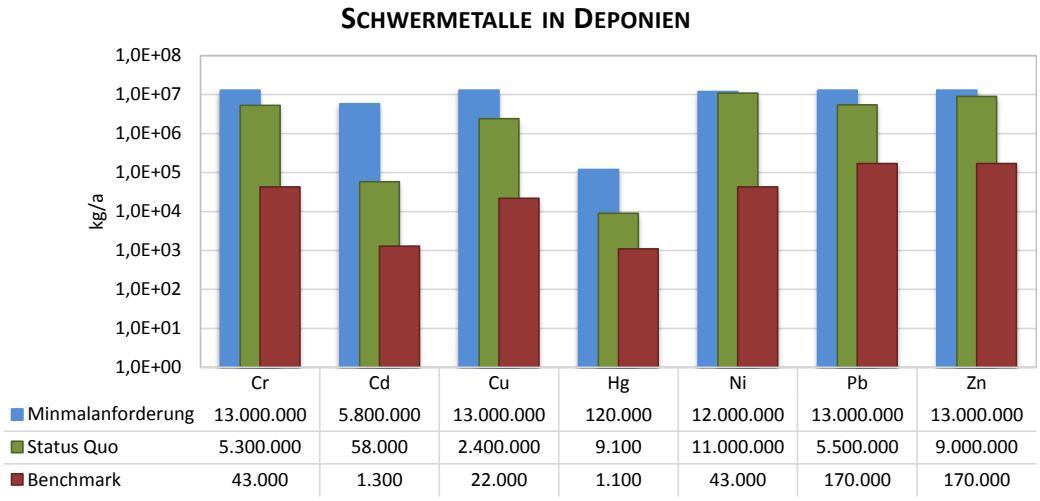
- Für den Sekundärrohstoff „Komposte aus biogenen Abfällen“ erreichen alle sieben ausgewählten Indikatoren den Benchmark.
- Für den Sekundärrohstoff „Recycling-Baustoffe“ erreichen acht von zehn Indikatoren den Benchmark. Der KW-Index und die Summe PAK überschreiten den Benchmark.
- Für den Sekundärrohstoff „Altholz“ erreichen sechs von neun Indikatoren den Benchmark. Die Schadstoffkonzentrationen von Chlor, Blei, Quecksilber und Summe PAK überschreiben den Benchmark.
- Für Kunststoffabfälle/Sekundärkunststoffe war eine Bewertung nicht möglich, da hier keine Benchmarks definiert werden konnten.

9.5 AWG Ziel 5 – nachsorgefreie Deponien

Für die Beurteilung wird der Status Quo ausgehend von den Güter- und Stoffbilanzen sowie den berechneten langfristigen Emissionen gemäß Kapitel 6.6.3 herangezogen. Die Grundlagen für die Benchmarks (Vergleichswerte) wurden in Kapitel 5.4.5 näher beschrieben. Die Minimalanforderung und die Benchmarks werden bei einem Wert <1 eingehalten.

9.5.1 Schwermetalle in Deponien

Für die Beurteilung der Zielerreichung wurden als Minimalanforderung die Grenzwerte gemäß DVO 2008 sowie als Benchmark die Stoffkonzentrationen von natürlichen Böden herangezogen. Die abgelagerten Stofffrachten wurden auf Basis der Stoffflussanalyse abgeschätzt. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung sind in Abb. 9-18 dargestellt.



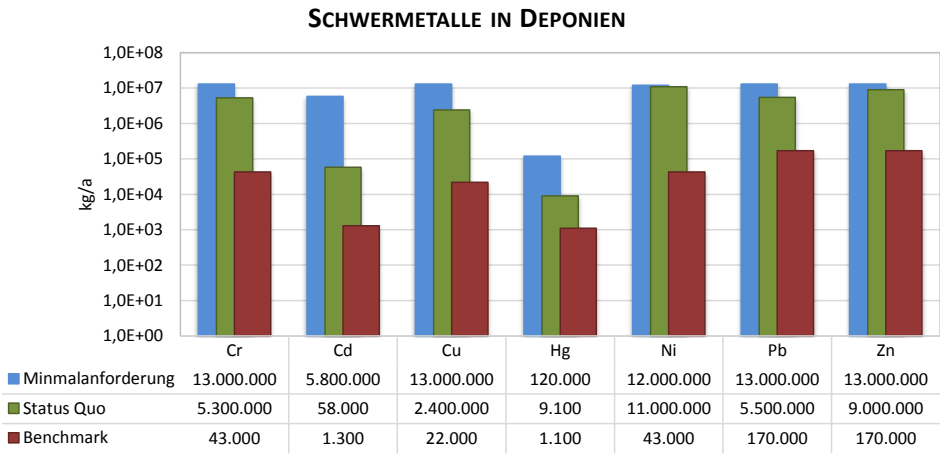
	Cr	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Minmalanforderung	13.000.000	5.800.000	13.000.000	120.000	12.000.000	13.000.000	13.000.000
Status Quo	5.300.000	58.000	2.400.000	9.100	11.000.000	5.500.000	9.000.000
Benchmark	43.000	1.300	22.000	1.100	43.000	170.000	170.000

Abb. 9-18: Status Quo AWG Ziel 5: Schwermetalle in Deponien

Die Gegenüberstellung der abgelagerten Stofffrachten mit den Minimalanforderungen zeigt, dass, die Grenzwerte der DVO 2008 eingehalten bzw. bis zu einem Faktor fünf unterschritten werden. Der Vergleich der abgelagerten Stofffrachten mit dem Benchmark (natürlichen Boden) zeigt, eine deutliche Überschreitung. Speziell Chrom-, Kupfer und Nickelkonzentrationen der abgelagerten Abfälle weisen deutlich höhere Konzentrationen als natürliche Böden auf.

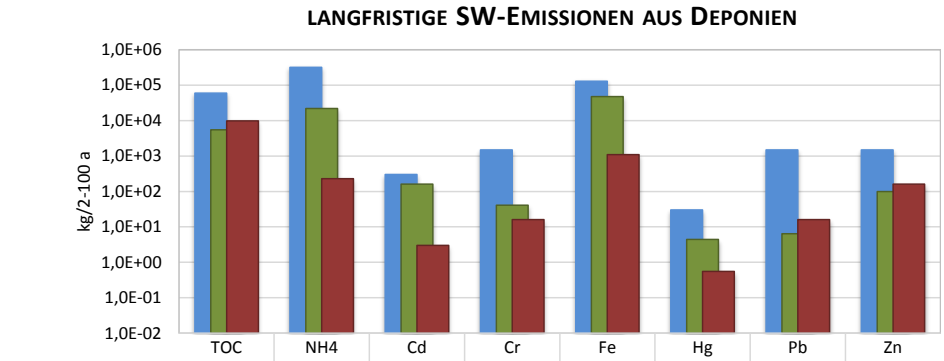
9.5.2 Langfristige Deponiesickerwasser- und Deponiegasemissionen aus Deponien

Die Beurteilung der langfristen Emissionen aus Deponien erfolgt auf Basis der in Kapitel 6.6.3.4 ermittelten Emissionen und der in Kapitel 5.4.5 definierten Benchmarks und Minimalanforderungen. Es werden die Emissionen des ersten Jahres, die Emissionen im Zeitraum 2-100 Jahre und 101-1.000y nach Ablagerung der Abfälle beurteilt. Für das Benchmarking wurden geogene Hintergrundkonzentrationen für Grundwässer sowie GHG-Emissionen von Grünflächen herangezogen. Der Vergleich mit Minimalanforderungen erfolgt für Sickerwasseremissionen anhand der AEV Deponiesickerwasser und für gasförmige Emissionen mit durchschnittlichen GHG-Emissionen eines städtischen Gebiets. In den Abbildungen Abb. 9-19, Abb. 9-20 und Abb. 9-21 sind die Ergebnisse der Bewertung von kurz- und langfristigen Sickerwasseremissionen aus Deponien dargestellt. Hinsichtlich der Stofffrachten im Deponiesickerwasser werden die Minimalanforderungen eingehalten. Im ersten Jahr werden keine Benchmarks eingehalten. Speziell für Ammonium gibt es im ersten Jahr eine deutliche Überschreitung des Benchmarks. Im Betrachtungszeitrum 2-100 Jahre können die Benchmarks TOC, Blei und Zink eingehalten werden. Da die Berechnung der Emissionen darauf beruht, dass nach 100 Jahren die technische Funktionsfähigkeit der Deponie nicht mehr gewährleistet ist, wird für den Betrachtungszeitrum von 101-1000 Jahren der Benchmark für keinen Indikator eingehalten. Vor allem Quecksilber und Cadmium überschreiten die maximal zulässigen Frachten deutlich.



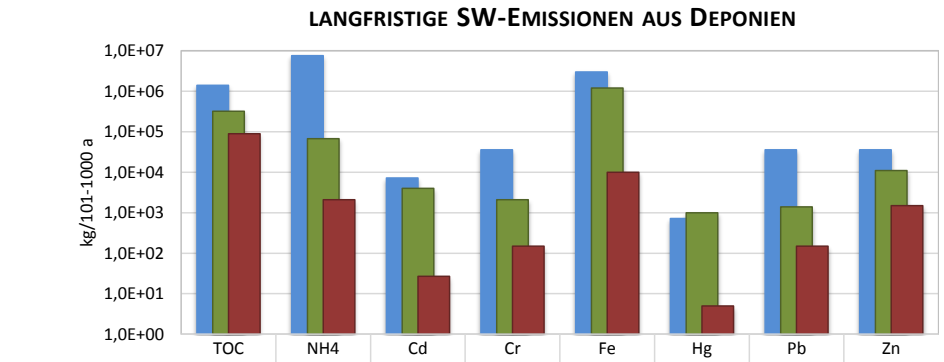
	Cr	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Minmalanforderung	13.000.000	5.800.000	13.000.000	120.000	12.000.000	13.000.000	13.000.000
Status Quo	5.300.000	58.000	2.400.000	9.100	11.000.000	5.500.000	9.000.000
Benchmark	43.000	1.300	22.000	1.100	43.000	170.000	170.000

Abb. 9-19: Status Quo AWG Ziel 5: kurzfristige Sickerwasseremission 1 Jahr nach Ablagerung



	TOC	NH4	Cd	Cr	Fe	Hg	Pb	Zn
Minmalanforderung	60.000	320.000	300	1.500	130.000	30	1.500	1.500
Status Quo	5.500	22.000	160	41	48.000	4	6	99
Benchmark	9.800	230	3	16	1.100	1	16	160

Abb. 9-20: Status Quo AWG Ziel 5: langfristige Sickerwasseremission im Zeitraum 2-100 Jahre nach Ablagerung



	TOC	NH4	Cd	Cr	Fe	Hg	Pb	Zn
Minmalanforderung	1.400.000	7.600.000	7.200	36.000	3.000.000	720	36.000	36.000
Status Quo	320.000	67.000	4.000	2.100	1.200.000	1.000	1.400	11.000
Benchmark	89.000	2.100	27	150	10.000	5	150	1.500

Abb. 9-21: Status Quo AWG Ziel 5: langfristige Sickerwasseremission im Zeitraum 101-1000 Jahre nach Ablagerung

Die Ermittlung der Emissionen in CO_2- Äquivalente pro m² erfolgt auf Basis der in Kapitel 6.6.3.2 definierten Annahmen der Modelldeponien. In Summe wurden rund 140.000 Tonnen Abfälle auf Massenabfalldeponien abgelagert (hauptsächlich behandelte feste Siedlungsabfälle). Die Fläche aller Massenabfalldeponien kann mit 12.000 m² abgeschätzt werden (siehe auch Kapitel 6.6.3.2). Die in Kapitel 6.6.3.3 errechneten Deponiegasemissionen betragen in Summe für einen Betrachtungszeitraum von 1.000 Jahren rund 10 Millionen m³ (mit Berücksichtigung der Gaserfassung und Methanoxidationsschicht). Die Bewertung der Deponiegasemissionen aus Massenabfalldeponien abgeschätzt mittels CO_2-Äquivalente (mit Berücksichtigung der Gaserfassung und Methanoxidationsschicht) zeigt, dass erst nach einigen Jahrzehnten nach Ablagerung die definierten Minimalanforderungen und Benchmarks eingehalten werden. Vor allem in den ersten Jahrzehnten nach Ablagerung (deponierte Abfälle des Jahres 2012) ist noch mit erheblichen klimarelevanten Emissionen zu rechnen. Nach rund 30 Jahren ist nur noch mit gasförmigen Emission von < 10kg CO_2-Äquivalente pro m² und Jahr zu rechnen. Die Minimalanforderungen und Benchmarks können somit erst für den Zeitraum 100-1.000 Jahre eingehalten werden.

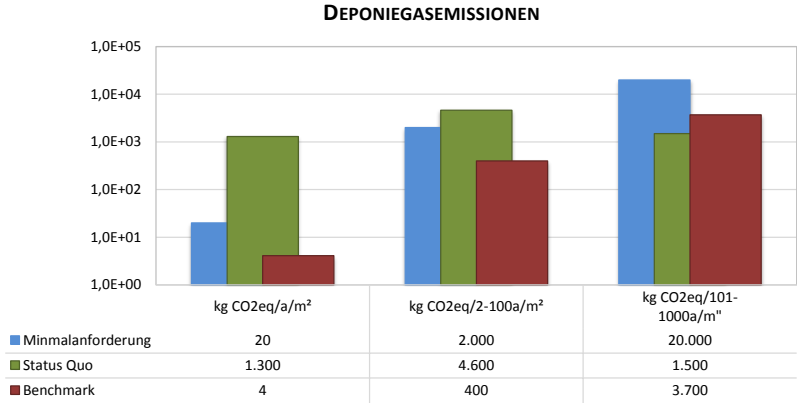


Abb. 9-22: Status Quo AWG Ziel 5: Deponiegasemissionen pro m² für die Zeiträume 1 Jahr, 2-100 und 101-1000 Jahre nach Ablagerung

9.5.3 Behandlungsautarkie, Ablagerung gefährlicher (ausgestufter) Abfälle

Die derzeitigen Kapazitäten der österreichischen Abfallbehandlungsanlagen bieten einen hohen Grad an Entsorgungsautarkie. Sowohl thermische, mechanisch-biologische Behandlungsanlagen als auch Deponien für nicht gefährliche Abfälle weisen genügend Kapazitäten auf, um mittel- bis langfristig eine Behandlung in Österreich zu ermöglichen (BMLFUW 2011). Allerdings ist laut österreichischer Gesetzgebung die Ablagerung von gefährlichen Abfällen nur in Untertagedeponien erlaubt, welche in Österreich nicht betrieben werden. Ausnahmeregelungen gibt es für Asbestabfälle, welche im stabilisierten oder immobilisierten Zustand in eigenen Kompartimenten auf bestimmten Deponien abgelagert werden dürfen.

Ein Ziel der österreichischen Abfallwirtschaft ist die Entsorgungsautarkie und daher ist die Ausrichtung der Anlagen auf eine weitgehende Behandlung der Abfälle in Österreich ausgelegt (BMLFUW 2011). Gemäß AWG 2002 ist für Abfälle, die in Behandlungsanlagen beseitigt werden, die Entsorgungsautarkie und die Beseitigung in einer der am nächsten gelegenen geeigneten Anlagen anzustreben. Auf der anderen Seite ist die Ablagerung von gefährlichen (nicht ausgestuften) Abfällen nur in Untertagedeponien zulässig. Deshalb ist die Verbringung jener Abfälle – vorwiegend nach Deutschland – notwendig. Im Sinne der Entsorgungsautarkie erscheint dieser Umstand unbefriedigend. Aber vor allem die Standortfrage einer entsprechenden Untertagedeponie ist in Österreich nicht geklärt bzw. erscheint laut (BMLFUW 2011) keine Notwendigkeit zu bestehen, da die Verbringung nach Deutschland langfristig gesichert scheint. Hierbei sind allerdings zwei Punkte zu beachten:

1. Werden Deponien in Deutschland weiterhin gefährliche Abfälle aus dem Ausland annehmen?
2. Kann die Langzeitsicherheit dieser Untertagedeponien garantiert werden?

Speziell die erste Frage ist eine gesellschaftspolitische Angelegenheit. Österreich hat keine Untertagedeponie und ist daher auf die Verbringung der gefährlichen Abfälle angewiesen, welche nicht in Österreich behandelt werden Im Sinne der Entsorgungsautarkie ist Österreich somit auf das Wohlwollen der ausländischen Deponiebetreiber und Behörden angewiesen. Allerdings bringt die Deponierung gefährlicher Abfälle untertage wirtschaftliche Vorteile mit sich und ist damit im Interesse der ausländischen Deponiebetreiber. Die zweite Frage hinsichtlich Langzeitsicherheit wurde und wird intensiv diskutiert. Diskutiert wird sowohl die geologische und hydrologische Standortsicherheit einer Untertagedeponie über lange Zeiträume als auch die Markierung von Endlagerstätten für zukünftige Generationen.

Qualitativ beurteilt kann der Indikatoren Behandlungsautarkie als sehr gut eingestuft werden. Einzig die Frage nach der Ablagerung von gefährlichen Abfällen in Untertagedeponie ist nicht geklärt und bedingt eine Einschränkung der Entsorgungsautarkie. Der Stellenwert der Entsorgungsautarkie ist eine politische Frage und muss durch die politisch Verantwortlichen beurteilt werden.

In Österreich können gefährliche Abfälle einem Ausstufungsverfahren unterzogen werden. Mittels einer Ausstufung ist es möglich nachzuweisen, dass gefahrenrelevante Eigenschaften nicht zutreffen. Eine Ausstufung kann gemäß Festsetzungsverordnung durchgeführt werden. Dies erfolgt durch eine externe, befugte Fachperson oder Fachanstalt, hauptsächlich auf Basis einer chemischen Analyse und muss beim BMLFUW angezeigt werden. Eine Ausstufung zum Zwecke der Deponierung erfolgt gemäß dem Beurteilungsnachweis der DVO 2008. Von den im Jahr 2012 angefallen Abfällen wurden rund 1 Million Tonnen Abfälle ausgestuft; darunter besonders Schlacken und Aschen sowie verunreinigte Böden und Aushubmaterialien. Qualitativ beurteilt ist diese Ablagerung nicht negativ zu bewerten, wenn mittels eines kontrollierten Verfahrens nachgewiesen ist, dass die Abfälle keine gefahrenrelevanten Eigenschaften aufweisen (Ausstufung). Im Zusammenhang mit der Ablagerung sind allerdings spezielle langfristige Emissionen durch die Deponierung von Abfällen (siehe auch Kapitel 9.5.2) zu beachten.

10 Zusammenfassung der Beurteilung und Defizitanalyse

Ausgehend von der Bewertung des Status Quo in Kap. 9 werden im Folgenden die Defizite, die sich aus dieser Bewertung ergeben, je AWG Ziel zusammenfassend dargestellt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Defizitanalyse ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Begrenzung auf ausgewählte Abfälle und Behandlungsprozesse:
  Die Bewertung des Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft erfolgte im Rahmen der gewählten Systemgrenzen, d.h. nicht alle Abfälle und alle Behandlungsprozesse der österreichischen Abfallwirtschaft wurden berücksichtigt.
- Einschränkungen durch Datenverfügbarkeit und Datenqualität:
  Durch nicht verfügbare Daten und teilweise notwendige Abschätzungen erfolgte eine weitere Einschränkung der Abfälle/Prozesse, die in die Bewertung eingeflossen sind.
  So konnten z.B. bei der Erstellung der Ökobilanzen zur Bewertung der AWG Ziele 1, 2 und teilweise 3 einige Prozesse nicht berücksichtigt werden (z.B. EAG-Behandlung, CP-Anlagen, Baurestmassen u.a. siehe Kapitel 8.2.3 bis 8.2.5)
- Teilweise keine Benchmarks ermittelbar:
  Manche der ausgewählten Indikatoren konnten nicht bewertet werden, da keine sinnvollen Benchmarks ermittelt werden konnten (z.B. Humantoxizität, Schadstoffe in Kunststoffabfällen/Sekundärkunststoffen).
- Verschiedene Bewertungsmethoden:
  Für die Bewertung des Status Quo wurden für die einzelnen AWG Ziele verschiedene Methoden verwendet (Ökobilanz, Grenzwerte, …), d.h. die angesetzten Maßstäbe für die Bewertung sind unterschiedlich und damit nur bedingt miteinander vergleichbar (unterschiedlich „strenge“ Benchmarks).
- Auswirkungen von Abfallexporten nicht berücksichtigt:
  Potentiell hohe Umweltauswirkungen durch Abfallexporte in den Zielländern (z.B. durch Elektronikschrott) werden bei dieser Zusammenstellung der Defizite der österreichischen Abfallwirtschaft nicht berücksichtigt, da sich die Betrachtung auf Österreich beschränkt.

10.1 AWG Ziel 1 – Schutz, Mensch, Tier und Umwelt

Zusammenfassend ergibt sich für die Beurteilung von AWG Ziel 1 folgende Darstellung.

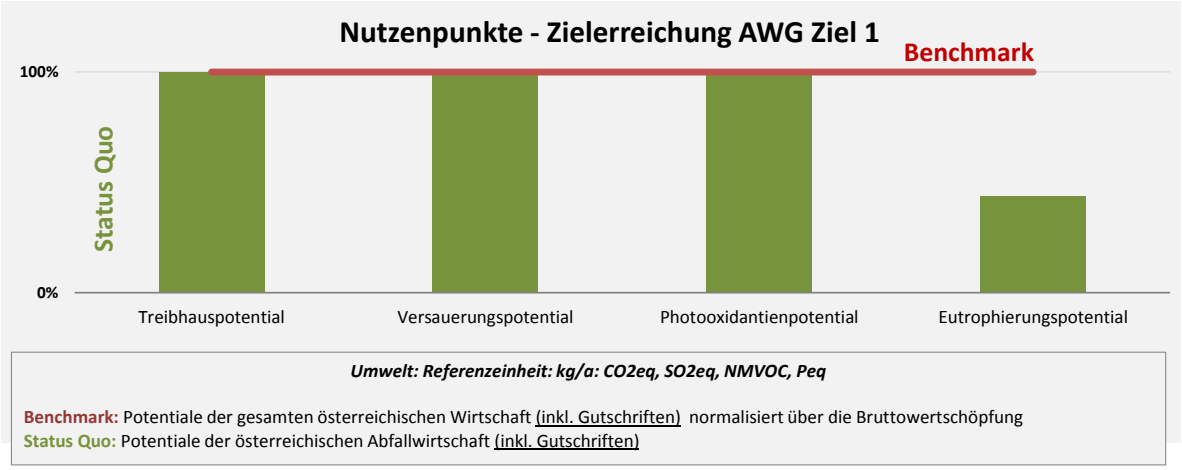


Abb. 10-1: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 1

Das AWG Ziel 1 ist in seiner Formulierung offen gehalten und beinhaltet mit der Forderung schädliche Einwirkungen auf Mensch, Tier und Umwelt zu vermeiden bzw. so gering wie möglich zu halten das grundlegende Ziel der Abfallwirtschaft. Um den Erfüllungsgrad dieses Ziels zu beantworten, wurde die Methode der Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse gewählt. Den Lebensweg bilden dabei die aufeinander folgenden und zusammenhängenden Stufen eines Produktsystems, welche sich von der Rohstoffgewinnung und -erzeugung, der Energiebereitstellung, über die Produktion bis zur Anwendung, Abfallbehandlung und endgültigen Beseitigung erstrecken (EN ISO 14040, 2006). Nicht zuletzt wird bereits in der Abfallrahmenrichtlinie das Konzept der Ökobilanzierung als Möglichkeit eingeführt um die gesamthaften Auswirkungen der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen zu beurteilen und so zur Reduzierung der Umweltauswirkungen von Abfallerzeugung und -bewirtschaftung beizutragen. Für das AWG Ziel 1 werden demnach auch die positiven Auswirkungen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen (wie die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen und -energie) berücksichtigt,

Die Ergebnisse für die Kategorien Treibhauspotential, terrestrische Versauerung sowie Photooxidantienpotential zeigen prinzipiell einen hohen Erfüllungsgrad des AWG Ziel 1. Zu beachten ist hier allerdings, dass sich dieses Ergebnis durch die hohen Gutschriften, vor allem aus dem Bereich des Metallrecyclings, ergibt. Diese überlagern und verdecken damit andere Auswirkungen der Abfallwirtschaft. Hier wäre zu überlegen, ob das Recycling von ausgewählten Metallabfällen, das aus wirtschaftlichen Gründen sowieso durchgeführt wird, der Abfallwirtschaft zuzurechnen ist oder an dieser Stelle besser nicht berücksichtigt werden sollte, damit sich andere Effekte deutlicher zeigen. Die Überschreitung des Benchmarks beim Eutrophierungspotential ist auf Deponieemissionen zurückzuführen

Im Gegensatz zur Wirkungskategorie Photooxidantienpotential, die die Bildung von bodennahem Ozon aus Stickoxiden unter Einfluss von Sonnenlicht abbildet, wird mit der Wirkungskategorie Ozonabbaupotential die atmosphärische Wirkung analysiert. Dieser Indikator, der als kg FCKW-Äquivalente/a bzw. kg R-11-Äquivalente/a darstellbar ist, wird in der Studie nicht berücksichtigt, da keine Literaturdaten zum stratosphärischen Ozonabbau, die explizit für Österreich Gültigkeit besitzen, vorhanden sind (vgl. Kap.5.4.1.5). In der Kategorie Humantoxizität wird eine generelle Aussage für die Abfallwirtschaft besonders schwierig. Eine wissenschaftlich befriedigende Ausgestaltung der toxizitätsbezogenen Kategorien stellt höhere Anforderungen an die Sachbilanzen, als diese derzeit leisten können. Das betrifft vor allem die Anzahl der organischen Schadstoffe, die als Emissionen über den ganzen Lebensweg in Frage kommen. Die Messung einzelner Parameter unterliegt hier Zufälligkeiten, die sehr hohe Auswirkungen haben können, da die Schadwirkung extrem hoch sein kann. Wird nun für einen Anlagentyp dieser Parameter erhoben und für einen anderen nicht, kann es zu massiven Verfälschungen der Ergebnisse kommen. Standardisierte Erhebungen in diesem Bereich sind noch ausständig. Aus diesem Grund wurde von einer Darstellung des Status Quo dieser Kategorie, trotz hoher Gewichtung und somit Relevanz Abstand genommen. Zudem sind im speziellen für Österreich keine messbaren physikalisch-chemischen Parameter bzw. Datengrundlagen vorhanden, aus denen sich wie bei den Indikatoren Klimawandel oder Eutrophierung theoretische Modelle entwickeln und berechnen lassen. Somit fehlt ein geeigneter Benchmark.

Generell sind in den letzten Jahrzehnen viele gesundheitsgefährdende und umweltbeeinträchtigende Prozesse und Produkte reduziert bzw. Auswirkungen auf den Menschen durch verstärkten Arbeitnehmerschutz und Stoffverbote verringert worden. Diese Bemühungen sind auch weiterhin essentieller Bestandteil der Abfallwirtschaft und gehen darüber hinaus nun auch aufgrund von Eco-Design Maßnahmen auf die Produktherstellung bzw. vorgelagerten Phasen des Lebenszyklus über. Die positiven Auswirkungen werden sich in Zukunft verstärken. Trotzdem muss die derzeitige Abfallwirtschaft mit Schadstoffen umgehen, welche in der Vergangenheit in Verkehr gebracht wurden.

10.2 AWG Ziel 2 – Reduktion von klimarelevanten Gasen und Luftschadstoffen

Zusammenfassend ergibt sich für die Beurteilung von AWG Ziel 2 folgende Darstellung.

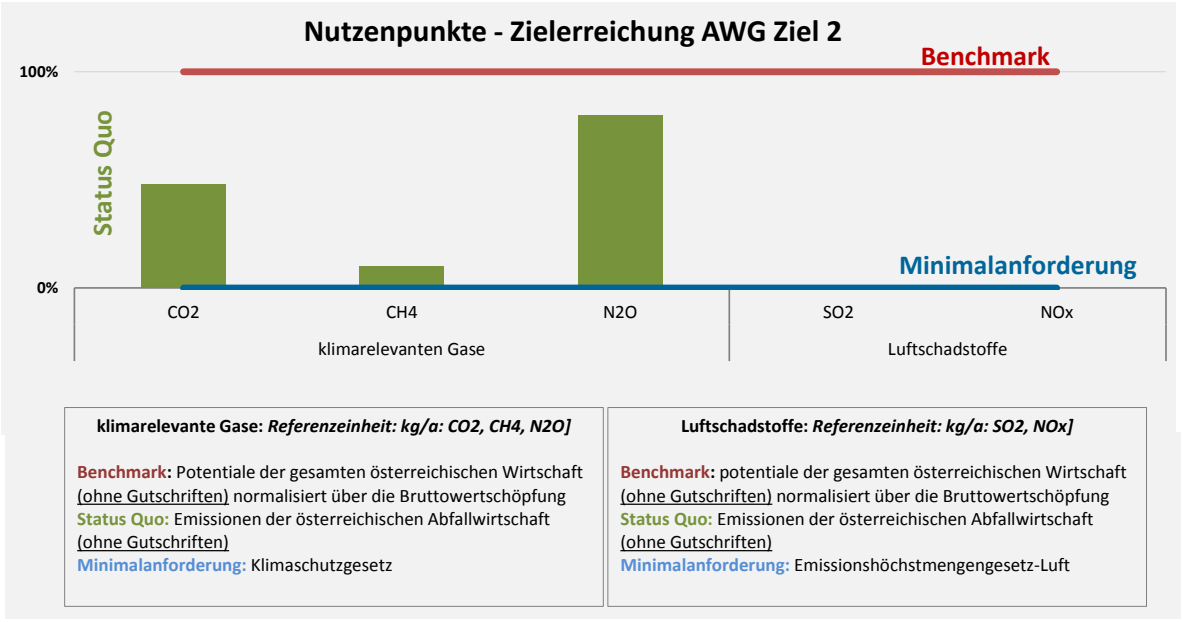


Abb. 10-2: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 2

Im Gegensatz zu AWG Ziel 1, wo allgemein nachteilige Einwirkungen auf Mensch und Umwelt vermieden werden sollen, gibt AWG Ziel 2 konkret eine Verringerung der Schadstoffemissionen vor. In dieser Kategorie werden demnach ausschließlich die mit der Abfallbewirtschaftung einhergehenden Luftschadstoffemissionen betrachtet, welche so niedrig wie möglich zu halten sind. Positive Effekte (Einsparungen durch Sekundärrohstoffe, oder aus Abfall produzierter Energie) werden im Rahmen dieses Zieles nicht berücksichtigt, da 1. die Zieldefinition eine andere ist und 2. bei einer neuerlichen Berücksichtigung von Gutschriften das Ergebnis mehr oder weniger ident mit jenen des Ziels 1 wäre. Grundsätzlich lassen sich die Emissionen von klimarelevanten Gasen und Luftschadstoffen vergleichsweise gut bilanzieren und mit Benchmarks vergleichen. Die in Gesetzen (Klimaschutzgesetz und Emissionshöchstmengengesetz) definierten Grenz-/Zielwerte können mit Ausnahme von SO_2 und NO_x erreicht werden. Die Benchmarks werden jedoch von keinem Indikator eingehalten. Vor allem bei NO_x-Emissionen zeigt sich noch Verbesserungspotential innerhalb der Abfallwirtschaft. Derzeit kann auch Gesamt-Österreich die genannten Ziele für NO_x nicht erreichen. Andererseits zeigt sich das Lachgas-Emissionen aus der Abfallwirtschaft im Vergleich zu anderen wirtschaftlichen Bereichen eine untergeordnete Rolle spielen.

Emissionen sind in verschieden Prozessen unvermeidbar und müssten eigentlich mit der Unterlassung von sinnvoller Behandlung und daraus entstehenden Langzeitfolgen verglichen werden. Gewisse Emissionen von klimarelevanten Gasen insbesondere CO_2 sind daher unvermeidbar und nicht auf 0 reduzierbar. Die Bestrebungen durch legislative und normative Maßnahmen (z.B. Deponieverordnung) CH_4 und N_2O Emissionen zu reduzieren, zeigen deutliche Wirkung.

10.3 AWG Ziel 3 – Schonung von Ressourcen

Zusammenfassend ergibt sich für die Beurteilung von AWG Ziel 3 folgende Darstellung.

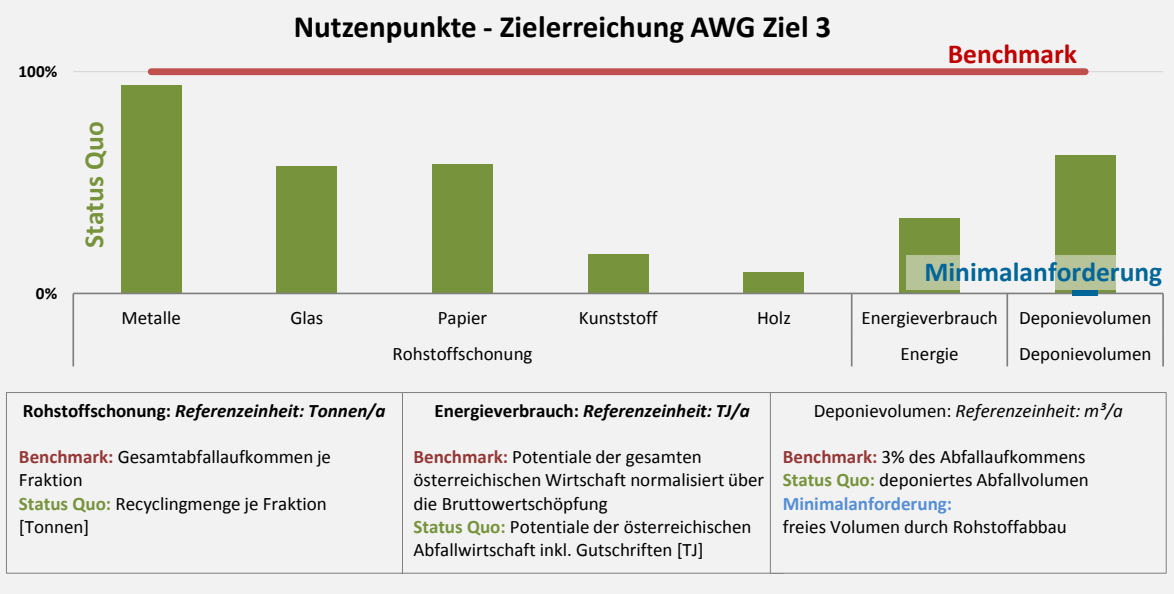


Abb. 10-3: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 3

10.3.1 Schonung von Rohstoffen

Als Benchmark wird der Rohstoffinhalt im Gesamtabfallaufkommen des bilanzierten Systems herangezogen. Dabei zeigt sich, dass Metalle fast vollständig einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, wie auch große Anteile von Glas und Papier. Als Benchmark den Deckungsgrad der Sekundärrohstoffe am österreichischen Rohstoffbedarf zu verwenden, stellte sich nicht als sinnvoll heraus. Allerdings kann dieser Vergleich dazu dienen die Bedeutung der Sekundärrohstoffe in Bezug auf den Gesamtrohstoffbedarf zu beurteilen. Die Bedeutung der Sekundärrohstoffe Papier und Glas ist demnach für die Rohstoffdeckung der österreichischen Wirtschaft bereits hoch (>40%), die Bedeutung von Kunststoffen (11%), Metallen (12%) und Holz (0,4%) am nationalen Rohstoffbedarf ist allerdings relativ gering.

Die Bewertung der Schonung von Rohstoffen bezieht sich nur auf bestimmte Abfallströme/Rohstoffe. Viele kleinere Abfallströme wurden aufgrund der Abschneidekriterien oder aufgrund mangelnder Daten zu Anlagen, Qualitäten oder Verwertungswegen nicht betrachtet. Gerade bei der Nutzung von Holz wird derzeit noch ein hoher Anteil direkt einer thermischen Verwertung zugeführt, obwohl eine vorherige stoffliche Verwertung und damit kaskadische Nutzung möglich wäre. Offensichtlich besteht derzeit kein ausreichender Anreiz den Vorrang des Recyclings auch operativ umzusetzen. Hier ist ein Verbesserungspotential erkennbar. Allerdings auch zu beachten, dass es sich bei Holz um einen nachwachsenden Rohstoff handelt und in Österreich keine Knappheit besteht.

Die stoffliche Verwertung von Kunststoffen ist aus rohstofflicher Sicht verbesserbar. Probleme bereiten die zunehmende Verwendung von Verbundmaterialien und die Materialvielfalt, die die technisch mögliche Verwertung erschweren oder teilweise verhindern.

Bei der Ressourcenschonung durch stoffliche Verwertung ist die Verknüpfung mit AWG Ziel 4 (Keine Gefährdung durch Recycling) zu beachten. Belastete Altstoffe müssen gezielt ausgeschleust werden, damit keine Schadstoffe in den Produktkreislauf gelangen. Durch verstärkte Verlagerung von stofflich verwertbaren Altstoffen in die getrennte Sammlung kann das Recycling weiter verbessert werden. Restmüllanalysen zeigen weiterhin deutliche Anteile an verwertbaren Fraktionen. Siedlungsabfälle aus Gewerbe und Industrie weisen höhere Anteile an stofflich verwertbaren Fraktionen auf als kommunale Siedlungsabfälle (Restmüll), wodurch die positiven Effekte einer verbesserten getrennten Erfassung von Altstoffen noch höher sind. Bei der Verbesserung der Sammlung sind allerdings auch der ökonomische Sinn und der energetische Nutzen zu betrachten. Wie Rechberger (2007) bereits zeigte, existiert eine ökonomisch optimale Recyclingquote, welche üblicherweise

unter 100% liegen wird. Ein 100 prozentiges Recycling aller Fraktionen ist weder möglich, noch sinnvoll. Die Verwertung von Aschen und Schlacken (Rückständen aus der Verbrennung oder der Metallurgie) stellt ein großes Potential dar. Aus technischer Sicht ist ein wesentlicher Teil dieser Abfallarten für eine bautechnische Nutzung geeignet. Aus grundsätzlichen Überlegungen zur Schadstoffmobilisierung und Verteilung wird dieses Potential derzeit in Österreich nur in geringem Ausmaß genutzt.

Wesentliche Steuerinstrumente zur Lenkung von Stoffströmen sind ökonomische Anreize. Vielfach sind diese Anreize zur besseren Trennung (Optimierung der Sammlung) oder zum Recycling (anstatt Beseitigung oder Verbrennung) für die Akteure der Abfallwirtschaft nicht ausreichend hoch. Dies liegt einerseits an externen Faktoren wie z.B. der Abhängigkeit der Erlöse von den internationalen Rohstoffmärkten und andererseits auch an fehlenden oder zu geringen Anreizinstrumenten. Hier könnte eine verstärkte Regelung (Verpflichtung) und sinnvolle Besteuerung/Förderung z.B. durch einen geänderten ALSAG gegensteuern.

10.3.2 Schonung von Energie

In den Benchmarks zum AWG Ziel 3 Schonung von Energie wurde bis jetzt nur der Energieverbrauch betrachtet. Um jedoch ein Gesamtbild zu bekommen, müsste diese Darstellung über mehrere Jahre verlaufen, je nach Abfallaufkommen und Behandlungsarten würde diese sich damit verändern.

Nach dem Deponierungsverbot für unbehandelte Abfälle (DepVO) sind die Energieverbrauchswerte für die Abfallwirtschaft gestiegen, da nun mehr Abfälle in Behandlungsanlagen behandelt wurden als früher und diese die energetisch unerhebliche Deponie ersetzt haben. Der zusätzliche Energieverbrauch für die höherwertige Behandlung ermöglicht aber gleichzeitig den zusätzlichen Umwelteffekt, der sich in anderen Zielen wiederspiegelt.

Des Weiteren muss man die nicht unerhebliche Energiebereitstellung durch die Abfallwirtschaft berücksichtigen. Der Teilbereich Energiebereitstellung wird in Bewertungen und Statistiken meist dem Energiesektor zugerechnet und nicht der Abfallwirtschaft. Hier fehlt es an Energiebilanzen der Abfallwirtschaft, die beides Energieverbrauch und Energiebereitstellung darstellen.

Darüber hinaus ist die Energieersparnis durch Sekundärprodukte nicht durch die Benchmarks abgedeckt. Wie in der Studie gezeigt wird, macht diese Energieersparnis durch Sekundärrohstoffproduktion für ausgewählte Abfallarten ungefähr 8% des gesamten österreichischen Energieendverbrauches aus. Es gibt hinsichtlich der Differenz von Primär- und Sekundärherstellung von einzelnen Materialien zu wenige Daten (z.B. vorhanden für einige Metalle, PET, Glas aus einer UBA Studie). Würde man die Daten der nicht bilanzierten Abfallarten berücksichtigen, wäre eine Reduktion des Energieverbrauches durch Sekundärproduktion von sicher 10 % möglich. Die Bewertung der Energieeinsparungen durch Sekundärrohstoffproduktion basiert auf dem Vergleich des kumulierten Energieaufwandes (KEA) der Sekundärrohstoffe im Vergleich zur Primärrohstoffproduktion. Es wäre im Einzelfall zu prüfen, ob die Einsparungen (die Substitution) in Österreich oder im Ausland erfolgen.

10.3.3 Schonung von Deponievolumen

In Österreich werden deutlich mehr Rohstoffe abgebaut als Abfälle abgelagert, trotzdem ist ein deutliches Einsparungspotential zur Schonung von Deponievolumen vorhanden. Die quantitativ betrachteten abgelagerten Abfälle setzen sich zu rund 50% aus Schlacken und Aschen, sowie zu 25% aus mineralischem Bauschutt zusammen. Speziell im Hinblick auf mineralischen Bauschutt, (verunreinigte), Schlacken und Aschen wäre mit entsprechend technischer Aufbereitung - allerdings auch finanziellem Aufwand – eine Reduktion der deponierten Abfallvolumina erreichbar. Mittels einer Aufkonzentrierung der Schadstoffe könnte die zu deponierende Abfallmenge reduziert bzw. der zu verwertende Anteil erhöht werden. Weiters fallen derzeit rund 120.000 Tonnen (5%) aus der mechanisch biologischen Abfallbehandlung von hauptsächlich Siedlungsabfällen an, welche deponiert werden. Eine Verbrennung dieser Abfälle würde zu einer geringfügigen Schonung des Deponievolumens führen. Der Vergleich mit den Niederlanden zeigt, dass es möglich ist, nur 3 % des gesamten Abfallaufkommens zu deponieren – vor allem bei Erhöhung der Recyclingquoten.

10.4 AWG Ziel 4 – keine Gefährdung durch Recycling

Das AWG Ziel 4 fordert „kein höheres Gefährdungspotential bei der stofflichen Verwertung durch Abfälle oder Sekundärrohstoffe gegenüber vergleichbaren Primärrohstoffen oder Produkten aus Primärrohstoffen“. Zusammenfassend ergibt sich für die Beurteilung von AWG Ziel 4 folgende Darstellung.

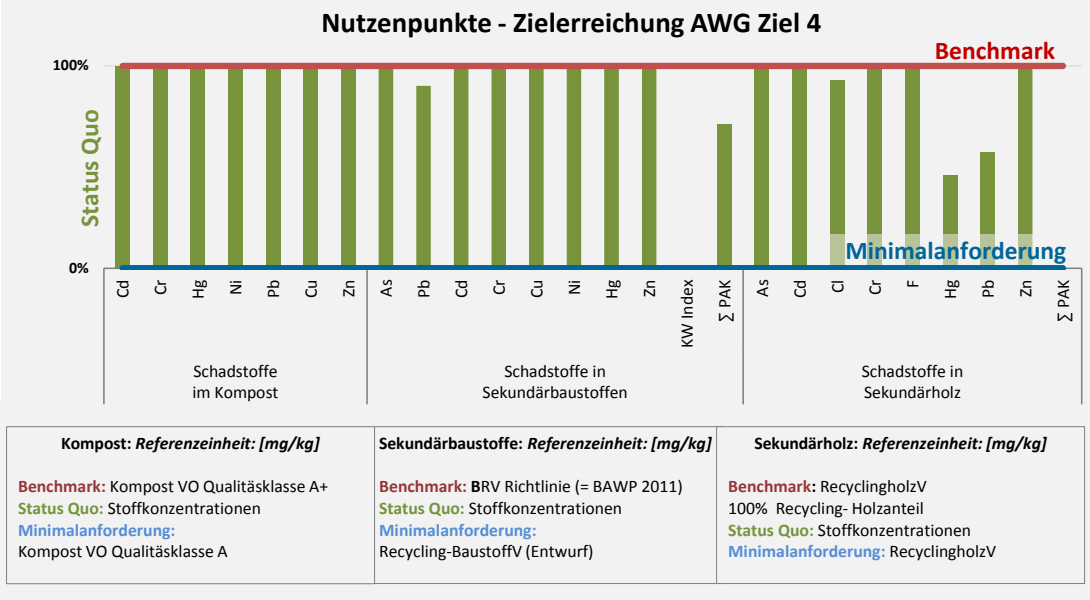


Abb. 10-4: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 4

Im Folgenden werden zum einen Defizite, die sich aus der Bewertung des Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft ergeben haben zusammengefasst (vgl. Kap.9.3.4). Zum anderen werden Herausforderungen bezüglich eines sicheren Recyclings benannt, die sich bei der Bewertung von AWG Ziel 4 ergeben haben.

10.4.1 Defizite der AWS entsprechend der Bewertung des Status Quo

Zum Benchmarking des AWG Ziels 4 wurden exemplarisch vier Indikatoren ausgewählt: Schadstoffe im Altholz zur stofflichen Verwertung, Schadstoffe in Recycling-Baustoffen, Schadstoffe in Komposten aus biogenen Abfällen und Schadstoffe in Kunststoffabfällen/ Sekundärkunststoffen. Die Defizite, die sich aus der Bewertung des Status Quo ergeben haben, sind folgende:

- Bei den Recycling-Baustoffen und beim Altholz zur stofflichen Verwertung werden die Benchmarks für einige Schadstoffe nicht eingehalten (vgl. Kap. 9.4.1 und 9.4.2 sowie 9.4.5). D.h. für einige Schadstoffe ist eine Verringerung der Schadstoffbelastungen zur AWG Zielerreichung notwendig (Recycling-Baustoffe: KW-Index und Summe PAK; Altholz: Chlor, Blei, Quecksilber und Summe PAK).
- Die Bewertung des Kunststoffrecyclings war nicht möglich, da hier keine Benchmarks definiert werden konnten und außerdem keine (ausreichenden) Analysewerte zu Schadstoffgehalten bzw. dem Gefährdungspotential von Sekundärkunststoffen zur Verfügung standen. D.h. hier ergibt sich der Bedarf einer verbesserten Regulierung und Kontrolle des Kunststoffrecyclings.

10.4.2 Herausforderungen bzgl. eines sicheren Recyclings

Bei der Bewertung von AWG Ziel 4 haben sich folgende Herausforderungen im Hinblick auf die Vermeidung eines Gefährdungspotentials durch Recycling ergeben:

Informationsdefizite: Für einige Abfälle/Sekundärrohstoffe, wie z.B. für Sekundärkunststoffe, aber auch für einige Nebenprodukte sind keine hinreichenden Daten verfügbar, um beurteilen zu können, welches

Gefährdungspotential diese Stoffe für Mensch und Umwelt bergen. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, um zu ermitteln, welche Schadstoffe relevant sind, in welchen Mengen und Verbindungsformen sie in den Sekundärrohstoffen vorkommen, und ob eine Gefährdung der Schutzziele besteht.

Beurteilung der Zielerreichung für AWG Ziel 4: Das AWG Ziel 4 ist ein vergleichendes Ziel. Der Bezug auf Primärprodukte sagt nichts über die Unbedenklichkeit der Recyclingprodukte aus, sondern stellt ein „Verschlechterungsverbot" bezogen auf Primärprodukte dar. Dadurch verlangt die Formulierung „kein höheres Gefährdungspotential als…." für jeden Sekundärrohstoff eine vergleichende Beurteilung des Gefährdungspotentials. D.h. es müssen sowohl die Schadstoffgehalte und Einsatzarten der Sekundärprodukte bekannt sein, als auch Vergleichswerte für Primärprodukte vorliegen. Außerdem muss eine Einschätzung erfolgen, ab welchen Schadstoffgehalten das Gefährdungspotential höher als das der Primärprodukte ist. Daher ist zur Beurteilung der Zielerreichung die Spezifizierung der AWG Forderung durch eine Verordnung für jedes Sekundärprodukt mit Gefährdungspotential notwendig. Dabei muss auch sicher gestellt werden, dass belastete Recyclingprodukte, die in der Nutzung unbedenklich sind, so entsorgt werden, dass sich enthaltene Schadstoffe bei der Entsorgung nicht in die Umwelt verbreiten. Die Diskussion, bei welchen Werten das Gefährdungspotential der Sekundärprodukte das Gefährdungspotential der Primärprodukte übersteigt, kann nicht alleine mit wissenschaftlichen Methoden geführt werden, sondern muss unter Einbeziehung der relevanten gesellschaftlichen Gruppen geführt werden. Regelungen müssen so formuliert werden, dass sie eine Gefährdung sicher verhindern, aber auch umsetzbar sind. Dazu ist auch eine regelmäßige Überprüfung der Auswirkungen und ggf. eine Nachjustierung erforderlich. Für einige Bereiche gibt es in Österreich bereits rechtsverbindliche Regelungen zur Beurteilung des Gefährdungspotentials (KompostV, RecyclingholzV, Recycling-BaustoffV), aber für andere Bereiche, wie z. B. Sekundärkunststoffe oder Baustoffe mit Sekundärrohstoffanteil (wie z.B: Ziegel) fehlen entsprechende Kontrollmechanismen noch.

Exportproblematik / globale Märkte: Durch den illegalen und auch legalen Export von Abfällen in Schwellen- und Entwicklungsländer zur Verwertung kann es zu einer suboptimalen Behandlung mit Verlust an Ressourcen, Verschleppung von Schadstoffen sowie Gesundheits- und Umweltproblemen im Empfängerland kommen. Durch das Recycling belasteter Abfälle können Schadstoffe in Produkte gelangen. Dort, wo Abfälle global recycelt werden, nutzen nationale Regelungen zur Kontrolle des Gefährdungspotentials nur begrenzt, da ggf. schadstoffbelastete Recyclingprodukte durch Importe nach Österreich gelangen können. Um das Gefährdungspotential zu begrenzen, wären länderübergreifende Regelungen und Initiativen zur Verbesserung der Recyclingmethoden in den Abfallempfängerländern notwendig. Neben Abfällen werden auch viele Gebrauchtwaren exportiert, welche im Zielland noch genutzt und erst anschließend einer Behandlung zugeführt werden.

Förderung sicheren Recyclings: Eine optimierte separate Sammlung und eine sortenreine Sortierung von Abfällen zum Recycling fördern ein hochwertiges Recycling und verhindert die Verschleppung von Schadstoffen. Außerdem wird ein sicheres Recycling durch Entscheidungen und Maßnahmen beeinflusst, die außerhalb des Regelungs- und damit Einflussbereiches der Abfallwirtschaft stehen. Als Beispiel kann hier das Produktdesign angeführt werden, denn hier werden die Entscheidungen über Materialien und Komponenten getroffen, die später das Recycling beeinflussen. Die Integration von Umwelt- und Ressourcenschutzaspekten in die Regulierungen von Produkten, einschließlich des Verbots bestimmter Stoffe, sowie die Forderung nach Nachverfolgbarkeit und Rezyklierbarkeit kann die Gefahr von Schadstoffverschleppungen beim Recycling erheblich verringern. Dazu ist die Zusammenarbeit von Abfallwirtschaft, Händlern, Herstellern und Zulieferern notwendig. Eine weitere Möglichkeit zur Förderung des sicheren Recyclings stellt die Integration der Kosten für ein hochwertiges und sicheres Recycling in den Produktpreis dar (polluter pays principle).

10.5 AWG Ziel 5 – nachsorgefreie Deponien

Mit Inkrafttreten der Deponieverordnung hat es wesentliche Änderungen hinsichtlich der Deponierung von Abfällen gegeben. Vor allem die Ablagerung unbehandelter organischer und reaktiver Abfälle wurde verboten, sowie technische Anforderung zur Deponietechnik formuliert. Damit können Deponien nach dem heutigen Stand nicht mit alten Deponien (z.B. Hausmülldeponien) verglichen werden. Für die Bewertung des AWG Ziel 5 wurden

nur Abfälle, welche im Jahr 2012 entsprechend der gesetzlichen Rahmenbedingungen abgelagert wurden bewertet. Hinsichtlich der Umweltauswirkungen weisen diese Deponien ein hohes technisches Niveau auf und sind nicht mit Ablagerungen vor Inkrafttreten der Deponieverordnung zu vergleichen. Ein Vergleich mit Deponien vor Inkrafttreten der Deponieverordnung würde deutlich positive Änderungen hinsichtlich der Ablagerung von Abfällen aufzeigen. Das Ziel dieser Studie ist allerdings der Vergleich der aktuellen Abfallwirtschaft mit den Zielen des AWGs. Da das AWG Ziel 5 *keine* Gefährdung nachfolgender Generationen verlangt, erfolgt der Vergleich einerseits mit der DVO 2008 (Minimalanforderung) bzw. mit geogenen Hintergrundkonzentrationen. Zusammenfassend ergibt sich für die Beurteilung von AWG Ziel 5 folgende Darstellung.

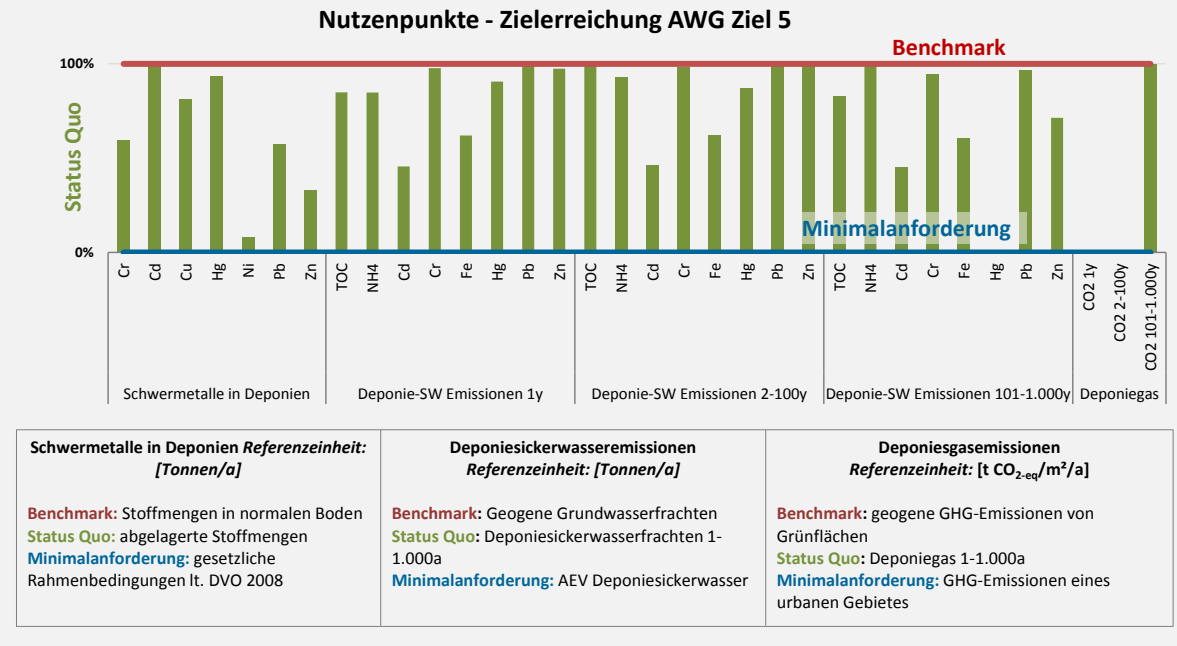


Abb. 10-5: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 5

10.5.1 Schwermetalle in Deponien

Die Nichteinhaltung der Benchmarks zeigt, dass die Deponierung von Abfällen deutliche Eingriffe in die Natur bedingt und dadurch natürliche Rahmenbedingungen verändert werden. Vor allem hinsichtlich geologischer Prozesse (Erosion und Sedimentation) ist über einen längeren Betrachtungszeitraum (>1.000 Jahre) mit einer Abnahme der Deponiemächtigkeit (Brunner et al. 2001) und weiters mit einer Verteilung der abgelagerten Abfälle (und Schadstoffe) in die Umgebung zu rechnen. Ein weiteres Risiko stellen Überflutungen von Deponien da. Im Überschwemmungsfall sind Veränderungen der geohydraulischen Verhältnisse zu erwarten und als Folge des gelagerten (Schadstoff-) Potentials, massive Kontaminationen von Grund- und Oberflächenwässern möglich (Laner et al. 2008). Die Ablagerung von schwermetallhaltigen Abfällen stellt aufgrund möglicher Migration in die Umwelt ein Risiko und somit ein Defizit dar, welches mit der Reduktion von Schadstoffen in abgelagerten Abfällen verringert werden könnte. Ein Ziel der Abfallwirtschaft muss also die Reduktion von Schadstoffen in abgelagerten Abfällen sein. Allerdings nur durch Maßnahmen, die andere Bereiche kurz- und langfristig nicht negativ beeinflussen. So stellt z.B. die Verschiebung der Schadstoffe in den Bereich der verwerteten Abfälle keine Lösung dar, da Akkumulation von Schadstoffen in Produkten sowohl die Produktqualität, die Umwelt als auch die menschliche Gesundheit negativ beeinflusst. Notwendig ist stattdessen die Schaffung von sauberen Kreisläufen und von sicheren letzten Senken. Saubere Kreisläufe sind nur möglich, wenn Schadstoffe aus Recyclingprozessen ausgeschleust und in sicheren letzten Senken verbracht werden (Kral et al. 2013). Letze Senken sind definiert, als Lagerstätten, welche Substanzen über einen Zeitraum von >10.000 Jahren ohne negative Auswirkungen auf die Umwelt zurückhalten (Brunner und Rechberger 2004). In diesem Zusammenhang darf dieses Unterziel nicht allein für eine Beurteilung herangezogen werden, sondern muss im

Vergleich mit anderen Zielen beurteilt werden (AWG Ziel 4, AWG Ziel 5 - langfristigen Emissionen aus Deponien).

10.5.2 Langfristige Emissionen aus Deponien

Die betrachteten Sickerwasseremissionen in Grundwässer halten die Minimalanforderung gemäß AEV Deponiesickerwasser ein. Die Benchmarks, welche auf Basis des anthropogen-geogenen Referenzansatzes definiert wurden, werden nur in wenigen Fällen erreicht (siehe Abb. 10-6) Cd-, Fe-, Cr und Hg-Sickerwasserfrachten liegen im Betrachtungszeitraum von 1.000 Jahren immer über den definierten Benchmarks. TOC, Pb- und Zn-Sickerwasserfrachten können während des Betriebs und der Nachsorgephase den Benchmark einhalten, allerdings nicht nach Versagen der Funktionstüchtigkeit der deponietechnischen Anlagenteile (Annahme 100 Jahre). Ammoniumsickerwasserfrachten aus Deponien erreichen nach rund 400 Jahren den Benchmark. TOC-Sickerwasserfrachten halten den Benchmark während der Ablagerungsphase (25 Jahre) nicht ein. Nach Abdeckung der Deponie kann aufgrund des geringeren Sickerwasseranfalls der Benchmark eingehalten werden. Mit Versagen der technischen Barrieren nach 100 Jahren wird der Benchmark wieder überschritten, d.h. Deponien können nicht als sichere letzte Senken angesehen werden.

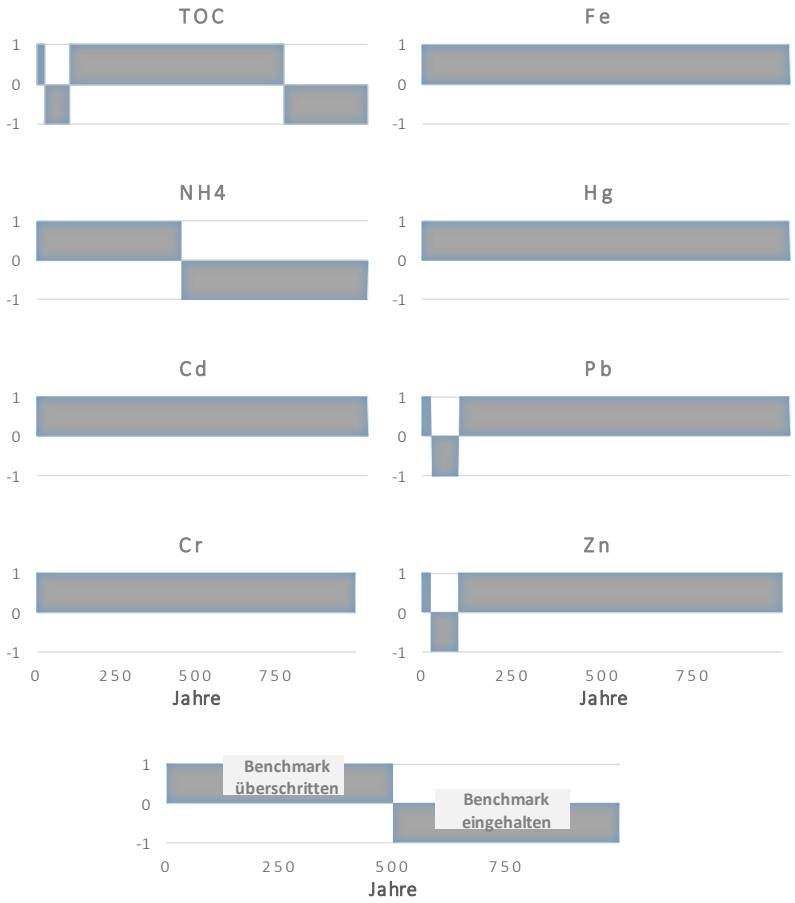


Abb. 10-6: Einhaltung (<0) und Überschreitung (>0) der Benchmarks von langfristige Sickerwasseremissionen aus Deponien

An dieser Stelle ist auch die Dauer der Nachsorgephase nach Stilllegung einer Deponie zu beachten. In der DVO 2008 sind hinsichtlich Dauer der Nachsorgephase keine konkreten Regelungen definiert. Allerdings werden für die Berechnung der Sicherstellung je nach Deponietyp Zeiträume zwischen 5 und 40 Jahren angesetzt. Ein Ende der Deponienachsorge kann nur seitens der zuständigen Behörde ausgesprochen werden. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die Funktionsfähigkeit der technischen Rahmenbedingungen für 100 Jahre gewährleistet ist (siehe Kapitel 6.6.3.2) und danach auch die Nachsorgephase beendet ist. Diverse in- und

ausländische Studien haben sich mit der Frage der Nachsorgedauer beschäftigt. Die Frage der Nachsorgedauer wurde von Laner et al. (2010) im Detail beschrieben und weiters Kriterien für die Entlassung aus der Deponienachsorge definiert. Für drei Deponien wurde auf Basis von standortbezogenen Kriterien eine Nachsorgedauer zwischen 0 - 450 Jahren bestimmt. Die Nachsorge umfasst sowohl die Erfassung und Behandlung von Sickerwasser- und Deponiegas sowie die Wartung und den Betrieb von deponietechnischen Einrichtungen. Hinsichtlich der langfristigen Emissionen von Deponiesickerwässern ist die Frage der Nachsorgedauer essentiell. Je nach Deponiebetrieb und Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle müsste die Nachsorge mehrere hundert bis tausende Jahre betragen, um dem Ziel „keine Gefährdung nachfolgender Generationen“ gerecht zu werden.

Die deponierten Abfälle emittieren direkt nach Ablagerung mehrere Hundert Kilogramm CO_2-Äquivalnte pro m² Deponiefläche (bezogen auf die quantitativ betrachteten Abfälle auf Massenabfalldeponien bei einer angenommen Deponiehöhe von 15m). Die Deponiegasproduktion nimmt stetig ab und nach rund 25 Jahren emittieren die abgelagerten Abfälle berechnet pro Flächeneinheit gleich viel wie ein städtisches Gebiet. Nach rund 50 Jahren emittieren die abgelagerten Abfälle weniger als Grünflächen (Benchmark). Trotz der gesetzlich vorgeschrieben Behandlung von biologisch abbaubaren Abfällen ist zu erkennen, dass in den ersten Jahrzehnten noch klimarelevante Gasen emittieren, da mechanisch-biologisch behandelte Abfälle noch immer ein Deponiegasbildungspotential von 30-40m³ pro Tonne Trockensubstanz aufweisen, welche im Bereich der Potentiale von nicht behandelten Abfällen 10-20 Jahre nach Ablagerung liegen. (Heyer et al. 2013). Da deutlich mehr kohlenstoffhaltige Abfälle thermisch behandelt werden, sind bei einer gesamthaften Betrachtung der Treibhausgase die Emissionen aus der Deponie im Vergleich zur Verbrennung untergeordnet.

10.5.3 Behandlungsautarkie und Ablagerung von gefährlichen Abfällen

Die österreichische Abfallwirtschaft weist einen hohen Grad an Behandlungsautarkie auf. Ausnahme ist die Ablagerung von gefährlichen Abfällen in Untertagedeponien. Alle anderen Abfallfraktionen stehen Behandlungs- oder Entsorgungskapazität in Österreich mittel- bis langfristig zur Verfügung. Das Nichtvorhandensein eines Endlagers für gefährliche Abfälle stellt in Österreich ein Defizit hinsichtlich der Autarkie dar. Vor allem vor dem Hintergrund, dass die thermische Behandlung deutlich an Bedeutung gewinnt, werden zukünftig mehr schadstoffbelastete Rückstände aus z.B. der Rauchgasreinigung anfallen, welche in Österreich nicht entsorgt werden können. Auch in anderen EU-Staaten steigt der Anteil an thermischer Behandlung von Abfällen sukzessive und viele dieser Staaten verbringen, wie auch Österreich, ihre Rückstände nach Deutschland. Wie lange eine Verbringung gefährlicher Abfälle ins Ausland zur Deponierung noch möglich bzw. wirtschaftlich vertretbar sein wird, ist offen. Für eine vollständige Behandlungs- und Entsorgungsautarkie muss Österreich über eine Möglichkeit der Entsorgung gefährliche Abfälle und nach derzeitiger Gesetzesgrundlage über eine Untertagedeponie verfügen. Da die Rauchgasreinigungsrückstände aus Verbrennungsanlagen ein – wenn auch kleines – Recyclingpotential für Metalle aufwiesen, gilt es abzuwägen, inwiefern die zentrale Verwertung von Rückständen mit Metallgewinnung einerseits die Entsorgungsautarkie fördert, und andererseits das Ziel der Ressourcenschonung unterstützt.

10.6 Zusammenfassung Defizitanalyse und Beurteilung des Status Quo

Die Bewertung von AWG Ziel 1 zeigt, dass nur der Indikator Eutrophierungspotential den Benchmark nicht einhält. Zu beachten ist hier allerdings, dass sich dieses Ergebnis durch die hohen Gutschriften, vor allem aus dem Bereich des Metallrecyclings, ergibt. Diese überlagern und verdecken damit andere Auswirkungen der Abfallwirtschaft. Hier wäre zu überlegen, ob das Recycling von ausgewählten Metallabfällen, das aus wirtschaftlichen Gründen sowieso durchgeführt wird, der Abfallwirtschaft zuzurechnen ist oder an dieser Stelle besser nicht berücksichtigt werden sollte, damit sich andere Effekte deutlicher zeigen. Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass insbesondere für eine verlässliche Bewertung des Schutzes der menschlichen Gesundheit die aktuelle Datenlage nicht ausreichend ist, um mittels der Wirkungskategorie Humantoxizitätspotential die potentielle Schädigung durch die Abfallwirtschaft, sei es durch direkte Emissionen oder durch Schadstoffe in Recyclingprodukten vertretbar abzubilden. Zumindest eine innerhalb Österreichs auf die wesentlichsten

Parameter vereinheitlichte Datenerhebung könnte nach entsprechender Festlegung derselben und anhand Gefährdungspotential und abfallwirtschaftlicher Relevanz in Zukunft Abhilfe schaffen (Forschungsbedarf).

Bei AWG Ziel 2 zeigt sich hinsichtlich der Emission von Luftschadstoffen ein Verbesserungspotential, sowie bei den CH_4-Emissionen. Als CO_2-Potential zusammengefasst ist der Beitrag von CH_4 aber mit ca. 15 % (gerechnet als CO_2-Äquvalente) im Vergleich zu den übrigen klimarelevanten Emissionen eher unbedeutend. Die direkten CO_2-Emissionen haben einen Anteil von ca. 75 % an der klimarelevanten Emissionen (gerechnet als CO_2-Äquvalente).

Die Beurteilung der Rohstoffschonung (AWG Ziel 3) zeigt für Metalle ein hohes Maß an stofflicher Verwertung Auch Glas und Papier werden zu mehr als 50% stofflich verwertet. Bei Kunststoffen und Holz zeigt sich die Konkurrenz zur thermischen Behandlung und damit eine geringere stoffliche Verwertung. Die Benchmarks des AWG Ziel 4, welche hauptsächlich auf gesetzlichen Grundlagen basieren, werden großteils eingehalten. In die Bewertung eingeflossen sind Komposte, Recycling-Baustoffe und Altholz zur stofflichen Verwertung. Überschreitungen gibt es bei Recycling-Baustoffen bei den Indikatoren Blei, KW-Index und ∑PAK und beim Altholz bei den Indikatoren Chlor, Blei, Quecksilber und ∑PAK. Kompost kann alle definierten Benchmarks einhalten. Kunststoffabfälle gehen nicht in die Bewertung ein, da kein Benchmark definiert werden konnte.

Bei AWG Ziel 5 beziehen sich die definierten Benchmarks auf geogene Rahmenbedingungen (z.B. Grundwasserkonzentrationen). Es werden nur wenige der in dieser Arbeit definierten Benchmarks eingehalten, allerdings zeigt sich auch deutlich, dass gesetzlich definierte Rahmenbedingungen durch die Abfallwirtschaft meist deutlich erfüllt werden.

Zu beachten ist, dass die Benchmarks für die einzelnen AWG-Ziele unterschiedlich definiert wurden und daher ein direkter Vergleich zwischen den Zielen nur bedingt möglich ist. In Nutzenpunkten ausgedrückt zeigt sich für die Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft folgendes Bild (siehe Tabelle 10-1 und Abb. 10-6). Im Anhang sind die Ergebnisse der Bewertung des Status Quo im Detail dargestellt (siehe Kapitel 19.5).

Tabelle 10-1: Beurteilung der österreichischen Abfallwirtschaft in Nutzenpunkten (min = 0 und max. = 10)

	Unterziel	Indikatorensammlung	Indikatoren	Nutzenpunkte je Indikator	Nutzenpunkte je Unterziel	Nutzenpunkte je AWG Ziel
AWG Ziel 2	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Klimawandel (inkl. Gutschriften)	kg CO_2eq/a	10	8,6	8,6
		Terrestrische Versauerung (inkl. Gutschriften)	kg SO2eq/a	10		
		Photooxidantienpotential (inkl. Gutschriften)	kg NMVOC/a	10		
		Eutrophierungspotential (inkl. Gutschriften)	kg Peq/a	4		
AWG Ziel 2	Verringerung von klimarelevanten	klimarelevanten Gase	kg/a (CO_2,CH_4, N_2O)	1-8	4,6	2,8
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe	kg (SO_2, NO_x)	0	0	
AWG Ziel 3	Rohstoffe	Metalle	t/a	9	4,7	4,8
		Glas	t/a	6		
		Papier	t/a	6		
		Kunststoff	t/a	2		
		Holz	t/a	1		
	Energie	Verbrauch	TJ/a	3	3,4	
	Schonung Deponievolumen	Deponievolumen	m³/a	6	6,3	
AWG Ziel 4	kein Gefährdungspotential	Schadstoffe im Kompost	mg/kg (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn)	10	8,7	8,7
		Schadstoffe in Sekundärbaustoffe	mg/kg (As, Pb, Cd, Cr, CU, Ni, Hg, Zn, KW-Index, Summe PAK)	0-10		
		Schadstoffe in Sekundärholz	mg/kg (As, Cd, Cl, Cr, F, Hg, Pb, Zn, Summe PAK)	0-10		
7,2AWG Ziel 5	Reduktion der Schwertmetalle in	Reduktion von Schwermetallen	kg/a (Cr, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)	1-10	6,2	7,2
	Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien	Reduktion langfristiger Sickerwasseremissionen	kg/1-1000a (TOC, NH4, Cd, Cr, Fe, Hg, Pb)	0-10	7,1	
		Reduktion langfristiger Deponiegasemission	t CO_2-eq/m²/a	0-10		

Die Zielerreichung dargestellt auf Basis der errechneten Nutzenpunkte (10 Punkte = 100% Zielerreichung) zeigt, dass die AWG Ziele 1, 4 und 5 die definierten Ziele (Benchmarks) fast erreichen. Bei AWG Ziel 2 und 3 konnte das größte Verbesserungspotential identifiziert werden. Im Folgenden wie auch in den davor beschriebenen Kapiteln wird hier auch nochmals kurz auf die Bewertung der einzelnen Ziele eingegangen. Einerseits um die beschrieben Defizite zusammenzufassen und andererseits um auch nochmals die Grenzen und Einschränkungen hinsichtlich der gewählten Bewertungsmethode aufzuzeigen.

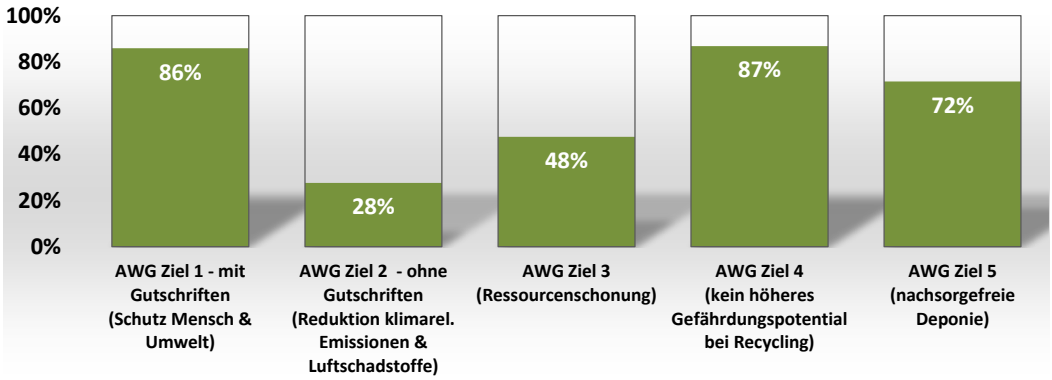


Abb. 10-7: Zusammenfassende Beurteilung der Abfallwirtschaft auf Basis der errechneten Nutzenpunkte (10 Punkte = 100% Zielerreichung)

AWG Ziel 1

Das Treibhaus-, Versauerungs- und Photooxidantienpotential weisen aufgrund von Gutschriften der stofflichen und thermischen Verwertung von Abfällen (Einsparung von Primärproduktion durch Einsatz von Sekundärprodukten) positive Umweltauswirkungen auf. Zu beachten ist hier allerdings, dass sich dieses Ergebnis durch die hohen Gutschriften, vor allem aus dem Bereich des Metallrecyclings, ergibt. Diese überlagern und verdecken damit andere Auswirkungen der Abfallwirtschaft. Das Eutrophierungs-, Ozonzerstörungs- und Humantoxizitätspotential zeigen nach dem Lebenszyklusansatz negative Umweltauswirkungen (Ökobilanz). Humantoxizitätspotential und Ozonzerstörungspotential wurden jedoch mangels geeigneter Benchmarks für die Gesamtbewertung nicht berücksichtigt.

AWG Ziel 2

Trotz gesetzlicher Regelungen zur Ablagerung von Abfällen und bezüglich der Emissionen aus thermischen Behandlungsanlagen können beim Vergleich der Abfallwirtschaft mit der Wirtschaft Österreichs erhöhte Emissionen von klimarelevanten Gasen und Luftschadstoffen festgestellt werden. Bei AWG Ziel 2 ist hinsichtlich der Emissionen von klimarelevanten Gasen und Luftschadstoffen noch Verbesserungspotential zu identifizieren. Wichtig bei der Beurteilung der Ergebnisse zu AWG Ziel 2 ist, dass nur die totalen Emissionswerte ohne Gutschriften in den Ergebnissen berücksichtigt sind. Das Treibhauspotential inkl. Gutschriften (wie innerhalb AWG Ziel 1 aufgezeigt), zeigt dass die österreichische Abfallwirtschaft inkl. Betrachtung der Gutschriften keine negativen, sondern positive Umweltauswirkungen aufweist.

AWG Ziel 3

Die Recyclingraten von Metallen, Glas und Papier sind auf einem hohen Niveau, so dass diese Rohstoffe die definierten Ziele zu mindestens 60% erreichen. Durch verbesserte getrennte Sammlung und neue Trenntechnologien könnten die Recyclingraten aber dennoch weiter gesteigert werden. Bei Holz- und Kunststoffabfällen zeigt sich deutlich die Konkurrenz zwischen stofflicher Verwertung und energetischer Behandlung. Die niedrige stoffliche Verwertung wirkt sich hier negativ in der Beurteilung der Zielerreichung von AWG Ziel 3 aus. Bezüglich der Schonung von Deponievolumen ist eine Reduktion der deponierten Abfallmengen durch höhere Verwertungsraten bei mineralischem Bauschutt (26%), Schlacken und Aschen (50%) sowie bei keiner Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen (5%) möglich. die Rohstoffschonung durch stoffliche Verwertung muss immer in Kombination mit dem AWG Ziel 4 beurteilt werden. Hohe Recyclingraten sind aus der Sicht der Rohstoffschonung wünschenswert, aber es darf dadurch kein Gefährdungspotential für

Mensch und Umwelt geschaffen werden Bei Holz ist zusätzlich zu beachten, dass es sich um einen nachwachsenden Rohstoff handelt.

AWG Ziel 4

Innerhalb von AWG Ziel 4 wurden die Fraktionen Kompost, Recyclingbaustoffe und die Verwertung von Altholz betrachtet und weisen eine Zielerreichung von knapp 90% auf. Für eine vollständige Bewertung von AWG Ziel 4 und damit der Beurteilung des Gefährdungspotentials durch Recycling ist es zukünftig notwendig alle Abfälle, welche stofflich verwertet werden zu betrachten. Rechtsverbindliche Regelungen inkl. eines entsprechenden Vollzugs sind speziell für Kunststoffrecycling und dessen Produktqualitäten notwendig, um zukünftig Bewertungen durchführen zu können und sicheres Recycling zu garantieren. Das Recycling von Altholz zeigt hinsichtlich einiger Parameter negative Auswirkungen. Mittels Verbesserung der separaten Sammlung, sortenreiner Sortierung und stoffspezifischer Trennung sollte die Ausschleusung von Schadstoffe bei allen Recyclingprodukten optimiert werden.

AWG Ziel 5

Auch die Beurteilung von AWG Ziel 5 zeigt eine hohe Zielerreichung ausgedrückt in Nutzenpunkten. Die Ablagerung von Schwermetallen in Deponien muss reduziert werden, um zukünftige Generationen, durch eine Verteilung in die Umwelt (Erosion, Überschwemmungen), nicht zu gefährden. Dies wäre entweder durch eine Reduktion der Ablagerung von Aschen und Schlacken aus industriellen und abfallwirtschaftlichen Prozessen oder durch eine Ablagerung der Aschen und Schlacken in einer langzeitstabilen Form möglich. Für die Beurteilung von AWG Ziel 5 wurden nur der Prozess der Deponierung und die damit verbundenen Auswirkungen betrachtet. Deponien haben innerhalb der Abfallwirtschaft eine wichtige, unverzichtbare Funktion falls sie als sichere Senke dienen, und Schadstoffe umweltverträglich aus dem Produktkreislauf ausschließen. Auf Basis der Ergebnisse dieser Studie ist dies derzeit noch nicht der Fall und es sind weitere Maßnahmen zur Erreichung dieses Zieles erforderlich. In den nächsten Jahrzehnten emittieren Deponien zwar noch klimarelevante Gase, da mechanisch-biologisch behandelte Abfälle noch immer ein gewisses Restgaspotential aufweisen. Aber bei Betrachtung aller Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft haben die Deponiegasemissionen nur einen sehr geringen Beitrag. Die Betrachtung langfristiger Sickerwasseremissionen aus Deponien zeigt, dass hinsichtlich einiger Parameter auch über einem Betrachtungszeitraum von 1.000 Jahren nicht annähernd geogene Bedingungen erreicht werden können. Deshalb ist eine klare Regelung zur Nachsorgephase und zur Entlassung von Deponien aus derselben notwendig. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Deponien in ihrer jetzigen Form keine sichere letzte Senke darstellen, sondern dass hier weitere Anstrengungen notwendig sind, um diesem Anspruch gerecht zu werden (z.B. Verglasung der Abfallverbrennungsschlacken).

Allgemeine Anmerkungen

Konkretisierung der Formulierung im AWG:

Die Ziele laut AWG sind nicht hierarchisch gegliedert, sondern gleichwertig anzusehen. Allerdings sind sie hinsichtlich ihrer Formulierung unterschiedlich streng und reichen von „gering halten“, „kein höheres Gefährdungspotential“, der „Schonung“ bis zu „keine Gefährdung“. Die AWG Ziele 1 und 2 beschreiben kein konkretes Ziel, sondern dass Einwirkungen bzw. Emissionen „gering zu halten sind“. Die Formulierung „gering zu halten“ ist nicht konkret, da es hier keinen Vergleichsmaßstab dazu gibt. Um der Aufgabe alle Ziele gleichermaßen zu berücksichtigen gerecht zu werden, wurden im Rahmen dieses Projektes für Ziel 1 und Ziel 2 getrennte Benchmarks definiert. Eine Unterscheidung war nur möglich indem für Ziel 1 der Fokus auf die Einwirkungen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen und für Ziel 2 auf die Emissionen abfallwirtschaftlicher Anlagen gelegt wurde. Dies führte in der konkreten Umsetzung zu verschiedenen Problemen. So sind speziell für die Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze nicht ausreichende Datengrundlagen und Vergleichswerte auf gesamtösterreichischer Ebene vorhanden, um für alle ursprünglichen gewählten Wirkungskategorien Benchmarks zu definieren. Hinzu kommt, dass die Tendenz der Aussage für Ziel 1 und 2 in dieselbe Richtung geht, da die in Ziel 2 beurteilten Emissionen ja ein Teil der in Ziel 1 beurteilten Umweltauswirkungen darstellen. Hier ist für die nachfolgende Szenarienanalyse zu beachten, dass bei einer Gegenüberstellung von Szenarien mit jeweiligen Verbesserungen bzw. Verschlechterungen für beide Ziele zu rechnen ist. Die Entwicklung von Entscheidungskriterien für die Abwägung, ob ein Gefährdungspotential vorhanden ist, ist notwendig, um die

Formulierung im AWG Ziel 4 „kein höheres Gefährdungspotential als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen“ zu konkretisieren - insbesondere da bei manchen Produkten (etwa Kompost) keine Produkte aus Primärrohstoffen existieren. Die Schonung von Rohstoffen (AWG Ziel 3) und die stoffliche Verwertung ohne höheres Gefährdungspotential als Primärrohstoffe (AWG Ziel 4) müssen aufeinander abgestimmt werden. Für eine weitest mögliche stoffliche Verwertung der Abfälle müssen Recyclingprozesse entwickelt werden, die eine Ausschleusung von Schadstoffen aus dem Produktkreislauf ermöglichen.

Für die Beurteilung der Ergebnisse ist auch zu beachten, dass durch die Formulierung der fünf AWG Ziele manche Bereiche mehrfach betrachtet wurden. Speziell der Bereich Treibhauspotential (klimarelevante Gase) findet sich in AWG Ziel 1 aufgrund der Formulierung „Schutz der Umwelt“, in AWG Ziel 2 aufgrund der direkten Erwähnung der Treibhausgase und in AWG Ziel 5 aufgrund des Schutzes zukünftiger Generation (Deponiegasemissionen) wieder. Für eine zukünftige Betrachtung sollte hier die mehrfache Beurteilung zum Beispiel mittels entsprechender Gewichtung differenzierter beurteilt werden und damit auch die jeweiligen Beiträge zum Gesamtergebnis spezifischer berücksichtigt werden. Speziell AWG Ziel 5 betrachtet nur jenen Teil der Abfälle, welche auch deponiert werden und damit ist mengenmäßig die Relevanz der Deponien im Vergleich zu gesamten Abfallwirtschaft untergeordnet. Aufgrund der Formulierung der AWG Ziele und der darauf basierenden gewählten Methodik gehen die Deponie-Gasemissionen als eigener Indikator in die Beurteilung ein.

Bei der Bewertung von AWG Ziel 2 werden die CO_2-, N_2O- und CH_4-Emissionen gleichwertig und getrennt als klimarelevante Emissionen betrachtet. Es ist allerdings zu beachten, dass CH_4 und N_2O Emissionen nur einen Beitrag von gemeinsam rund 20 % (CO_2-Äquivalente) ausmachen, welche nur bei der biotechnologischen Behandlung und Deponierung eine relevante Rolle spielen.

Verringerung von Informationsdefiziten

Allgemein kann festgehalten werden, dass Abfälle aus den kommunalen Bereichen verhältnismäßig gut erfasst und analysiert sind. Informationen von Abfällen aus industriellen Prozessen bzw. die Einbringung von Abfällen in industrielle Prozesse sind wiederum mit großen Unsicherheiten behaftet und sollten zukünftig besser untersucht und analysiert werden. Trotz der prinzipiell guten Datenlage für kommunale Abfälle in Bezug auf Aufkommen und Behandlungsart sind für viele Abfälle jedoch die konkret mit der Behandlung/Verwertung verbundenen Umweltauswirkungen noch zu wenig erfasst. Hier sollte in Zukunft an der Erhebung einer generischen, für Österreich gültigen Datenbasis gearbeitet werden. Die betrifft u.a. die stoffliche Verwertung von Holz aber auch die Verwertung/Behandlung von Baustellenabfälle oder Elektroaltgeräten. Auch die Erfassung aller stofflich verwerteten Abfälle und die Ermittlung von relevanten Schadstoffen sollte forciert werden. Alle Anlagen, die Abfälle behandeln sollten dieselben Informationen bezüglich Stoffbilanzen und Transferkoeffizienten zur Verfügung stellen, über die heute bereits die Abfallverbrennungsanlagen verfügen.

Erlass von Regelungen und Richtlinien

Für alle Stoffe mit Gefährdungspotential gilt es, die Anreicherung von Schadstoffen in Produkten und eine Verbreitung von Schadstoffen in andere Produkte oder die Umwelt zu verhindern. Dafür ist einerseits die Schaffung von neuen Regelungen bzw. eine Nachjustierung aktueller Regelungen notwendig. Andererseits sind Regelungen nur sinnvoll, wenn sie auch vollzogen werden bzw. der Vollzug auch möglich ist.

Hinsichtlich der Deponienachsorge sind klare Regelungen notwendig, ab wann eine Entlassung möglich ist, um zukünftige Generationen nicht zu gefährden. Hier sind sowohl konkrete Grenzwerte hinsichtlich der Deponiesickerwässer und der Deponiegasproduktion notwendig, als auch die Beurteilung einer möglichen Verbreitung der abgelagerten Abfälle in die Umwelt durch Erosion oder Überschwemmungen.

Exportproblematik / globale Märkte

Der Einsatz für länderübergreifende Regelungen zur besseren Kontrolle des Recyclings und Initiativen zur Verbesserung der Recyclingmethoden in den Abfallempfängerländern sollte erhöht werden, um auch die Verwertung von exportierten Abfällen in den Zielländern strenger zu kontrollieren. Ein relevantes Problem hinsichtlich des Exports ist auch die Unterscheidung, ob es sich um Abfall oder Produkte handelt.

Weitere Maßnahmen (teilweise außerhalb der Abfallwirtschaft)

Eine Verbesserung des Produktdesigns, damit Wiedernutzung und Recycling effizient möglich sind: Bei Design und Herstellung von Produkten werden die Entscheidungen über Materialien und Komponenten getroffen, die später die Möglichkeiten von Wiedernutzung und Recycling beeinflussen. Integration von Umwelt- und Ressourcenschutzaspekten in die Regulierungen von Produkten, einschließlich des Verbots bestimmter Stoffe, der Forderung nach Nachverfolgbarkeit und Rezyklierbarkeit von Produkten, Komponenten und Materialien. Dazu ist Zusammenarbeit von Abfallwirtschaft, Händlern, Herstellern und Zulieferern notwendig. Die Integration der Kosten für ein hochwertiges und sicheres Recycling in den Produktpreis wäre eine Möglichkeit (polluter pays principle).

11 Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft

Das folgende Kapitel fasst die Ergebnisse der Abschätzung für die volkswirtschaftlichen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft zusammen. Zuerst werden die Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinne dargestellt. Dabei handelt es sich um die internen Kosten der Unternehmen, die primär mit der Sammlung, dem Transport und der Behandlung von Abfällen befasst sind. Daran schließt sich eine Abschätzung der monetarisierten Leistungen vom Haushalten und sonstige Unternehmen an (Abfallwirtschaft im weiteren Sinne). Anschließend erfolgt eine ökonomische Bewertung negativer externer Effekte - also jener Kosten, die von den Akteuren der Abfallwirtschaft im engeren Sinne verursacht werden, aber nicht von ihnen getragen werden.

11.1 Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinne

Die Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinne wurden durch eine Verknüpfung der in Kapitel 6.7 dargestellten Kostensätze und Güterflüsse ermittelt. Sie gliedern sich in interne Kosten für die Bereiche Sammlung und Transport sowie Behandlung und Entsorgung

11.1.1 Kosten der Sammlung und des Transports

Die Kosten für Sammlung und Transport wurden durch die Verknüpfung der durchschnittlichen Kostensätze mit den Mengenparametern (Tonnen Abfall bzw. gefahrenen Kilometer), die in Tabelle 11-1 zusammengefasst sind, ermittelt. Im Bereich der Sammlung wurde auf Basis eines durchschnittlich notwendigen Zeitbedarfs zur Sammlung einer Tonne Abfall (120 L, 50min; 240 L, 25 min) die notwendige Zeit je Abfallkategorie ermittelt und anschließend mit den Kostensätzen verknüpft. Grundlage für den Transport war eine Abschätzung von durchschnittlich angenommener Transportdistanz für ländliche und städtische Entsorgung bzw. Frachtmenge je Transportmittel, die in entsprechenden Kilometern resultierte. Auf Basis einer angenommen Durchschnittsgeschwindigkeit von 45 km/h des Transportfahrzeugs konnten so die notwendigen Stunden je Transportfahrzeug errechnet werden. Diese wurden mit den Kostensätzen aus Kapitel 6.7 verknüpft.

Insgesamt fallen für Sammlung und Transport Kosten von rund 1,5 Mrd. EUR an, wobei rund 1,4 Mrd. EUR auf Primärabfälle und 0,1 Mrd. EUR für Sekundärabfälle entfallen. Hohe Kosten im Bereich der haushaltsnahen Sammlung verursacht insbesondere der Restmüll (160 Mio. EUR). Darüber hinaus zählen Metallabfälle (190 Mio. EUR) und getrennt gesammelte Metalle aus Gewerbe/Industrie (140 Mio. EUR) – sowie Abfälle aus dem Bauwesen zu den zentralen Kostenkomponenten (150 Mio. EUR).

Tabelle 11-1: Kosten für Sammlung und Transport

	Abfallfraktion	Menge	Transportdistanz Sammlung bis 1. Behandlungsanlage		Transportmittel - Frachtmenge	Gesamt-Km	Sammlung + Transport	Sammlung/ Transport
		[t]	*ländlich 62% [km]*	*städtisch 38% [km]*	*[t]/Transporteinheit*	*[km]*	*[EUR]*	*[EUR/t]*
Haushaltsabfälle	*Metalle (Schritt und Verpackung)*	120.000	150	60	2	6.800.000	27.000.000	230
	Leichtverpackungen	150.000	130	80	4	4.300.000	24.000.000	160
	Papier	640.000	120	60	9	6.900.000	74.000.000	120
	Glas	220.000	200	75	8	4.100.000	29.000.000	130
	Biomüll	790.000	120	40	6	12.000.000	100.000.000	130
	Restmüll	1.400.000	120	40	9	14.000.000	160.000.000	110
	Sperrmüll	240.000						
	Altholz	220.000	70	80	4	8.900.000	26.000.000	110
	Problemstoffe	21.000						
	Elektroaltgeräte	76.000	35	35	5	540.000	2.100.000	28
	Alttextilien	27.000	60	40	4	360.000	1.200.000	44
Getrennt gesammelte Altstoffe aus Gewerbe/Industrie	*Metalle*	840.000	150	60	2	49.000.000	140.000.000	170
	Leichtverpackungen	42.000	220	80	4	1.700.000	4.800.000	110
	Papier	810.000	200	60	4	30.000.000	82.000.000	100
	Glas	69.000	200	75	8	1.300.000	3.600.000	52
	Holzabfälle	140.000	150	55	2	7.900.000	23.000.000	160
	Alttextilien	9.300	60	40	4	120.000	420.000	45
Gefährliche Abfälle	*Salze*	5.100						
	Säuren, Laugen	56.000						
	Farben, Lacke	7.200						
	Oxide	89.000	35	35	5	2.100.000	8.300.000	1.600
	Kalkschlamm	22.000						
	Batterien	17.000						
	Lösungsmittel	48.000						
	weitere gefährliche Abfälle	56.000						
weitere Abfälle	*Restmüll*	550.000	120	40	9	5.500.000	63.000.000	110
	Sperrmüll	89.000	70	80	4	1.600.000	4.700.000	53
	Abfälle aus dem Grünbereich/Sonstige biogene Abfälle	700.000	35	11	5	3.600.000	11.000.000	16
	Abfälle aus dem Bauwesen	6.300.000	35	11	5	33.000.000	150.000.000	24
	Elektroaltgeräte	3.700	35	35	5	26.000	100.000	27
	Holzabfälle	640.000	35	11	1	16.000.000	74.000.000	120
	Asbestabfälle	62.000	35	11	3	530.000	2.400.000	39
	Altöle, Altschmierstoffe, (öl-)verunreinigte Böden, Wasch-	340.000	90	35	1	23.000.000	75.000.000	220
	Kunststoff und Gummi	160.000	35	11	1	8.000.000	36.000.000	230
	Aschen, Schlacken, Stäube aus Feuerungsanlagen	330.000	35	11	5	1.700.000	7.600.000	23
	Metallurgische Schlacken	230.000	10	5	10	190.000	1.700.000	7
	Metallurgische Stäube und Aschen	33.000	80	35	0,1	21.000.000	68.000.000	2.100
	Alttextilien	4.200	60	40	4	54.000	190.000	45
	weitere Glasabfälle	11.000	200	75	8	210.000	580.000	53
	weitere Zelluloseabfälle	600.000	120	60	9	6.500.000	19.000.000	32
	weitere Metallabfälle	1.200.000	150	60	2	67.000.000	190.000.000	160
Summe Primärabfallaufkommen		**17.000.000**				**340.000.000**	**1.400.000.000**	
Sekundärabfälle		4.000.000	99	45	8	40.000.000	100.000	30
Summe		**21.000.000**				**380.000.000**	**1.500.000.000**	

11.1.2 Kosten der Behandlung und Entsorgung

Tabelle 11-2 gibt die einzelnen abfallwirtschaftlichen Prozesse mit ihren Mengen und angenommen Kostensätzen sowie den daraus resultierenden Gesamtkosten wieder. Ebenfalls enthalten sind entsprechende Annahmen zur Unsicherheit aufgrund zugrunde liegender Daten. Es zeigt sich, dass insgesamt rund 1,2 Mrd. EUR an internen Kosten für Behandlung und Entsorgung der 21 Mio. Tonnen Abfälle im System anfallen. Den größten Anteil verursachen dabei die Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle mit rund 250 Mio. EUR (Rostfeuerung und Wirbelschicht). Weitere 50 Mio. EUR fallen für die sonstigen thermischen Behandlungen an. Ebenfalls einen bedeutenden Anteil an den gesamten internen Kosten haben Shredder-Anlagen (100 Mio. EUR), Anlagen zur Aufbereitung von Baurestmassen (100 Mio. EUR) sowie Reststoffdeponien (90 Mio. EUR). Aus rein ökonomischer Sicht fällt auf, dass bei einer Betrachtung der Kosten je Tonne Abfall die sehr hohen Kosten für die Behandlung von EAG-Kategorien (Ausnahme Großgeräte) hervorstechen. Aufgrund der relativ geringen Gesamtmengen fallen diese aber insgesamt kaum ins Gewicht. Ebenfalls relativ hohe Kosten weist die Behandlung von Altkunststoffen auf, die aufgrund der Mengen auch im System eine relevante Kostenkomponente darstellt (70 Mio. EUR). Ebenfalls auffällig ist die MBA mit rund 50 Mio. EUR.

Tabelle 11-2: Kosten der Behandlung und Entsorgung

Prozesse	Inputmenge (prim.+sek. Abfälle)	GK	Gesamt-kosten	GK EUR/t Unsicherheit
	[t]	*[EUR/t]*	*[1.000 EUR]*	*[1.000EUR/t]*
Kompostanlagen	850.000	45	38.000	6.400
Biogasanlagen inkl. Gärrestkompostierung	100.000	85	8.800	3.600
MBA Behandlung	490.000	95	46.000	5.600
Chemisch physikalische Behandlung - organisch	75.000	100	7.500	2.400
Chemisch physikalische Behandlung - anorganisch	60.000	100	6.000	1.900
Chemisch physikalische Behandlung - organisch/ anorganisch	250.000	100	25.000	8.000
Verbrennung von Siedlungsabfällen - Rostfeuerung	1.700.000	117	200.000	22.000
Verbrennung von Siedlungsabfällen - Wirbelschichtfeuerung	560.000	93	52.000	6.500
thermische Behandlung in Zementindustrie	310.000	45	14.000	5.300
thermische Behandlung in Holzindustrie	190.000	45	8.400	3.000
thermische Behandlung in Papierindustrie	260.000	45	12.000	4.300
sonstige thermische Abfallbehandlung - Wirbelschichtfeuerung	83.000	93	7.700	2.500
sonstige thermische Abfallbehandlung - Drehrohrofen	100.000	117	12.000	3.800
mechanische Behandlung/Sortierung von Siedlungsabfällen	1.000.000	10	10.000	3.400
Aufbereitungsanlagen von BRM	6.300.000	16	100.000	27.000
Shredder-Anlagen für Metall-abfälle	1.000.000	100	100.000	21.000
Anlagen zur Sortierung/Aufbereitung von Altpapier	1.900.000	25	47.000	9.600
Anlagen zur Sortierung/Aufbereitung von Altglas	290.000	25	7.300	1.500
Anlagen zur Sortierung/ Aufbereitung von Altmetallen	960.000	25	24.000	7.800
Anlagen zur Sortierung/Aufbereitung von Altholz	990.000	25	25.000	8.100
Anlagen zur Sortierung/Aufbereitung von Altkunststoffe	300.000	245	74.000	34.000
Anlagen zur Sortierung/Aufbereitung von Alttextilien	17.000	250	4.200	1.800
EAG Behandlungsanlagen für Bildschirmgeräte	19.000	225	4.200	170
EAG Behandlungsanlagen für Kühl- Gefriergeräte	12.000	255	3.200	330
EAG Behandlungsanlagen für Gasentladungslampen	990	600	590	140
EAG Behandlungsanlagen für Großgeräte	19.000	55	1.000	430
EAG Behandlungsanlagen für Elektrokleingeräte	28.000	125	3.500	1.500
Anlagen zu Behandlung von Böden	100.000	58	6.100	2.000
Verpackung/Immobilisierung von Asbest inkl. Deponierung	62.000	75	4.600	1.500
Baurestmassendeponie	410.000	18	7.300	1.800
Inertabfalldeponie	410.000	18	7.300	1.800
Reststoffdeponie (inkl. Niederschlag)	1.200.000	75	86.000	28.000
Massenabfalldeponie	140.000	75	10.000	3.500
direkter Export nach Sammlung	220.000	100	220.000	210.000
Summe	**21.000.000**		**1.200.000**	**220.000**

Stellt man die Ergebnisse der beiden betrachteten Bereiche Sammlung und Transport sowie Behandlung und Entsorgung aggregiert den Aufwendungen von abfallwirtschaftlichen Unternehmen entsprechend der Leistungs- und Strukturstatistik der Statistik Austria gegenüber, ergibt sich, dass die internen (betriebswirtschaftlichen) Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinne bei rund 2,7 Mrd. EUR liegen. Etwas mehr als die Hälfte fallen demnach im Bereich Sammlung/Transport an.

Tabelle 11-3: Vergleich der internen Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinne mit den Aufwendungen der Leistungs-/Strukturstatistik (in Mio. EUR)

		Benchmarking – Studie (Kosten, bottom-up)	**Leistungs-/ Strukturstatistik** (Aufwendungen)
Kosten AW (ieS)	Sammlung/Transport	1.500	1.870
	Behandlung	1.200	660
	Gesamt	2.700	2.530

Gründe für diese Differenz liegen unter anderem in folgenden drei Bereichen: Zum einen basiert die amtliche Statistik auf anderen Bewertungsgrundlagen, insbesondere werden vollständig abgeschriebene Anlagen hier nicht mehr berücksichtigt, während sie für die vorliegende Studie bei der Ermittlung der durchschnittlichen Kostensätze auf Basis von Wiederbeschaffungswerten geschätzt wurden. Zum anderen konnten bei der Abschätzung keine Skaleneffekte und Verbundeffekte berücksichtigt werden, die im unternehmerischen Alltag zweifellos eine Rolle spielen. Schließlich ergibt sich eine Differenz aus der unterschiedlichen Zuordnung von Aktivitäten gemäß der Branchenlogik der amtlichen Statistik (ÖNACE). Das führt dazu, dass Aktivitäten, die in der Hochrechnung der Benchmarking-Studie zur Abfallwirtschaft im engeren Sinne zählen, in der Statistik Austria nicht oder nur teilweise der Abfallwirtschaft zugeordnet werden, d.h. dass in der Leistungs- und Strukturerhebung die charakteristischen Aktivitäten der Abfallwirtschaft zugeordnet werden, in dieser Studie aber abfallwirtschaftliche Prozesse betrachtet werden unabhängig von der statistischen Zuordnung. Beispielsweise wird die Behandlung von Baurestmassen (~ 100 Mio. EUR) typischerweise der Baubranche zugerechnet und nicht den primär in Sammlung und Transport bzw. Behandlung und Entsorgung aktiven Abfallwirtschaftsunternehmen. Ein anderes Beispiel stellt die Mitverbrennung (Zement, Holz, etc.) dar, deren Kosten in der amtlichen Statistik ebenfalls nicht der Abfallwirtschaft zugeordnet werden.

11.2 Kosten der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne

Bei der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne werden die Kosten betrachtet, die Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen und Haushalte zur Zielerreichung des AWG leisten. Es geht also um Leistungen, die zusätzlich zu den Leistungen der vorher dargestellten Abfallwirtschaftsunternehmen i.e.S. erbracht werden. Für die Haushalte zählt dazu etwa das Sortieren (Trennen und Reinigen) von Abfall während Unternehmen im Rahmen ihrer Leistungserbringung auch zahlreiche Maßnahmen im Rahmen der betrieblichen Abfallwirtschaft tätigen.

11.2.1 Leistungen der Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen

Bei den Leistungen der Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen („sonstige“ Unternehmen) geht es darum, die Kosten der betrieblichen Abfallwirtschaft, die in obigen Aufstellungen nicht berücksichtigt sind zu bewerten. Aufgrund der großen Heterogenität des Unternehmenssektors war es schwierig, diesen Bereich abzuschätzen. Auch zahlreiche Anfragen bei einschlägigen ExpertInnen (Umweltbundesamt, Statistik Austria, WKO, BMLFUW, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung) bestätigten das Fehlen diesbezüglicher Daten.

Die bisher beste Datengrundlage bietet das Modul Umweltschutzausgabenrechnung im Rahmen der Umweltgesamtrechnung der Statistik Austria, die unter anderem Ausgaben für die Abfallwirtschaft über die gesamte Volkswirtschaft ausweist und einen Anhaltspunkt für den Wert von Maßnahmen der betrieblichen Abfallwirtschaft gibt. Die USAR ist als ergänzendes Satellitenkonto zur Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung in drei Tabellenteile konzipiert: Verwendung, Produktion, Finanzierung.

Der Produktionsteil dieser Statistik gibt Auskunft darüber, wer eine Umweltschutzleistung herstellt. Dabei wird zwischen Spezialisierten und Nicht-Spezialisierten Produzenten unterschieden. Zu ersteren zählen die Unternehmen der Abfallwirtschaft im engeren Sinne, während die letzte Kategorie die sonstigen Unternehmen umfasst. Schließlich wird bei der Leistungserstellung innerhalb der Nicht-Spezialisierten Produzenten zwischen Nebentätigkeit und Interner Produktion unterschieden. Zur internen Produktion zählen unter anderem Änderung des Produktionsprozesses bzw. generell innerbetriebliche Leistungen im Sinne von Schadstoffbehandlungen oder Emissionssenkungen. Als Nebentätigkeiten werden exemplarisch Transportunternehmen genannt, die auch Abfalltransporte durchführen. Eine genauere Detaillierung dieser beiden Bereiche ist bisher nicht möglich. Als konservative Untergrenze kann vor diesem Hintergrund zumindest jener Wert der internen Produktion, der speziell für die Abfallwirtschaft geleistet wird, angenommen werden. Dieser beträgt für das Jahr 2012 rund 280 Mio. EUR. Die Hilfstätigkeiten (920 Mio. EUR) können hingegen nicht in voller Höhe angerechnet werden, weil es sonst zu Doppelzählungen mit den internen Kosten (z.B. im Transport) kommen würde.

Abfallwirtschaftlich relevante interne Produktionsleistungen werden auch noch in anderen Umweltschutzbereichen erfasst, insbesondere in den Bereichen „Schutz und Sanierung von Boden, Grund- und Oberflächenwasser“ (rund 420 Mio. EUR) sowie „Luftreinhaltung und Klimaschutz“ (rund 380 Mio. EUR). Leider kann auch hier aufgrund der fehlenden Disaggregation keine klare Abgrenzung vorgenommen werden.

Ein weiterer Anhaltspunkt bietet die Leistungs- und Strukturstatistik, die für den produzierenden Bereich (ÖNACE B-F) den Aufwand für die Abfallwirtschaft wiedergibt. Dieser beträgt rund 0,1% der gesamten Aufwendungen dieser Unternehmen bzw. rund 230 Mio. EUR. Für den Dienstleistungssektor (ÖNACE G bis N sowie S) steht eine derartige Detailierung nicht zur Verfügung. Bezieht man den 0,1%-Anteil auf den Gesamtaufwand der Dienstleistungsunternehmen, so ergeben sich rund 396 Mio. EUR an Aufwendungen für die Abfallwirtschaft. In dieser Darstellung wird sowohl der Ressourcenverbrauch für marktbezogene Leistungen als auch für interne Produktionsleistungen erfasst.

11.2.2 Leistungen der Haushalte

Die monetarisierten Leistungen der Haushalte wurden wie folgt abgeschätzt: Die rund 3,7 Mio. Haushalte (Statistik Austria 2012) im Jahr 2012 wurden in drei Haushaltstypen eingeteilt, die wie folgt charakterisiert sind:

HH-Typ 1 (Wohnung in der Stadt): Der erste Haushaltstyp befindet sich im urbanen, dicht bebauten Gebiet. Der private Haushalt besitzt oder mietet eine Wohnung in einem Mehrfamilienhaus. Im Prinzip zählen dazu die Landeshauptstädte und Bezirkshauptstädte. Die durchschnittliche Haushaltsgröße wird mit 1,9 geringer als der österreichische Durchschnitt angesetzt. Es wird von einer Sammlung der Abfallfraktionen Restmüll, Papier und Biomüll über die Hausabfuhr sowie von Altglas, Leichtverpackungen, Metallverpackungen und Alttextilien über Sammelinseln ausgegangen. Sperrmüll, Altholz, Haushaltsschrott, sonstige Altstoffe, Problemstoffe sowie EAG über Altstoffsammelzentren werden zum ASZ transportiert.

HH-Typ 2 (Ein- oder Mehrfamilienhaus am Stadtrand): Dieser Typ beschreibt einen Haushalt in kleinen Städten und im suburbanen Raum. Die Haushaltsgröße wird mit 2,3 angesetzt. Es wird von einer klassischen Einfamilien- oder Reihenhaussiedlungen ausgegangen. Aufgrund der Dichte sind Sammelinseln vorhanden, jedoch ist die Standplatzdichte nicht mit der Stadt vergleichbar. Damit müssen die Haushalte zusätzliche Wege auf sich nehmen. Die Abholung von Abfällen ab Haus wird in der Regel als Teilservice angeboten. Im Gegensatz zum HHTyp 1 werden Leichtverpackungen mittels Holsystem erfasst und Altpapier muss zu Sammelinseln gebracht werden. Zusätzlich wird von einer Einzelkompostierung ausgegangen.

HH-Typ 3 (Einfamilienhaus im ländlich-peripheren Raum): Dieser Typ befindet sich am Land. Dadurch ergeben sich weitere Wege zum Altstoffsammelzentrum und gleichzeitig werden größere Mengen über das ASZ gesammelt, da die Siedlungsstruktur die flächendeckende Sammlung aller Abfallfraktionen unwirtschaftlich macht. Lediglich Restmüll und Leichtverpackungen werden direkt vom Grundstück abgeholt. Zudem wird die Annahme getroffen, dass biogene Abfälle einzelkompostiert werden. Die durchschnittliche Haushaltsgröße wird mit 2,7 angenommen.

Die wesentlichen Parameter zur Quantifizierung der Leistungen dieser drei Haushaltstypen sind in Tabelle 11-4 zusammengefasst. Sie basieren auf einer Masterarbeit von Robert Graser (2014, erarbeitet am Fachbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik der TU Wien unter Anleitung von Prof. M. Getzner), der dafür bestehende Sekundärliteratur bzw. amtliche Statistiken umfassend analysiert hat und darauf aufbauend – ergänzt um eine Vielzahl eigener Erhebungen und Annahmen – eine Modellabschätzung vorgenommen hat.

Tabelle 11-4: Parameter für die Quantifizierung der Leistungen der österreichischen Haushalte für die Abfallwirtschaft im weiteren Sinne (eigene Darstellung, auf Basis von Graser (2014))

	Maßnahme	Haushaltstyp		
		Typ 1	*Typ 2*	*Typ 3*
Raumbedarf	Lagerung	1,49 m²	1,55 m²	1,61 m²
Zeitbedarf	Sortierung	17 h/a	17,9 h/a	18,4 h/a
	Transport - private Entledigung	17,2 h/a	19,6 h/a	20,25 h/a
	Bereitstellung Straßenrand	0,33 h/a	6,4 h/a	2,31 h/a
	Einzelkompostierung	-	8 h/a	8 h/a
	Wiederverwendung / Reparatur	43 h/a	37,2 h/a	55,8 h/a
Fahrtkilometer	Fahrten zu ASZ	10 km/a	20 km/a	30 km/a
Materialbedarf	Abfallsäcke	210 Stk.	194 Stk.	184 Stk.
	Abfallbehälter	3 Stk.	4 Stk.	5 Stk.

Der durchschnittliche Haushalt verwendet rund 1,6 Quadratmeter seiner Wohnung/seines Hauses für die Lagerung von Abfällen [HH Typ 1: 1,6 m²; HH Typ 2: 1,7 m², HH Typ 3: 1,6 m²]. Der Raumverbrauch wurde unter Berücksichtigung des jährlichen Abfallaufkommens gemäß BAWP 2009 (Umrechnung in kg/m³) sowie von durchschnittlichen Entledigungshäufigkeiten auf Basis von Hübner (2001) geschätzt. Die Schwankungen zwischen den Haushaltstypen beruhen auf den unterschiedlichen Abfallmengen und Entledigungsfrequenzen (Tabelle 11-5).

Tabelle 11-5: Angenommene Entledigungshäufigkeiten (eigene Darstellung, auf Basis von Graser (2014))

Abfallfraktion	Entledigungs-häufigkeit	Quelle	HH Typ 1	HH Typ 2	HH Typ 3
Restmüll	104	Hübner 2001	104	90	80
Sperrmüll	1	eigene Annahme	1	1	1
Altpapier	52	Hübner 2001	52	52	48
Altglas	26	Hübner 2001	26	26	20
Leichtfraktion	52	Hübner 2001	52	52	52
Altholz	1	eigene Annahme	1	1	2
Alttextilien	2	eigene Annahme	2	2	1
Haushaltsschrott (Sperrmüllsammlung)	1	eigene Annahme	1	1	2
Altmetalle	17	Hübner 2001	17	17	17
Sonstige Altstoffe	2	eigene Annahme	2	2	2
Biogene Abfälle, getrennt gesammelt	52	Hübner 2001	104	104	104
Problemstoffe	4	Hübner 2001	2	2	4
Elektro- und Elektronikgeräte	2	eigene Annahme	2	2	1

Der Zeitbedarf der Haushalte setzt sich aus dem Aufwand für die Sortierung/Reinigung, für den Transport/private Entledigung, für die Bereitstellung am Straßenrand, für die Einzelkompostierung sowie für die Vorbereitung zur Wiederverwendung/Reparatur zusammen.

Die Reparaturkomponente wurde auf Basis der Zeitverwendungserhebung der Statistik Austria (2009) geschätzt, die auch eine grobe Zuordnung zu den drei Haushaltstypen ermöglichte. Eingeschränkt muss hier werden, dass eine genauere Detaillierung über die einzelnen Elemente im Rahmen der Untersuchung auf Basis der vorhandenen Datengrundlage nicht möglich war, und daher der gesamte Zeitaufwand als Opportunitätskosten in die Berechnung mit einfließt.

Der Aufwand für Sortierung wurde ebenfalls in Anlehnung an die Zeitverwendungserhebung der Statistik Austria (2009) geschätzt. Da es für die Aktivitäten Sortieren und Reinigen von Verpackungen keine eigene Kategorie in der Erhebung gibt, wurden verwandte Kategorien (Geschirr waschen, Küchenarbeiten; Aufräumen, Reinigen der

Wohnung; Sortieren, Suchen im Haushalt; Kochen, Essen zubereiten) herangezogen und davon ein geringer Anteil (1-5% je Kategorien) als Aufwand definiert. Auf Basis dieser Annahmen verbringt ein durchschnittlicher Haushalt ca. 3 min täglich mit der Reinigung und der Sortierung von Abfällen

Der Zeitbedarf für den Transport bzw. die private Entledigung wurde auf Basis von Hübner (2001) und Neitsch (2001) geschätzt. Dabei wurden die in Tabelle 11-5 dargestellten durchschnittlichen Entledigungshäufigkeiten mit der durchschnittlichen Dauer für die Entledigung in Abhängigkeit der Sammelschiene bzw. dem Siedlungstyp multipliziert. Die daraus resultierenden Werte sind vergleichbar mit den Ergebnissen aus der Kategorie „Müllentsorgung“ der Zeitverwendungserhebung der Statistik Austria (2009).

Für die Abschätzung des Zeitbedarfs zur Bereitstellung der Umleerbehälter am Straßenrand (Ausnahme Vollservice) wurden die Ergebnisse des Abfallspiegels 2009 und 2011 (Abfuhrfrequenz je Haushalt und Fraktion) und eigene Abschätzungen für die durchschnittliche notwendige Zeit zur Bereitstellung herangezogen. Für den Haushaltstyp 1 wird ein Vollservice angenommen und es fällt nur rund ein halbe Stunde im Jahr für die Bereitstellung des Sperrmülls an. Haushaltstyp 2 hat den höchsten Zeitaufwand, da er Umleerbehälter für Restmüll, Biomüll und Altfraktion am Straßenrand bereitstellen muss, während bei Haushaltstyp 3 nur Restmüll bereitgestellt werde muss.

Der Zeitaufwand für die Einzelkompostierung setzt sich aus dem Zeitaufwand für die Informationsbeschaffung, aus dem Zeitaufwand für das Umsetzen des Komposts (4-mal pro Jahr) und für das Aufbringen des Komposts im Garten zusammen. Dies ergibt insgesamt 8 Stunden jährlich.

Insgesamt wendet ein durchschnittlicher Haushalt (einfache Gewichtung) für die Reparatur rund 47 Stunden, für die Sortierung 18 Stunden, für die "Entledigung" 19 Stunden, für die Einzelkompostierung rund 5 Stunden und für die Bereitstellung am Straßenrand ca. 3 Stunden auf. Damit ergibt sich insgesamt ein Zeitaufwand von rund 91 Stunden pro Jahr [HH Typ 1: 78 Stunden, HH Typ 2: 89 Stunden, HH Typ 3: 105 Stunden].

In Anlehnung an Neitsch (2001) wird unterstellt, dass ein durchschnittlicher österreichischer Haushalt pro Jahr rund 20 Kilometer für die Fahrten zum Abfallsammelzentrum (ASZ) zurücklegt. Diesem Durchschnittswert liegen folgende Frequenzen je Haushaltstype zu Grunde: 2 Fahrten pro Jahr für Haushaltstyp 1, 4 Fahrten für Haushaltstyp 2 und 10 Fahrten für Haushaltstyp 3.

Der Materialverbrauch der privaten Haushalte setzt sich im Wesentlichen aus dem Bedarf an Abfallsäcke und Abfallbehälter zusammen. Die benötigten Mengen an Abfallsäcken (Rest- und Biomüll) ergibt sich auf Basis der in Tabelle 11-XX dargestellten Entledigungshäufigkeiten, da davon ausgegangen wird, dass der Müllsack bei jeder Entledigung mit entsorgt wird. Daneben werden langlebige Behältnisse für die Zwischenlagerung von Abfall in der Wohnung bzw. am Grundstück erworben. In der Berechnung werden Abfalleimer für Restmüll [HHTyp 1: einen Behälter, HHTyp 2: zwei Behälter, HHTyp 3: drei Behälter] und Biomüll [jeweils ein Behälter], sowie Papierkörbe [jeweils ein Behälter] berücksichtigt.

Verknüpft man diese Mengenparameter mit den Kostensätzen aus ergibt sich folgendes Ergebnis an volkwirtschaftlichen Kosten der Haushalte (Abb. 11-1). Auf einen durchschnittlichen österreichischen privaten Haushalt kamen auf Basis dieser Berechnung im Jahr 2012 circa 959 EUR als Belastung aus volkswirtschaftlicher Sicht zu. Für Haushalte in peripheren Regionen [HHTyp 3] fielen rund 1.062 EUR an, was vor allem durch die höheren Abfallmengen aufgrund der Haushaltsgröße und die größeren Entfernungen erklärbar ist. Kombiniert mit der hohen Anzahl der Haushalte des Typs 3 sind 46 % der volkswirtschaftlichen Kosten aller österreichischen Haushalte dem Haushaltstyp 3 zuzuweisen. Auf den Haushalt am Stadtrand [HHTyp 2] entfielen im Schnitt 945 EUR pro Jahr, während der urbane Haushalt [HHTyp 1] mit 800 EUR die geringsten Kosten aufwies. Insgesamt beliefen sich die Kosten für die rund 3,67 Mio. Haushalte im Jahr 2012 auf rund 3,5 Mrd. EUR.

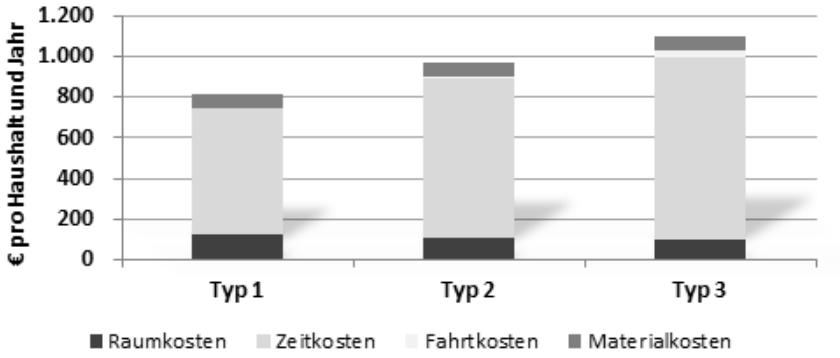


Abb. 11-1: Monetarisierte Leistungen der österreichischen Haushalte für die Abfallwirtschaft im weiteren Sinne (eigene Darstellung, auf Basis Graser (2014))

Bei den Kostenarten stechen besonders die Zeitkosten hervor, die unabhängig vom Haushaltstyp rund vier Fünftel der gesamten Kosten bei den Haushalten ausmachen. Ein genauer Blick auf die einzelnen Komponenten der Zeitkosten zeigt, dass insbesondere die Vorbereitung zur Wiederverwendung bzw. Reparatur am stärksten zu Buche schlägt. Diese Aktivitäten machen zwischen 50 und 66 % der Zeitkosten bzw. zwischen 31 % und 40 % der gesamten Kosten aus.

Festzuhalten ist, dass den meisten der hier angeführten Kosten keine Zahlungen bzw. keine Ausgaben gegenüberstehen; es handelt sich zum größten Teil um den monetär bewerteten Zeitaufwand (Opportunitätskosten), den Haushalte zur Zielerreichung des AWG aufbringen (sowohl freiwillig als auch verpflichtend). Der Bewertung der Zeitkosten kommt dabei die größte Bedeutung zu: die vorliegende Untersuchung nimmt an, dass der Zeitaufwand Opportunitätskosten verursacht, d.h. dass andere Aktivitäten in Summe eingeschränkt werden oder durch die abfallwirtschaftlichen Aktivitäten im Haushalt ein entsprechender „negativer Nutzen“ (Kosten) entstehen; letzteres dadurch, da angenommen werden kann, dass diese Aktivitäten Belastungen sind (und nicht die Aktivität selber einen individuellen Nutzen stiftet). Inwiefern einzelne Komponenten tatsächlich im vollen Ausmaß als Belastungen – und somit als Aufwand – gesehen werden können ist durchaus diskussionswürdig. So kann etwa die Entsorgung des Restmülls morgens am Weg zur Arbeit nicht zwingend als zusätzlicher Aufwand betrachtet werden. Um diese Unsicherheiten hinsichtlich des Umfangs der Leistungen der Haushalte Rechnung zu tragen, werden diese im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse variiert. Dies trifft ebenso auf die Annahme des Zeitkostensatzes (hier entsprechend RVS aus der Verkehrsplanung) zu.

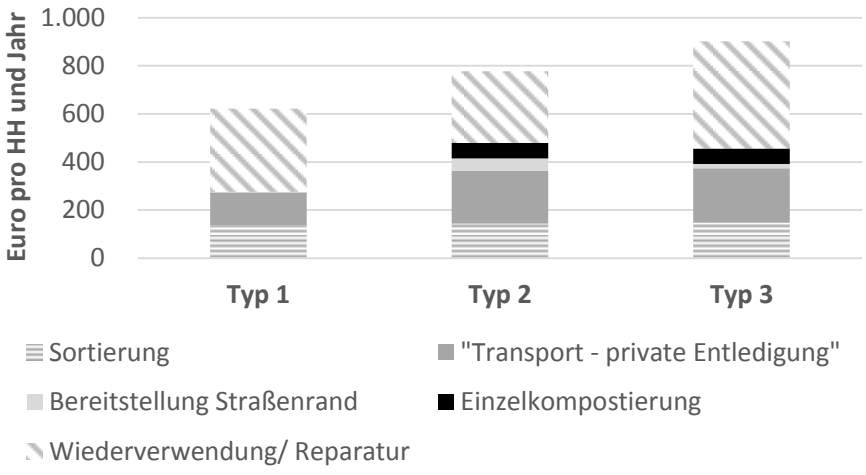


Abb. 11-2: Komponenten der Zeitkosten nach Haushaltstypen (eigene Darstellung, auf Basis Graser (2014))

11.3 Externe Kosten der Abfallwirtschaft

Durch die Verknüpfung der Vermeidungskosten je Schadstoff mit den emittierten Schadstoffmengen im betrachteten Abfallwirtschaftssystem ergibt sich folgendes Bild für die externen Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinne (Tabelle 11-6).

Tabelle 11-6: Externe Kosten der Abfallwirtschaft

Prozess	Gesamt	Luft	Wasser	Lager
	1000'EUR			
biotechnische Behandlung	6.600	6.600		
CP-Anlagen	8.200	3	8.200	
thermische Behandlung	208.000	207.000	1.000	
EAG Behandlung	2	2		
Anlagen zur Behandlung von Böden	3.700	3.700		
Deponie	205.000	330	8	205.000
Sammlung und Transport	20.300	20.300		
	450.000	**240.000**	**9.200**	**205.000**

Insgesamt fallen im Jahr 2012 rund 450 Mio. EUR an monetarisierten negativen externen Effekten im Zusammenhang mit der österreichischen Abfallwirtschaft an. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass bei dieser Abschätzung nur eine begrenzte Zahl an Schadstoffen im Gesamtsystem berücksichtigt wurde. Die Summe ist daher als Untergrenze für die negativen Externalitäten anzusehen. Betrachtet man aggregiert die Auswirkungen auf die Umweltmedien, zeigt sich dass der größte Anteil durch Emissionen in die Luft verursacht wird (240 Mio. EUR), während nur ein relativ kleiner Teil im Medium Wasser (9,2 Mio. EUR) entsteht. Folgendes sticht hervor, wenn man die einzelnen Prozesse betrachtet: Zum einen der hohe Anteil der externen Kosten im Bereich der Reststoffdeponie, der durch die Bindung von wertvollen Ressourcen im Lager entsteht (205 Mio. EUR); zum anderen die Bedeutung der thermischen Behandlung, insbesondere der Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle sowie der Mitverbrennung in der Zementindustrie, und deren negative Externalitäten über das Umweltmedium Luft (Gutschriften wurden nicht bewertet). Die externen Kosten im Bereich Sammlung und Transport fallen hingegen mit rund 20,3 Mio. EUR relative gering aus. Auf Schadstoffebene stechen insbesondere CO_2 (Umweltmediums Luft), Chrom (Umweltmedium Wasser) sowie Nickel und Chrom (Lager) als wesentliche Verursacher der externen Kosten hervor. Für die im Rahmen dieser Untersuchung im weiteren erarbeiteten „modifizierten Kosten-Wirksamkeitsanalyse“ werden die externen Kosten in der vorliegenden Form nicht berücksichtigt, da die Vermeidung von schädlichen Umweltwirkungen ein Ziel des AWG ist, und daher die Zielerreichung (mehr oder weniger Schadstoffemissionen) auf der quantitativ und qualitativ zu bewertenden Nutzenseite (und bei den Szenarien) Berücksichtigung findet. Die hier erarbeitete Übersicht dient daher als Hintergrund- und Zusatzinformation in Bezug auf die Größenordnungen und das Verhältnis zwischen den einzelnen Kostenkomponenten.

11.4 Erlöse für Wertstoffe und Wärmelieferung

Als ergänzende Hintergrundinformation zu den bisher dargestellten Elementen der volkswirtschaftlichen Kosten zeigt Tabelle 11-7 die geschätzten Erlöse für Wertstoffe und Wärmelieferungen, die im Status Quo erzielt werden[5]. Diese Erlöse bilden nur eine Teilmenge der gesamten Erlöse, die im betrieblichen Prozess der Abfallwirtschaftsunternehmen generiert werden. Für das Jahr 2012 belaufen sich diese auf rund 850 Mio. EUR, wovon rund 790 Mio. EUR aus Prozessen der stofflichen Verwertung generiert werden und rund 56 Mio. EUR durch Wärmeerlöse. Der Löwenanteil entfällt mit rund 500 Mio. EUR auf die Wertstofferlöse, die durch den

[5] Die hier dargestellten Erlöse stellen einen Teil der Einnahmen abfallwirtschaftlicher Unternehmen dar; selbstverständlich stehen den Kosten (sowie den Ausgaben, die im Rahmen dieser Untersuchung nicht näher analysiert werden) entsprechende Einnahmen gegenüber (Finanzierung abfallwirtschaftlicher Prozesse beispielsweise in Form von Gebühren).

Verkauf von unterschiedlichen Altmetallen erzielt werden. Ebenfalls bedeutend sind Erlöse aus dem Verkauf von Altpapier mit rund 170 Mio. EUR sowie Altkunststofferlöse mit rund 66 Mio. EUR. Baurestmassen sind im Bereich der Sonstigen stofflichen Verwertung mit etwa 30 Mio. EUR die wichtigste Kategorie.

Tabelle 11-7: Erlöse für Wertstoffe und Wärmelieferungen in der österreichischen Abfallwirtschaft im Überblick (2012)

	Produkte zur Verwertung [t]	Erlöse [€]	Erlöse [€/t]
Metalle (1)	**2.100.000**	**500.000.000**	
Metallabfälle (Haushaltsschrott)	83.000	9.200.000	110
Metallabfälle (Metallverpackungen)	29.000	3.200.000	110
Metallabfälle (Altmetalle)	770.000	85.000.000	110
Metallabfälle (Aluminium, Aluminiumfolien)	110.000	95.000.000	850
Metallabfälle (Blei)	1.200	700.000	600
Metallabfälle (Eisen und Stahlabfälle)	850.000	93.000.000	110
Metallabfälle (Kupfer)	43.000	110.000.000	2.475
Metallabfälle (NE-Metallabfälle)	59.000	12.000.000	200
Metallabfälle (Nickel und nickelhaltige Abfälle)	23.000	76.000.000	3.300
Metallabfälle (weitere)	82.000	16.000.000	200
Metallabfälle (Zink, Zinkplatten)	2.600	2.400.000	900
Glas (2)	**220.000**	**5.400.000**	**25**
Papier (und Papierreste) (3)	**1.400.000**	**170.000.000**	**120**
Kunststoff (4)	**110.000**	**66.000.000**	**600**
Holz (5)	**100.000**	**2.100.000**	**20**
Sonstige Stoffliche Verwertung (6)	**7.000.000**	**53.000.000**	
davon: Baurestmassen	5.700.000	30.000.000	5,20
davon: Eisenschrott aus Behandlungsanlagen	110.000	13.000.000	110,00
Gesamt: Stoffliche Verwertung (1+2+3+4+5+6)	**11.000.000**	**790.000.000**	
Wärmeerlöse	3.000.000	56.000.000	17,50
Gesamt		**850.000.000**	

11.5 Volkswirtschaftliche Kosten im Überblick

Werden die drei betrachteten Bereiche – die Abfallwirtschaft im engeren Sinne, die Abfallwirtschaft im weiteren Sinne sowie die externen Kosten der Abfallwirtschaft – zusammen betrachtet ergibt sich folgendes aggregiertes Bild (Tabelle 11-8). Es handelt sich bei den angeführten „Kosten“ um den volkswirtschaftlichen Ressourcenverzehr (Ressourceninanspruchnahme) für die Zielerreichung des AWG durch die unterschiedlichen Akteure. Das sind Unternehmen in der Abfallwirtschaft ieS sowie Haushalte und sonstige Unternehmen. Die Finanzierung dieser Kosten, z.B. durch Gebühren, Beiträge und Steuern, bleibt unberücksichtigt.

Tabelle 11-8: Volkswirtschaftliche Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft im Überblick (2012)

		Mio. EUR
Kosten AWS (ieS)	**Gesamt (1)**	2.700
	Sammlung/Transport	1.500
	Behandlung/Entsorgung	1.200
Monetarisierte Beiträge AWS (iwS)	**Gesamt (2)**	3.780
	Haushalte	3.500
	Sonstige Unternehmen	280
Externe Kosten	**Gesamt (3)**	450
Gesamt		**7.000**

Die gesamten volkswirtschaftlichen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft wurden mit 7 Mrd. EUR abgeschätzt. Auffällig ist, dass dabei der volkswirtschaftliche Ressourcenverzehr der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne höher ausfällt als die internen Kosten der Abfallwirtschaft. Dies liegt allerdings nicht zuletzt an der hohen Bedeutung der Zeitkosten, insbesondere der Reparatur-Komponenten. Ob hier tatsächlich die volle Höhe

angesetzt werden kann, ist strittig. Weiters fällt der Beitrag, den die sonstigen Unternehmen im Rahmen ihres betrieblichen Abfallmanagements tätigen, im Vergleich zu den Haushalten relativ gering aus. Auch wenn die hier angegebenen 280 Mio. EUR eine absolute Untergrenze darstellen, ist die Rolle der Haushalte auch unter Abzug der strittigen Komponenten höher einzuschätzen. Schließlich scheinen die externen Kosten ebenfalls relativ gering auszufallen, wobei auch hier die Einschränkung gilt, dass die genannten 430 Mio. EUR aufgrund der begrenzten Anzahl an betrachteten Schadstoffen im System eine konservative Schätzung sind.

12 Modifizierte Kostenwirksamkeit

Die Ermittlung der modifizierten Kostenwirksamkeit (mKW) erfolgt mittels der in Kapitel 5.3.4 beschriebenen Methodik durch Division der Summe der Nutzenpunkte je AWG Ziel und der internen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft. Die Summe der Nutzenpunkte wird über die mittleren Nutzenpunkte je AWG Ziel errechnet. Die Kosten beinhalten Kosten für Sammlung und Transport, Behandlung und Entsorgung. Um die Auswirkung einer Gewichtung der Ziele und Indikatoren auf die Bewertungsergebnisse aufzuzeigen, werden im Folgenden die Ergebnisse einmal ohne Gewichtung und einmal mit Gewichtung dargestellt.

12.1.1 Modifizierte Kostenwirksamkeit - ohne Gewichtung

Je AWG Ziel konnten zwischen 2,8 und 8,7 von 10 möglichen Nutzenpunkten erreicht werden. In Summe können der österreichischen Abfallwirtschaft rund 32 Nutzenpunkte zugeordnet werden. Die internen Kosten für Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung betragen etwa 2,7 Mrd. EUR. Auf der in vorliegender Studie angenommenen (dimensionslosen) Bewertungsskala ergibt sich eine Kosten-Wirksamkeit (d.h. Nutzenpunkte/Mrd. EUR) von 11,8. Daraus lässt sich noch nicht schließen, ob der derzeitige Stand der Zielerreichung im Verhältnis zu den Kosten der Abfallwirtschaft effizient oder effektiv ist. Dieser Wert kann aber in Folge für den Vergleich der Kostenwirksamkeit bei Gewichtung herangezogen werden bzw. erlaubt dieser Wert einen Vergleich der Szenarien hinsichtlich der Kostenwirksamkeit.

Tabelle 12-1: modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) der österreichischen AWS ohne externe Gewichtung

mittlere Nutzenpunkte	
AWG Ziel 1	8,6
AWG Ziel 2	2,8
AWG Ziel 3	4,8
AWG Ziel 4	8,7
AWG Ziel 5	7,2
Summe	**32,0**

Kosten Mrd. EUR	
Behandlung/Entsorgung	1,2
Sammlung und Transport	1,5
Summe	**2,7**

mKW	11,8

12.1.2 Modifizierte Kostenwirksamkeit - mit Gewichtung

12.1.2.1 Ergebnisse der externen Gewichtung

Die Gewichtung erfolgte auf Basis einer Stakeholder-Befragung. In Summe konnten acht Rückmeldungen berücksichtigt werden. Die Gewichtung war sowohl Top-Down (AWG Ziel→Indikatorensammlung) als auch Bottom-Up (Indikatorensammlung→ AWG Ziel) möglich. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Gewichtung auf den drei Ebenen (AWG Ziel, Unterziel und Indikatorensammlung) im Detail dargestellt.

Tabelle 12-2: externe Gewichtung auf Ebene der AWG Ziele

AWG Ziel	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	Mittelwert	STABW
AWG 1: Schutz Mensch, Tier Umwelt	*30*	*25*	*30*	*25*	*28*	*10*	*40*	*30*	27	9
AWG 2: Reduktion klimarelevanter Gase/Luftschadstoffe	*15*	*20*	*20*	*20*	*28*	*10*	*20*	*20*	19	6
AWG 3: Ressourcenschonung	*25*	*20*	*20*	*20*	*5*	*30*	*30*	*25*	22	9
AWG 4: keine Gefährdung durch Recycling	*5*	*20*	*10*	*10*	*15*	*30*	*10*	*15*	14	8
AWG 5: nachsorgefreie Deponie	*25*	*15*	*20*	*25*	*24*	*20*	*0*	*10*	17	9

Tabelle 12-3: Externe Gewichtung auf Ebene der Unterziele

Unterziel	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	Mittelwert	STABW
Verringerung der direkten Einwirkung auf den Menschen	*15*	*13*	*15*	*13*	*14*	*5*	*20*	*15*	13	4
Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	*15*	*13*	*15*	*13*	*14*	*5*	*20*	*15*	13	4

Unterziel	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	Mittelwert	STABW
Verringerung von klimarelevanten Emissionen	8	10	10	10	14	5	10	10	10	3
Verringerung von Luftschadstoffen	8	10	10	10	14	5	10	10	10	3
Schonung von Rohstoffen	8	7	7	7	2	10	10	8	7	3
Schonung von Energie	8	7	7	7	2	10	10	8	7	3
Schonung von Deponievolumen	8	7	7	7	2	10	10	8	7	3
Reduktion von Schadstoffen in Sekundärrohstoffen	5	20	10	10	15	30	10	15	16	7
Reduktion der Schwermetallfrachten in Deponien	13	8	10	13	12	10	0	5	8	4
Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien	13	8	10	13	12	10	0	5	8	4
SUMME	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	

Tabelle 12-4: externe Gewichtung auf Ebene Indikatorensammlung

Indikatorensammlung	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	Mittelwert	STABW
Humantoxizität [kg 1,4-DCB eq/a]	15	15	20	15	14	5	30	20	**17**	**8**
Terrestrische Versauerung [kg SO_2 eq/a]	2	2	2	2	3	1	2	2	**2**	**1**
Photooxidantienpotential [kg NMVOC/a]	2	2	2	2	3	1	2	2	**2**	**1**
Treibhauspotential [kg CO_2 eq/a]	3	2	2	2	3	3	5	2	**3**	**1**
Ozonabbau [kg CFC-11 eq/a]	6	2	2	2	4	1	2	2	**2**	**1**
Eutrophierung [kg P-eq/a]	2	2	2	2	1	1	2	2	**2**	**1**
klimarelevante Emissionen (exkl. Ökobilanz-Gutschriften) [kg CO_2 eq/a]	5	10	10	10	8	7	5	10	**9**	**2**
Luftschadstoffe [kg SO_2,kg NO_x, kg PM10eq/a]	10	10	10	10	20	3	10	10	**10**	**5**
Sekundärprodukte - Metalle [t/a]	8	2	3	3	1	4	3	2	**3**	**1**
Sekundärprodukte - Glas [t/a]	1	2	3	1	1	4	3	2	**2**	**1**
Sekundärprodukte - Papier [t/a]	1	1	1	1	1	4	3	2	**2**	**1**
Sekundärprodukte - Kunststoffe [t/a]	1	2	1	3	1	1	3	2	**2**	**1**
Sekundärprodukte - Holz [t/a]	1	1	1	1	1	1	3	1	**1**	**1**
Sekundärprodukte - Textilien [t/a]	1	2	1	1	0	1	3	1	**1**	**1**
Energieverbrauch [MWh/a]	5	4	4	3	2	3	5	6	**4**	**1**
Energieerzeugung [MWh/a]	2	4	4	2	0	4	4	4	**3**	**2**
abgelagertes Abfallvolumen [m³/a]	5	2	2	5	2	3	5	5	**3**	**2**
Schadstoffe in Kunststoffabfällen/Sekundärkunststoff	1	5	2	3	3	5	1	4	**3**	**2**
Schadstoffe im Kompost: Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn [mg/kg]	2	6	3	3	5	10	1	3	**4**	**3**
Schadstoffe in Recycling –Baustoffen: As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, KW-Index, ∑ PAK [mg/kg]	1	4	3	2	5	10	1	4	**4**	**3**
Schadstoffe in Altholz zur stofflichen Verwertung: As, Cd, Cl, Cr, F, Hg, Pb, Zn, ∑ PAK [mg/kg]	1	5	2	2	3	5	1	4	**3**	**2**
Schwermetalle: Cr, Cd, Cu, Hg, Nu, Pb, Zn [kg/a]	15	3	10	15	7	5	2	4	**7**	**5**
Sickerwasseremissionen: TOC, NH_4, Cr, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn [kg/a]	6	4	10	7	3	10	3	3	**6**	**3**
Deponiegasemissionen: CH_4, CO_2 [kg CO_2 eq/a]	4	8	0	3	12	10	1	3	**5**	**5**
SUMME	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	

Das AWG Ziel 1 wird am stärksten gewichtet. Vor allem das Unterziel „Verringerung der Einwirkungen auf den Menschen“ mit dem Indikator Humantoxizität wird mit 17 von insgesamt 100 Punkten als am wichtigsten eingestuft. Dies zeigt, dass die Anforderung der Abfallwirtschaft vor allem im generellen Schutz des Menschen gesehen wird. Alle Rückmeldungen mit nur einer Ausnahme waren sich in dieser Hinsicht einig. Der Bereich Schonung von Ressourcen (AWG Ziel 3) wurde auch als wichtig eingestuft, wobei speziell die Bereiche Energie und Deponievolumen sowie die Bereitstellung von Sekundärmetallen zu nennen sind. AWG Ziel 2 und 5, welche Emissionen aus der gesamten Abfallwirtschaft sowie langfristige Emissionen aus Deponien betrachten, werden mit 19 bzw. 17 Punkten gewichtet. Im Mittel werden Emissionen in die Luft oder ins Wasser als gleich wichtig bewertet. Das AWG Ziel 4, welches das Gefährdungspotential durch die stoffliche Verwertung beschreibt, wurde als am wenigsten wichtig bewertet. Wobei den Schadstoffgehalten von Kompost bzw. Recycling-Baustoffen eine etwas höhere Gewichtung als den Schadstoffgehalten in Kunststoffabfällen/ Sekundärkunststoffen und Altholz zur stofflichen Verwertung zugeordnet wurde. Die Standardabweichung in Prozent ist bei AWG Ziel 4 am größten. Bei allen Zielen beträgt die Standardabweichung mindestens 30 %. Im Mittel ergibt sich folgende Gewichtung.

Tabelle 12-5: mittlere Gewichtung der Stakeholderbefragung

AWG Ziele	Unterziel	Indikatorensammlung	Gewichtung		
			AWG Ziele	Unter-ziele	Indi-katoren
...schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden werden.	Verringerung der direkten Einwirkung auf den Menschen	Humantoxizität [kg 1,4-DCB eq/a]	*28*	*17*	*17*
	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Terrestrische Versauerung [kg SO_2 eq/a]		*11*	*2*
		Photooxidantienpotential [kg NMVOC/a]			*2*
		Klimawandel (inkl. Ökobilanz-Gutschriften) [kg CO_2 eq/a]			*3*
		Ozonabbau [kg CFC-11 eq/a]			*3*
		Eutrophierung [kg P-eq/a]			*2*
...die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden.	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	klimarelevante Emissionen (exkl. Ökobilanz-Gutschriften) [kg CO_2 eq/a]	*19*	*8*	*8*
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe [kg SO_2,kg NO_x, kg PM10eq/a]		*10*	*10*
...Ressourcen geschont werden.	Schonung von Rohstoffen	Sekundärprodukte - Metalle [t/a]	*22*	*11*	*3*
		Sekundärprodukte - Glas [t/a]			*2*
		Sekundärprodukte - Papier [t/a]			*2*
		Sekundärprodukte - Kunststoffe [t/a]			*2*
		Sekundärprodukte - Holz [t/a]			*1*
		Sekundärprodukte - Textilien [t/a]			*1*
	Schonung von Energie	Energieverbrauch [MWh/a]		*7*	*4*
		Energieerzeugung [MWh/a]			*3*
	Schonung von Deponievolumen	abgelagertes Abfallvolumen [m³/a]		*4*	*4*
...bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen.	Reduktion von Schadstoffen in Sekundärrohstoffen	Schadstoffe in Kunststoffabfällen/Sekundärkunststoffen [mg/kg]	*14*	*14*	*3*
		Schadstoffe im Kompost Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn [mg/kg]			*4*
		Schadstoffe in Recycling-Baustoffen As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, KW Index, ∑ PAK [mg/kg]			*4*
		Schadstoffe im Altholz zur stofflichen Verwertung As, Cd, Cr, F, Hg, Zn, ∑ PAK [mg/kg]			*3*
...nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.	Reduktion der Schwermetall-frachten in Deponien	Schwermetalle: Cr, Cd, Cu, Hg, Nu, Pb, Zn [kg/a]	*19*	*8*	*8*
	Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien	Sickerwasseremissionen: TOC, NH4, Cr, Cd, Cu, Hg, Nu, Pb, Zn [kg/a]		*11*	*6*
		Deponiegasemissionen: CH_4, CO_2 [kg CO_2 eq/a]			*5*
			100	**100**	**100**

Wie in Kapitel 5.4 im Detail beschrieben, war es nicht möglich für jeden Indikator einen Benchmark zu definieren. Aus diesem Grund können die Indikatoren Humantoxizität, Ozonabbau, Energieerzeugung, Textilien-Sekundär, und Schadstoffe in Kunststoffabfällen/Sekundärkunststoffen nicht für die zusammenfassende Bewertung verwendet werden. In Tabelle 12-6 sind die Ergebnisse der Gewichtung dargestellt, wenn die nicht bewerteten Indikatoren nicht berücksichtigt werden. Speziell durch die Reduzierung der Bewertung um den Faktor Humantoxizität ergibt sich ein anderes Bild für die Bewertung. Für die Zukunft wird es deshalb wichtig sein die Humantoxizität für eine gesamthafte Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft einzubinden.

Tabelle 12-6: Reduzierte Gewichtung

AWG Ziele	Unterziel	Indikatorensammlung	Gewichtung		
			AWG Ziele	Unter-ziele	Indi-katoren
...schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden werden.	Verringerung der direkten Einwirkung auf den Menschen	Humantoxizität [kg 1,4-DCB eq/a]	8		
	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Terrestrische Versauerung [kg SO_2 eq/a]		8	2
		Photooxidantienpotential [kg NMVOC/a]			2
		Klimawandel (inkl. Ökobilanz-Gutschriften) [kg CO_2 eq/a]			3
		Ozonabbau [kg CFC-11 eq/a]			
		Eutrophierung [kg P-eq/a]			2
...die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden.	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	klimarelevante Emissionen (exkl. Ökobilanz-Gutschriften) [kg CO_2 eq/a]	19	8	8
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe [kg SO_2,kg NO_x, kg PM10eq/a]		10	10
...Ressourcen geschont werden.	Schonung von Rohstoffen	Sekundärprodukte - Metalle [t/a]	*18*	*10*	*3*
		Sekundärprodukte - Glas [t/a]			*2*
		Sekundärprodukte - Papier [t/a]			*2*
		Sekundärprodukte - Kunststoffe [t/a]			*2*
		Sekundärprodukte - Holz [t/a]			*1*
		Sekundärprodukte - Textilien [t/a]			
	Schonung von Energie	Energieverbrauch [MWh/a]		*4*	*4*
		Energieerzeugung [MWh/a]			
	Schonung von Deponievolumen	abgelagertes Abfallvolumen [m³/a]		*4*	*4*
...bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen.	Reduktion von Schadstoffen in Sekundärrohstoffen	Schadstoffe in Kunststoffabfällen/Sekundärkunststoffen [mg/kg]	11	11	
		Schadstoffe im Kompost Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn [mg/kg]			4
		Schadstoffe in Recycling-Baustoffen As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, KW Index, ∑ PAK [mg/kg]			4
		Schadstoffe im Altholz zur stofflichen Verwertung As, Cd, Cr, F, Hg, Zn, ∑ PAK [mg/kg]			3
...nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.	Reduktion der Schwermetall-frachten in Deponien	Schwermetalle: Cr, Cd, Cu, Hg, Nu, Pb, Zn [kg/a]	19	8	8
	Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien	Sickerwasseremissionen: TOC, NH4, Cr, Cd, Cu, Hg, Nu, Pb, Zn [kg/a]		11	6
		Deponiegasemissionen: CH_4, CO_2 [kg CO_2 eq/a]			5
			73,50	**73,50**	**73,50**

12.1.2.2 Ergebnisse der mKWA mit Gewichtung

Unter Berücksichtig der gesamten Gewichtung der Stakeholder (siehe Tabelle 12-5) und der reduzierten Gewichtung (siehe Tabelle 12-6) können folgende modifizierten Kostenwirksamkeiten ermittelt werden (siehe Abb. 12-1).

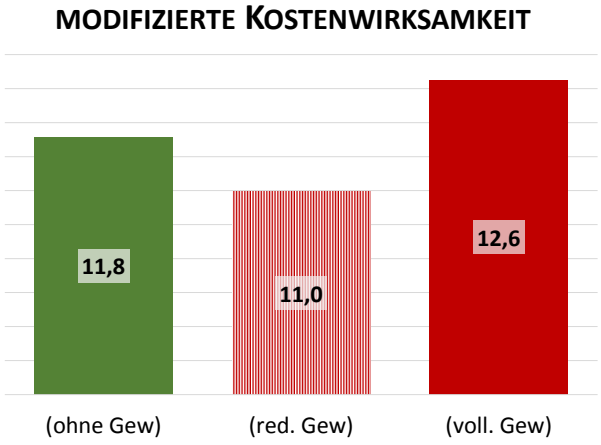


Abb. 12-1: modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) ohne Gewichtung, reduzierte und vollständiger Gewichtung

Es ist zu erkennen, dass bei der reduzierten Gewichtung die mKW gegenüber dem Status Quo ohne Gewichtung sinkt - allerdings bei Betrachtung der vollständigen Gewichtung die mKW steigt. Dies ist vor allem bedingt durch die hohe Gewichtung Humantoxizität innerhalb von AWG Ziel 1 durch die externen Stakeholder (siehe auch Gewichtung auf Indikatoren-Ebene in Tabelle 12-4). Wird diese und weitere Gewichtungen aus der Berechnung ausgenommen, da keine Indikatoren dafür definiert werden konnten, sinkt die mKW. Wenn allerdings davon ausgegangen wird, dass die Stakeholder AWG Ziel 1 als sehr wichtig einstufen (siehe auch Gewichtung auf AWG Ziel-Ebene in Tabelle 12-2) wird die mKW der Abfallwirtschaft erhöht, da in der Bewertung AWG Ziel 1 hohe Nutzenpunkte erzielt.

Wie bereits im methodischen Teil dieser Untersuchung ausgeführt, lässt sich aus den bisherigen Darstellungen noch kein Rückschluss auf die Effizienz der Abfallwirtschaft bzw. der Zielerreichung des AWG treffen; es ist somit keine absolute Beurteilung möglich – Schlussfolgerungen können erst im Vergleich unterschiedlicher Szenarien und Sensitivitätsanalysen gezogen werden.

12.1.2.3 Einfluss der Gewichtung

Um die Auswirkung der externen Gewichtung auf die Beurteilung der österreichischen Abfallwirtschaft aufzuzeigen, erfolgte - neben der tatsächlichen externen Gewichtung - im Sinne einer Sensitivitätsanalyse auch eine Gewichtung mit Extremwerten (siehe Abb. 12-2).

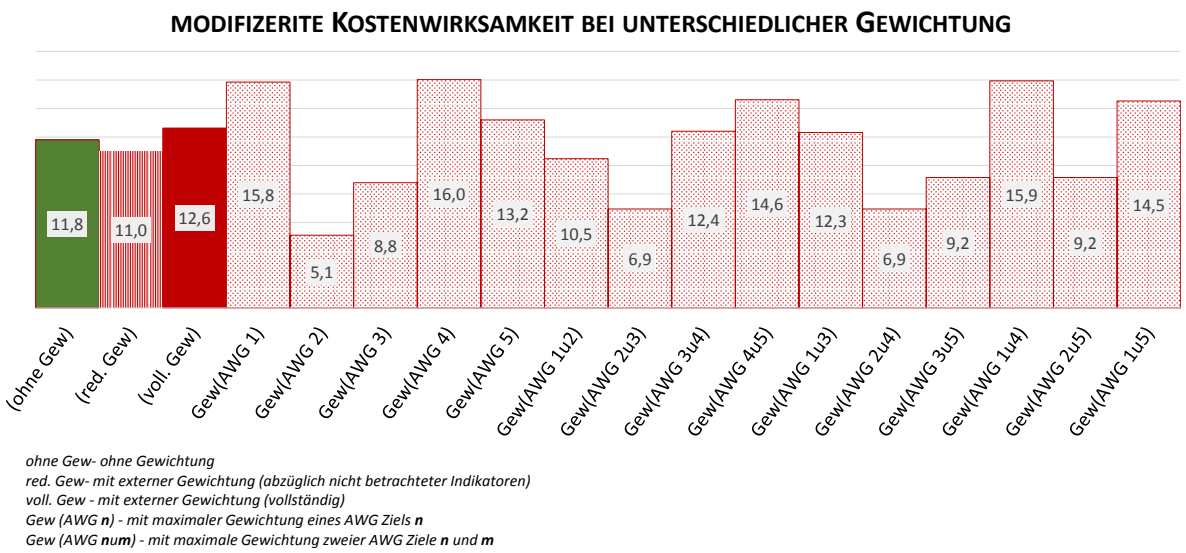


Abb. 12-2: modifizierte Kostenwirksamkeit bei unterschiedlicher Gewichtung

Gegenübergestellt werden der Status Quo ohne und mit externer Gewichtung, sowie mit einer maximalen Gewichtung eines AWG Ziels und der maximalen Gewichtung zweier AWG Ziele. Zu erkennen ist, dass die maximale Gewichtung von AWG Ziel 2 zu der niedrigsten mKW führt. Wiederum die maximale Gewichtung von AWG Ziel 4 die höchste mKW bedingt. Werden zwei Ziele hoch gewichtet führt die Kombination von AWG Ziel 1 und 4 zur höchsten Kostenwirksamkeit. Damit zeigt sich, dass AWG Ziele mit hohen Nutzenpunkten auch den stärksten Einfluss auf die mKW aufweisen. Die mKW liegt je nach angenommener Gewichtung zwischen 5 und 16. Damit ist zu erkennen, dass eine Gewichtung das Ergebnis (= mKW) deutlich beeinflussen und damit verändern kann.

13 Szenarienanalyse

13.1 Erläuterungen zur Szenarien-Bildung

Ziel der Studie ist es mittels Benchmarks zu analysieren, ob bzw. in welchem Ausmaß die Ziele des AWG eingehalten werden und zu welchen volkswirtschaftlichen Kosten das erfolgt. Nach Ermittlung des Status Quo wurde eine Defizitanalyse bezüglich der Zielerreichung durchgeführt. Anschließend wurden auf Basis dieser Defizitanalyse spezifische „Schwerpunkt-Szenarien“ definiert.

13.1.1 Berücksichtigte Abfallarten und Prozesse

Für die Bewertung des Status Quo kommen je nach AWG Ziel unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Hinsichtlich der Datengrundlage darf angemerkt werden, dass in Summe rund 17 Mio. Tonnen Abfälle quantitativ berücksichtigt werden. Nicht berücksichtigt werden unter anderem Aushubmaterialien, Altfahrzeuge, Baustellenabfälle (kein Bauschutt), medizinische Abfälle und Straßenkehricht. Die im Status Quo nicht berücksichtigten Abfallarten konnten dementsprechend auch nicht mittels Szenarien abgebildet werden (siehe Kapitel 8.2.2 bis 8.2.4).

13.1.2 Berücksichtigte Faktoren zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der österreichischen Abfallwirtschaft erfolgt in dieser Studie auf Basis der volkswirtschaftlichen Kosten. Diese setzen sich aus internen und externen Kosten zusammen. Für die Berechnung der Kostenwirksamkeit werden nur die internen Kosten herangezogen.

13.1.3 Betrachtete Szenarien

Vor dem Hintergrund der vorhandenen Datenlage und der möglichen Abbildbarkeit der Effekte der Szenarien mit den gewählten Methoden wurden vom Projektteam drei Szenarien mit unterschiedlichen Schwerpunkten definiert.

Tabelle 13-1: betrachte Szenarien

Szenario	Eckpunkte
1. Wirtschaftlichkeit (W1)	Der Fokus liegt hierbei bei der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Sinne einer Kosteneinsparung
2. Ressourcenschonung (R2)	In diesem Szenario soll eine verbesserte Ressourcenschonung erreicht werden.
3. Schadstoffminimierung und Nachsorgefreiheit (N3)	Der Schwerpunkt liegt hier auf der Verringerung der Umweltauswirkungen und auf Nachsorgefreiheit

Um Unterschiede unter den gegebenen Voraussetzungen und mit den gewählten Bewertungsmethoden auch tatsächlich abbilden zu können, war es nötig zum Teil die rechtlichen Voraussetzungen außer Acht zu lassen. Alle Szenarien sind nicht als realistische Szenarien anzusehen – sie dienen dazu, Systemverständnis zu gewinnen und um im Anschluss ein finales „optimiertes“ Szenario abzuleiten.

13.2 Beschreibung der Szenarien

13.2.1 Szenario W1: Wirtschaftlichkeit

Aufgrund der Erkenntnisse abgeleitet hauptsächlich aus Kapitel 10 werden zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit bei folgenden Akteuren bzw. Prozessen Änderungen vorgenommen:

i. bei den Haushalten (Abfallwirtschaft im weiteren Sinne),

ii. bei Sammlung und Transport, sowie

iii. bei einzelnen Prozessen der Abfallbehandlung und -entsorgung.

ad (i): Bei der Betrachtung der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne spielen Haushalte und ihre Kosten eine in der Regel wenig betrachtete Rolle. Die monetarisierten Leistungen (insb. Zeitkosten) für die haushaltsinterne Abfallwirtschaft (z.B. getrennte Sammlung) sind mit geschätzten 3,5 Mrd. EUR pro Jahr beachtlich. Wenn man diese Kosten in Rechnung stellen würde, könnte eine mögliche Kostenreduktion darin bestehen, die Sammel-/Trennsysteme zu vereinfachen und damit den Haushalten wesentliche Zeitkosten (Sortierung) und Raumkosten zu ersparen. Konkret werden im vorliegenden Szenario in der haushaltsnahen Sammlung nur Papier-, Glas, Holz und sperrige Abfälle weiter getrennt, während die übrigen Kategorien als Restmüll ungetrennt gesammelt werden. Den bei den Haushalten sowie bei Sammlung/Transport eingesparten Kosten stehen entsprechende Änderungen in der Behandlung gegenüber, und somit Kosten-/Mengenänderungen in der Abfallwirtschaft im engeren Sinne. Im Detail erfolgt folgende Änderung der getrennten Abfallsammlung in Szenario W1. Zu beachten ist dabei, dass die Abfallarten Alttextilien, EAG und Problemstoffe in der Bewertung hinsichtlich AWG Ziel 1 und 2 mittels Ökobilanz nicht berücksichtigt werden konnten.

Tabelle 13-2: Szenario W1: Änderung der HH-Abfallsammlung

	Abfälle aus Haushalten (Status Quo) [t]	Abfälle aus Haushalten (Szenario W1) [t]
Altglas	217.000	217.000
Altholz	221.000	221.000
Altmetalle HH	117.000	0
Altpapier	638.000	638.000
Alttextilien	27.000	0
EAG	77.000	0
biogene Abfälle	790.000	0
Kunststoffabfälle	21.000	0
Leichtfraktion	133.000	0
Problemstoffe	21.000	0
Restmüll	1.412.000	2.598.000
Sperrmüll	241.000	241.000
SUMME	**3.915.000**	**3.915.000**

ad (ii): Der aggregierte Bereich Sammlung/Transport stellt kostenmäßig einen bedeutenderen Bereich als die Behandlung der Abfälle dar. Im Bereich Sammlung/Transport würde die unter (i) vorgeschlagene Änderung bei den Haushalten eine entsprechende Vereinfachung der Sammelsysteme bedeuten.

ad (iii): Bei den Prozessen der Abfallbehandlung und -entsorgung ergeben sich bei Szenario W1 folgende Änderungen:

- Die relativ teure Aufbereitung/Sortierung von Altkunststoffen wird durch eine thermische Behandlung ersetzt.
- Elektrokleingeräte werden einer thermischen Behandlung zugeführt, da die Behandlung von EAG die höchsten Kosten je behandelter Tonne aufweist (mit Ausnahme der Großgeräte). Aufgrund der behandelten Mengen dürften die Kostenauswirkungen im Gesamtsystem allerdings gering ausfallen.
- Die mechanisch-biologische Behandlung von gemischten Siedlungsabfällen entfällt und wird durch eine thermische Behandlung ersetzt.
- Die mechanische Aufbereitung von Siedlungsabfällen entfällt, da die Abfälle ohne weitere Aufbereitung direkt einer thermischen Behandlung zugeführt werden.
- Da die biogenen Abfälle aus Haushalten nicht getrennt erfasst werden, erfolgt auch keine biotechnische Behandlung dieser Abfälle

Im Detail werden folgende Änderungen hinsichtlich der Abfallbehandlung in Szenario W1 vorgenommen.

Tabelle 13-3: Szenario 1: Änderung der Abfallbehandlung

	Abfallbehandlung (Status Quo) [t]	Abfallbehandlung (Szenario W1) [t]
Sortieranlagen von Kunststoffabfälle	300.000	0
Mechanisch-biologische Anlagen	500.000	0
Mechanische Abfallaufbereitung	1.000.000	0

Die Kunststoffabfälle werden nicht mehr getrennt erfasst, sondern gemeinsam mit dem Restabfall direkt thermisch behandelt. Die derzeit mechanisch-biologischen Anlagen bzw. nur mechanischen Anlagen zugeführten Abfällen werden in Abfallverbrennungsanlagen eingebracht.

13.2.2 Szenario R2: Ressourcenschonung

Ziel dieses Szenarios ist die Ressourcenschonung, in erster Linie durch eine Erhöhung der Recyclingrate. Dort wo Recycling nicht möglich ist, werden sie als Ersatzbrennstoffe thermisch behandelt. Die Ressourcenschonung kann verbessert werden, indem die in den Abfallströmen enthaltenen Wertstoffe verstärkt getrennt erfasst werden.

Entscheidend für die Definition des Szenarios ist das vorhandene „Wertstoffpotential“ (hier definiert als: getrennt erfasste Menge + Mengen in anderen Abfallströmen) und der daraus abgeleitete „Erfassungsgrad“; (hier definiert als: getrennt gesammelte Menge/Wertstoffpotential). Im Szenario R2 werden daher die Erfassungsquoten entsprechend erhöht. Dadurch erfolgen Verlagerungen von gemischten Abfallströmen hin zu getrennt erfassten Abfallströmen, die verbleibenden gemischten Fraktionen zur Entsorgung verringern sich entsprechend. Für die optimierten Erfassungsgrade wurde folgendes angenommen:

- 50 % der relevanten Fraktionen im Restmüll und Sperrmüll aus Hauhalten werden zusätzlich getrennt gesammelt, und
- 80 % der relevanten Fraktionen im Gewerbe- und Industriemüll werden zusätzlich getrennt gesammelt.

In folgender Tabelle ist die Erhöhung der getrennt erfassten Sammelmengen auf Basis von Abfallanalysen (Pladerer et al. 2001, Kranert 2006, BMLFUW 2014a) dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass die Abfallarten Alttextilien, EAG und Problemstoffe sowie die stoffliche Verwertung von Altholz in der Bewertung hinsichtlich AWG Ziel 1 und 2 mittels Ökobilanz nicht berücksichtigt werden konnten.

Tabelle 13-4: Erhöhung des Erfassungsgrades für Rest-, Sperr und Gewerbemüll im Szenario R2

	Status Quo		Änderung +50%
Restmüllanalyse	**%**	**[t]**	**[t]**
Altglas	4,2	59.000	30.000
Altholz	1,3	18.000	9.200
Altmetalle HH	4	57.000	28.000
Altpapier	10,6	150.000	75.000
Alttextilien	5,2	73.000	37.000
EAG	0,8	11.000	5.700
Kunststoff	15,6	220.000	110.000
Bio	27,6	390.000	190.000
Problemstoffe	0,4	5.700	2.800
Rest	30,3	430.000	
Summe	**100**	**1.400.000**	**490.000**

	Status Quo		Änderung +50%
Sperrmüllanalyse	**%**	**[t]**	**[t]**
Altglas	0		
Altholz	32,73	79.000	39.000
Altmetalle HH	0,61	1.500	740
Altpapier			
Alttextilien			
EAG	0,3	720	360
Kunststoff	4,96	12.000	6.000
Bio			
Problemstoffe	0,02	48	24
Rest	61,38	150.000	
Summe	**100**	**240.000**	**47.000**

	Status Quo		Änderung +80%
Gewerbemüllanalyse	**%**	**[t]**	**[t]**
Papier, Pappe, Karton	37,3	210.000	160.000
Glas	3,9	22.000	17.000
Kunststoffe	8,3	46.000	37.000
Metalle (Fe, NE)	3,5	19.000	15.000
Holz	3,9	22.000	17.000
Textilien	0,6	3.300	2.600
Rest	42,5	230.000	
Summe	**100**	**550.000**	**250.000**

Daraus ergeben sich folgende neue Erfassungsgrade und getrennt gesammelte Abfallmengen für das Szenario Ressourcenschonung.

Tabelle 13-5: Geänderte Erfassungsgrade für Szenario R2 – getrennt gesammelte Abfälle aus Haushalten

	Status Quo: getrennt gesammelte Altstoffe aus HH [t]	Erfassungsgrad (Status Quo) %	Szenario R2: getrennt gesammelte Altstoffe aus HH [t]	Erfassungsgrad (Szenario R2) %
Altglas	220.000	79 %	250.000	89 %
Altholz	220.000	69 %	270.000	85 %
Altmetalle HH	120.000	67 %	150.000	83 %
Altpapier	640.000	81 %	710.000	90 %
Alttextilien	27.000	27 %	64.000	64 %
EAG	76.000	86 %	82.000	93 %
Kunststoff	150.000	40 %	270.000	70 %
Bio	790.000	67 %	990.000	83 %
Problemstoffe	21.000	78 %	24.000	89 %

Die Mengen für Sperrmüll und Restmüll ändern sich wie folgt.

Tabelle 13-6: Geänderte Menge für Sperrmüll und Restmüll - Szenario R2

	(Status Quo) [t]	(Szenario R2) [t]
Restmüll	1.400.000	920.000
Sperrmüll	240.000	190.000

Tabelle 13-7: Geänderte Erfassungsgrade für Szenario R2 - getrennt gesammelte Altstoffe aus Gewerbe und Industrie

	Status Quo: getrennt gesammelte Altstoffe aus G&I [t]	Erfassungsgrad (Status Quo) %	Szenario R2: getrennt gesammelte Altstoffe aus G&I [t]	Erfassungsgrad (Szenario R2) %
Altpapier	810.000	80 %	970.000	96 %
Altglas	69.000	76 %	86.000	95 %
Kunststoffe	42.000	48 %	78.000	90 %
Altmetalle	840.000	98 %	850.000	100 %
Altholz	140.000	87 %	160.000	97 %
Alttextilien	9.300	74 %	12.000	95 %

Die Mengen für Gewerbemüll ändern sich wie folgt:

Tabelle 13-8: Geänderte Menge für Gewerbemüll - Szenario R2

	Status Quo [t]	Szenario R2 [t]
Gewerbemüll	550.000	300.000

Hinsichtlich der Prozessoptimierung werden folgende Änderungen vorgenommen:

- Kunststoffabfälle
  - Verdopplung der stofflichen Verwertung durch Verlagerung von thermischer zu stofflicher Verwertung. Das bedeutet:
  - Stoffliche Verwertung:
    - Status Quo: 105.000 t
    - Szenario R2: 210.000 t
  - (Diese Änderung erfordert massive Umstellung der Aufbereitungsanlagen)
- Holzabfälle
  - Verlagerung von thermischer zu stofflicher Verwertung
  - Stoffliche Verwertung:
    - Status Quo: 265.000 t
    - Szenario R2: 530.000 t
- Biogene Abfälle
  - Zweistufige Behandlung der biogenen Abfälle: zuerst Vergärung zur Erzeugung von Biogas (Ressourcenschonung durch Gewinnung und Nutzung von Energiepotentialen, die bei der alleinigen Kompostierung verloren gehen). Anschließend Kompostierung der Gärreste zur stofflichen Verwertung.
  - Verschiebung der Abfälle, welche derzeit der Kompostierung zugeführt werden zu den Biogasanlagen
  - Input in Biogasanlagen
    - Status Quo: 100.000 t
    - Szenario R2: 1.100.000 t
- Aschen und Schlacken
  - Die Verwertung von Aschen und Schlacken wird um 50 % erhöht.

13.2.3 Szenario N3: Schadstoffminimierung und Nachsorgefreiheit

Bei diesem Szenario geht es einerseits um eine Minimierung von Schadstoffen in Produkt- und Wirtschaftskreisläufen. Andererseits sollen Schadstoffe in Abfällen zerstört (organische Schadstoffe) oder deponiert (anorganische Schadstoffe) werden.

Für die Behandlung von Rest- und Sperrmüll aus Haushalten wird ausschließlich Verbrennung vorgesehen. So wird der maximale Energieinput mit minimalem Aufwand erreicht, und es kommen keine MBA-Materialien zur Ablagerung, was zur Verringerung der Deponiegasemissionen führt. Um die Verteilung von Schadstoffen in den Produktkreisläufen zu vermeiden, werden brennbare Abfallbestandteile (z.B. Holz, Kunststoffe, biogene Abfälle, Papier, etc.) nicht mehr getrennt gesammelt, sondern energetisch gemeinsam mit dem Rest- und Sperrmüll behandelt.

In Summe werden somit alle Abfälle aus Haushalten (rd. 4 Mio. Tonnen) sowie die getrennt gesammelten Altstoffe (rd. 2 Mio. Tonnen) aus Gewerbe und Industrie thermisch behandelt. Im Detail werden in folgender Tabelle gelistete Abfälle thermisch behandelt. Zu beachten ist auch hier, dass die Abfallarten Alttextilien, Batterien, EAG und Problemstoffe sowie die stoffliche Verwertung von Altholz in der Bewertung hinsichtlich AWG Ziel 1 und 2 mittels Ökobilanz nicht berücksichtigt werden konnten.

Tabelle 13-9: thermisch behandelte Abfälle in Szenario N3

Abfallfraktion	Abfälle aus HH [t]	Abfälle aus G&I [t]	weitere Abfälle [t]
Altöle und Altschmierstoffe			48.000
Batterien			17.000
biogene Abfälle	790.000		700.000
EAG	76.000		3.700
Eisen- Stahl und weitere Metallabfälle	120.000	840.000	3.000
Problemstoffe	21.000		7.200
Glasabfälle	220.000	69.000	11.000
Holzabfälle	220.000	140.000	640.000
Kunststoffabfälle	150.000	42.000	160.000
öl verunreinigter Böden			190.000
Papierabfälle	640.000	810.000	600.000
Restmüll	1.400.000		550.000
Sperrmüll	240.000		89.000
Textilabfälle	27.000	9.300	4.200
Wasch- und Prozesswässer			7.700
weitere gefährliche Abfälle			290.000
Summe	**3.900.000**	**1.900.000**	**3.300.000**

Die einzelnen Abfallfraktionen werden folgenden thermischen Behandlungsanlagen zugeordnet

Tabelle 13-10: thermische behandelte Abfälle je Verbrennungsanlagentyp in Szenario 3

Abfallfraktion	VfS R	VfS W	tb Zement	tB Papier	tB Holz	tb-DRO	tb W
	[%]						
Altöle und Altschmierstoffe			50			25	25
Batterien	25	25				25	25
biogene Abfälle	66	34					
EAG	66	34					
Eisen- Stahl und weitere Metallabfälle	66	34					
Problemstoffe	25	25				25	25
Glasabfälle	66	34					
Holzabfälle	40	40			20		
Kunststoffabfälle	25	25	50				
öl verunreinigter Böden	66	34					
Papierabfälle	40	40		20			
Restmüll	66	34					

Abfallfraktion	VfS R	VfS W	tb Zement	tB Papier	tB Holz	tb-DRO	tb W
	[%]						
Sperrmüll	66	34					
Textilabfälle	66	34					
Wasch- und Prozesswässer	25	25				25	25
weitere gefährliche Abfälle	25	25				25	25

VfS R (Verbrennung von Siedlungsabfällen - Rostfeuerung), VfS W (Verbrennung von Siedlungsabfällen – Wirbelschicht), tB(thermische Behandlung) DRO (Drehrohrofen) W (Wirbelschicht)

Um Verlagerungen von Schwermetallen aus Deponien (z.B. durch Erosion) zu verhindern und um die Schwermetallfrachten aus dem Deponiesickerwasser ins Grundwasser zu verringern, wird ein entsprechend niedrigeres Schadstofffreisetzungsverhalten von Deponien angesetzt. Dies erfolgt durch die Verlängerung der Nachsorgephase von angenommen 100 Jahren auf 500 Jahre und einer damit verbundenen Verlängerung der Funktionstüchtigkeit technischer Einrichtungen sowie einer Verlängerung der Sickerwasseraufbereitung. Details zu den Modelldeponien finden sich in Kapitel 6.6.3. Auf Basis von Kranert und Cord-Landwehr (2010) betragen die Nachsorgekosten rund ein Viertel der gesamten Deponiekosten. Aufgrund der veränderten Nachsorgedauer werden deshalb die Nachsorgekosten verfünffacht. Für Szenario N3 ergibt dies in Summe Kosten für die Deponierung je nach Deponietyp zwischen 35 und 150 EUR pro Tonne.

13.3 Ergebnisse der Szenarienanalyse

In den folgenden Kapiteln sind die Ergebnisse der Szenarienanalyse zusammenfassend dargestellt. Im Anhang sind die Ergebnisse jedes Indikators im Detail gelistet.

13.3.1 Szenarienanalyse: Sammlung und Transport

In folgender Tabelle sind die Veränderungen aufgrund der gewählten Szenarien im Bereich Sammlung und Transport abgebildet – sowohl hinsichtlich der Mengen-Verschiebungen als auch der veränderten Kosten. Die Verschiebungen der Abfallmengen ergeben sich aufgrund der veränderten getrennten Sammlung im Haushalt und Gewerbe.

Tabelle 13-11: Szenarienanalyse: Änderungen im Bereich Sammlung und Transport

		Sammlung [1.000 Tonnen]				Kosten [1.000 EUR]			
Abfallfraktion		Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3
Abfälle aus HH	Metalle	117		146		27.000		33.700	
	Leichtverpackungen	154		270		24.200		42.500	
	Papier	638	638	713		74.400	74.400	83.100	
	Glas	217	217	247		29.400	29.400	33.500	
	Biomüll	791		986		100.000		125.000	
	Restmüll	1.410	2.600	920	3.920	162.000	209.000	106.000	224.000
	weitere (Sperrmüll+sonstige Altstoffe +Problemstoffe+ Altholz)	587	462	630		29.100	24.700	31.200	
Abfälle aus Gewerbe/ Industrie	Metalle	838	838	853		139.000	139.000	142.000	
	Leichtverpackungen	42	42	79		4.760	4.760	8.930	
	Papier	809	809	973		82.300	82.300	99.100	
	Glas	69	69	86		3.640	3.640	4.550	
	Holzabfälle	138	138	155		22.600	22.600	25.500	
	Alttextilien	9	9	12		419	419	538	
	Restmüll	552	552	298	2.460	63.300	63.300	34.200	282.000
	Sperrmüll	89	89	89	89	4.740	4.740	4.740	4.740
weitere Abfälle		10.800	10.800	10.800	10.800	641.000	641.000	641.000	641.000
Summe Primärabfallaufkommen		17.300	17.300	17.300	17.300	1.410.000	1.300.000	1.420.000	1.150.000
Summe Sekundärabfälle		4.190	2.930	3.710	2.970	118.000	82.600	104.000	83.700
GESAMTSUMME		21.500	20.200	21.000	20.300	1.530.000	1.380.000	1.520.000	1.240.000

13.3.2 Szenarienanalyse: Behandlung und Entsorgung

Die Veränderung des Abfallinputs in Anlagen und die damit verbunden Kosten sind in Tabelle 13-11 abgebildet. Die geringsten zu behandelten Abfallmengen (aufgrund der Sekundärabfälle) können aufgrund der vermehrten thermischen Behandlung den Szenarien W1 bzw. N3 zugeordnet werden. Hinsichtlich der Kosten zeigt sich allerdings, dass eine vermehrte Verbrennung in Zusammenhang mit geringerem Recyclings sich negativ auf den Kostenbereich Behandlung und Entsorgung auswirkt. Deshalb kann Szenario R2 trotz eines höheren gesamten Abfallaufkommens geringer Kosten erzielen.

Tabelle 13-12: Szenarienanalyse: Änderungen im Bereich Behandlung und Entsorgung

	Behandlung [1.000 Tonnen]				Kosten [1.000 EUR]			
	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3
biotechnische Behandlung	1.440	346	1.470		93.300	15.700	129.000	
chem.-phy. Behandlung	382	499	353	638	38.200	49.900	35.300	63.800
thermische Behandlung	3.200	4.780	2.590	9.170	304.000	500.000	238.000	933.000
Aufbereitung Baurestmassen	6.280	6.280	6.280	6.280	100.000	100.000	100.000	100.000
Aufbereitung von Altstoffen	4.420	3.990	4.970		180.000	99.700	228.000	
sonstige Behandlung	2.310	1.060	2.070	780	136.000	100.000	134.000	73.900
Deponie	2.100	2.190	1.890	2.630	111.000	123.000	94.100	307.000
direkter Export	219	209	209	151	219.300	208.900	209.400	151.000
direkte Verwertung	1.060	885	1.070	628				
SUMME	**21.400**	**20.200**	**20.900**	**20.300**	**1.180.000**	**1.200.000**	**1.170.000**	**1.630.000**

13.3.3 Szenarienanalyse: Haushalte

Tabelle 13-13 zeigt, dass eine Reduktion der getrennten Sammlung den monetisierten Aufwand seitens der Haushalte deutlich verringert. Szenario R2 mit den höchsten Erfassungsgrad weist die höchsten Kosten auf. Vor allem die Zeitkosten durch Sortierung erhöhen sich durch vermehrte getrennte Sammlung von Altstoffen in Haushalten.

Tabelle 13-13: Szenarienanalyse: Änderungen im Bereich der Haushalte

	Sammlung [Tonnen]			
Abfallfraktion	**Status Quo**	**Szenario W1**	**Szenario R2**	**Szenario N3**
HH Metalle (Schritt und Verpackung)	120.000		150.000	
HH Leichtverpackungen	150.000		270.000	
HH Papier	640.000	640.000	710.000	
HH Glas	220.000	220.000	250.000	
HH Biomüll	790.000		990.000	
HH Restmüll	1.400.000	2.600.000	920.000	3.900.000
HH Sperrmüll + sonstige Altstoffe +Problemstoffe+ Altholz	480.000	460.000	490.000	
HH Elektroaltgeräte	76.000		82.000	
HH Alttextilien	27.000		64.000	
SUMME	**3.900.000**	**3.900.000**	**3.900.000**	**3.900.000**

	Kosten [Mio. EUR]			
Kosten	**Status Quo**	**Szenario W1**	**Szenario R2**	**Szenario N3**
Raumkosten	400	200	430	100
Materialkosten	230	330	190	430
Fahrtkosten	67	17	84	
Zeitkosten	2.800	2.400	3.000	2.200
SUMME	**3.500**	**3.000**	**3.700**	**2.700**

13.3.4 Szenarienanalyse: Erlöse

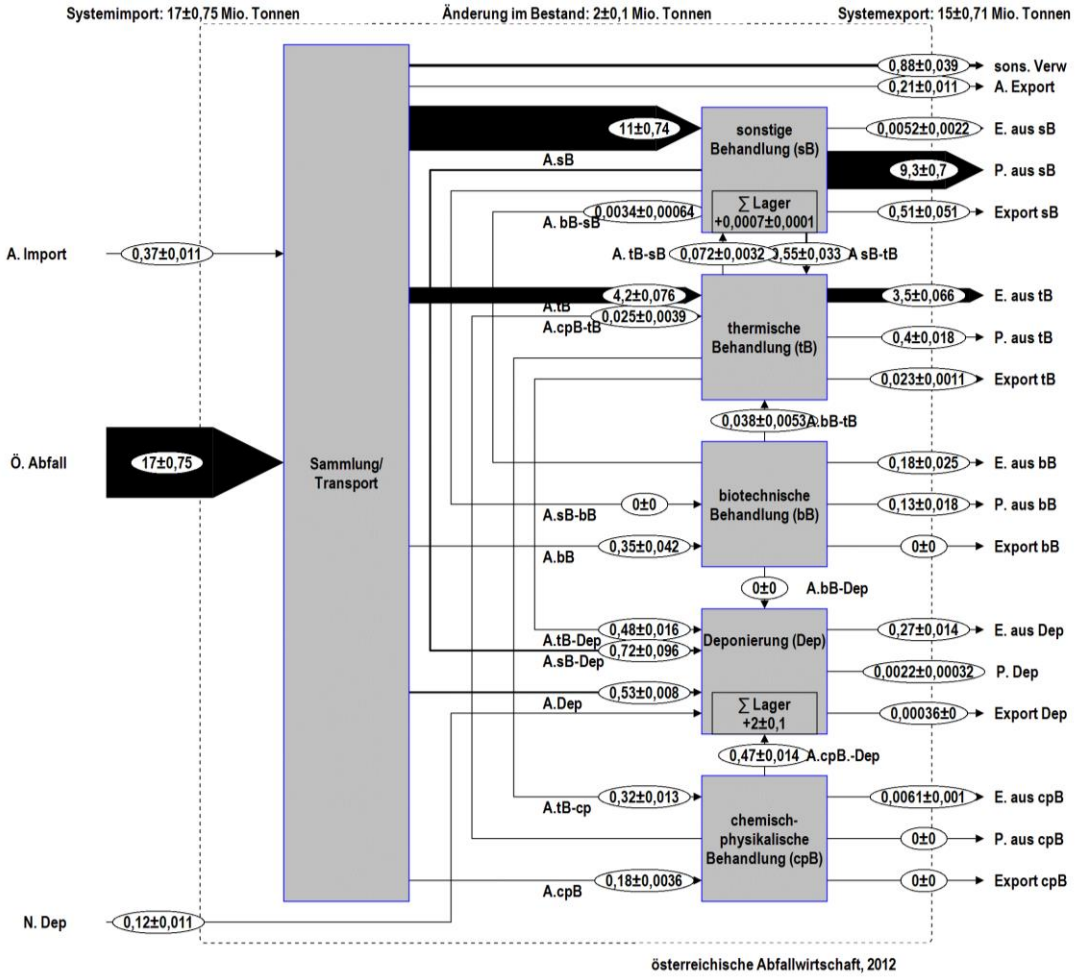
Die Erlöse sind im Szenario R2 am höchsten, was vor allem die vermehrte Verwertung von Kunststoffen und auch von Papier zurückzuführen ist. Szenario N3 weist hinsichtlich der stofflichen Verwertung die geringsten Erlöse; aber aufgrund der erhöhten thermischen Behandlung die höchsten Wärmeerlöse auf. Insgesamt reduzieren sich die Erlöse im Szenario N3 im Vergleich zum Status Quo um 240 Millionen EUR.

Tabelle 13-14: Szenarienanalyse: Änderungen im Bereich der Erlöse

	Produkte zur Verwertung [1.000 t]				Erlöse [1.000 EUR]			
	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3
Metalle (1)	**2.050**	**1.940**	**2.090**	**1.110**	**500**	**487**	**505**	**391**
Metallabfälle (Haushaltsschrott)	83		105		9		12	
Metallabfälle (Metallverpackungen)	29		51		3		6	
Metallabfälle (Altmetalle)	769	769	769		85	85	85	
Metallabfälle (Aluminium, Aluminiumfolien)	112	112	112	112	95	95	95	95
Metallabfälle (Blei)	1	1	1	1	1	1	1	1
Metallabfälle (Eisen und Stahlabfälle)	846	846	846	846	93	93	93	93
Metallabfälle (Kupfer)	43	43	43	43	107	107	107	107
Metallabfälle (NE-Metallabfälle)	59	59	59		12	12	12	
Metallabfälle (Nickel und nickelhaltige Abfälle)	23	23	23	23	76	76	76	76
Metallabfälle (weitere)	82	82	82	82	16	16	16	16
Metallabfälle (Zink, Zinkplatten)	3	3	3	3	2	2	2	2
Glas (2)	**218**	**218**	**253**		**5**	**8**	**9**	
Papier (und Papierreste) (3)	**1.400**	**1.400**	**1.580**		**168**	**168**	**189**	
Kunststoff (4)	**111**	**7**	**329**		**67**	**3**	**132**	
Holz (5)	**105**	**105**	**584**		**2**	**2**	**12**	
Sonstige Stoffliche Verwertung (6)	**7.020**	**6.570**	**7.620**	**6.560**	**53**	**40**	**52**	**42**
davon: Baurestmassen	5.710	5.710	5.710	5.710	30	30	30	30
davon: Eisenschrott aus Behandlungsanlagen	115	72	89	111	13	8	10	12
Gesamt: Stoffliche Verwertung (1+2+3+4+5+6)	**10.900**	**10.200**	**12.500**	**7.670**	**794**	**708**	**898**	**433**
Mengen zur thermischen Behandlung (1.000t) bzw. Wärmeerlöse	3.200	4.780	2.590	9.170	56	84	45	160
Gesamt					**851**	**790**	**940**	**590**

13.3.5 Szenarienanalyse: Materialflussanalyse

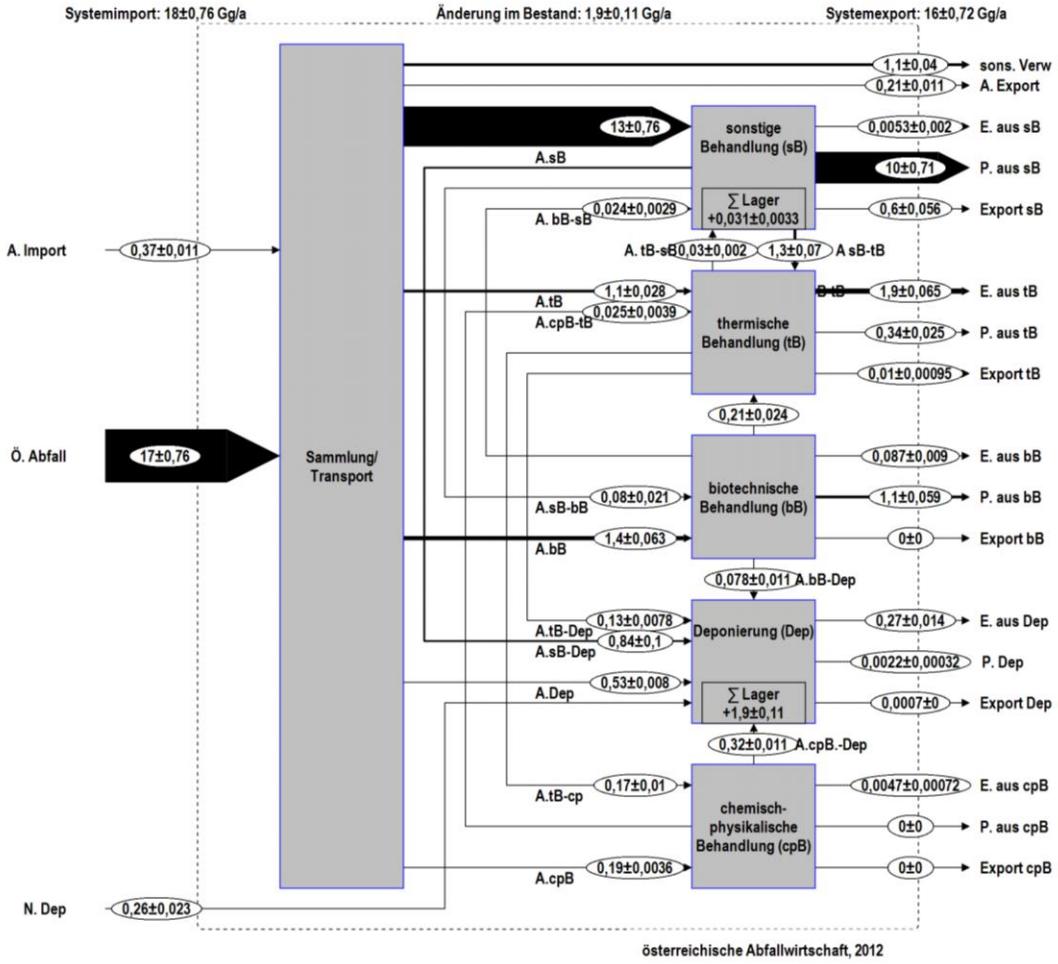
Auf Basis der definierten Szenarien und damit verbundenen Änderungen wurde die Materialflussanalyse (Güter- und Stoffebene) erneut durchgeführt. In folgenden Abbildungen ist das Hauptsystem der Materialflussanalyse je Szenario auf Güterebene dargestellt. Zu erkennen sind Verschiebungen der Güterflüsse - einerseits des Primärabfallaufkommens sowie andererseits die dadurch bedingten Veränderung der Sekundärabfallströme.



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

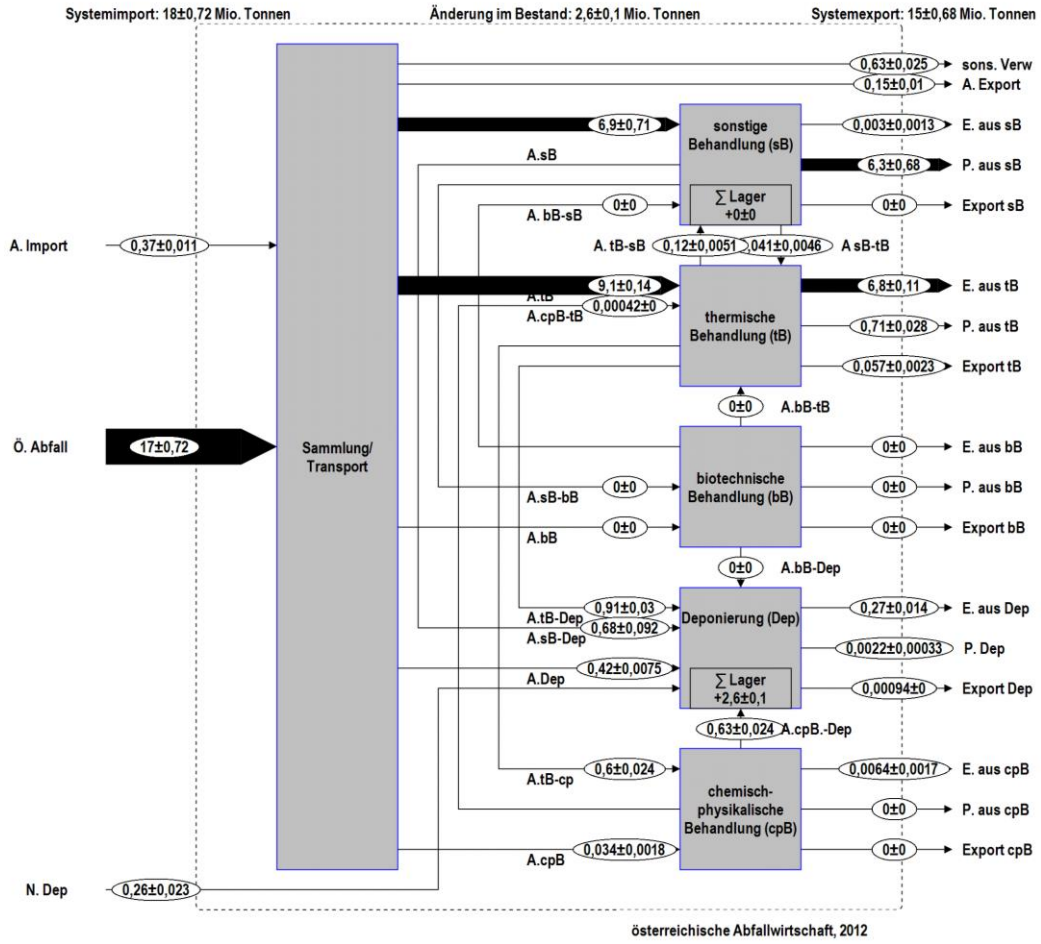
Abb. 13-1: Güterbilanz – Szenario W1: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Millionen Tonnen



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 13-2: Güterbilanz – Szenario R2: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Millionen Tonnen



A bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. Import	Abfallimport
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-cpB	Abfälle von sonstiger zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie

A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
E aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P Dep	Produkte aus der Deponierung
sons. Verw	sonstige Verwertung

Abb. 13-3: Güterbilanz – Szenario N3: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Millionen Tonnen

Zusammenfassend sind je Szenario auf Güterebene die Inputs in Behandlungsanlagen und die aggregierten Outputs aus Behandlungsanlagen bzw. Ablagerung in Deponien dargestellt. Die Ablagerung in Deponien wird im Sinne der Materialflussanalyse als Lager bezeichnet.

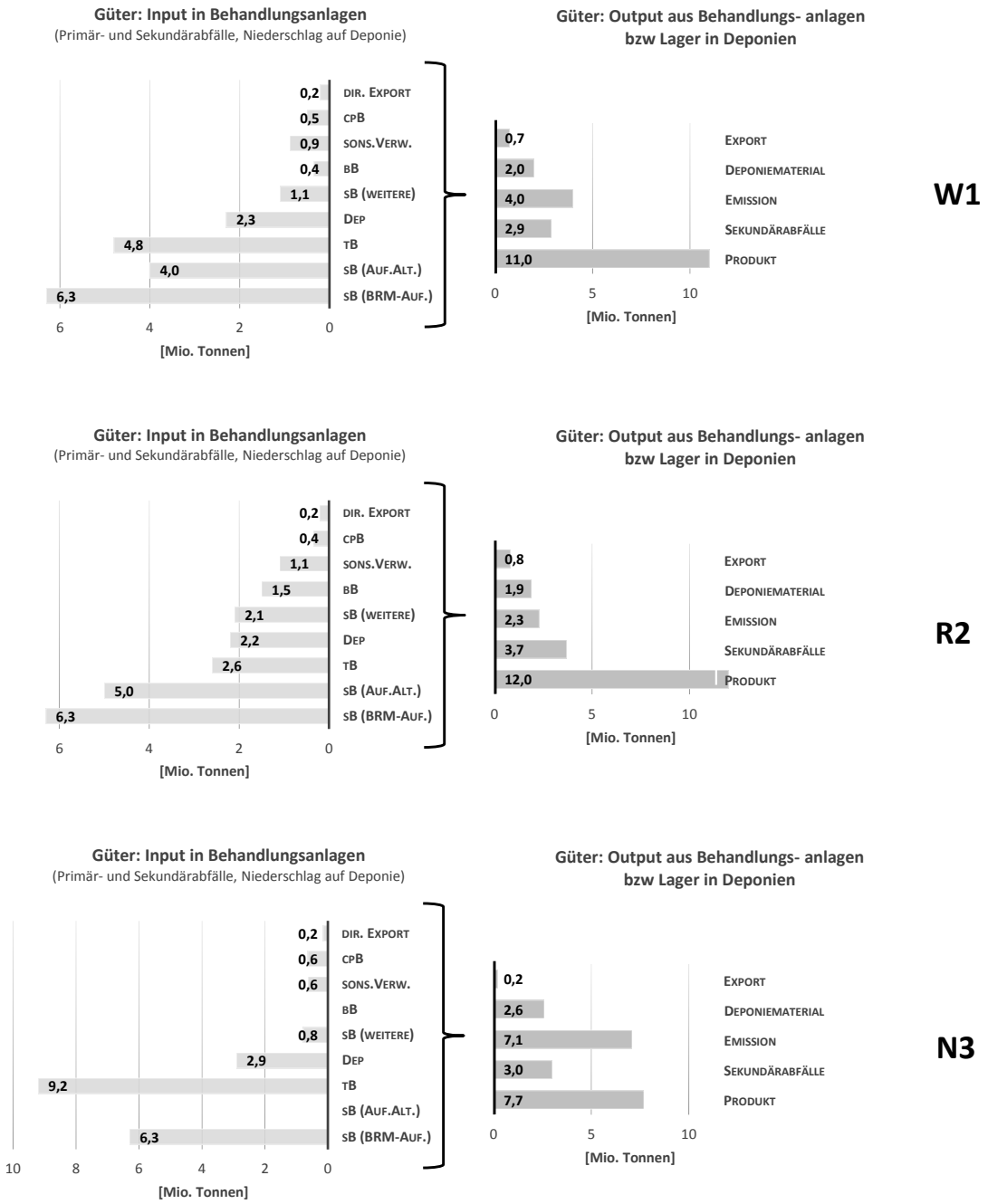


Abb. 13-4: Güterebene je Szenario: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien

In folgenden Abbildungen (Abb. 13-5 und Abb. 13-6) sind die Outputflüsse und Lager des Status Quo und der Szenarien in Prozent der absoluten Mengen [Tonnen] gegenübergestellt. Die Outputflüsse setzten sich aus aufbereiteten Produkten für die weitere stoffliche Verwertung oder thermische Behandlung in der Industrie, Emissionen sowie Exporte zusammen. Das Lager beschreibt die deponierten Abfälle. Auf der Güterebene ist zu erkennen, dass Szenario N3 deutlich am wenigsten Abfälle durch die vermehrte thermische Behandlung verwertet. Auch wenn Teile der Aschen und Schlacken anschließend als Sekundärprodukt eingesetzt werden. Szenario W1 ist dem Status Quo am ähnlichsten. Szenario R2 erzeugt die größte Menge an Produkten zu Verwertung. Die Mengen an Kohlenstoff und Stickstoff, die in Produkten gebunden sind, sind im Szenario R2 am höchsten und im Szenario N3 am geringsten. Größere Mengen an Kohlenstoff ergeben sich im Szenario R2 durch die vermehrte Verwertung von Holz, Kunststoffen und biogenen Abfällen. Die Mengen an Eisen, Kupfer

und Nickel in Produkten sind im Status Quo und allen Szenarien ähnlich groß mit einer leichten Reduktion in Szenario N3. Der Vergleich der deponierten Mengen zeigt, dass bei Szenario N3 die meisten Abfälle deponiert werden. Im Vergleich dazu wird allerdings deutlich weniger Kohlenstoff (C_{tot}) und Stickstoff abgelagert. Die geringsten abgelagerten Mengen auf Güterebene finden sich im Szenario R2. Durch die Änderung im Szenario N3 werden mehr Cd, P, Fe, Cr, Cu. Ni, Pb und Zn - vor allem in Form von Aschen und Schlacken aus der thermischen Behandlung - abgelagert. Deutlich zu erkennen ist, dass in Szenario N3 am meisten Kohlenstoff und Stickstoff emittiert wird. Hinsichtlich der Exporte sind die Veränderungen zwischen Status Quo, W1 und R2 sehr gering. In Szenario N3 werden deutlich weniger Abfälle exportiert.

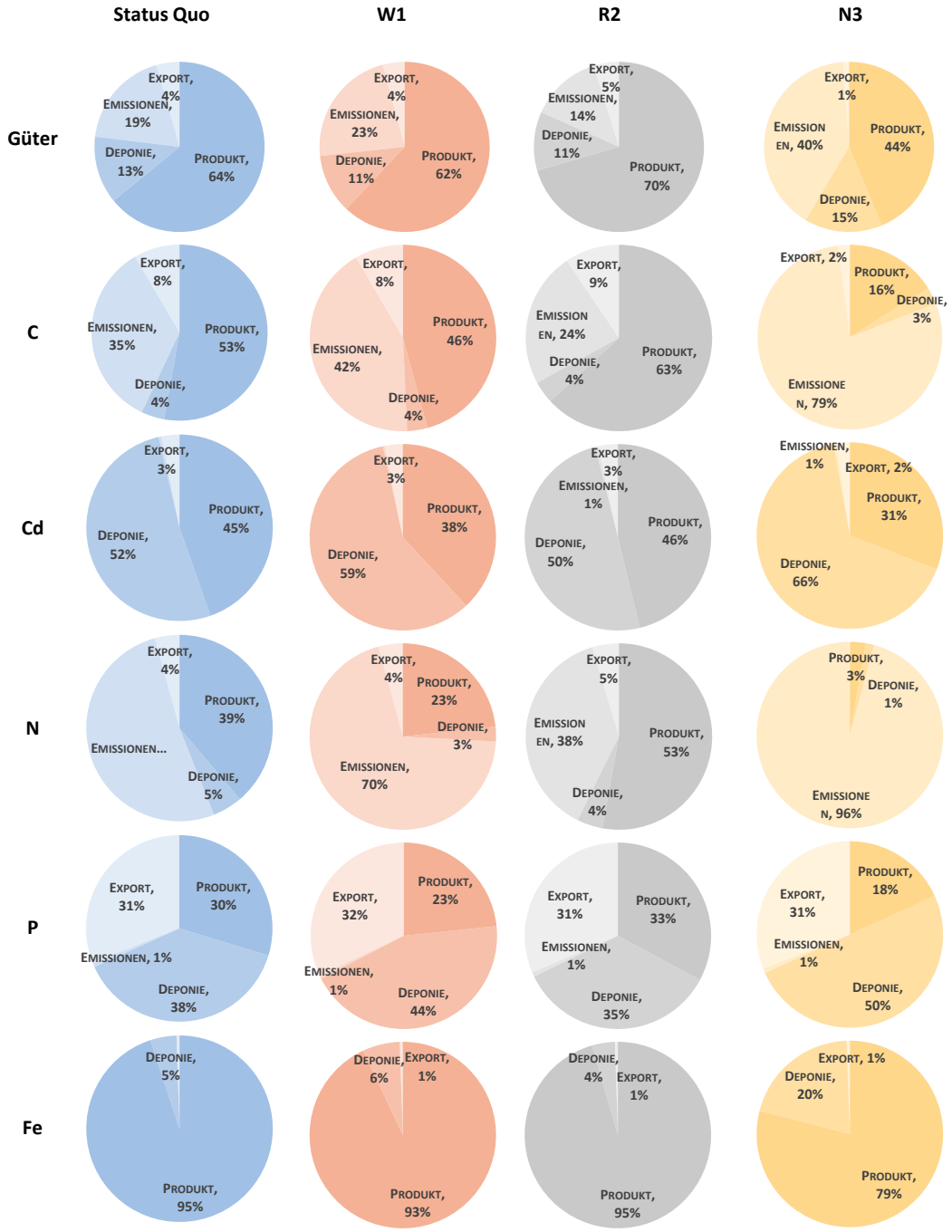


Abb. 13-5: Prozentuelle Verteilung der Outputflüsse (Emissionen, Export, Produkt) und Lager (Deponie) je Szenario 1/2

Abb. 13-6: Prozentuelle Verteilung der Outputflüsse (Emissionen, Export, Produkt) und Lager (Deponie) je Szenario 2/2

13.3.6 Szenarienanalyse: Ökobilanz

Der Vergleich der Umweltauswirkungen der Szenarien für unterschiedliche Wirkungskategorien führt zu keinem einheitlichen Bild. Für die Wirkungskategorien Treibhauspotential und Versauerungspotential zeigen sich leichte Vorteile für Szenario R2. Szenario W1 mit Fokus auf Kostenoptimierung zeigt die geringsten Umweltauswirkungen im Bereich der Eutrophierung. Genau jenes Szenario N3 dessen Ziel die Schadstoffminimierung ist zeigt die höchsten Auswirkungen auf die Umwelt. Zu beachten ist hierbei aber, dass das Ziel des Szenarios Minimierung von Schadstoffen in Produkten ist. Das bedeutet, dass versucht wird, allfällige Schadstoffe den Produktkreisläufen zu entziehen. Im Rahmen der Studie konnte dieser Aspekt jedoch nicht ausreichend berücksichtigt werden.

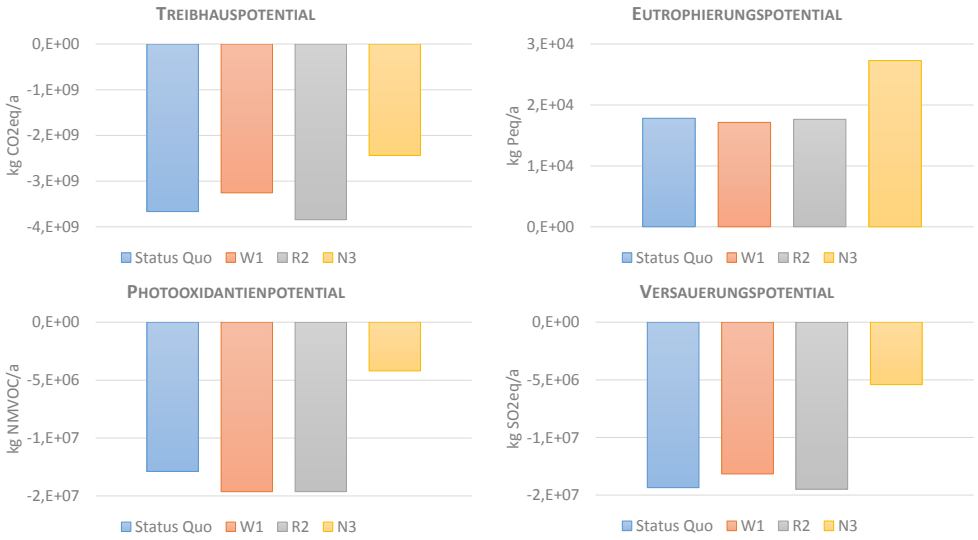


Abb. 13-7: Szenarienvergleich für die Wirkungskategorien Treibhauspotential, Eutrophierungspotential, Photooxidantienpotential und Versauerungspotential

Der Vergleich der klimarelevanten Emissionen (ohne Gutschriften) zeigt, dass durch vermehrte Verbrennung (Szenario W1 und N3) die CO_2-Emissionen ansteigen allerdings die N_2O-Emissonen deutlich sinken und sich auch teilweise die CH_4 Emissionen reduzieren. Die Luftschadstoffe steigen bei Szenario N3 deutlich an.

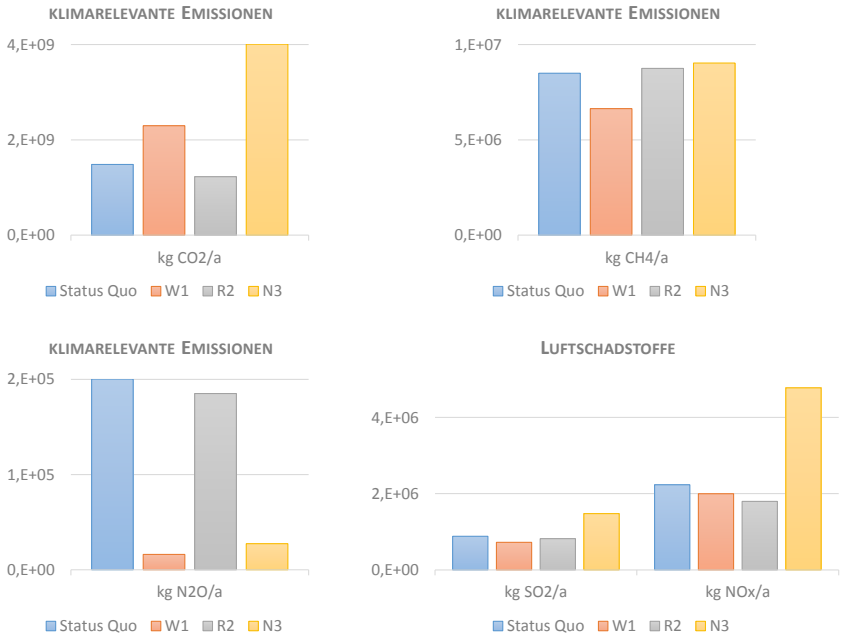


Abb. 13-8: Szenarienvergleich für klimarelevante Emissionen und Luftschadstoffe (ohne Gutschriften)

Betrachtet man die aggregierte Form zur Beurteilung des Treibhauspotentials, die Umrechnung aller klimarelevanten Emissionen in CO_2-Äquivalente, sieht man, dass die klimarelevanten Emissionen bei Szenario N3 deutlich am höchsten sind.

Tabelle 13-15: Szenarienvergleich: gesamte Treibhausgasemissionen in CO_2-Äquivalente

	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3
Treibhausgasemissionen (ohne Gutschriften) [1000 t CO_2eq/a]	1.800	2.500	1.500	4.200

In den folgenden Grafiken werden die Ergebnisse je betrachteter Wirkungskategorie im Detail dargestellt. Wie bereits erläutert, sind für das positive Ergebnis der Wirkungskategorie „Treibhauspotential“ die Gutschriften verantwortlich (v.a. die Gutschriften des Metallrecyclings) (Abb. 13-9). Im Szenario N3 werden Abfälle soweit möglich einer thermischen Verwertung zugeführt. Aus dieser werden zwar Metalle zurückgewonnen, aber in geringerer Menge als beim direkten Recycling. Zusätzlich kommt es zu Emissionen aus der thermischen Verwertung von Kunststoffen. Das ressourcenoptimierte Szenario R2 zeigt hier die größten Vorteile.

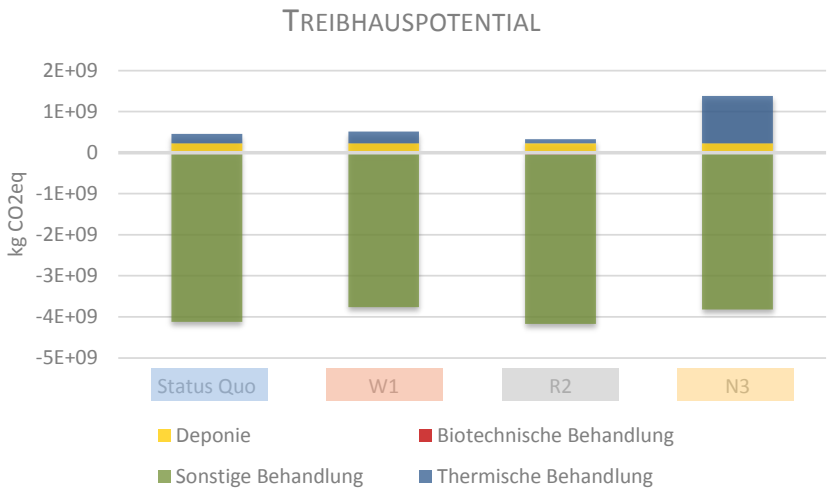


Abb. 13-9: Zusammensetzung der treibhausrelevanten Umweltauswirkungen im Szenarienvergleich

Bei der Wirkungskategorie „Eutrophierung“ (Abb. 13-10) zeigt Szenario N3 höhere Werte als der Status Quo und die beiden anderen Szenarien, da die Gutschriften aus dem Recycling fehlen, weil ein Großteil der Abfälle einer thermischen Verwertung zugeführt wird. Besonders fallen aber die verhältnismäßig hohen Umweltauswirkungen aus der Deponierung auf, die die Umweltauswirkungen aller anderen abfallrelevanten Maßnahmen bei weitem übertreffen.

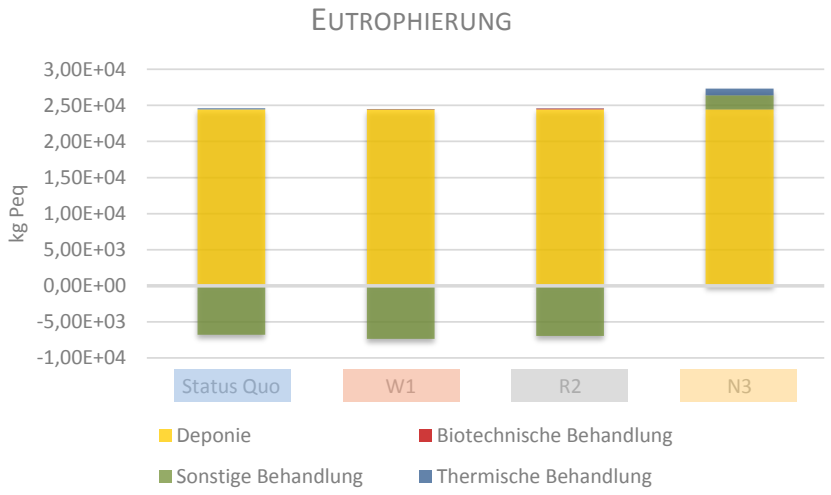


Abb. 13-10: Zusammensetzung der eutrophierungsrelevanten Umweltauswirkungen im Szenarienvergleich

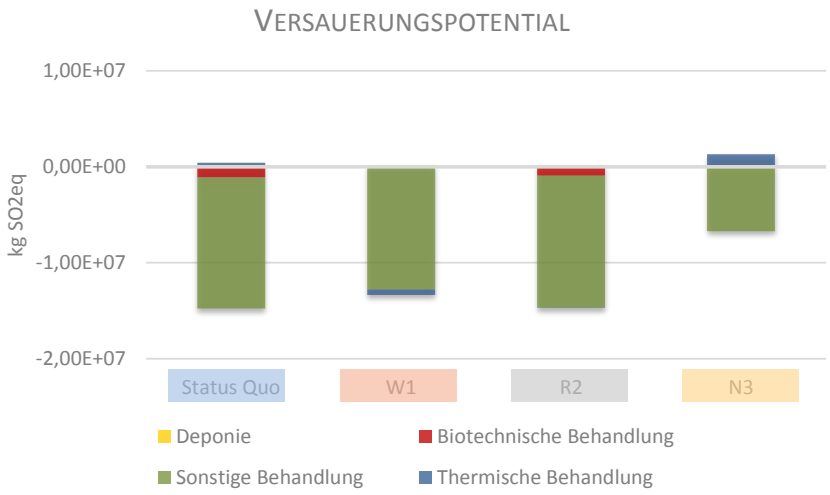


Abb. 13-11: Zusammensetzung der versauerungsrelevanten Umweltauswirkungen im Szenarienvergleich

Beim Versauerungspotential überlagern wiederum die Gutschriften aus der sonstigen Behandlung die gesamten Umweltauswirkungen. Szenario N3 zeigt hier verhältnismäßig hohe Umweltbelastungen durch die forcierte thermische Behandlung und die damit einhergehenden geringere stoffliche Verwertung. Auch für diese Wirkungskategorie können Vorteile für das Szenario R2 abgeleitet werden.

Abb. 13-12 zeigt die relative Änderung der Umweltauswirkungen der für AWG Ziel 1 berücksichtigten Wirkungskategorien. Szenario R2 zeigt für drei von vier Wirkungskategorien geringere Umweltauswirkungen als der Status Quo. Sowohl Szenario W1 als auch Szenario N3 haben für das Eutrophierungspotential geringere Umweltauswirkungen zu verzeichnen. Zusätzlich ist bei Szenario W1 das Photooxidantienpotential minimal niedriger als das des Status Quo. Szenario N3 schneidet vergleichsweise schlecht ab. Hier kommt es bei drei von vier Wirkungskategorien zu höheren Umweltauswirkungen als im Status Quo.

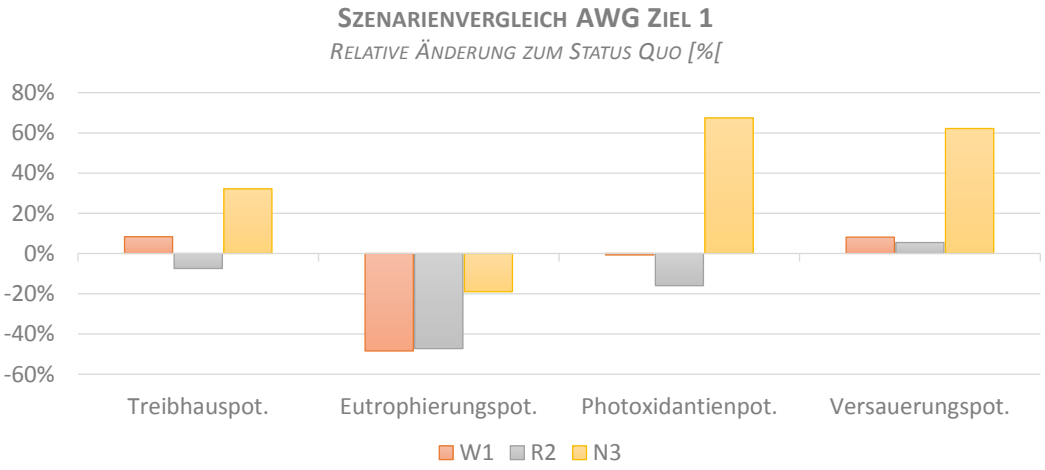


Abb. 13-12: Relative Änderung der für AWG Ziel 1 berücksichtigten Umweltauswirkungen in Prozent vom Status Quo

Auch bei AWG Ziel 2 schneidet Szenario R2 bei allen ausgewählten Indikatoren mit Ausnahme von CH_4 besser ab als der Status Quo. Szenario W1 und N3 weisen vor allem bei dem Indikator CO_2 eine deutliche Verschlechterung auf. Wie bereits in Kapitel 10.6 näher beschrieben, ist dieses ähnliche Bild des Szenarienvergleichs im AWG Ziel 1 und im AWG Ziel 2 auf die gewählten Wirkungskategorien und Bewertungsindikatoren zurückzuführen. So spiegeln sich die Ergebnisse der CO_2 Emissionen in den Ergebnissen fürs Treibhauspotential des AWG Ziels 1 wider oder die SO_2 Emissionen im Versauerungspotential.

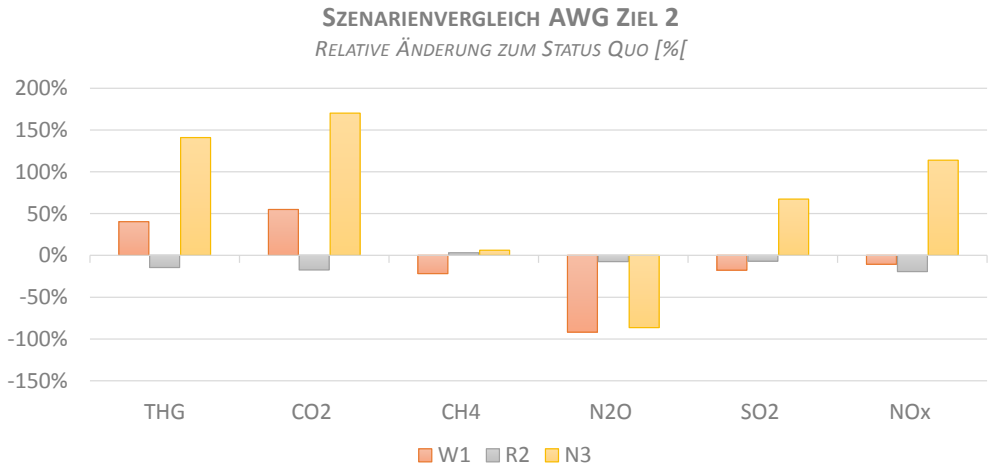


Abb. 13-13: Relative Änderung der für AWG Ziel 2 berücksichtigten klimarelevanten Emissionen und anderen Luftschadstoffen in Prozent vom Status quo. THG…Treibhausgas relevante Emissionen (%-Veränderung der CO_2-Äquivalente). CO_2, CH_4, N_2O, SO_2, NO_2 (%-Veränderung der Masse je Gas)

13.3.7 Szenarienanalyse: volkswirtschaftliche Kosten

Die Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft im engeren und auch weiteren Sinne betragen je nach Szenario zwischen 6,4 und 7,1 Milliarden EUR. In Summe ist das Szenario W1, welches auch auf die Reduktion der Kosten abzielte, am günstigsten (siehe Abb. 13-14.)

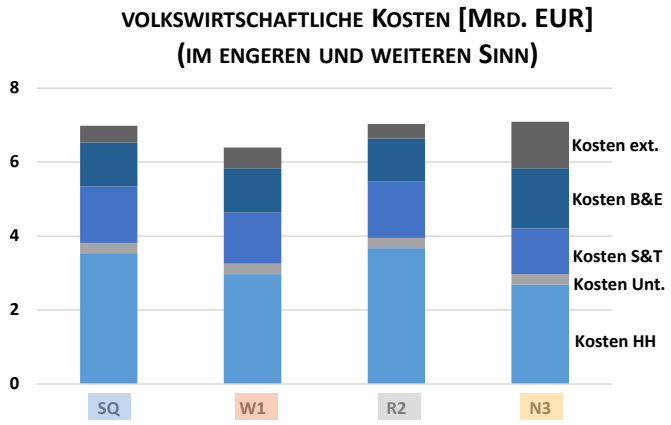


Abb. 13-14: Szenarienvergleich: Gesamtkosten der österreichischen Abfallwirtschaft [EUR Mrd.]

Die einzelnen Kostenbereiche wurden schon in den Kapiteln 13.3.1 bis 13.3.4 detaillierter dargestellt. Die gesamten Kosten für die Behandlung und Entsorgung von Abfällen betragen zwischen 1,2 und 1,5 Milliarden EUR. Szenario N3 ist mit 1,5 Milliarden EUR am teuersten aufgrund der geringeren Recyclingquoten, sowie der Erhöhung der Kosten bei der Deponierung aufgrund der Verlängerung der Nachsorgedauer (siehe Kapitel 13.2.3). Die Kosten für Sammlung und Transport im Status Quo betragen rund 1,5 Milliarden EUR und reduzieren sich in den Szenarien nur geringfügig. Der Unterschied der Kosten für die Haushalte ist zwischen dem Status Quo und den Szenarien W1 und N3 am größten. Die kostengünstigste Variante bezogen auf die Kosten für die Haushalte ist Szenario N3 mit 2,7 Mrd. EUR gefolgt von Szenario W1 mit 3,0 Mrd. EUR. Der Bereich externe Kosten fällt bei Szenario N3 mit über 1 Milliarde EUR am teuersten aus. Dies ist auf die vermehrte thermische Behandlung zurückzuführen. Hier ist zu beachten, dass bei der Ermittlung der externen Kosten nur eine begrenzte Anzahl an Parametern und sowohl die externen Kosten durch Schadstoffemissionen als auch durch die Bindung von Ressourcen in Deponien berücksichtigt wurden.

13.3.8 Szenarienanalyse: Zusammenfassender Vergleich

In den folgenden Tabellen sind die Veränderungen je Szenario zum Status Quo dargestellt. Positive Veränderung bedeute bei jeder Kategorien, dass eine Verbesserung zum Status Quo auftritt. Die Prozentwerte beziehen sich auf die absoluten Werte (z.B kg CO_2/a oder €/a). Der Vergleich Status Quo und Szenario W1 zeigt, dass sich positive bzw. negative Veränderungen die Waage halten.

Tabelle 13-16: Szenarienvergleich: W1 - Veränderungen zum Status Quo

		⇧ postive Veränderung		⇩ negative Veränderung		⇔ keine Veränderung
Szenario W1	Nutzen	Z 1: Photooxidantienpotential	14%	Z 1: Treibhauspotential	-11%	
		Z 1: Eutrophierungspotential	4%	Z 1: Versauerungspotential	-8%	
		Z 2: klimarelevante Gase (CH4)	22%	Z 2: klimarelevante Gase (CO2)	-55%	
		Z 2: klimarelevante Gase (N2O)	92%	Z 2: Luftsschadstoffe(Nox)	11%	
		Z 2: Luftsschadstoffe (SO2)	18%			
		Z 3: Energieverbrauch	8%	Z 3: Rohstoffe (Metalle)	-5%	Z 3: Rohstoffe (Glas)
		Z 3: Deponievolumen	1%	Z 3: Rohstoffe (Kunststoff)	-93%	Z 3: Rohstoffe (Papier)
						Z 3: Rohstoffe (Holz)
				Z 4: Schadstoffe: Kompost	-1%	Z 4: Schadstoffe: Sek.-Baustoffe
						Z 4: Schadstoffe: Sek.-Holz
		Z 5: Deponiesickerwasseremission	12%	Z 5: Schwermetalle in Deponie	-16%	
		Z 5: Deponiegasemissionen	75%			
	Kosten	Kosten: HH	16%	Kosten: B&E	-1%	Kosten: Unternehmen
		Kosten: S&T	9%	Kosten: extern	-24%	
				Erlöse	-7%	

Der Vergleich Status Quo und Szenario R2 zeigt, dass die positiven Veränderungen dominieren. Negative Effekte können durch erhöhtes Recycling von Altholz und der damit verbundenen Erhöhung von Schadstoffen, und bei Methanemissionen beobachtet werden. Zu beachten ist, dass nur für eine begrenzte Anzahl an Sekundärprodukten der Schadstoffgehalt in die Bewertung eingeflossen ist.

Tabelle 13-17: Szenarienvergleich: R2 - Veränderungen zum Status Quo

		⇧ postive Veränderung		⇩ negative Veränderung		⇔ keine Veränderung
Szenario R2	Nutzen	Z 1: Treibhauspotential	5%			
		Z 1: Versauerungspotential	1%			
		Z 1: Photooxidantienpotential	14%			
		Z 1: Eutrophierungspotential	1%			
		Z 2: klimarelevante Gase (N2O)	8%	Z 2: klimarelevante Gase (CH4)	-3%	
		Z 2: klimarelevante Gase (CO2)	17%			
		Z 2: Luftsschadstoffe (SO2)	7%			
		Z 2: Luftsschadstoffe(Nox)	19%			
		Z 3: Rohstoffe (Metalle)	2%			
		Z 3: Rohstoffe (Kunststoff)	197%			
		Z 3: Rohstoffe (Glas)	16%			
		Z 3: Rohstoffe (Papier)	13%			
		Z 3: Rohstoffe (Holz)	457%			
		Z 3: Deponievolumen	13%			
		Z 3: Energieverbrauch	8%			
		Z 4: Schadstoffe: Kompost	100%	Z 4: Schadstoffe: Sek.-Holz	-1%	Z 4: Schadstoffe: Sek.-Baustoffe
		Z 5: Schwermetalle in Deponie	6%			Z 5: Deponiegasemissionen
		Z 5: Deponiesickerwasseremission	11%			
	Kosten	Kosten: S&T	0%	Kosten: HH	-4%	Kosten: Unternehmen
		Kosten: B&E	14%			
		Kosten: extern	14%			
		Erlöse	11%			

Der Vergleich Status Quo und Szenario N3 zeigt, dass die negativen Veränderungen dominieren. Positive Effekte können nur in den Bereichen Schadstoffe in Sekundärprodukten bzw. durch Reduktion langfristiger Emissionen aus Deponien erzielt werden. Zusätzlich können die klimarelevanten Gase (ohne Gutschriften) CH_4 und N_2O reduziert werden. Zu beachten ist, dass es hinsichtlich des Treibhauspotentials (mit Gutschriften) in Summe zu einer Verschlechterung im Vergleich zum Status Quo kommt.

Tabelle 13-18: Szenarienvergleich: N3 - Veränderungen zum Status Quo

4

		⇧ postive Veränderung		⇩ negative Veränderung		⇔ keine Veränderung
Szenario N3	Nutzen			Z 1: Eutrophierungspotential	-53%	
				Z 1: Treibhauspotential	-34%	
				Z 1: Versauerungspotential	-62%	
				Z 1: Photooxidantienpotential	-67%	
		Z 2: klimarelevante Gase (CH4)	-6%	Z 2: klimarelevante Gase (CO2)	-170%	
		Z 2: klimarelevante Gase (N2O)	86%	Z 2: Luftsschadstoffe (SO2)	-67%	
				Z 2: Luftsschadstoffe(Nox)	-114%	
				Z 3: Rohstoffe (Metalle)	-46%	
				Z 3: Rohstoffe (Kunststoff)	-100%	
				Z 3: Rohstoffe (Glas)	-100%	
				Z 3: Rohstoffe (Papier)	-100%	
				Z 3: Rohstoffe (Holz)	-100%	
				Z 3: Energieverbrauch	-70%	
				Z 3: Deponievolumen	-17%	
		Z 4: Schadstoffe: Kompost	100%			Z 4: Schadstoffe: Sek.-Baustoffe
		Z 4: Schadstoffe: Sek.-Holz	100%			
		Z 5: Deponiesickerwasseremission	25%	Z 5: Schwermetalle in Deponie	-96%	
		Z 5: Deponiegasemissionen	100%			
	Kosten	Kosten: HH	16%	Kosten: B&E	-1%	Kosten: Unternehmen
		Kosten: S&T	9%	Kosten: extern	-24%	
				Erlöse	-7%	

13.3.9 Szenarienanalyse: Bewertung mittels Nutzenpunkten

In den vorherigen Kapiteln wurde im Detail auf die Veränderungen der Materialflüsse, der Indikatoren und der volkswirtschaftlichen Kosten bei der Anwendung der Szenarienanalyse eingegangen. Folgend werden die Änderungen der Nutzenpunkte beschrieben. In Abb. 13-15 sind die aggregierten Nutzenpunkte auf AWG Ziel Ebene dargestellt und in

Tabelle 13-19 ist eine kurze Beschreibung der Änderungsgründe angeführt. Zu beachten ist, dass eine Änderung in den absoluten Werten (z.B. SO_2 Emissionen) nicht zwingend eine Veränderung der Nutzenpunkte aufweist, wenn schon die maximale Punkteanzahl erreicht wurde bzw. trotz Verschlechterung immer noch die maximale Punktzahl erreicht wird.

Tabelle 13-19: Szenarienvergleich: Beschreibung der Änderung der Nutzenpunkte (NP) auf Ebene der Indikatorensammlung

AWG - Ziel	Indikatoren-sammlung	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3
AWG Ziel 1 (mit Gutschriften)	Treibhauspotential	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung
	Terrestrische Versauerung	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung
	Photooxidantien-potential	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung
	Eutrophierungs-potential	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung	-0,5 weniger Gutschriften durch Recycling
AWG Ziel 2 *(ohne Gutschriften)*	klimarelevanten Gase	0,2 Verbesserung durch weniger N_2O und CH_4 Emissionen	0,4 Verbesserung durch stoffliche anstatt thermische Behandlung	-1,2 Verschlechterung durch mehr thermische Behandlung
	Luftschadstoffe	1,0 Verbesserung durch weniger SO_2 Emissionen	0,4 Verbesserung durch weniger thermische Behandlung	0,0 keine Änderung
AWG Ziel 3	Metalle	-0,5 weniger getrennte Sammlung	0,2 Erhöhung des Erfassungsgrads	-4,3 weniger getrennte Sammlung
	Glas	0,0 keine Änderung	0,9 Erhöhung des Erfassungsgrads	-5,8 kein Recycling
	Papier	0,0 keine Änderung	0,7 Erhöhung des Erfassungsgrads	-5,8 kein Recycling
	Kunststoff	-1,6 thermische Behandlung anstatt stofflicher Verwertung	3,5 Erhöhung des Erfassungsgrads und stoffliche anstatt thermische Behandlung	-1,8 thermische Behandlung anstatt stofflicher Verwertung
	Holz	0,0 keine Änderung	4,3 Erhöhung des Erfassungsgrads und stoffliche anstatt thermische Behandlung	-0,9 thermische Behandlung anstatt stofflicher Verwertung
	Energieverbrauch	0,1 Verbesserung	0,1 Verbesserung	-0,6 Verschlechterung
	Deponievolumen	0,0 keine Änderung	0,6 weniger Ablagerung von Aschen und Schlacken aus thermischer Behandlung	-0,8 weniger Ablagerung von Aschen und Schlacken aus thermischer Behandlung
AWG Ziel 4	Schadstoffe im Kompost	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung
	Schadstoffe in Sekundärbaustoffe	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung	0,0 keine Änderung
	Schadstoffe in Sekundärholz	0,0 keine Änderung	-0,4 Verschiebung von thermischer Behandlung zu stofflicher Verwertung	2,3 kein Recycling
AWG Ziel 5	Reduktion von Schwermetallen in Deponien	-0,5 mehr Ablagerung von Aschen und Schlacken aus thermischer Behandlung	0,2 weniger Ablagerung von Aschen und Schlacken aus thermischer Behandlung	-1,6 mehr Ablagerung von Aschen und Schlacken aus thermischer Behandlung
	Reduktion langfristiger Sickerwasser-emissionen	0,1 vor allem in den Ersten Jahren weniger TOC und NH_4 im Deponiesickerwasser	0,1 weniger Ablagerung von Aschen und Schlacken aus thermischer Behandlung	0,6 Verlängerung der Deponienachsorge
	Reduktion langfristiger Deponiegasemission	1,7 keine Ablagerung von Abfällen aus mechanisch-biologischer Behandlung	0,0 keine Änderung	4,8 keine Ablagerung von Abfällen aus mechanisch-biologischer Behandlung

Die Summe der Nutzenpunkte je AWG Ziel zeigt keine nennenswerten Unterschiede zwischen Status Quo und den Szenarien. Kein Szenario beeinflusst alle AWG Ziele gleichzeitig positiv oder negativ. Es kann allerdings eine Erhöhung oder Reduktion der Nutzenpunkte in Abhängigkeit der Szenarien beobachtet werden. AWG Ziel 1 wird nur durch Szenario N3 geringfügig negativ beeinflusst. Die Nutzenpunkte zu AWG Ziel 2 und 3 werden durch Szenario R2 durch vermehrtes Recycling erhöht und bei Szenarien W1 und N3 durch vermehrte

thermische Behandlung reduziert. AWG Ziel 4 und 5 können durch Szenario N3 positiv gelenkt werden, da Schadstoffe durch vermehrte thermische Behandlung aus Sekundärprodukten ausgeschleust werden bzw. organische Schadstoffe vernichtet werden, die jedoch nicht in die Bewertung eingeflossen sind.

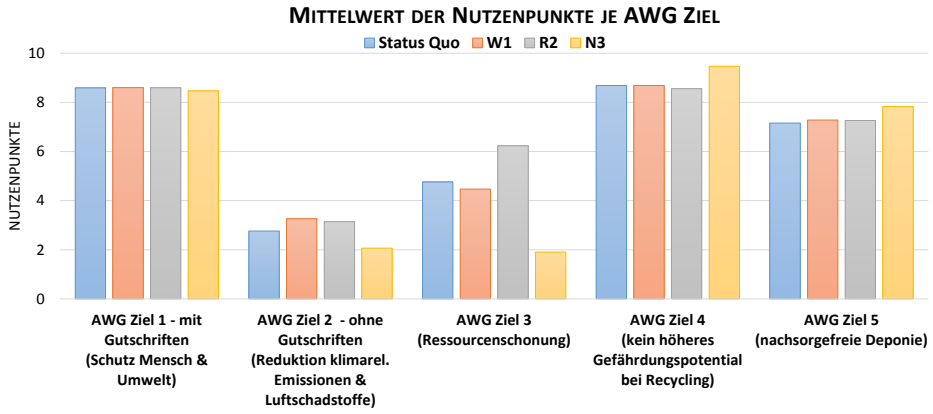


Abb. 13-15: Szenarienvergleich: Nutzenpunkte je AWG Ziel

13.3.10 Szenarienanalyse: mKWA

Der Vergleich der modifizierten Kostenwirksamkeit (mKW) zeigt, dass die Szenarien W1 und R2 eine höhere Kostenwirksamkeit aufweisen als der Status Quo. Die höchste mKW weist Szenario R2 auf, da es die höchsten Nutzenpunkte aufweist. Szenario W1 ist am wirtschaftlichsten und kann im Vergleich zum Status Quo rund 130 Millionen EUR einsparen. Auch Szenario R2 ist im Vergleich zum Status Quo um rund 20 Millionen EUR günstiger hauptsächlich da weniger Sekundärabfälle gesammelt und behandelt werden müssen.

Tabelle 13-20: Szenarienvergleich: modifizierte Kostenwirksamkeit der österreichischen Abfallwirtschaft

	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3
AWG Ziel 1	8,6	**8,6**	8,6	8,5
AWG Ziel 2	2,8	3,3	**3,1**	2,1
AWG Ziel 3	4,8	4,5	**6,2**	1,9
AWG Ziel 4	8,7	8,7	8,6	**9,5**
AWG Ziel 5	7,2	7,3	7,3	7,8
Summe Nutzenpunkte	**31,9**	**32,3**	**33,8**	**29,7**
Kosten Sammlung und Transport	1,5	1,4	1,5	1,2
Kosten Behandlung und Entsorgung	1,2	1,2	1,2	1,6
Summe Kosten intern [Mrd. EUR]	**2,7**	**2,6**	**2,7**	**2,9**
mKW	**11,79**	**12,52**	**12,57**	**10,38**

Wie in Kapitel 5 beschrieben erfolgt die Berechnung der mKW durch Division der Summe der mittleren Nutzenpunkte je AWG Ziel durch die internen Kosten für Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung. Um die Auswirkungen auch auf anderen Kostenbereiche abzubilden, wurde in folgender Tabelle die mKW bei Berücksichtigung unterschiedlicher Kostenbereiche errechnet. Tabelle 13-21 zeigt, dass bei Berücksichtigung der monetarisierten Kosten aus Haushalten (= 1 Kosten HH) die mKW für das Szenario W1 am höchsten ist bzw. Szenario R2 die höchste mKW aufweist, wenn diese Kosten nicht berücksichtig werden.

Tabelle 13-21: Szenarienvergleich: modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) der österreichischen Abfallwirtschaft bei Berücksichtigung unterschiedlicher Kostenbereiche

		Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3
AWG Ziel 1		8,6	8,6	8,6	8,5
AWG Ziel 2		2,8	3,3	3,1	2,1
AWG Ziel 3		4,8	4,5	6,2	1,9
AWG Ziel 4		8,7	8,7	8,6	9,5
AWG Ziel 5		7,2	7,3	7,3	7,8
Summe Nutzenpunkte		**31,95**	**32,29**	**33,79**	**29,73**
Kosten Haushalte		3,54	2,97	3,67	2,69
Kosten Unternehmen		0,28	0,28	0,28	0,28
Kosten intern	*Kosten S&T*	1,53	1,38	1,52	1,24
	Kosten B&E	1,18	1,20	1,17	1,63
Kosten extern		0,45	0,56	0,39	1,26
Erlöse		0,85	0,79	0,94	0,59
∑ Kosten 3+4		**2,71**	**2,58**	**2,69**	**2,86**
mKW		**11,79**	**12,52**	**12,57**	**10,38**
∑ Kosten 1+2+3+4		**6,53**	**5,83**	**6,64**	**5,83**
mKW		**4,90**	**5,54**	**5,09**	**5,10**
∑ Kosten 1+2+3+4+5		**6,98**	**6,40**	**7,03**	**7,09**
mKW		**4,58**	**5,05**	**4,81**	**4,19**
∑ Kosten 1+2+3+4-6		**5,68**	**5,04**	**5,69**	**5,24**
mKW		**5,63**	**6,41**	**5,93**	**5,68**
∑ Kosten 1+2+3+4+5-6		**6,13**	**5,60**	**6,09**	**6,50**
mKW		**5,21**	**5,76**	**5,55**	**4,58**
∑ Kosten 2+3+4		**2,99**	**2,86**	**2,97**	**3,14**
mKW		**10,69**	**11,29**	**11,39**	**9,46**
∑ Kosten 2+3+4-6		**2,14**	**2,07**	**2,02**	**2,55**
mKW		**14,94**	**15,62**	**16,69**	**11,66**
∑ Kosten 2+3+4+5-6		**2,59**	**2,63**	**2,42**	**3,81**
mKW		**12,32**	**12,26**	**13,99**	**7,80**

13.3.11 Zusammenfassung Szenarienanalyse

In einem ersten Schritt innerhalb der Szenarienanalyse wurden drei Szenarien bewertet, welche sich durch extreme Umschichtungen im System auszeichnen.

Das Szenario W1 zielt darauf ab, die Kosten zu reduzieren indem seitens der Haushalte weniger getrennt gesammelt wird und Abfallmengen von kostenintensiven Behandlungsschritten zu günstigeren Varianten verschoben werden. Durch die Änderungen in Szenario W1 ist es möglich die gesamten volkswirtschaftlichen Kosten um rund 0,5 Milliarden EUR zu reduzieren. Neben der Reduktion der Kosten der Haushalte von rund 0,4 Milliarden EUR können auch rund 0,1 Milliarden EUR durch geänderte Anforderungen bei Transport und Sammlung eingespart werden. Hinsichtlich der Nutzenpunkte ergeben sich in diesem Szenario im Vergleich zum Status Quo Verbesserungen bei AWG Ziel 1 und 5. Bei AWG Ziel 2 führt die vermehrte Verbrennung und geringere stoffliche Verwertung von Abfällen zu größeren Emission von klimarelevanten Gasen. Aufgrund der Reduktion der getrennten Sammlung reduzieren sich auch die Nutzenpunkte in AWG Ziel 3. AWG Ziel 4 erreicht in Szenario W1 wie im Status Quo rund 9 Nutzenpunkte. Die vermehrte Abfallverbrennung bedingt weiters, dass das benötigte Deponievolumen reduziert und weniger Organik abgelagert wird, was zu einer Reduktion der Deponiegasemissionen führt. Die Nutzenpunkte durch die Bewertung der Deponiesickerwässer sind in Szenario W1 geringfügig höher als im Status Quo.

Das Szenario R2 zielt auf eine Verbesserung der Ressourcenschonung ab. Es werden einerseits mehr Abfälle aus Rest- und Sperrmüll getrennt gesammelt (Erhöhung des Erfassungsgrades getrennt gesammelter Abfälle), sowie Abfälle die derzeit thermisch als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden, werden einer stofflichen Verwertung zugeführt. Biogene Abfälle werden zuerst zur Erzeugung von Biogas vergärt und anschließend werden die Gärreste stofflich verwertet. Die volkswirtschaftlichen Kosten sind geringfügig höher als die Kosten des Status

Quo. In Summe betragen die Kosten rund 7 Milliarden EUR. Die AWG Ziele 1,4 und 5 verändern sich nur geringfügig. Die Nutzenpunkte von AWG Ziel 2 erhöhen sich aufgrund reduzierter thermischer Verwertung der Abfälle. Die größte Veränderung zeigt sich in AWG Ziel 3. Einerseits erhöhen sich die Nutzenpunkte durch die Schonung von Rohstoffen und andererseits durch die Schonung von Deponievolumen.

Das Szenario N3 zielt auf eine Minimierung von Schadstoffen in Produkt- und Wirtschaftskreisläufen sowie auf eine Zerstörung von organischen Schadstoffen und eine nachsorgearme Deponierung von anorganischen Schadstoffen ab. Organische Schadstoffe sollen durch eine vermehrte thermische Behandlung zerstört werden, anorganische sollen in eine langzeitstabile Form gebracht werden. Durch eine Verlängerung der Deponienachsorge soll die sicherere Ablagerung gewährleistet werden. Die Kosten für dieses Szenario sind höher als im Status Quo. Dies ist vor allem bedingt durch die hohen externen Kosten, die sich zu einem großen Teil aus CO_2-Emissionen zusammensetzen bzw. aufgrund der Verlängerung Nachsorgephase und der damit verbundenen Erhöhung Deponiekosten (von 18 auf 35 EUR pro Tonne bzw. 75 auf 150 EUR pro Tonne). Positive Veränderungen hinsichtlich der Nutzenpunkte sind hauptsächlich in AWG Ziel 4 und 5 bemerkbar. Da es innerhalb von Szenario N3 zu keiner stofflichen Verwertung von Altholz bzw. der Erzeugung von Kompost kommt und damit dort auch keine Schadstoffe enthalten sein können, schneiden diese Bereiche mit 10 von 10 möglichen Punkten ab. Die veränderten Rahmenbedingungen durch vermehrte thermische Behandlung der Abfälle sowie der Verlängerung der Nachsorgedauer bedingen den positiven Effekt auf AWG Ziel 5. AWG Ziel 2 schneidet in Szenario N3 aufgrund der höheren CO_2 Emissionen und Emissionen von Luftschadstoffen durch vermehrte thermische Abfallbehandlung schlechter ab. Negativ wirkt sich Szenario N3 vor allem auf AWG Ziel 3 aus, da deutlich weniger Sekundärprodukte durch die Abfallwirtschaft erzeugt werden.

In folgender Abbildung sind die Veränderungen der Nutzenpunkte je AWG Ziel zum Status Quo für die drei Szenarien zusammenfassend abgebildet.

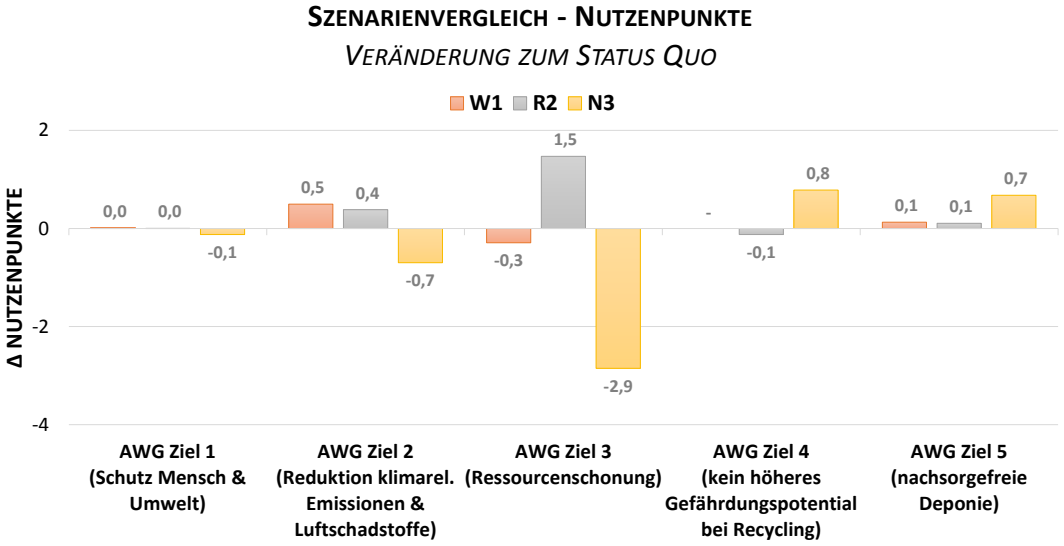


Abb. 13-16: Szenarienanalyse: Vergleich der mittleren Nutzenpunkte je AWG Ziel

Zusammenfassend zeigt Szenario W1 hinsichtlich der Nutzenpunkte die geringsten Veränderungen im Vergleich zum Status Quo. Szenario R2 erreicht vor allem durch erhöhte stoffliche Verwertung eine bessere Gesamtbewertung. Dies zeigt sich vor allem in AWG Ziel 3 durch vermehrte Schaffung von Sekundärressourcen. Szenario N3 zeigt hinsichtlich der Bewertung des Gefährdungspotentials durch Recycling und der Nachsorgefreiheit für Deponien das beste Ergebnis durch die Zerstörung von Schadstoffen bzw. dadurch das Reststoffe in eine langzeitstabile Form gebracht und abgelagert werden. Die gesamten volkswirtschaftlichen Kosten sind in Szenario W1 am geringsten. Die höchste Kostenwirksamkeit (∑ Summe Nutzenpunkte je AWG Ziel durch die internen Kosten) weist Szenario R2 auf.

14 Optimiertes Szenario

14.1 Beschreibung und Begründung der Änderungen

Das optimierte Szenario wurde auf Basis des aus der Szenarienanalyse gewonnen Systemverständnisses definiert. Änderungen hinsichtlich der Prozesse und Abfallströme begrenzen sich auf jene Bereiche, die auch mit den gewählten Modellen abbildbar sind – mögliche zukünftige abfallwirtschaftliche Entwicklungen werden textlich ergänzt, konnten aber nicht in die Bewertung mit aufgenommen werden. Änderungen die mögliche negative Auswirkungen in Bereiche verschieben, die durch die gewählte Methode nicht abgebildet werden können, wurden so weit wie möglich ausgeschlossen. Im Detail wurden somit folgende Änderungen vorgenommen:

14.1.1 Erhöhung des Erfassungsgrads von getrennt erfassten Abfällen

In Szenario R2 konnte gezeigt werden, dass durch eine Erhöhung der getrennten Sammlung und der damit verbundenen Erhöhung der stofflichen Verwertung folgende Ziele positiv beeinflusst werden:

- AWG Ziel 1 durch Berücksichtigung der Gutschriften
- AWG Ziel 2 durch Reduktion der thermischen Behandlung
- AWG Ziel 3 durch erhöhte Rohstoffschonung

Gemäß Szenario R2 erfolgt auch im optimierten Szenario eine Erhöhung der Erfassungsgrade von getrennt erfassten Abfällen aus Rest-, Sperr und Gewerbemüll:

- 50% der „Altstoffe“ in Rest- und Sperrmüll aus HH werden zusätzlich getrennt gesammelt
- 80% der „Altstoffe“ in Gewerbe- und Industriemüll werden zusätzlich getrennt gesammelt

Hinsichtlich der Sammlung ergeben sich folgende Änderungen:

Tabelle 14-1: Szenarienanalyse: optimiertes Szenario – Änderung des Erfassungsgrades

		Sammlung [1.000 Tonnen]		
Abfallfraktion		**Status Quo**	**optimiertes Szenario**	***Differenz***
Abfälle aus HH	Metalle	117	146	*29*
	Leichtverpackungen	154	270	*116*
	Papier	638	713	*75*
	Glas	217	247	*30*
	Biomüll	791	986	*195*
	Restmüll	1.410	920	*-490*
	weitere (Sperrmüll+sonstige Altstoffe +Problemstoffe+ Altholz)	587	631	*44*
Abfälle aus Gewerbe/ Industrie	Metalle	838	853	*15*
	Leichtverpackungen	42	79	*37*
	Papier	809	973	*164*
	Glas	69	86	*17*
	Holzabfälle	138	155	*17*
	Alttextilien	9	12	*3*
	Restmüll	552	298	*-254*
	Sperrmüll	89	89	*0*
weitere Abfälle		10.800	10.800	*0*
Summe Primärabfallaufkommen		**17.300**	**17.300**	***0***
Summe Sekundärabfälle		4.190	2.740	*-1.450*
GESAMTSUMME		**21.500**	**20.000**	***-1.500***

Die durch die Getrenntsammlung möglichen höheren Sammel- und Transportkosten könnten optimiert werden. Dies kann z.B. durch die gemischte Erfassung von hierfür geeigneten Recyclingstoffen erfolgen (z.B. Kunststoff, Glas, Metalle) und deren Trennung in einer Sortieranlage. Zu prüfen wäre auch, ob in Regionen mit bestehenden

Sortieranalgen durch eine sehr effektive separate Erfassung der Bioabfälle die Restabfälle so trocken sind, dass die Wertstoffe (außer Papier/Pappe) gemeinsam mit dem Restabfall gesammelt und in einer Behandlungsanlage getrennt werden. Entsprechende Versuche haben positive Ergebnisse erzielt. Für diese Trennung/Aufbereitung könnten die bestehenden MBA (neben sonstigen Recyclinganlagen) angepasst und damit weiter genutzt werden.

14.1.2 Metallrückgewinnung aus Abfallverbrennungsrückständen

Mittels Ökobilanzierung konnte gezeigt werden, dass die Verwertung von Metallen (siehe Kapitel 8.3) aufgrund der Gutschriften eine wichtige Rolle zur Vermeidung von Umweltauswirkungen spielt (=Verbesserung von AWG Ziel 1). Zusätzlich können durch ein erhöhtes Metallrecycling die Rohstoffschonung und die damit verbundenen Erlöse erhöht werden. Deshalb wird im optimierten Szenario die Metallrückgewinnung aus Schlacken erhöht.

Im Status Quo werden derzeit aus der Verbrennung von Siedlungsabfällen rund 40.000 Tonnen Metalle aus 0,6 Mio. Tonnen Aschen und Schlacken zurückgewonnen (rd. 70 kg Metalle aus 1 Tonne Schlacke). Laut einer Studie der Uni Duisburg (Deike et al. 2012) ist eine Erhöhung der gewonnenen Metallmenge auf rund 100 kg pro Tonne Schlacke möglich. Dies ergibt für das optimierte Szenario eine mögliche Erhöhung der Metallrückgewinnung aus Abfallverbrennungsrückständen auf rund 60.000 Tonnen (rd. 90% Eisen- und 10% NE-Metalle). Da in Österreich alle Abfallverbrennungsanlagen mit Nassreinigungsstufen betrieben werden, müsste hier eine entsprechende Adaptierung der Anlagen erfolgen. Auch die Qualität der abgetrennten Metalle aus Abfallverbrennungsrückständen muss beachtet werden. Eine Alternative zur Vermeidung einer Qualitätsminderung der Metallabfälle durch die Verbrennung wäre daher eine möglichst weitgehende Abtrennung der Metalle vor der Verbrennungsstufe, z.B. im Rahmen einer mechanischen Aufbereitung. Die ökonomischen und ökologischen Vor- und Nachteile dieser beiden Varianten (Metallrückgewinnung aus Schlacke versus weitgehende Metallabtrennung vor der Verbrennung) müssten dazu aber genauer untersucht werden (Forschungsbedarf).

14.1.3 Behandlung von gemischten Siedlungsabfällen

Im Status Quo werden die gemischten Siedlungsabfälle großteils (rd. 60%) direkt thermisch behandelt. Rund 25% werden mechanisch aufbereitet und anschließend deponiert, thermisch oder biologisch behandelt und rund 15% werden mechanisch-biologisch behandelt.

Zur Wahl der Behandlungsmethode der gemischten Siedlungsabfälle für das optimierte Szenario lassen die Ergebnisse der Studie keine eindeutige Aussage zu (Forschungsbedarf). Die Rückstände aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (Deponiefraktion) wirken sich vor allem negativ auf die Deponiegasemissionen (AWG Ziel 5) und auf das Deponievolumen (AWG Ziel 3) aus. Zusätzlich werden einige Indikatoren aus AWG Ziel 2 (CH_4 und N_2O) negativ beeinflusst, wobei im Vergleich zur forcierten thermischen Behandlung wiederum Vorteile hinsichtlich der CO_2-Emissionen und anderer Abgaskomponenten (NO_x, SO_2) zu verzeichnen sind. Hinsichtlich der CH_4 und N_2O ist die geringe Relevanz im Vergleich zu den gesamten CO_2-Emissionen (CO_2-Äquivalent) zu beachten (siehe 9.2 und 13.3.6). Bei der Beurteilung von klimarelevanten Gasen ist wie in Kapitel 10.6 beschrieben zu beachten, dass diese in mehreren AWG-Zielen berücksichtigt sind und speziell die Deponiegasemissionen im Vergleich zu den Emissionen der gesamten Abfallwirtschaft zunehmend eine untergeordnete Rolle spielen.

In Abhängigkeit der Wahl der Inputparameter in der Ökobilanzierung (z.B. energetischer Wirkungsgrad bei MVA, Stabilisierungsgrad und Berücksichtigung C-Senkenwirkung bei MBA) ergibt sich, dass entweder die MBA oder die thermische Behandlung jeweils geringfügig besser oder schlechter in ihrer gesamtheitlichen Umweltauswirkung bewertet werden können. In der folgenden Tabelle sind die sich bei der Bewertung im Rahmen der Studie ergebenden positiven und negativen Effekte der jeweiligen Behandlungsmethode auf die Zielerreichung der einzelnen AWG Ziele dargestellt. Im Hinblick auf die derzeitige Entwicklung der Praxis der Siedlungsabfallbehandlung im deutschsprachigen Raum, werden für das optimierte Szenario, welches auch

einen Ausblick hinsichtlich zukünftiger Tendenzen darstellt, gemischte Siedlungsabfälle nicht mehr „klassischen“ mechanisch- biologischen Abfallbehandlungsanlagen zugeführt.

Eine alternative Methode zur Behandlung der gemischten Siedlungsabfälle ist die mechanische Abtrennung von stofflich verwertbaren Recyclingstoffen (Metalle, Kunststoffe und Holz (insbesondere aus Sperrmüll) und die Erzeugung von Ersatzbrennstoffen (Trockenstabilat). Die derzeitigen Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Abtrennung von stofflich verwertbaren Recyclingstoffen einen positiven Einfluss hat. Da durch die mit der Trockenstabilisierung verbundene mechanische Aufbereitung ein hochwertiger Brennstoff erzeugt werden kann, der mit höherem Wirkungsgrad energetisch genutzt werden kann, ist davon auszugehen, dass sich das Ergebnis durch diesen Aufbereitungsschritt weiter verbessern wird. Da die Erzeugung von Trockenstabilat mit den in dieser Studie vorhanden Methoden und Modellen nicht abgebildet werden kann, wird zur Vereinfachung im optimierten Szenario davon ausgegangen, dass die gesamten gemischten Siedlungsabfälle einer direkten thermischen Behandlung zugeführt werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

In Summe wurde für das Optimalszenario angenommen, dass rund 0,92 Million Tonnen Restmüll und 0,24 Million Tonnen Sperrmüll aus Haushalten sowie 0,3 Million Tonnen Restmüll aus Gewerbe und Industrie direkt thermisch behandelt werden.

14.1.4 Erhöhung der stofflichen Verwertung

Hinsichtlich der Nutzung von Abfällen sollten „saubere“ Abfälle vorranging stofflich verwertet werden. Belastete Abfälle sollten wiederrum aus stofflichen Verwertungsprozessen ausgeschlossen werden und bei geringer Belastung als Ersatzbrennstoffe eingesetzt werden bzw. bei starker Belastung einer thermischen Abfallbehandlung mit entsprechender Rauchgasreinigung zugeführt werden.

Aufgrund der derzeitigen Beurteilungsmethodik ist es nur für Altholz möglich sowohl die Quantität (AWG Ziel 3 - Rohstoffschonung) als auch die Qualität (AWG Ziel 4 - Schadstoffe im Altholz zur stofflichen Verwertung) zu beurteilen. Dies wird im optimierten Szenario deshalb näher betrachtet. Von allen getrennt erfassten/abgetrennten Holzabfällen, sollen unbelastete Holzabfälle stofflich verwertet, die übrigen werden thermisch als Abfall oder Ersatzbrennstoff behandelt. Auf Basis der in diesem Bericht vorhandenen Untergliederung der Holzabfälle und auf Basis der ermittelten Stoffkonzentrationen werden für das optimierte Szenario folgende grob abgeschätzte Verwertungs- und Behandlungswege angenommen, um auf Basis der Modellannahmen und Berechnungen die meisten Nutzenpunkte zu generieren.

Tabelle 14-2: Szenarienanalyse: optimiertes Szenario – Änderung des Altholzverwertung

Abfallfraktion	Stoffliche Verwertung	Thermische Behandlung	
		als Ersatz-brennstoffe	als Abfall
Rinde	50 %	50 %	
Sägemehl	100 %		
Schwarten, Spreißel	100 %		
Bau-Abbruchholz	10 %	45 %	45 %
Eisenbahnschwellen			100 %
Spanplattenabfälle	100 %		
Holzemballagen	3 %	48,5 %	48,5 %
Holz (Pfähle)			100 %
weitere Holzabfälle	25 %	37,5 %	37,5 %

Speziell hinsichtlich der Kunststoffe ist zu beachten, dass Szenario R2 aufgrund der erhöhten stofflichen Kunststoffverwertung in AWG Ziel 3 viele Nutzenpunkte (5 Pkt.) erzielt. Aufgrund des fehlenden Indikators zur Bewertung der Schadstoffgehalte in Kunststoffen sind die Effekte erhöhter stofflicher Verwertung auf die Bewertung von AWG Ziel 4 nicht abbildbar - ein wichtiger Teil der Abfallwirtschaft, ist aber die Ausschleusung von Schadstoffen. Hier fehlen derzeit für Kunststoffabfälle auch die Rahmenbedingungen, mit denen bestimmt werden kann, welche Abfälle recycelt werden sollten und welche entsorgt werden müssen. Es besteht dringender

Forschungs- und Handlungsbedarf, damit auch die Auswirkungen der stofflichen Kunststoffverwertung auf das AWG Ziel 4 erfasst und abgebildet werden können.

14.1.5 Biogene Abfälle

Zur stofflichen und energetischen Nutzung biogener Abfälle wird ähnlich zu Szenario R2 im optimierten Szenario eine zweistufige Behandlung der biogenen Abfälle umgesetzt. Im Detail werden biogene Abfälle aus Haushalten, welche über das System Biotonne gesammelt werden (rd. 520.000 Tonnen) zuerst einer Vergärung zur Erzeugung von Biogas zur Nutzung der Energiepotentiale zugeführt. Anschließend erfolgt eine Kompostierung der Gärreste. Grünabfälle aus Haushalten (rd. 350.000 Tonnen) und Abfälle aus Grünflächenbereichen (rd. 690.000 Tonnen) werden einer direkten Kompostierung zugeführt.

Bei der Behandlung getrennt gesammelter Bioabfälle kann durch die Vergärung erneuerbare Energie gewonnen werden. Die wertgebenden Inhaltsstoffe (Pflanzennährstoffe und Humus) werden bei der Vergärung in etwa im gleichen Umfang erhalten wie bei der Kompostierung. Allerdings wird die Energie, die bei der biochemischen Oxidation von Kohlenstoff frei wird, bei der Vergärung durch die Biogasnutzung verwertet; bei der Kompostierung geht sie als latente Wärme verloren. Die Vergärung ist technisch aufwändiger und Investition und Betrieb sind teurer. Es hängt von der Bewertung der erzeugten Energie und der Treibhausgasemissionen ab, ob diese Mehrkosten dadurch ausgeglichen werden. Falls aktuelle Energiepreise angesetzt werden, ist dies in den meisten Fällen vermutlich nicht der Fall. Bei einer langfristigen Betrachtung und zu erwartenden höheren Energiepreisen und der zunehmenden Bedeutung der Klimagasemissionen wird die Vergärung attraktiver.

14.1.6 Deponienachsorgedauer

Nach Beendigung der Ablagerungsphase wird eine temporäre Oberflächenabdeckung zu Steuerung des Wasserhaushaltes aufgebracht, um Auslaugungsprozesse während der Nachsorgephase ablaufen zu lassen. In dieser Studie werden die mittleren österreichweiten Niederschläge zur Berechnung der Veränderung des Deponieprozesses berücksichtigt. Für eine genauere Betrachtung sollten die unterschiedlichen Niederschlagsmengen in Österreich berücksichtigt werden. Laut DVO 2008 § 29 Abs. 2 besteht die Möglichkeit für Deponie (-Kompartimente), in denen Abfälle mit hohen biologisch abbaubaren Anteilen abgelagert wurden, zur Steuerung des Wasserhaushaltes und zur Steigerung des Deponiegaserfassungsgrades eine temporäre Oberflächenabdeckung zu errichten. Allerdings ist die Dauer dieser temporären Abdeckung auf maximal 20 Jahre begrenzt.

Derzeit gibt es vom Gesetzgeber keine zeitliche Begrenzung der Deponienachsorgedauer, sondern der Zeitraum richtet sich je nach Deponie nach noch erforderlichen Nachsorgemaßnahmen (DVO 2008 § 3 Abs. 40). Für das optimierte Szenario wird die angenommene Deponienachsorgedauer von 100 Jahren auf 200 Jahre verdoppelt, um speziell die erfassten Sickerwässer noch aufzubereiten. Eine Reduzierung der Auswirkungen der Deponierung könnte auch durch eine weitergehende Vorbehandlung der Schlacken, z.B. Verglasung erfolgen. Hierdurch könnten die verglasten Schlacken dann vermutlich als Baustoff verwertet, werden und die Deponierung dieser Stoffe würde entfallen. Allerdings wäre dies mit erhöhten Kosten und Energieaufwendungen verbunden.

14.2 Ergebnisse

Die Erhöhung des Erfassungsgrades und die Veränderung der Behandlungswege bedingen nur etwas niedrigere Kosten im Vergleich zum Status Quo (siehe Tabelle 14-3). Die Reduktion der Kosten ergibt sich hauptsächlich aufgrund der geringeren Mengen an Sekundärabfällen im Vergleich zum Status Quo.

Tabelle 14-3: Optimiertes Szenario: Veränderung Sammlung und Transport

Abfallfraktion		Sammlung [1.000 Tonnen]		Kosten [1.000 EUR]	
		Status Quo	optimiertes Szenario	Status Quo	optimiertes Szenario
Abfälle aus HH	Metalle	117	146	27.000	33.700
	Leichtverpackungen	154	270	24.200	42.500
	Papier	638	713	74.400	83.100
	Glas	217	247	29.400	33.500
	Biomüll	791	986	100.000	125.000
	Restmüll	1.410	920	162.000	106.000
	weitere (Sperrmüll+sonstige Altstoffe +Problemstoffe+ Altholz)	587	631	29.100	31.200
Abfälle aus Gewerbe/ Industrie	Metalle	838	853	139.000	142.000
	Leichtverpackungen	42	79	4.760	8.930
	Papier	809	973	82.300	99.100
	Glas	69	86	3.640	4.550
	Holzabfälle	138	155	22.600	25.500
	Alttextilien	9	12	419	538
	Restmüll	552	298	63.300	34.200
	Sperrmüll	89	89	4.740	4.740
weitere Abfälle		10.800	10.800	641.000	641.000
Summe Primärabfallaufkommen		**17.300**	**17.300**	**1.410.000**	**1.420.000**
Summe Sekundärabfälle		4.190	2.740	118.000	77.100
GESAMTSUMME		**21.500**	**20.000**	**1.530.000**	**1.490.000**

In Tabelle 14-4 sind die Veränderungen im Bereich der Behandlung und Entsorgung abgebildet. Zu erkennen ist, dass im optimierten Szenario weniger Sekundärabfälle anfallen und deshalb um rund 1,5 Millionen Tonnen weniger Abfälle behandelt werden müssen. Der Bereich sonstige Behandlung beinhaltet die mechanische Aufbereitung von Siedlungsabfällen, welche im optimierten Szenario nicht mehr betrieben wird – deshalb reduzieren sich die Mengen in diesem Bereich deutlich, allerdings aufgrund der geringen spezifischen Kosten pro Tonne [10 EUR/t] nicht die Kosten. Den höchsten Reduktionsanteil hinsichtlich der Kosten kann der thermischen Behandlung zugeordnet werden, da sich die Menge der thermisch behandelten Abfälle durch die verstärkte stoffliche Verwertung reduziert. Aufgrund der Verlängerung der Nachsorgephase und der damit verbundenen Kosten erhöhen sich die Kosten der Deponierung trotz Reduktion der Mengen. Die Kosten für die Aufbereitung von Altstoffen erhöhen sich aufgrund der vermehrten getrennten Sammlung. In Summe verändern sich die Kosten nicht.

Tabelle 14-4: Optimiertes Szenario: Veränderung Behandlung und Entsorgung

	Behandlung [1.000 Tonnen]		Kosten [1.000 EUR]	
	Status Quo	optimiertes Szenario	Status Quo	optimiertes Szenario
biotechnische Behandlung	1.440	1.680	93.300	96.600
chem.-phy. Behandlung	382	352	38.200	35.200
thermische Behandlung	3.200	2.710	304.000	270.000
Aufbereitung Baurestmassen	6.280	6.280	100.000	100.000
Aufbereitung von Altstoffen	4.420	4.970	180.000	228.000
sonstige Behandlung	2.310	1.250	136.000	124.000
Deponie	2.100	1.790	111.000	121.000
direkter Export	219	209	219.300	209.200
direkte Verwertung	1.060	789		
SUMME	**21.400**	**20.000**	**1.180.000**	**1.180.000**

Für die Berechnung der modifizierten Kostenwirksamkeit ergibt sich somit eine Summe (Kosten Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung) von rund 2,65 Millionen EUR. Die weiteren nicht für die mKWA

berücksichtigen Kosten bzw. Erlöse des optimierten Szenarios zeigen folgende Tabellen. (Tabelle 14-5, Tabelle 14-6 und Tabelle 14-7).

Die Erlöse können im Vergleich zum Status Quo durch das optimierte Szenario geringfügig erhöht werden.

Tabelle 14-5: Optimiertes Szenario: Veränderung der abgeschätzten Erlöse

	Produkte zur Verwertung [1.000 t]		Erlöse [1.000 EUR]	
	Status Quo	optimiertes Szenario	Status Quo	optimiertes Szenario
Metalle (1)	**2.050**	**2.090**	**500**	**505**
Metallabfälle (Haushaltsschrott)	83	105	9	12
Metallabfälle (Metallverpackungen)	29	51	3	6
Metallabfälle (Altmetalle)	769	769	85	85
Metallabfälle (Aluminium, Aluminiumfolien)	112	112	95	95
Metallabfälle (Blei)	1	1	1	1
Metallabfälle (Eisen und Stahlabfälle)	846	846	93	93
Metallabfälle (Kupfer)	43	43	107	107
Metallabfälle (NE-Metallabfälle)	59	59	12	12
Metallabfälle (Nickel und nickelhaltige Abfälle)	23	23	76	76
Metallabfälle (weitere)	82	82	16	16
Metallabfälle (Zink, Zinkplatten)	3	3	2	2
Glas (2)	**218**	**253**	**5**	**6**
Papier (und Papierreste) (3)	**1.400**	**1.580**	**168**	**189**
Kunststoff (4)	**111**	**168**	**67**	**67**
Holz (5)	**105**	**215**	**2**	**4**
Sonstige Stoffliche Verwertung (6)	**7.020**	**7.110**	**53**	**47**
davon: Baurestmassen	5.710	5.710	30	30
davon: Eisenschrott aus Behandlungsanlagen	115	50	13	5
Gesamt: Stoffliche Verwertung (1+2+3+4+5+6)	**10.900**	**11.400**	**794**	**819**
Mengen zur thermischen Behandlung bzw. Wärmeerlöse	3.200	86	56	47
Gesamt			**851**	**866**

Die monetarisierten Kosten für Haushalte steigen aufgrund der Erhöhung des Erfassungsgrades und der damit verbundenen Erhöhung der einzelnen Kostenkomponenten.

Tabelle 14-6: Optimiertes Szenario: Veränderung der monetarisierten Kosten für Haushalte

	Sammlung [Tonnen]	
Abfallfraktion	Status Quo	optimiertes Szenario
HH Metalle (Schritt und Verpackung)	120.000	150.000
HH Leichtverpackungen	150.000	270.000
HH Papier	640.000	710.000
HH Glas	220.000	250.000
HH Biomüll	790.000	990.000
HH Restmüll	1.400.000	920.000
HH Sperrmüll + sonstige Altstoffe +Problemstoffe+ Altholz	480.000	490.000
HH Elektroaltgeräte	76.000	82.000
HH Alttextilien	27.000	64.000
SUMME	**3.900.000**	**3.900.000**

	Kosten [Mio. EUR]	
Kosten	Status Quo	optimiertes Szenario
Raumkosten	400	430
Materialkosten	230	190
Fahrtkosten	67	84
Zeitkosten	2.800	3.000
SUMME	**3.500**	**3.700**

Aufgrund der Reduktion der Verbrennung und der damit verbundenen Reduktion der Emissionen in die Luft können die externen Kosten gesenkt werden. Hinsichtlich der externen Kosten ist zu beachten, dass nur eine begrenzte Anzahl an Stoffen berücksichtigt wurde (siehe Kapitel 11.3). Die externen Kosten durch Bindung von Ressourcen im Lager reduzieren sich im optimierten Szenario nur minimal. Es werden zwar weniger Abfälle abgelagert allerdings liegen die betrachteten Ressourcen (Stoffe) konzentrierter und damit in ähnlichen Mengen vor.

Tabelle 14-7: Optimiertes Szenario: Veränderung der externen Kosten

	Kosten [1.000 EUR]	
externe Kosten	**Status Quo**	**optimiertes Szenario**
Emissionen Luft	218.000	165.000
Emissionen Wasser	9.380	8.230
Ressourcen (Lager)	203.000	199.000
SUMME	**431.000**	**372.000**

Das optimierte Szenario zeigt folgende Veränderungen hinsichtlich der Ökobilanzierung (siehe Tabelle 14-8). Im Vergleich zum Status Quo ergibt sich bei Mitberücksichtigung der Gutschriften in allen betrachteten Kategorien eine Verbesserung.

Tabelle 14-8: Optimiertes Szenario: Veränderung hinsichtlich der Ergebnisse der Ökobilanz

		Einheit	Status Quo	optimiertes Szenario
mit Gutschriften	**Treibhauspotential**	*t CO_2 eq/a*	-3.700.000	-4.400.000
	Eutrophierungspotential	*t P eq/a*	18	17
	Photooxidantienpotential	*t NMVOC/a*	-13.000	-15.000
	Versauerungspotential	*t SO_2 eq/a*	-14.000	-16.000
ohne Gutschriften	**Treibhausgasemissionen**	*t CO_2 eq/a*	1.800.000	1.500.000
	CO_2 Emissionen	*t*	1.500.000	1.300.000
	CH_4 Emissionen	*t*	8.500	7.900
	N_2O Emissionen	*t*	200	130
	SO_2 Emissionen	*t*	880	840
	NO_x Emissionen	*t*	2.200	1.500

Zusammenfassend ergeben sich durch das optimierte Szenario folgende Veränderungen hinsichtlich der Kosten und Nutzen. Positive Veränderung bedeute bei jeder Kategorien, dass eine Verbesserung zum Status Quo auftritt. Die Prozentwerte beziehen sich auf die absoluten Werte (z.B kg CO_2/a oder €/a).

Tabelle 14-9: Optimiertes Szenario: Zusammenfassung der Veränderungen [% der absoluten Werte]

		⇧ postive Veränderung		⇩ negative Veränderung		⇔ keine Veränderung
optimiertes Szenario	Nutzen	Z 1: Photooxidantienpotential	19%			
		Z 1: Eutrophierungspotential	3%			
		Z 1: Treibhauspotential	19%			
		Z 1: Versauerungspotential	11%			
		Z 2: klimarelevante Gase (CH4)	8%			
		Z 2: klimarelevante Gase (N2O)	35%			
		Z 2: klimarelevante Gase (CO2)	14%			
		Z 2: Luftsschadstoffe(Nox)	35%			
		Z 2: Luftschadstoffe (SO2)	5%			
		Z 3: Rohstoffe (Metalle)	2%			Z 3: Energieverbrauch
		Z 3: Rohstoffe (Kunststoff)	52%			
		Z 3: Rohstoffe (Glas)	16%			
		Z 3: Rohstoffe (Papier)	13%			
		Z 3: Rohstoffe (Holz)	105%			
		Z 3: Deponievolumen	18%			
		Z 4: Schadstoffe: Kompost	5%			Z 4: Schadstoffe: Sek.-Baustoffe
		Z 4: Schadstoffe: Sek.-Holz	13%			
		Z 5: Deponiesickerwasseremission	2%			
		Z 5: Deponiegasemissionen	100%			Z 5: Schwermetalle in Deponie
	Kosten	Kosten: S&T	2%	Kosten: HH	-4%	Kosten: Unternehmen
		Kosten: extern	18%			Kosten: B&E
		Erlöse	2%			

Die Gegenüberstellung der absoluten Werte zeigt, dass mit Ausnahme der Kosten der Haushalte mit positiven oder keinen Veränderungen zu rechnen ist. Die deutlichsten positiven Veränderungen können durch die vermehrte stoffliche Verwertung von Altholz erreicht werden bzw. durch die Reduktion der Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen und der damit verbundenen Reduktion von Deponiegasemissionen. Die Deponiegasemissionen sind wie auch in Kapitel 5.5 beschrieben in Zusammenhang mit den gesamten Emissionen zu betrachten und spielen damit nur eine untergeordnete Rolle.

Die bei Szenario R2 aufgetretenen negativen Effekte durch ein erhöhtes Recycling von Altholz (Erhöhung von Schadstoffen) sind beim optimierten Szenario nicht mehr zu beobachten, da hier nur noch unbelastete Holzabfälle stofflich verwertet werden, die übrigen werden thermisch behandelt. Zu beachten ist bei der Bewertung von AWG Ziel 4 allerdings weiterhin, dass nur für eine begrenzte Anzahl an Sekundärprodukten der Schadstoffgehalt in die Bewertung eingeflossen ist, und so Veränderungen. Eine möglichst umfassende Erfassung und stoffliche Verwertung von Abfallbestandteilen entspricht auch der Zielhierarchie der Abfallrahmenrichtlinie. Allerdings darf auch das Ziel 4 des AWG (keine Gefährdung durch Recyclingprodukte) nicht außer Acht gelassen werden. Derzeit existieren noch keine allgemein anerkannten Instrumentarien, mit denen entschieden werden kann, welche Abfallbestandteile erfasst und stofflich verwertet werden können/sollten und welche aufgrund ihres Schadstoffpotentials aus dem Kreislauf ausgeschleust werden sollten. Durch die Weiterentwicklung von automatischen Erkennungs- und Trennsystemen verbessern sich die technischen Möglichkeiten der Trennung innerhalb gleicher Stoffgruppen (z.B. Kunststoffe) immer mehr. Allerdings gibt es noch keine robusten Stoffbilanzen von Recyclinganlagen, die das Potential solcher Verfahren in der Praxis belegen können. Auch müssen die Grundlagen und Entscheidungshilfen bestimmt werden, mit denen man festlegen kann, was noch recycelt werden soll. Ausgedrückt in Nutzenpunkten können folgende Änderung (siehe Abb. 14-1) im Vergleich zum Status Quo erreicht werden. Hier ist wieder zu beachten, dass geringfügige

Änderungen sich nicht zwingend in den Nutzenpunkte widerspiegeln müssen bzw. der Bereich der Nutzenpunkte von 10 nicht überschritten bzw. von 0 nicht unterschritten werden kann.

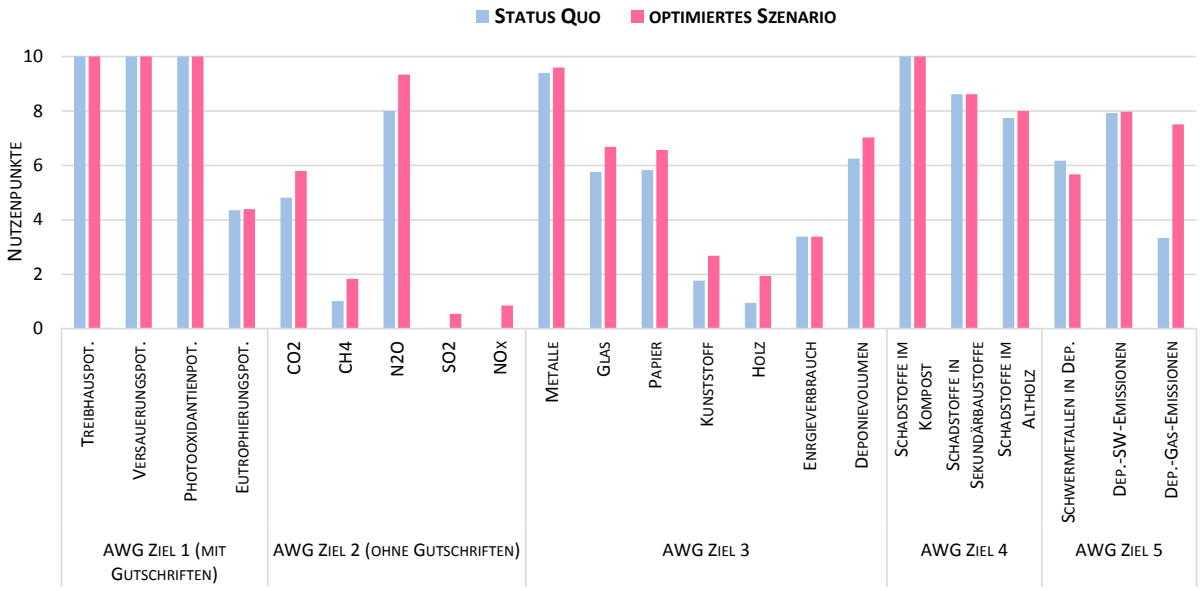


Abb. 14-1: Optimiertes Szenario: Veränderung der Nutzenpunkte

Auf Basis der errechneten Nutzenpunkte und der internen Kosten für „Sammlung und Transport“ und „Behandlung und Entsorgung“ kann für das optimierte Szenario folgende modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) berechnet werden. Im Vergleich zum Status Quo kann somit die mKW von 11,8 auf 12,8 erhöht werden. Die internen Kosten können um rund 70 Millionen EUR reduziert werden und hinsichtlich der Nutzen können Erhöhungen bei AWG Ziel 2 (0,9 NP), AWG Ziel 3 (0,7 NP), AWG Ziel 4 (0,2 NP) und bei AWG Ziel 5 (0,5 NP) erreicht werden. Bei AWG Ziel 1 können keine Veränderungen beobachtet werden.

Tabelle 14-10: Szenarienanalyse: modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) des optimierten Szenarios

mittlere Nutzenpunkte	
AWG Ziel 1	8,6
AWG Ziel 2	3,7
AWG Ziel 3	5,4
AWG Ziel 4	8,9
AWG Ziel 5	7,6
Summe	**34,2**

Kosten Mrd. EUR	
Sammlung und Transport	1,5
Behandlung/Entsorgung	1,2
Summe	**2,7**

mKW	**12,8**

In Tabelle 14-11 sind die mittleren Nutzenpunkte und internen Kosten des Status Quo mit den einzelnen Szenarien gegenübergestellt. Zu erkennen ist, dass Szenario R2 im Vergleich zum optimierten Szenario bei AWG Ziel 3 höhere Nutzenpunkte aufweist. Der Hauptgrund liegt daran, dass im optimierten Szenario nur Abfälle stofflich verwertet wurden, wenn mit keiner erhöhten Schadstoffkonzentration in den Sekundärprodukten gerechnet werden kann. Da dies nur für Altholz bewertet werden konnte, wurde die stoffliche Verwertung von z.B. Kunststoffen im optimierten Szenario nicht forciert

Tabelle 14-11: Szenarienanalyse: Vergleich der mKW aller Szenarien

	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3	optimiertes Szenario
AWG Ziel 1	8,6	**8,6**	8,6	8,5	8,6
AWG Ziel 2	2,8	3,3	**3,1**	2,1	3,7
AWG Ziel 3	4,8	4,5	**6,2**	1,9	5,4
AWG Ziel 4	8,7	8,7	8,6	**9,5**	8,9
AWG Ziel 5	7,2	7,3	7,3	7,8	7,6
Summe Nutzenpunkte	**31,9**	**32,3**	**33,8**	**29,7**	**34,2**
Kosten Sammlung und Transport	1,5	1,4	1,5	1,2	1,5
Kosten Behandlung und Entsorgung	1,2	1,2	1,2	1,6	1,2
Summe Kosten intern [Mrd. EUR]	**2,7**	**2,6**	**2,7**	**2,9**	**2,7**
mKW	**11,79**	**12,52**	**12,57**	**10,38**	**12,78**

15 Zusammenfassung

15.1 Methodische Vorgehensweise

Ziel der Studie ist es die österreichische Abfallwirtschaft hinsichtlich ihrer Zielerreichung und Wirtschaftlichkeit zu beurteilen. Die folgende Abbildung (Abb. 15-1) gibt einen zusammenfassenden Überblick über die gewählte methodische Vorgehensweise (Details siehe Kapitel 5). Von insgesamt 49 Millionen Tonnen Abfällen wurden 17 Millionen Tonnen quantitativ betrachtet und bewertet. Die Ziele sind gemäß AWG 2002 definiert und wurden in Unterziele und Indikatoren eingeteilt (Punkt 1). Zentral für die Beurteilung der Zielerreichung ist einerseits die Definition von Bewertungskriterien (Benchmarks bzw. Minimalanforderungen) und anderseits die Erhebung des Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft. Die Bewertungskriterien wurden für jeden Indikator je nach Formulierung der AWG Ziele unterschiedlich definiert (Punkt 2). Der Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft wurde mittels Materialflussanalyse (Güter- und ausgewählte Stoffbilanzen) und Ökobilanz (LCA) beschrieben. Diese liefern die notwendigen Indikatorenwerte (Punkt 3). Mittels Gegenüberstellung des Status Quo und der Benchmarks je Indikator können die Zielerreichung und in Folge die Nutzenpunkte (min. 0 Punkte, max. 10 Punkte) ermittelt werden (Punkt 4). Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurden die volkswirtschaftlichen Kosten auf mehreren Ebenen erhoben (Punkt 5). Mit der Kombination der Nutzenpunkte und internen Kosten kann abschließend die modifizierte Kostenwirksamkeit errechnet werden (Punkt 6).

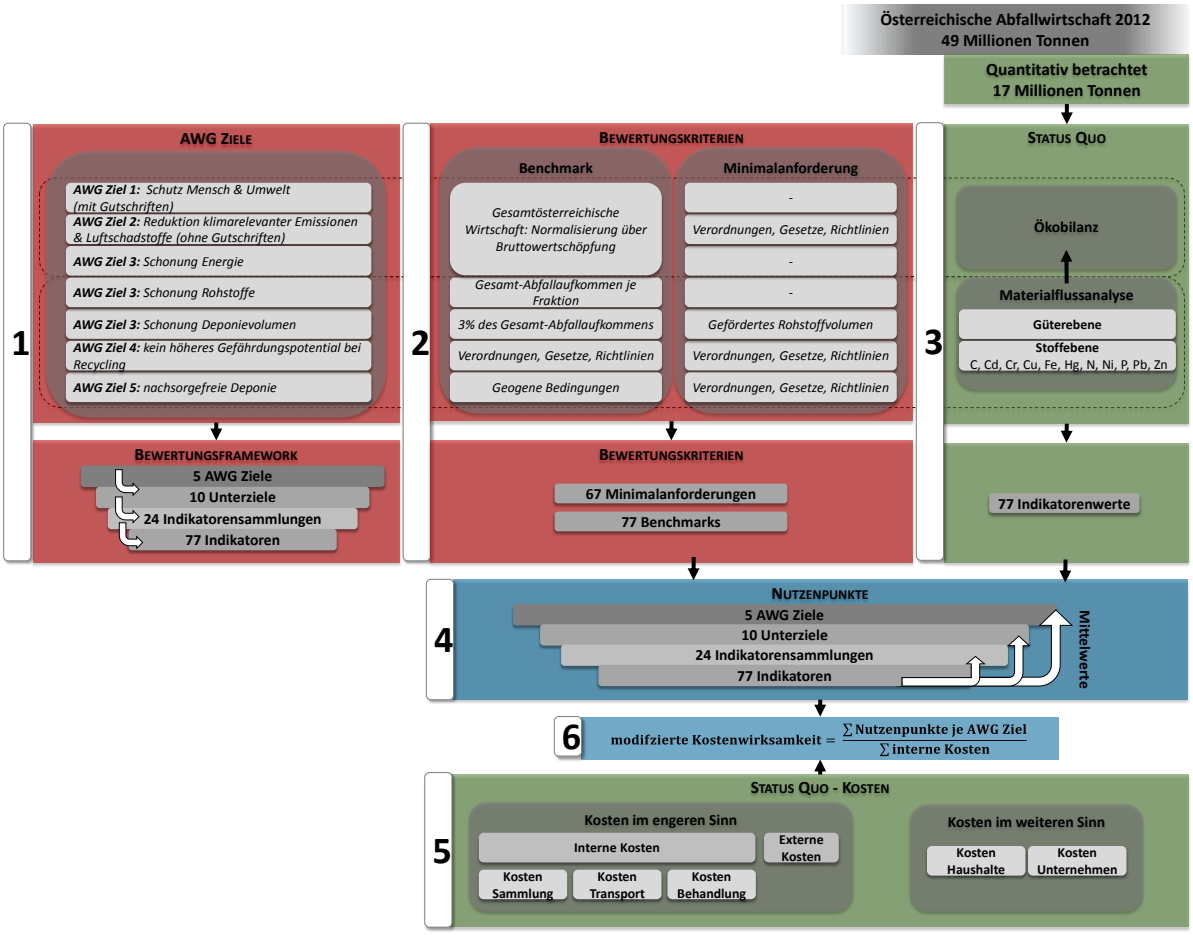


Abb. 15-1: Zusammenfassende Übersicht der methodischen Vorgehensweise

Diese Studie gibt einen umfassenden Überblick über die österreichische Abfallwirtschaft. Von zentraler Bedeutung ist aber, dass die gewählte Beurteilungsmethodik ein erster Schritt in Richtung gesamthafter Beurteilung der österreichischen Abfallwirtschaft ist. Im Zuge der Studie konnten nicht alle Bereiche und Auswirkungen der österreichischen Abfallwirtschaft aufgrund von methodischen Einschränkungen sowie

Datenlücken betrachtet werden. In Kapitel 5.5 wird die methodische Vorgehensweise und in Kapitel 6.8 die Datenbeschaffung kritisch diskutiert.

15.2 Materialflussanalyse

Die österreichische Abfallwirtschaft wurde mittels der Software STAN als Stoffflusssystem abgebildet und anhand von Daten des Statusberichts 2013 des BMLFUW, ergänzt durch Angaben des elektronischen Datenmanagements (EDM), quantifiziert. Mit einer ausführlichen Literaturrecherche, Experteninterviews und Anfragen an die Industrie wurde die Datenqualität weiter erhöht. Das System österreichische Abfallwirtschaft wurde in seiner Gesamtheit bilanziert, wobei die Gesamtbilanz aus den Teilbilanzen der einzelnen, existierenden abfallwirtschaftlichen Verfahren und deren Inputs und Outputs gebildet wurde. Im Rahmen des Projektes wurden jedoch auch in einigen Bereichen große Datenlücken (siehe Kapitel 6.8) identifiziert, die für eine gesamthafte Abbildung der österreichischen Abfallwirtschaft Annahmen und Abschätzung erforderlich machten. Mittels der Materialflussanalysen (Details siehe Kapitel 7) wurden sowohl die Güterebene als auch elf Stoffe (C, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, N, Ni, P, Pb, Zn) abgebildet. Der Input (=Abfälle) wird dem Output (=Emissionen, Exporte und Produkte) unter Berücksichtigung der Lageränderung (=Deponie) gegenübergestellt. In dieser Studie wurden einige Abfallfraktionen nicht oder nur qualitativ behandelt. Hauptsächlich handelt es sich dabei um abfallwirtschaftlich wenig relevanten Bodenaushub, welcher mit knapp 30 Millionen Tonnen abgeschätzt wurde. Die quantitativ betrachteten Abfälle (17 Millionen Tonnen) werden in unterschiedlichen abfalltechnischen Anlagen (Prozessen) behandelt.

Mengenmäßig sind die Prozesse der Aufbereitungsanlagen von Baurestmassen sowie die Aufbereitung von getrennt gesammelten Abfällen für die anschließende Verwertung am bedeutendsten. Weiters werden rund 15 % der Abfälle thermisch und 7 % entweder in Kompost-, Biogas-oder MBA-Anlagen behandelt. In Summe werden 65 % der 17 Millionen Tonnen quantitativ betrachteten Abfälle verwertet, 12 % deponiert und 5 % exportiert. Rund 18 % des Abfallinputs emittiert vor allem durch thermische und biotechnische Behandlung. In Summe sind im Jahr 2012 in Österreich knapp 50 Millionen Tonnen Abfälle angefallen.

Etwa ein Drittel des Kohlenstoffs und etwa die Hälfte des Stickstoffs emittieren vor allem durch thermische aber auch durch biotechnische Behandlung in die Luft. Kohlenstoff emittiert hauptsächlich in Form von CO_2 und zu einem kleinen Teil als CH_4, Stickstoff hauptsächlich als N_2 sowie N_2O und NO_x. Getrennt gesammelte Metallfraktionen wie Eisen, Kupfer, Zink und Blei werden großteils direkt verwertet bzw. sind nach Aufbereitung als Sekundärmaterialien wieder einsetzbar. Rund 60.000 t Eisen, 5.000 t Blei und 9.000 t Zink gelangen nach einer thermischen Behandlung in Aschen und Schlacken (rd. 2 Mio. Tonnen) gebunden auf Deponien. Phosphor ist großteils in Aschen und Stäuben enthalten, die zu rund einem Drittel entweder zur Herstellung von Aschen-Schlacken-Beton verwendet oder stofflich in der Zementindustrie verwertet werden. Rund 40 % des Phosphors werden innerhalb der österreichischen Abfallwirtschaft deponiert. Rund die Hälfte des Cadmiums wird deponiert, die andere Hälfte recycelt. Das deponierte Cadmium stammt hauptsächlich aus Rückständen der thermischen Behandlung aus dem Industriebereich. Das rezyklierte Cadmium findet sich großteils in Metallen und Kunststoffen wieder. Quecksilber gelangt zum größten Teil auf Deponien, und rund 17 % des Quecksilbers finden sich in den Produkten der Recyclingprozesse, wie Papier und Kunststoffe. In Abb. 15-2 sind die Stoffkonzentration in den Deponiematerialien und den Produkten dargestellt.

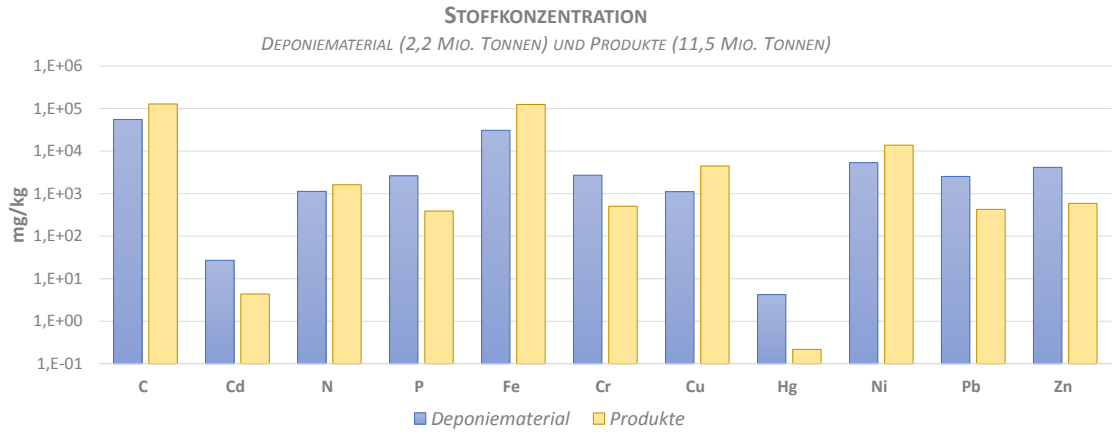


Abb. 15-2: Zusammenfassende Darstellung der Stoffkonzentrationen in Deponiematerial und Produkten (stoffliche Verwertung und Ersatzbrennstoffe)

Der Kohlenstoffgehalt (C_{tot}) aller deponierten Materialien beträgt trotz vorheriger Behandlung noch immer über 50 g/kg. In Summe wurden im Jahr 2012 rund 120.000 t C, 60 t Cd, 9 t Hg, 6.000 t Pb, 6.000 t Cr und 9.000 t Zn auf österreichischen Deponien abgelagert. Anorganische Stoffe sind großteils in Aschen und Schlacken gebunden und können nur über einen langen Zeitraum umgewandelt werden bzw. durch Auswaschung, Erosion oder Überschwemmung in die Umgebung gelangen. Auch in den Produkten der Abfallaufbereitung und des Recyclings finden sich unterschiedliche Stoffe wieder – teilweise gewollt (z.B. Fe in Sekundärmetallen) und teilweise als Schadstoff (Cd in Kunststoffen). In Summe wurden im Jahr 2012 rund 50t Cd, 50kt Cu, 6kt Cr, 1,4 Mt Fe, 160kt Ni, 2t Hg, 5kt Pb und 9kt Zn wieder dem Produktkreislauf zugeführt. Dabei kann nicht überall unterschieden werden, ob dies als Wert- oder Störstoff geschieht.

15.3 Ökobilanz

Die Auswirkungen der österreichischen Abfallwirtschaft auf Mensch und Umwelt wurden mittels einer Ökobilanz (Lebenszyklusanalyse) bewertet. Zur Wirkungsabschätzung wurden die Methoden ReCipe bzw. CML verwendet (siehe Kapitel 8).

Dabei wurden nicht nur die direkt mit der österreichischen Abfallwirtschaft in Verbindung stehenden Emissionen abgebildet, sondern es wurden mittels der sogenannten Gutschriftenmethode auch positive Auswirkungen durch Bereitstellung von Sekundärressourcen oder Energie und die damit einhergehende Vermeidung des Verbrauchs von Primärressourcen berücksichtigt. Die Ergebnisse der Bilanzierung des Status Quo sind in Abb. 15-3 zusammenfassend dargestellt. Für die Wirkungskategorien Treibhauspotential, Versauerungspotential und Photooxidantienpotential erkennt man anhand der negativen Werte, dass die Gutschriften, also die durch die Bereitstellung von Sekundärressourcen vermiedenen Emissionen aus der Primärherstellung, die negativen Umweltauswirkungen der Abfallwirtschaft überwiegen. Das bedeutet, die abfallwirtschaftlichen Maßnahmen wirken sich insgesamt positiv auf unsere Umwelt aus. Zu beachten ist hier allerdings, dass sich dieses Ergebnis durch die hohen Gutschriften, vor allem aus dem Bereich des Metallrecyclings, ergibt. Diese überlagern und verdecken damit andere Auswirkungen der Abfallwirtschaft.

Anders verhält es sich mit der Wirkungskategorie Eutrophierung, wo negative Umweltauswirkungen durch die Abfallwirtschaft zu erkennen sind. Dies gilt vor allem für eutrophierungsrelevante Emissionen aus der Deponie. Auch die Wirkungskategorie Humantoxizität wurde im Zuge der Studie betrachtet, diese Ergebnisse sind aber aus unterschiedlichen Gründen (u.a. Datenlage) mit großen Unsicherheiten behaftet und wurden nicht weiter in der Bewertung berücksichtigt.

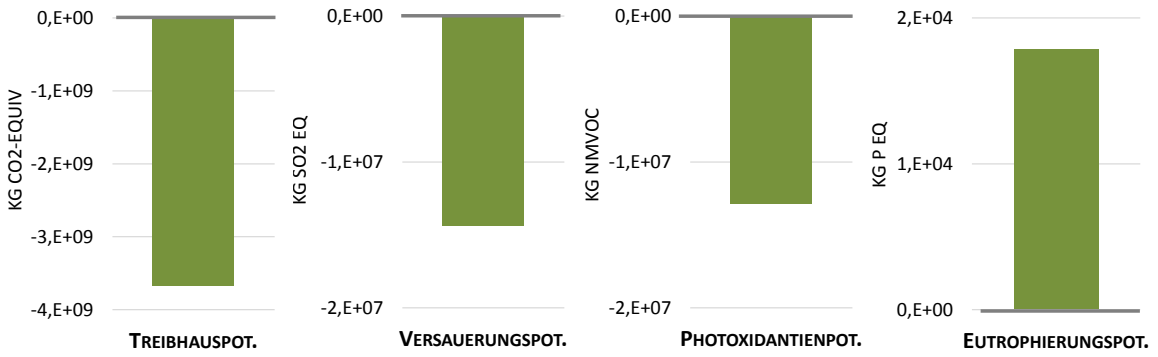


Abb. 15-3: Zusammenfassende Ergebnisse der Ökobilanzierung des Status Quo

15.4 Volkswirtschaftliche Kosten

Auf Basis der Güterflüsse wurden die volkswirtschaftlichen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft ermittelt. Große Schwierigkeiten bei der Erhebung der Kostensätze bei Unternehmen bereiteten die oftmals vertraulichen Informationen, welche nicht oder nur selten bekannt gegeben wurden. Es wurden die Kosten für Sammlung und Transport sowie für Behandlung und Entsorgung ermittelt (interne Kosten der AWS ieS). Außerdem wurden die externen Kosten abgeschätzt. Unter den externen Kosten der Abfallwirtschaft werden jene Kosten verstanden, die von den Akteuren der Abfallwirtschaft verursacht, aber nicht getragen werden. Klassischerweise handelt es sich dabei um Schadstoffemissionen, die in allen Bereichen der Abfallwirtschaft (Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung) anfallen können. Weiters wurden die Aufwendungen der Haushalte und der nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen abgeschätzt (Kosten der AWS iwS). Der größte Anteil kann den monetarisierten Kosten der Haushalte zugeordnet werden, wo vor allem die Zeitkosten und im Speziellen die Kosten für Reparatur einen relevanten Einfluss haben. Hinsichtlich der Kosten der Haushalte ist festzuhalten, dass den Kosten keine Zahlungen bzw. keine Ausgaben gegenüberstehen; es handelt sich zum größten Teil um den monetär bewerteten Zeitaufwand (Opportunitätskosten), den Haushalte zur Zielerreichung des AWGs aufbringen. Die Kosten der Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen können mit 0,3 Mrd. EUR abgeschätzt werden. Es ist festzuhalten, dass keine zuverlässigen, verallgemeinerbaren Kostensätze ermittelt wurden und daher auf Daten der Statistik Austria (Umweltschutzausgabenrechnung 2012) zurückgegriffen wurde, um einen ersten (konservativen) Schätzwert für diesen Bereich zu erhalten. Die Kosten für Sammlung und Transport betragen rund 1,5 Mrd. EUR und die für Behandlung und Entsorgung rund 1,2 Mrd. EUR pro Jahr. In Summe betragen die volkswirtschaftlichen internen Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft bei einer Berücksichtigung von 17 Millionen Tonnen Abfall rund 2,7 Milliarden EUR pro Jahr (siehe Tabelle 15-1) was etwa 150 EUR pro Tonne entspricht. Eine detaillierte Aufschlüsselung der einzelnen Kostenbereiche findet sich in Kapitel 11.

Tabelle 15-1: Zusammenfassung der volkswirtschaftlichen Kosten

Kostenart	Mrd. EUR pro Jahr	EUR pro Tonne	EUR pro EW
Kosten im engeren Sinn			
Kosten Sammlung und Transport	1,53	80	180
Kosten Behandlung und Entsorgung	1,18	70	140
Kosten extern	0,45	33	54
Kosten im weiteren Sinn			
(Opportunitäts-) Kosten der Haushalte	3,54	172	419
Kosten der Unternehmen (nicht abfallwirtschaftliche)	0,28	16	33
Erlöse			
Erlöse	0,85	46	100

15.5 Bewertung des Status Quo

Die Beurteilung des Status Quo erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Materialflussanalyse und der Ökobilanz. Hinsichtlich der Bewertung des Status Quo sind die Einschränkungen hinsichtlich der Bewertungsmethodik (siehe Kapitel 5.5) und Einschränkung der betrachteten Abfälle auf die quantitativ betrachteten Abfallarten (siehe Kapitel 6.1.2) zu beachten.

Die Zielerreichung je AWG Ziel dargestellt auf Basis der errechneten Nutzenpunkte (10 Punkte = 100% Zielerreichung) zeigt, dass die AWG Ziele 1, 4 und 5 die definierten Ziele (Benchmarks) fast erreichen. Bei AWG Ziel 2 und 3 gibt es noch Optimierungspotential. Details dazu siehe Kapitel 10. Die hohe Zielerreichung von AWG Ziel 1 stammt aus Gutschriften. Damit wird die Bedeutung der Rückgewinnung von Materialien deutlich – insbesondere im Vergleich mit AWG Ziel 2, bei welchem die Gutschriften nicht berücksichtigt werden.

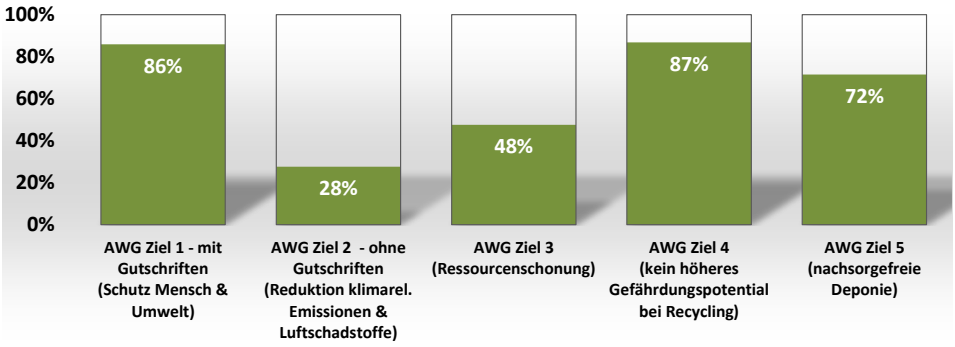


Abb. 15-4. Zusammenfassende Darstellung der Zielerreichung

Mittels der modifizierten Kosten-Wirksamkeitsanalyse (mKWA) wurde eine passende Methodik zur Beantwortung der Forschungsfragen ausgewählt und adaptiert. Mittels der mKWA können die volkswirtschaftlichen Kosten mit der Zielerreichung des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG 2002) verknüpft werden. Die modifizierte Kostenwirksamkeit wird aus der Summe der Nutzenpunkte je AWG Ziel dividiert durch die internen Kosten ermittelt. Für den Status Quo ergibt sich ein Wert von 11,8. Daraus lässt sich noch nicht schließen, ob der derzeitige Stand der Zielerreichung im Verhältnis zu den Kosten der Abfallwirtschaft effizient oder effektiv ist. Dieser Wert kann aber in Folge für den Vergleich der Kostenwirksamkeit bei Gewichtung herangezogen werden bzw. erlaubt dieser Wert einen Vergleich der Szenarien hinsichtlich der Kostenwirksamkeit.

15.6 Szenarienanalyse

Die Szenarienanalyse war darauf ausgerichtet, drei Varianten mit unterschiedlichen Zielen zu untersuchen, um Systemverständnis zu generieren und mögliche Änderungen für ein optimiertes Szenario abzuleiten.

- Optimierung der untersuchten Kostenbereiche (Szenario W1)
- Ressourcenoptimierung (Szenario R2)
- Schadstoffminimierung und Nachsorgefreiheit (Szenario N3)

Der Vergleich der drei Szenarien (siehe Kapitel 13.2 und 13.3) auf Basis der mittleren Nutzenpunkte je AWG Ziel zeigt die deutlichsten Veränderungen in AWG Ziel 3 (Ressourcenschonung) (siehe Abb. 15-5). Weiters kann gezeigt werden, dass kein Szenario für alle fünf Ziele nur positive oder nur negative Auswirkungen bedingt. Jedoch kann klar herausgestrichen werden, dass Szenario R2 (Ressourcenoptimierung) als einziges für vier von fünf betrachteten AWG Zielen eine Verbesserung oder zumindest Gleichstellung zum Status Quo erreicht.

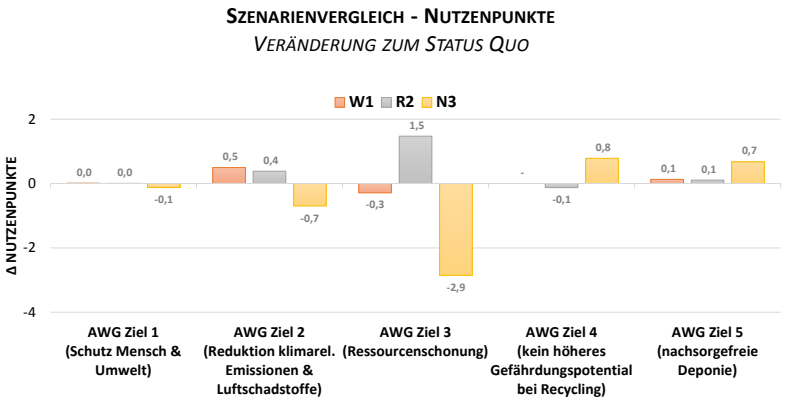


Abb. 15-5: Zusammenfassende Darstellung des Szenarienvergleichs: Änderung der Nutzenpunkte zum Status Quo

Es ist auch deutlich zu erkennen, dass es nicht möglich ist mit einer Einzelmaßnahme (Extremmaßnahme) alle Ziele des AWGs gleichwertig zu bedienen und zu verbessern. Es muss somit ein Mittelweg und das bestmögliche Zusammenspiel mehrerer Maßnahmen gefunden werden, um eine optimale Lösung zu erreichen. Dazu wurde das optimierte Szenario entwickelt.

Auch hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Kosten zeigt sich, dass es je nach Kostenart zu einer Erhöhung oder Reduktion der Kosten bzw. Erlöse innerhalb der Szenarien kommt. Am deutlichsten ausgeprägt sind die Veränderungen bei Szenario N3. Die vergleichende Betrachtung der Nutzenpunkte und der internen Kosten für Sammlung, Transport, Behandlung und Entsorgung zeigt, dass das Szenario R2, welches auf Ressourcenoptimierung abzielt, die höchste modifizierte Kostenwirksamkeit aufweist. Auch Szenario W1 (Kostenoptimierung) weist eine höhere Kostenwirksamkeit im Vergleich zum Status Quo auf (siehe Tabelle 15-2.)

Tabelle 15-2: Zusammenfassende Darstellung des Szenarienvergleichs: modifizierte Kostenwirksamkeit

	Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3
AWG Ziel 1	8,6	**8,6**	8,6	8,5
AWG Ziel 2	2,8	3,3	**3,1**	2,1
AWG Ziel 3	4,8	4,5	**6,2**	1,9
AWG Ziel 4	8,7	8,7	8,6	**9,5**
AWG Ziel 5	7,2	7,3	7,3	7,8
Summe Nutzenpunkte	**31,9**	**32,3**	**33,8**	**29,7**
Kosten Sammlung und Transport	1,5	1,4	1,5	1,2
Kosten Behandlung und Entsorgung	1,2	1,2	1,2	1,6
Summe Kosten intern [Mrd. EUR]	**2,7**	**2,6**	**2,7**	**2,9**
mKW	**11,79**	**12,52**	**12,57**	**10,38**

Die geringen Unterschiede zwischen den Szenarien zeigen, dass sich die österreichische Abfallwirtschaft bereits auf hohem Niveau bewegt und es nur geringen Handlungsspielraum gibt.

15.7 Optimiertes Szenario

Für das optimierte Szenario wurde basierend auf dem Szenario R2 (Ressourcenoptimierung) versucht weitere Verbesserungen umzusetzen. Neben der stofflichen Verwertung von Altstoffen wurden eine verstärkte Rückgewinnung von Altmetallen aus der Verbrennung und eine verlängerte Deponienachsorge angenommen. Biogene Abfälle werden im optimierten Szenario stofflich (Kompostierung) oder stofflich und energetisch (Vergärung) genutzt. Dazu werden die über das System Biotonne erfassten Abfälle zuerst einer Vergärung

zugeführt. Anschließend werden die Gärreste kompostiert. Bezüglich der Behandlung von gemischten Siedlungsabfällen konnte aus der Szenarienanalyse für das optimierte Szenario kein Verfahren (MBA, MVA) als eindeutig positiv oder negativ hinsichtlich gesamtheitlicher Umweltauswirkungen abgeleitet werden. Weiters diskutierte Varianten wie Trockenstabilat konnten mit den vorhandenen Methoden und der nur eingeschränkt verfügbaren Datenlage nicht abgebildet werden. Deshalb wurde für das optimierte Szenario für die Behandlung von gemischten Siedlungsabfällen aus pragmatischen Gründen die MVA gewählt, ohne zu prüfen, ob die MVA gegenüber der MBA hinsichtlich ihrer gesamtheitlichen Umweltauswirkungen zu bevorzugen ist.

Die Veränderungen bei der Betrachtung des optimierten Szenarios zeigen, wie auch schon bei der Szenarienanalyse, dass nur mehr kleine Änderungen möglich und zielführend sind. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass die österreichische Abfallwirtschaft schon auf einem hohen Entwicklungsstand ist und dass es nicht möglich ist mit Einzelmaßnahmen sowohl die Nutzenpunkte der einzelnen AWG Ziele als auch alle Kostenbereiche positiv zu verändern. Trotz allem ist es aber möglich mit den gewählten Maßnahmen (siehe Kapitel 14.1) die meisten Indikatoren im Vergleich zum Status Quo positiv zu verändern. Auch alle Kostenbereiche mit Ausnahme der monetarisierten Kosten der Haushalte können reduziert bzw. die Erlöse erhöht werden. Der Vergleich des Status Quo, der drei (Extrem-) Szenarien und des optimierten Szenarios für die wichtigsten Kennwerte ist in Tabelle 15-3 zusammengefasst.

Im optimierten Szenario wird durch verbesserte Erfassung und gezieltes Einbringen in passende Prozesse, ein Gleichgewicht zwischen Kosten der Behandlungsprozesse und Umweltauswirkungen der Abfallströme erreicht. Dieses Konzept ist insbesondere bei der Holzverwertung erkennbar. Durch selektives Einbringen in Recyclingprozesse – Mitverbrennung – thermische Abfallentsorgung, je nach Schadstoffgehalt, kann hier eine Verbesserung sowohl kostenseitig als auch bei den Nutzenpunkten erreicht werden.

Die Kosten der Haushalte steigen im optimierten Szenario durch den Raumbedarf sowie die Zeitkosten. Im Wesentlichen wird hier ein Teil der notwendigen Abfallsortierung vorgenommen, welche ansonsten in Behandlungsanlagen erfolgen müsste. Die Kosten der nicht abfallwirtschaftlichen Unternehmen bleiben aufgrund der Erhebungsmethode unverändert – auch wenn aufgrund der gesteigerten Trennleistung mit einem größeren Aufwand gerechnet werden kann.

Tabelle 15-3: Gegenüberstellung der mittleren Nutzenpunkte je AWG Ziel, der Kosten und Erlöse sowie der modifizierten Kostenwirksamkeit (mKW) des Status Quo und aller Szenarien

		Status Quo	Szenario W1	Szenario R2	Szenario N3	optimiertes Szenario
AWG Ziel 1		8,6	8,6	8,6	8,5	8,6
AWG Ziel 2		2,8	3,3	3,1	2,1	3,7
AWG Ziel 3		4,8	4,5	6,2	1,9	5,4
AWG Ziel 4		8,7	8,7	8,6	9,5	8,9
AWG Ziel 5		7,2	7,3	7,3	7,8	7,6
Summe Nutzenpunkte		**31,9**	**32,3**	**33,8**	**29,7**	**34,2**
Kosten Haushalte [Mrd. EUR]		3,5	3,0	3,7	2,7	3,7
Kosten Unternehmen [Mrd. EUR]		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Kosten intern [Mrd. EUR]	*Kosten Sammlung und Transport*	1,5	1,4	1,5	1,2	1,5
	Kosten Behandlung und Entsorgung	1,2	1,2	1,2	1,6	1,2
Kosten extern [Mrd. EUR]		0,5	0,6	0,4	1,3	0,4
Erlöse [Mrd. EUR]		0,9	0,8	0,9	0,6	0,9
∑ interne Kosten [Mrd. EUR]		**2,7**	**2,6**	**2,7**	**2,9**	**2,7**
mKW		**11,79**	**12,52**	**12,57**	**10,38**	**12,78**

16 Schlussfolgerung und Diskussion

Im Rahmen dieses zweijährigen Projektes wurde eine methodische Grundlage geschaffen, um die österreichische Abfallwirtschaft hinsichtlich ihrer Zielerreichung (Ziele gem. AWG 2002 §1 Abs. 1) sowie ihrer Wirtschaftlichkeit zu bewerten. Dieses ist für einen wichtigen Teil der Abfallwirtschaft gelungen, wobei einige Bereiche umfassender dargestellt und bewertet werden können als andere. Für die Methodik wurden übliche Bewertungsmethoden herangezogen, wobei sich gezeigt hat, dass diese nicht ausreichen um die gesamte Abfallwirtschaft zu bewerten. Manche Teile der Methodik müssen weiterentwickelt werden (z.B. die Bewertung von schädlichen und nachteiligen Einwirkungen auf den Menschen), andere überhaupt erst angedacht werden (z.B. die Bewertung von Schadstoffen in Produktkreisläufen und von letzten Senken).

Erkenntnisse bezüglich Methodik

Zur Beurteilung der Zielerreichung wurden die Ziele gemäß AWG 2002 in Unterziele und Indikatoren gegliedert, sowie entsprechende Bewertungskriterien (Benchmarks) zugeordnet. Zu dieser Systematisierung wurden abfallwirtschaftlich relevante Stakeholder eingeladen, ihren Standpunkt und mögliche Präferenzen zu artikulieren, sowie Vorschläge für weitere Bewertungsindikatoren einzubringen. Zusätzlich erfolgte durch die Stakeholder und das Projektteam eine Relevanzbeurteilung der Indikatoren. Damit wurden diejenigen Indikatoren identifiziert, die in weiterer Folge für das Benchmarking herangezogen wurden. Dafür wurde für jeden Indikator ein Benchmark definiert, und der Zielerreichungsgrad für jeden Indikator beurteilt. Grundsätzlich wurden die Bewertungsindikatoren so gewählt, dass eine quantitative Betrachtung möglich ist. In den Fällen, in denen eine Quantifizierung nicht sinnvoll oder möglich ist, wurde teilweise auf die Möglichkeit einer qualitativen Bewertung mittels verbaler Einschätzung zurückgegriffen.

Trotz oder gerade wegen der großen Anzahl an Indikatoren, welche bewertet wurden, war es nicht möglich alle Bereiche und mögliche Auswirkungen der österreichischen Abfallwirtschaft gleichwertig zu beurteilen. Das Bewertungssystem gibt zwar einen guten ersten Überblick über den Status Quo der Abfallwirtschaft, muss aber in weiteren Schritten ausgebaut, geprüft und auch laufend angepasst werden. Speziell auf folgenden Punkten sollte das Hauptaugenmerk liegen:

- Für die Beurteilung des Ziels „Vermeidung von schädlichen und nachteiligen Einwirkungen auf Mensch“ fehlen derzeit belastbare Indikatoren, anhand derer beispielweise die Schädigung der menschlichen Gesundheit oder Risiken durch Mikroorganismen und radioaktive Substanzen bewertet werden können. Zwar kann „Humantoxizität“ mittels verschiedener Methoden berechnet werden, da allerdings noch kein wissenschaftlicher Konsens über die Ausgestaltung der toxizitätsbezogenen Kategorien vorhanden ist, geht die Humantoxizität nicht in die Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft ein. Da der Schutz des Menschen vor abfallwirtschaftlichen Einwirkungen von den Stakeholder als sehr wichtig eingestuft worden ist, wird es zukünftig notwendig sein, humantoxische und mikrobiologische Auswirkungen näher zu untersuchen und für Vergleiche und Bewertungen zu standardisieren.
- Der Bereich Klimarelevanz (Treibhauspotential) geht durch die Formulierung der AWG Ziele und der angewandten Methode mehrfach in die Beurteilung ein. Es erfolgt die Beurteilung der Klimarelevanz mit und ohne Berücksichtigung der Gutschriften der Ökobilanzierung. Zusätzlich werden auch die Deponiegasemissionen beurteilt. Eine detaillierte übergreifende Bewertung der einzelnen Bereiche, zum Beispiel durch entsprechende Gewichtung, sollte zukünftig durchgeführt werden.
- Für die Beurteilung der Schonung von Rohstoffen wurden nur jene Fraktionen ausgewählt, welche von den Stakeholdern als relevant eingestuft wurden. Auch die Betrachtung der Schadstoffe in Sekundärprodukten war mangels geeigneter Methoden nur für eine begrenzte Anzahl an Fraktion möglich und sollte zukünftig auf weitere Sekundärprodukte (z.B Kunststoffe, Aschen und Schlacken) ausgeweitet werden.

Zur Beurteilung der Zielerreichung wurde für jeden Indikator mittels Materialflussanalyse oder Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz) der Status Quo der österreichischen Abfallwirtschaft errechnet und mit dem

zuvor definierten Benchmark verglichen. Damit ist es möglich abzuschätzen, ob das definierte Ziel erreicht wird. Die Definition der Benchmarks je Indikator erfolgte auf unterschiedlichen Grundlagen. Deshalb sind die Benchmarks unterschiedlich streng. Bei der zusammenfassenden Beurteilung muss dieser Aspekt berücksichtigt werden, und die Ergebnisse müssen dementsprechend kritisch beurteilt und differenziert betrachtet werden.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurde mit der modifizierten Kosten-Wirksamkeitsanalyse (mKWA) eine passende Methodik zur Beantwortung der Forschungsfragen aus dem ökonomischen Bereich ausgewählt und adaptiert. Mittels der mKWA kann die Zielerreichung (gemessen in Nutzenpunkten) den aggregierten Kosten gegenübergestellt werden und in Folge für den Vergleich der Kostenwirksamkeit verschiedener Szenarien herangezogen werden.

Die Darstellung des Status Quo der österreichische Abfallwirtschaft mittels einer bilanzfähigen Materialflussanalyse war zeitaufwändig und nicht trivial. Der Grund liegt im gewählten Vorgehen: Das System österreichische Abfallwirtschaft wurde in seiner Gesamtheit bilanziert, wobei die Gesamtbilanz aus den Teilbilanzen der einzelnen, existierenden abfallwirtschaftlichen Verfahren und deren Inputs und Outputs gebildet wurde. Auch wurden nicht nur Güterbilanzen sondern auch Bilanzen einzelner Wert- und Schadstoffe erstellt. Dieses Vorgehen erlaubt die Überprüfung von Daten, und geht damit über bisherige Studien hinaus. Im Rahmen des Projektes wurden jedoch auch in einigen Bereichen große Datenlücken identifiziert, die für eine gesamthafte Abbildung der österreichischen Abfallwirtschaft Annahmen und Abschätzungen erforderten. Anlagentypen wurden in der Studie durch eine Standardanlage abgebildet, diese ist in einigen Fällen gut modellierbar, da es gleiche Konzepte, Aufbauten, Durchlaufmengen bzw. In- und Outputbilanzen gibt. Bei anderen Behandlungsaggregaten und Anlagen stellt sich hier die Herausforderung, dass die Anlagengröße, die verwendeten Verfahren, Mischverhältnisse und Hilfsstoffe und damit auch die Outputströme vollkommen unterschiedlich aussehen und damit nicht verallgemeinert werden können (z.B. chemisch-physikalische Anlagen). Für zukünftige Forschungsarbeiten wird es wichtig sein, diese Annahmen und Abschätzungen zu verifizieren bzw. anzupassen. Dabei ist die Datenlage bei den Abfällen aus Haushalten besser als bei Abfällen aus der Industrie. Das liegt zum einen daran, dass die Haushalte (relativ) homogen sind, andererseits gibt es in der Industrie sehr viele spezielle Abfälle, welche in „kleinen“ Mengen anfallen, jedoch speziell behandelt werden müssen. Die Kenntnisse über die verschiedenen Abfallbehandlungsanlagen sind sehr heterogen: Während z.B. für thermische Verfahren wie Abfallverbrennung detaillierte Stoffbilanzen vorliegen, gibt es beispielsweise für Recyclingverfahren nur in Ausnahmefällen entsprechende Stoffbilanzen.

Die Bewertung von AWG Ziel 1, 2 und 3 (Energieverbrauch) erfolgte mit Hilfe einer Ökobilanzierung. Dabei wurden einzelne Wirkungskategorien berechnet und für die Bewertung herangezogen. Durch Normalisierung über europäische Personenäquivalente kann die relativ hohe Relevanz der abfallwirtschaftlichen Auswirkungen bei den Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerungspotential und Photooxidantienpotential durch Herstellung von Sekundärrohstoffen zur Vermeidung von Umweltauswirkungen aufgezeigt werden.

Bei der Bewertung der Ergebnisse der Ökobilanzierung ist zu berücksichtigen, dass die Qualität der Ergebnisse von der Qualität der zur Verfügung stehenden Datensätze abhängig ist. Die verwendeten Modelle der Ökobilanzierung wurden in Kapitel 8 beschrieben. Die konkrete Umsetzung zeigte weiters, dass nicht in allen Fällen ausreichende fundierte Daten von abfallwirtschaftlichen Anlagen zur Verfügung standen und auch nicht die nötige Datenlage für die Definition von Benchmarks vorhanden war. Daher konnten einige Abfallkategorien und Behandlungsprozesse bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden. Ein relevanter Punkt ist auch, wie Gutschriften durch Recycling und thermische Behandlung von Abfällen zukünftig betrachtet werden. Es zeigt sich einerseits als interessantes Ergebnis die überaus positive Umweltauswirkung des Recyclings (speziell des Metallrecyclings). Die stoffliche Verwertung zeigte hier vor allem bei Materialien, die in der Primärproduktion aufwändig und mit hohem Energieverbrauch verbunden sind, große Vorteile, die viele andere direkte Umweltauswirkungen der Abfallwirtschaft überwogen. Andererseits ist es notwendig, direkte Emissionen bzw. Umwelteinwirkungen zu betrachten, um Optimierungspotentiale innerhalb Österreichs aufzuzeigen. Dahingehend sollten vor allem die Auswirkungen des Metallrecyclings zukünftig differenzierter betrachtet werden, um durch die Gutschriften des Metallrecyclings momentan verdeckte direkte Auswirkungen aufzeigen zu können. Vor allem zukünftig sollte die gemeinsame Verwendung der Materialflussanalyse und

Ökobilanzierung ausgebaut und verbessert werden, auch um durch die zusammenschauende Anwendung die Qualität beider Methoden zu verbessern.

Für die Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten wurde das System der österreichischen Abfallwirtschaft in die Abfallwirtschaft im engeren Sinn (private und öffentliche Abfallwirtschaftsunternehmen) und die Abfallwirtschaft im weiteren Sinn (Aktivitäten der privaten Haushalte und der Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen) unterteilt. Die Kosten im engeren Sinn gliedern sich in interne Kosten für die Bereiche „Sammlung und Transport“ sowie „Behandlung und Entsorgung“ und konnten mit rund 2,7 Milliarden EUR abgeschätzt werden. Bei der Abfallwirtschaft im weiteren Sinne werden die Kosten betrachtet, die bei den Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen und Haushalten zur Zielerreichung des AWG anfallen. Es geht also um Leistungen, die zusätzlich zu den Leistungen der vorher dargestellten Abfallwirtschaftsunternehmen i.e.S. erbracht werden. Für die Haushalte zählt dazu etwa das Sortieren (Trennen und Reinigen) von Abfall, während Unternehmen im Rahmen ihrer Leistungserbringung auch zahlreiche Maßnahmen im Rahmen der betrieblichen Abfallwirtschaft tätigen. Hinsichtlich der Kosten der Haushalte ist festzuhalten, dass den Kosten keine Zahlungen bzw. keine Ausgaben gegenüberstehen; es handelt sich zum größten Teil um den monetär bewerteten Zeitaufwand (Opportunitätskosten), den Haushalte zur Zielerreichung des AWGs aufbringen. Es handelt sich ausschließlich um kalkulatorische Kosten, welche mit knapp 3,5 Milliarden EUR (davon rd. 40% Kosten für Reparaturen) beziffert werden konnten. Diese Zahl zeigt sowohl den hohen Stellenwert der Abfallwirtschaft für viele Haushalte und auch das Umweltbewusstsein innerhalb der Bevölkerung. Laut einer IMAS-Umfrage im Auftrag der ARA (ARA 2014) zeigt sich auch, dass ÖsterreicherInnen die Mülltrennung immer weniger als Zeitaufwand empfinden, sondern als integralen Bestandteil des Alltags. Die monetarisierten Kosten sollen aber auch aufzeigen, dass der Beitrag der Haushalte ein wichtiger Bestandteil der modernen Abfallwirtschaft ist. Hinsichtlich der Kosten der Nicht-Abfallwirtschafts-Unternehmen ist festzuhalten, dass keine zuverlässigen, verallgemeinerbaren Kostensätze ermittelt wurden und daher auf Daten der Statistik Austria (Umweltschutzausgabenrechnung 2012) zurückgegriffen wurde, um einen ersten (konservativen) Schätzwert für diesen Bereich zu erhalten.

Erkenntnisse bezüglich Optimierung der österreichischen Abfallwirtschaft

Die Ergebnisse der Beurteilung des Status Quo unterstreichen das hohe Niveau der österreichischen Abfallwirtschaft zeigen aber auch, dass es innerhalb der österreichischen Abfallwirtschaft noch Optimierungspotentiale gibt. Bei Emissionen von Luftschadstoffen besteht hinsichtlich NO_x noch Handlungsbedarf. Auch klimarelevante Emissionen, wo bereits viel erreicht wurde, müssen noch weiter reduziert werden, um die definierten Benchmarks zu erreichen. Hinsichtlich der Schonung von Rohstoffen besteht vor allem bei der Holz- und Kunststoffverwertung noch ein relevantes Potential für eine höhere Erfassungs- und Verwertungsquote als auch für eine Optimierung des Recyclings. Bei der langfristigen Deponiesicherheit sind klare Regelungen zur Deponienachsorge notwendig. Außerdem müssen die Schwermetallgehalte bzw. deren langfristige Mobilität in deponierten Abfällen reduziert werden. Eine optimierte Behandlung von gemischt gesammelten Siedlungsabfällen (ökologisch und ökonomisch) lässt sich aus den Ergebnissen dieser Studie nicht ableiten. Für konkrete Entscheidungen ist es wichtig weitere Kriterien in die Beurteilung miteinfließen zu lassen. Zum Beispiel wurden regionale Gegebenheiten nicht berücksichtigt. Auch besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Verschiebung von Schadstoffen in den Produktkreislauf. Vor allem das Zusammenspiel zwischen Schadstoffen in Produkten und die Verbringung von Schadstoffen in sichere Senken ist noch nicht ausreichend untersucht.

Die Szenarienanalyse ergab, dass sich die österreichische Abfallwirtschaft bereits auf hohem Niveau bewegt. Es gibt innerhalb der gesetzlichen Rahmenbedingungen nur geringen Handlungsspielraum und entsprechend gering sind zum Teil auch die Unterschiede zwischen den Szenarien. Einerseits zeigt es sich, dass es nicht möglich ist mit einer Maßnahme alleine die Zielerreichung aller AWG Ziele zu verbessern. Andererseits konnte auch dargestellt werden, dass jenes Szenario mit der besten Zielerreichung nicht die niedrigsten internen Kosten aufweist.

Die Szenarienanalyse unterstreicht die positive Bedeutung der stofflichen Verwertung für die Zielerreichung des AWG. Die stoffliche Verwertung bewirkt eine verbesserte Ressourcenschonung und verringert die zu deponierenden Abfälle. Außerdem verringern sich die Emissionen, da weniger Emissionen bei der Produktion entstehen und weniger Abfälle thermisch behandelt werden. Hinsichtlich der Zielerreichung zeigt sich am Beispiel „Altholz zur stofflichen Verwertung“, dass 100 % Recycling (AWG Ziel 3: Schonung von Ressourcen) mit AWG Ziel 4 (kein höheres Gefährdungspotential durch Recycling) im Widerspruch stehen. Diese Gegenüberstellung von Recycling und der Verteilung von Schadstoffen in Produkten muss in einer zukünftigen gesamthaften Bewertung weitere Abfallfraktionen (z.B: Kunststoffe, Aschen und Schlacken) einschließen. Weiterhin sind hierfür Informationen über den Verbleib von Recyclingmaterialien von Bedeutung. Je nach Anwendungsbereich können unterschiedliche Schadstoffbelastungen toleriert werden. Ein Kaskadenmodell in der Nutzung kann helfen die Materialien länger im Produktkreislauf zu halten, ohne dass negative Effekte für die Gesundheit oder Umwelt auftreten. Es kann festgehalten werden, dass keine zukünftige Maßnahme alle Ziele zu 100% erreichen wird. Es kann nur ein optimaler Weg, welcher eine ausgeglichen Basis zwischen den einzelnen AWG Zielen findet, gesucht werden.

Die fünf AWG Ziele sind einzeln in sich stimmig, betrachtet man aber die gesamten Ziele entsteht zwischen einzelnen eine Konkurrenz bzw. Abhängigkeit. Unterschiedliche Ausprägungen der Benchmarks sowie unterschiedliche Gewichtungen und Doppelzählungen einzelner Auswertungen ließen sich aufgrund der gestellten Aufgabe, jedes einzelne Ziel des AWG zu betrachten, nicht vermeiden. Eventuell hätte eine getrennte Diskussion der Ergebnisse je Ziel aussagekräftigere Ergebnisse nach sich gezogen. Dies hätte aber eine gesamthafte Kostenwirksamkeitsanalyse ausgeschlossen.

Insgesamt war das Vorhaben, die gesamte österreichische Abfallwirtschaft mit den zur Verfügung gestellten Ressourcen in der vorgesehenen Zeit zu beurteilen, ambitioniert. Es ist gelungen, die Struktur der österreichischen Abfallwirtschaft zusammenhängend abzubilden und in vielen Bereichen den Status Quo mittels Güter- und einiger Stoffbilanzen abzubilden. Diese Datengrundlage bietet eine hervorragende, bisher nicht existierende Basis für die Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen. In diesem Zusammenhang konnten Datenlücken verdeutlicht werden, die es gilt in Zukunft zu beheben. Für die Bewertung der Ziele des AWG und Ableitung von Handlungsmaßnahmen der Abfallwirtschaft wurden verschiedene z.T. sehr komplexe Methoden angewandt. Neben ungeklärten methodischen Aspekten mussten aufgrund der zur Verfügung stehenden Zeit Einschränkungen bei der Übertragung auf abfallwirtschaftliche Maßnahmen in Kauf genommen werden. Hier besteht prinzipiell das Potential von weiterführenden Auswertungen. Insbesondere bei den Kriterien „Schutz der menschlichen Gesundheit“, „Ressourcenschonung“ (saubere Kreisläufe) und sichere letzte Senken besteht deshalb ein großer, nicht nur auf Österreich bezogener Forschungsbedarf auf dem Gebiet der zielorientierten Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen. Diese Aspekte sind bei der Interpretation der Ergebnisse der Studie zu berücksichtigen und entsprechende Einschränkungen in einigen Bereichen dieser Studie müssen zur Kenntnis genommen werden.

17 Literatur

ABANDA (2015, Abfallanalysendatenbank des Landesumweltamtes NRW. Retrieved 05.09.2014-01.06.2015, 2014, from http://www.nrw-luawebapps.de/abanda/auswert.htm.

ACRR (2004). Recycling von Kunststoffabfall: Empfehlenswerte Verfahren zum Recycling von kunststoffabfall – Ein Wegweiser von und für lokale Behörden. Association of Cities and Regions for Recycling.

AGR (2010). Umwelterklärung und Nachhaltigkeitsbericht 2010. Austria Glas Recycling GmbH.

AGR (2013). Umwelterklärung und Nachhaltigkeitsbericht 2013. Austria Glas Recycling GmbH.

AGR (2014, Glas recyceln: Aus alten Glasverpackungen werden neue. Retrieved 30.8.2014, 2014, from http://www.agr.at/glasrecycling/glas-recyceln.html.

Aguiar del Toro, M., W. Calmano und H. Ecke. 2009. Wet extraction of heavy metals and chloride from MSWI and straw combustion fly ashes. Waste Management. 29(9): 2494-2499.

Amlinger, F. und R. Tulnik (2012). Aktionsplan für eine optimierte Verwertung organischer Abfälle in Österreich unter Berücksichtigung der organischen Kohlenstoff- und Nährstoffressourcen. ARGE Kompost & Biogas Österreich. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Anderl, M., W. Bednar, M. Gössl, S. Haider, C. Heller, H. Jobstmann, C. Lampert, L. Moosmann, K. Pazdernik, S. Poupa, W. Schieder, J. Schneider, K. Seuss, G. Stranner, A. Storch, P. Weiss, H. Wiesenberger, R. Winter, A. Zechmeister und G. Zethner (2014a). Klimaschutzbericht 2014. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Anderl, M., M. Gangl, S. Haider, N. Ibesich, K. Pazdernik, S. Poupa, W. Schieder und A. Zechmeister (2014b). Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990—2012: Regionalisierung der nationalen Emissionsdaten auf Grundlage von EU-Berichtspflichten (Datenstand 2014). Umweltbundesamt. Wien.

Anderl, M., H. Jobstmann, T. Köther, C. Lampert, L. Moosmann, K. Pazdernik, M. Pinterits, S. Poupa, G. Stranner und A. Zechmeister (2014c). Austria's Annual Air Emission Inventory 1990-2012: Submission under National Emission Ceilings Directive2001/81/EC. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Andreola, F., L. Barbieri, A. Corradi und I. Lancellotti. 2007. CRT glass state of the art: A case study: Recycling in ceramic glazes. Journal of the European Ceramic Society. 27(2): 1623-1629.

Angerer, T. (1999). Abluftreinigung bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA). Umweltbundesamt GmbH.

APCC (2014). Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Austrian Panel on Climate Change.

ARA (2005). Trennt - Das Magazin des ARA Systems. Nummer 3/2005. Altstoff Recycling Austria AG.

ARA (2013). Nachhaltigkeitsbericht - Leistungsreport 2012. Altstoff Recycling Austria AG.

ARA (2014). Nachhaltigkeitsbericht - Leistungsreport 2013. Altstoff Recycling Austria AG

Arge Abfallvermeidung (2005). Fehlwürfe in der kommunalen Abfallwirtschaft Tolerierbar oder unzumutbar ? Tagungsdokumentation nach dem Stand der ExpertInnenmeinungen. A.-A.-E.-u. V. GmbH.

Auksutat, M. und R. Löffler (1997). Kostenstrukturuntersuchung von Abfallbeseitigungsverfahren. Umweltbundesamt. Berlin.

Austropapier (2013). Jahresbericht der Papierindustrie 2013 Austropapier - Vereinigung der österreichischen Papierindustrie

Austropapier (2014, from http://www.austropapier.at.

AWG (2002). Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft BGBl. I Nr. 102/2002.

Baccini, P., G. Henseler, R. Figi und H. Belevi. 1987. Water and Element Balances of Municipal Solid Waste Landfills. Waste Management Research. 5(1): 483-499.

Bauer, M. und M. Lehner (2013). Post- consumer plastics in Austria and their potential for chemical recycling. Montanuniversität Leoben.

Baum, H.-G., R. Przybilla und B. Stegmann. 2000. Benchmarking als Instrument einer modernen Controllingkonzeption für die öffentliche Abfallwirtschaft–Zwischenergebnisse eines anwendungsorientierten Forschungsprojektes. Müll und Abfall. 32(710-717.

Baumgartinger, H. J. (1998). Einfluss der Rottedauer auf die Reaktivität von Restabfall – Laborversuche. Universität für Bodenkultur. Wien.

BDSV (1995). Europäische Stahlschrottsortenliste. Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.

Beigl, P. und G. Zecha (2013). Collection and treatment of End-of-Life fluorescent lamps in Austria: Workplan in project “CFL”. CFL Kick-Off Meeting.

Belevi, H. und P. Baccini. 1989. Long-Term Behavior of Municipal Solid Waste Landfills. Waste Management Research. 7(1): 43-56.

Belevi, H., D. Stämpfli und P. Baccini. 1992. Chemical behaviour of municipal solid waste incinerator bottom ash in monofills. Waste Management & Research. 10(2): 153-167.

Bilitewski, B. und G. Härdtle 2013. Abfallwirtschaft: Handbuch für Praxis und Lehre. Springer Berlin Heidelberg.

Binner, E., A. Zach und P. Lechner (1999). Stabilitätskriterien zur Charakterisierung der Endprodukte aus MBA-Anlagen. Universität für Bodenkultur. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

BMLFUW (2006). Bundesabfallwirtschaftsplan 2006. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

BMLFUW (2011). Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

BMLFUW (2012). Metalle im Grundwasser in Österreich. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

BMLFUW (2014a). Die Bestandsaufnahme der Abfallwirschaft in Österreich Statusbericht 2013. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

BMLFUW (2014b). kommunales Abwasser - österreichischer Bericht 2014. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Böhmer, S., I. Kügler, H. Stoiber und B. Walter 2007. Abfallverbrennung in Österreich: Statusbericht 2006. Umweltbundesamt GmbH.

Bolli, A., T. Emtairah und I. P. Martins 2001. Environmental benchmarking for local authorities: From concept to practice. Office for Official Publications of the European Communities.

Bosshard, P. P., R. Bachofen und H. Brandl. 1996. Metal leaching of fly ash from municipal waste incineration by Aspergillus niger. Environmental science & technology. 30(10): 3066-3070.

Boubela, G., F. Wurst, T. Prey und R. Boos (2004). Materialien zur thermischen Behandlung und Verwertung von Abfällen und Reststoffen in der Zellstoff-, Papier-, Span und Faserplattenindustrie. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Brunner, P. H., G. Döberl, M. Eder, W. Frühwirth, R. Huber, H. Hutterer, R. Pierrard, S. Wilfried und H. Wöginger (2001). Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie (BEWEND). Technische Universität Wien & Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH. U. GmbH.

Brunner, P. H. und H. Rechberger 2004. Practical Handbook of Material Flow Analysis. Boca Raton: Lewis Publishers.

Brunner, P. H. und D. M. Stämpfli. 1993. Material balance of a construction waste sorting plant. Waste Management & Research. 11(1): 27-48.

BRV (2009). Richtlinie für Recycling-Baustoffe, 8. Auflage,. Österreichischer Baustoff-Recycling Verband. Wien.

Buchal, F. und C. Scharff (2003). ARGEV Leistungsbericht 2003. ARGEV Verpackungsverwertungs-Gesellschaft m.b.H. Wien.

BUWAL (1995). Reststoffqualität von stabilisierten Rückständen aus der Rauchgasreinigung von Kehrichtverbrennungsanlagen. Bundesamt für Umwelt. Wald und Landschaft. Bern.

BUWAL (1996). Luftschadstoff-Emissionen aus natürlichen Quellen in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

BVGlas (2014, Kalknatrongläser. Retrieved 30.8.2014, 2014, from http://www.bvglas.de/der-werkstoff/glasarten/kalknatronglaeser.

BVSE (2014, Flachglasrecycling. Retrieved 28.8.2014, from http://www.bvse.de/342/498/9__Flachglasrecycling.

BZL (1998). Mechanisch-biologische Abfallbehandlung. Trockenstabilat – Abfallwirtschaftliche Einordnung. Gutachten im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt. BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH.

Cencic, O. und H. Rechberger. 2008. Material flow analysis with software STAN. Journal of Environmental Engineering and Management. 18(1): 3.

Chan, C. C. und D. W. Kirk. 1999. Behaviour of metals under the conditions of roasting MSW incinerator fly ash with chlorinating agents. Journal of Hazardous Materials. 64(1): 75-89.

Clement, D., P. H. Brunner und K. Hammer (2011). EnBa - Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU. ACTION 8 – Entwicklung und Berechnung von Szenarien zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen. Endbericht. Wien.

Cord-Landwehr, K. (2000). Einführung in die Abfallwirtschaft 2. Auflage. Stuttgart. Teubner.

Cuhls, C. und H. Doendens (2000). Abluftemissionen aus der MBA und deren Minderung nach dem Stand der Technik. In: Abluft und Abluftreinigung bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Fachtagung. Wien. V. u. U. GmbH.

Cuhls, C., H. Doendens, J. Truppa, H. Kock und K. Levsen (1999). Bilanzierung von Umweltchemikalien bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Verbundvorhaben–Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen, Beiträge zur Ergebnispräsentation. Potsdam.

Cuhls, C., B. Mähl, S. Berkau und J. Clemens (2008). Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Umwewltbundesamt. Dessau.

Darman, M. (2004). Bericht zur Altholzsituation in der Steiermark. Land Steiermark, Fachabteilung 19D Abfall- und Stoffflusswirtschaft.

Darmann, M. (2004). Altholzsituation in der Steiermark. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D Abfall- und Stoffflusswirtschaft. Graz.

Daxbeck, H., H. Buschmann, J. Flath und S. Neumayer (2010). EnBa - Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU. ACTION 1 – Bestimmung von Herkunft, Menge, Zusammensetzung und des Verbleibs von Baurestmassen – Recherche. Wien.

Deike, R., D. Ebert, R. Warnecke und M. Vogell (2012). Abschlussbericht zum Projekt „Recyclingpotenziale bei Rückständen aus der Müllverbrennung ". Universität Duisburg-Essen, Gemeinschaftskraftwerk Scheinfurt GmbH, C.C. Reststoff - Aufbereitung GmbH + Co. KG, Würzburg.

Döberl, G., J. Fellner, G. Allgaier, P. H. Brunner und R. Stegmann (2005). Eine neue Methode zur Charakterisierung des Stabilisierungsgrades großer Altablagerungen (EMSA). Technische Universität Wien. Wien.

Domenig, M. (2013). mündliche Auskunft.

DVO. (2008). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien. BGBl. II Nr. 39/2008 i.d.F.

EAG. (2005). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten (Elektroaltgeräteverordnung – EAG-VO). BGBl. II Nr. 121/2005.

EAK (2012). Tätigkeitsbericht 2012. Elektroaltgeräte Koordinierungsstelle Austria GmbH.

Ecker, A. (2013). Das UP und DOWN des Kunststoff-Recyclings. V. a. d. T. Wien.

EDM (2012). Daten des elektronischen Datenmanagements für das Jahr 2012. Umweltbundesamt. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Egle, L., H. Rechberger und M. Zessner (2014). Phosphorbilanz Österreich: Grundlage für ein nachhaltiges Phosphormanagement – gegenwärtige Situation und zukünftige Entwicklung. Technische Universität Wien. Wien. BMLFUW.

Ehrig, H.-J. und U. Brinkmann (1999). erbundvorhaben Deponiekörper - Zusammenfassender Abschlussbericht zum Arbeitsgebiet Siedlungsabfälle. 1460799. Wuppertal: BUGH Wuppertal.

EU-Kommission (2001). Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU). Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie.

EU (2002). Costs for Municipal Waste Management in the EU, Final Report to DG Environment, Brussels, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/eucostwaste_management.htm.

EU (2012). Use of economic instruments and waste management performances, Final Report & Annexes, DG Environment, Unit G.4 Sustainable Production and Consumption, April 2012, Brussels. .

Fachverband der Glasindustrie (2013). Jahresbericht 2013. W. Österreich.

Fehringer, R., P. H. Brunner und H. Baumann (1997a). Kunststoffflüsse und Möglichkeiten der Kunststoffverwertung in Österreich. Technische Universität Wien & Österreichisches Kunststoffinstitut. Wien. Umweltbundesamt GmbH.

Fehringer, R., H. Rechberger, H.-L. Pesonen und P. H. Brunner (1997b). Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (ASTRA). Technische Universität Wien. Wien.

Fellner, J. (2004). A New Method for Modeling Water Flow and Water Storage in Municipal Solid Waste Landfills. Technische Universität Wien. Wien.

Ferreira, C., P. Jensen, L. Ottosen und A. Ribeiro. 2005. Removal of selected heavy metals from MSW fly ash by the electrodialytic process. Engineering Geology. 77(3): 339-347.

Fleischhacker, S. (2011). Stoffliche Verwertung von Abfällen. Einsatz der Nahinfrarot-Sortiertechnik im Bereich von Gewerbeabfällen. Montanuniversität Leoben. Leoben.

FNR (2009). Biogas Messprogramm II, 61 Biogasanlagen im Vergleich. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. .

Fricke, K., H. Santen und R. Wallmann. 2005. Comparison of selected aerobic and anaerobic procedures for MSW treatment. Waste Management. 25(8): 799-810.

Fricke, K., R. Wallmann, H. Doedens und C. Cuhls (1996). Abluftemissionen bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. In: Bio- und Restabfallbehandlung. Biologisch. Mechanisch. Thermisch. Witzenhausen. M. I. C. B. Verlag.

Frischenlager, H., B. Karigl, C. Lampert, W. Pölz, I. Schindler, M. Tesar, H. Wiesenberger und B. Winter (2010). Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Fuchs, V. (2012). Adaptierung einer klassischen MBA-Anlage zu einer Anlage für biologische Trocknung. Universität für Bodenkultur. Wien.

Fürhacker, M. und W. Bursch (2007). Schadstoffe im Klärschlamm. Universität für Bodenkultur. Ö. W.-u. Abfallwirtschaftsverband.

Gabler. (2005). Gabler Wirtschaftslexikon. A. 16. Wiesbaden,

Gabriel, O., A. Kovacs, S. Thaler, M. Zessner, G. Hochedlinger, C. Schilling und G. Windhofer (2011). Stoffbilanzmodellierung für Nährstoffe auf Einzugsgebietsebene als Grundlage für Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme (STOBIMO-Nährstoffe). TU Wien - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Umweltbundesamt GmbH - Abteilung Oberflächengewässer. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

GEOHINT (2004). Österreichweite Abschätzung von regionalisierten, hydrochemischen Hintergrundgehalten in oberflächennahen Grundwasserkörpern auf der Basis geochemischer und wasserchemischer Analysedaten zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG. Geologische Bundesanstalt FA Hydrogeologie – FA Geochemie.

Glenck, E., T. Lahner, M. Arendt und P. H. Brunner (1997). Baurestmassen in Oberösterreich, Stoffbilanzen der Bauwirtschaft (Projekt BRIO-S). Technische Universität Wien. Wien.

Grafenstein, E. 2013. Säckeweise Rohstoffe. Recycling Magazin 01/2013.

Gras, B. (2002). Schadstoffe in Altholz. Behörde für Umwelt und Gesundheit. F. u. H. Hamburg.

Graser, R. (2014). Erhebung der volkswirtschaftlichen Kosten der privaten Haushalte für Maßnahmen zur Zielerreichung des AWG Diplomarbeit: TU Wien Fachbereich für Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik und Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft. Wien.

Grech, H., J. Oliva, M. Scheibengraf und T. Angerer (2002). Recyclingbaustoffe – Regelung der Umweltverträglichkeit. Umweltbundesamt. Wien.

Grech, H., J. Oliva, M. Scheibengraf und T. Angerer (2003). Recyclingbaustoffe – Regelung der Umweltverträglichkeit. Umweltbundesamt. Wien.

Grüne Punkt (2014, Wertstoffkreislauf der Kunststoffe. Retrieved 28.8.2014, 2014, from http://www.gruener-punkt.de/corporate/verbraucher/fragen-und-antworten/wertstoffkreislauf-kunststoff.html.

Güssing Energy Technologies (2011, Retrieved 10.07.2014, 2014, from http://www.biogas-netzeinspeisung.at/wirtschaftliche-planung/modellanlage.html.

Haider, A. (2011). Ökobilanzierung von Altholzverwertungsalternativen. Ökologischer Vergleich von stofflicher und thermischer Verwertung mit Hausbrand und Wiederverwendung. Universität für Bodenkultur. Wien.

Harant, M., M. Nelles, M. Hofer, L. K. E und R. B (1999). Stoffflussanalyse bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. Schriftenreihe Abfall-Umwelt. Montanuniversität Leoben.

Hauer, W. (2010). Grundlagen zur „Phase 3 – Thermische Abfallbehandlungsanlage in Tirol“, Studie im Auftrag des Landes Tirol, Korneuburg/Innsbruck. .

Häusler, G. und T. Angerer (1999). Abluftemissionen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. Anlage Allerheiligen. Umweltbundesamt GmbH. wien.

Heyde, M., G. Gerke und S. Mühle. 2010. Werkstoffliche Verwertung von Verpackungskunststoffen aus der Getrenntsammlung Dualer Systeme. Müll und Abfall. 1(10): 10.

Heyer, K.-U., K. Hupe und R. Stegmann. 2013. Methane emissions from MBT landfills. Waste Management. 33(9): 1853-1860.

Hjelmar, O. 1996. Disposal strategies for municipal solid waste incineration residues. Journal of Hazardous Materials. 47(1): 345-368.

Höpperger GmbH & Co KG (2010, Inbetriebnahme der Wertstoff – Sortieranlage. Newsarchiv 2010. Retrieved 30.8.2014, 204, from http://www.hoepperger.at/Inbetriebnahme-der-Wertstoff-Sortieranlage-270841.html.

Huber-Humer, M., A. Amann, T. Bogolte, M. Dos Santos, I. Hagenauer, W. Pauliny, T. Reichenauer, A. Watzinger und B. Wimmer (2008). Technischer Leitfaden Methanoxidationsschichten: erstellt im Rahmen der ÖVA-Arbeitsgruppe „Leitfaden Methanoxidationsschichten“. Wien.

Huber, H. (1995). Wasser-, Gas- und Stoffhaushalt der Mülldeponie. Technische Universität Wien. Wien.

Hübner, R. (2001). Güter im Haushalt: Gut getrennt oder Gut genutzt? Redistributionslogistik und neue Chancen im Bereich des Facility Managements. Frankfurt/Main. P. Lang.

Huisman, J., F. Magalini, R. Kuehr, C. Maurer, S. Ogilvie, J. Poll, C. Delgado, E. Artim, J. Szlezak und A. Stevels (2008). review of directive 2002/96 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). United Nations University. Bonn.

IFEU (2006). Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Heidelberg.

IPCC (2013). Climate Change – Contribution to AR5. Intergovernmental Panel of Climate Change

Ishigaki, T., A. Nakanishi, M. Tateda, M. Ike und M. Fujita. 2005. Bioleaching of metal from municipal waste incineration fly ash using a mixed culture of sulfur-oxidizing and iron-oxidizing bacteria. Chemosphere. 60(8): 1087-1094.

ISO 14040 (2006). Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006).

ISO 14044. 2006. Umweltmanagement - Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14040:2006).

Johnson, C. A., M. Kaeppeli, S. Brandenberger, A. Ulrich und W. Baumann. 1999. Hydrological and geochemical factors affecting leachate composition in municipal solid waste incinerator bottom ash: Part II. The geochemistry of leachate from Landfill Lostorf, Switzerland. Journal of Contaminant Hydrology. 40(3): 239-259.

JRC-IPTS (2011a). End-of-Waste Criteria for Glass Cullet: Technical Proposals Final report. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Prospective Technological Studies. Sevilla.

JRC-IPTS (2011b). End-of-waste criteria for waste paper: Technical proposals. Final report. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Prospective Technological Studies. Sevilla.

JRC-IPTS (2013). End-of-waste criteria for waste plastic for conversion: Technical proposals. Final draft report. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Prospective Technological Studies. Sevilla.

Karlfeldt Fedje, K., C. Ekberg, G. Skarnemark und B.-M. Steenari. 2010. Removal of hazardous metals from MSW fly ash—an evaluation of ash leaching methods. Journal of Hazardous Materials. 173(1): 310-317.

Kehres, B. (2014). Zusammenstellung von Daten der Bundesgütegemeinschaft Kompost (Deutschland) zu Nährstoffen und Schwermetallen von Komposten und Gärprodukten.

Keppler, B. K., A. Stojanovic, D. Kogelnig, C. Morgenbesser, M. Galanski, R. Krachler, L. Fischer, T. Falter, G. Köllensberger und S. Hann (2010). Elimination prioritärer Metalle aus kommunalen Abwässern. Universität Wien & Universität für Bodenkultur. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Kern, M., T. Raussen, K. Funda, A. Lootsma und H. Hofmann (2010). Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima-und Ressourcenschutz. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH. Dessau. Umweltbundesamt.

Kirchmeyer, F. (2014). schriftliche Auskunft.

Klöppfer, W. (2009). Ökobilanz (LCA) – Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim. W.-V. Verlag.

Kompost-VO. (2001). Verordnung des Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung) BGBl. II Nr. 292/2001. BGBl. II Nr. 292/2001.

Kossina, I. und H. Grech (2000). Mitverbrennung von Abfällen und Reststoffen in industriellen Feuerungsanlagen. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Kral, U., K. Kellner und P. H. Brunner. 2013. Sustainable resource use requires “clean cycles” and safe “final sinks”. Science of The Total Environment. 461–462(0): 819-822.

Kranert, M. 2006. Gewerbeabfall – das unbekannte Wesen. Müll & Abfall. 10(

Kranert, M. und K. Cord-Landwehr 2010. Einführung in die Abfallwirtschaft. Wiesbaden: Springer.

Krebs, W., C. Brombacher, P. P. Bosshard, R. Bachofen und H. Brandl. 1997. Microbial recovery of metals from solids. FEMS Microbiology Reviews. 20(3-4): 605-617.

Krümpelbeck, I. (2000). Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien. Fachbereich Bauingenieurwesen. Wuppertal, Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal. 216.

Krümpelbeck, I., M. Dohmann, A. Wirtz, G. Kabbe, R. Stegmann und K.-U. Heyer (2001). Langfristiges Emissionsverhalten von Altdeponien. Landesumweltamt NRW. Essen.

Kühle-Weidemeier, M. und H. Bogon (2008). Methanemissionen aus passiv entgasten Deponien und der Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen- Emissionsprognose und Wirksamkeit der biologischen Methanoxidation. D-Umweltbundesamt. Umweltbundesamt.

Lampert, C., H. Reisinger und G. Zethner (2014). Bioabfallstrategie. Umweltbundesamt. Wien.

Lampert, C., M. Tesar und P. Thaler (2011). Klimarelevanz und Energieeffizienz der Verwertung biogener Abfälle (KEVBA). Umweltbundesamt. Wien.

Laner, D., J. Feketitsch, H. Rechberger und J. Fellner. 2015. A Novel Approach to Characterize Data Uncertainty in Material Flow Analysis and its Application to Plastics Flows in Austria. Journal of Industrial Ecology. n/a-n/a.

Laner, D., J. Fellner und P. H. Brunner (2008). Gefährdung durch Deponien und Altablagerungen im Hochwasserfall - Risikoanalyse und Minimierung (GEDES). Technische Universität Wien. Wien.

Laner, D., J. Fellner und P. H. Brunner. 2010. Die Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen unter dem Aspekt der Nachsorgedauer. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. 2010(7-8): 2-11.

Laner, D., J. Fellner und P. H. Brunner (2011). Standortbezogene Kriterien zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen unter dem Aspekt der Nachsorgedauer (SKUDENA). Technische Universität Wien. Wien.

Lechtenböhmer, S., S. Nanning, B. Hillebrand und H.-G. Buttermann (2006). Einsatz von Sekundärbrennstoffen. Wuppertal Institut, EEFA GmbH. Dessau. Umweltbundesamt.

Lemser, B., J. Maselli und A. Tillmann 1999. Betriebswirtschaftliche Grundlagen der öffentlichen Abfallwirtschaft. Berlin: Erich Schmidt.

LfL Bayern (2007). Biogashandbuch Bayern, Materialienband. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Augsbirg.

LfU Bayern (2007). Restmüllzusammensetzung in Phasing-Out Gebieten (EU Ziel-2-Programm Bayern) Abschöpfbares Werststoffpotenzial als Funktion abfallwirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Bayerische Landesamt für Umwel. Augsburg.

LfU Bayern (2010). Infoblatt: Straßenkehricht. Bayerisches Landesamt für Umwelt.

Lorber, K., P. Müller, J. Novak und G. Raber (2004). Pilotprojekt zur mechanischbiologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband. Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen–Modelldeponie Allerheiligen. Montanuniversität Leoben. Leoben. A. d. S. L. B. f. L.-u. Forstwirtschaft.

Löschau, M. 2006. Input-Output-Analyse als Methode zur stofflichen Bilanzierung komplexer Entsorgungssysteme. na.

Mangialardi, T. 2003. Disposal of MSWI fly ash through a combined washing-immobilisation process. Journal of Hazardous Materials. 98(1): 225-240.

Mantau, U., H. Weimar und T. Kloock (2012). Standorte der Holzwirtschaft-Holzrohstoffmonitoring: Altholz im Entsorgungsmarkt-Aufkommens-und Vertriebsstuktur 2010; Abschlussbericht. Universität Hamburg. Hamburg.

Marrero, J., G. Polla, R. Jiménez Rebagliati, R. Plá, D. Gómez und P. Smichowski. 2007. Characterization and determination of 28 elements in fly ashes collected in a thermal power plant in Argentina using different instrumental techniques. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 62(2): 101-108.

Mattersteig & Co Ingenieurgesellschaft mbH (2011). Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen im Roh- und Reingas an der MBA Oberpullendorf der Umweltdienst Burgenland GmbH und an der MBA St.Pölten der Abfall- und Verwertung „Am Ziegelofen“ GmbH sowie Auswertung von internen Emissionsmessungen im Roh- und Reingas an der BA Frohnleiten Frohnleiten, 28.Okt.2011. Im Auftrag des IV-MBA Österreich. Graz.

Mauschitz, G. (2013). Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie Berichtsjahr 2012. Technische Universität Wien. Wien.

Mauss, R. (2013). Marktanalyse von Sekundärrohstoffen: Edelstahlschrott. KMR Stainless AG. BGR/DERA Rohstoffkonferenz 2013.

Maystre, L. und F. Viret. 1995. A goal-oriented characterization of urban waste. Waste Management & Research. 13(3): 207-218.

Meinfelder, T. und U. Richers (2008). Entsorgung der Schlacke aus der thermischen Restabfallbehandlung. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. Karlsruhe.

Merrild, H., A. W. Larsen und T. H. Christensen. 2012. Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: the importance of efficient energy recovery and transport distances. Waste Management. 32(5): 1009-1018.

Mertins, K. und H. Kohl. 2009. Benchmarking: Leitfaden für den Vergleich mit den Besten.

Morf, L., E. Ritter und P. H. Brunner (2005). Online-Messung der Stoffbilanz auf der MVA Spittelau. GEO Partner AG Umweltmanagement & Technische Universität Wien. Wien, Zürich. M. F. W. MA 22.

Morf, L. und R. Taverna (2004). Metallische und nichtmetallische Stoffe im Elektronikschrott–Stoffflussanalyse [Metallic and non-metallic substances in electronic scrap–substance flow analysis]. BUWAL.

Morf, L. S., R. Gloor, O. Haag, M. Haupt, S. Skutan, F. D. Lorenzo und D. Böni. 2013. Precious metals and rare earth elements in municipal solid waste–Sources and fate in a Swiss incineration plant. Waste Management. 33(3): 634-644.

MultiPet GmbH (2014, CO2-Vermeidung durch Kunststoffrecycling. Retrieved 30.8.2014, 2014, from. http://www.mp-bbg.eu/de/nachricht/id-23000-mal-um-die-erde.html.

Neitsch, M. (2001). Städtische Altstoffsammelzentren im internationalen Vergleich - Dokumentation und „Footprints“. AEVG. Graz

Nelles, M., G. Morscheck und J. Grünes (2012). MBA in Deutschland und Europa. Entwicklung, Stand und Perspektiven. I. A.-R. 2012.

Neubauer, C. und I. Buxbaum (2014). Luftgetragene Emissionen an MBA-Standorten. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Neubauer, C. und A. Öhlinger (2008). mechanische Abfallbehandlung (MA) von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfälle in Österreich. Umweltbundesamt GmbH. Wien. BMLFUW.

Nowak, B., A. Pessl, P. Aschenbrenner, P. Szentannai, H. Mattenberger, H. Rechberger, L. Hermann und F. Winter. 2010. Heavy metal removal from municipal solid waste fly ash by chlorination and thermal treatment. Journal of Hazardous Materials. 179(1): 323-331.

Obersteiner, G., E. Binner, P. Mostbauer und S. Salhofer. 2007. Landfill modelling in LCA–a contribution based on empirical data. Waste Management. 27(8): S58-S74.

Oechsner, H. (2006). zitiert in: Biogashandbuch Bayern. Universität Hohenheim

ÖWAV (2003). Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtscchaft (ÖWAV-Regelblatt 514). Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband. Wien.

Patent De (2015, http://www.patent-de.com/20060126/DE69924116T2.html. Retrieved 07.08.2015,

Pladerer, C., E. Ganglberger, B. Funder und G. Roiser-Bezan (2004). Vermeidung von Baustellenabfällen in Wien – Erarbeitung von Vermeidungsstrategien für Baustellenabfälle basierend auf einer praktischen Durchführung der

Probenahme, Nachsortierung und einer analytischen Untersuchung von Baustellenabfällen und einzelner Fraktionen in Wien. Wien.

Pladerer, C., V. Kloud, H. Gupfinger, B. Rappl und G. Roiser-Bezan (2001). Erhebung und Darstellung des Sperrmüllaufkommens in Wien. Österreichisches Ökologie-Institut.

Plastics Europe (2012). Plastics – the Facts 2012: An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2011. European Plastics Converters (EuPC)

European Plastics Recyclers (EuPR)

European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations (EPRO). Brüssel.

Rabah, M. A. 2008. Recyclables recovery of europium and yttrium metals and some salts from spent fluorescent lamps. Waste Management. 28(2): 318-325.

RAL (2007). Rückproduktion von Kühlgeräten. RAL-Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung.

RecyclingholzV. 2012. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (RecyclingholzV) BGBl. II Nr. 160/2012.

Reisinger, H., M. Domenig und K. Doujak (2008). Asbest: Materialien zur Abfallwirtschaft. Umweltbundesamt GmbH. Klagenfurt.

Reisinger, H., G. Schöller, B. Müller und E. Obersteiner (2009). RUSCH Ressourcenpotenzial und Umweltbelastung der Schwermetalle Cadmium, Blei und Quecksilber in Österreich. Umweltbundesamt GmbH & Technische Universität Wien. Klagenfurt/Wien.

Riber, C., C. Petersen und T. H. Christensen. 2009. Chemical composition of material fractions in Danish household waste. Waste Management. 29(4): 1251-1257.

Römpp (2014, 2014,

Rüdenauer, I., C.-O. Gensch und D. Quack (2005). Eco-Efficiency analysis of washing machines - Life-cycle assessment and determination of optimal life span. Öko-Institut e.V. Freiburg.

Salhofer, S. 2001. Kommunale Entsorgungslogistik: Planung, Gestaltung und Bewertung entsorgungslogistischer Systeme für kommunale Abfälle. Erich Schmidt.

Salhofer, S., F. Schneider und G. Wassermann (2003). The Environmental Impact of Transports in Waste Disposal Systems – a Recycling of Refrigerators in an Austrian Case Study. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia.

Salhofer, S. und M. Tesar. 2011. Assessment of removal of components containing hazardous substances from small WEEE in Austria. Journal of Hazardous Materials. 186(2): 1481-1488.

Schachermayer, E. (2006). Vergleich und Evaluierung verschiedener Modelle zur Berechnung der Methanemissionen aus Deponien. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Schachermayer, E., G. Bauer, E. Ritter und P. Brunner (1995). Messung der Güter-und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage. Technische Universität Wien. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Schachermayer, E., T. Lahner und P. H. Brunner (1998). Stoffflussanalyse und Vergleich zweier Aufbereitungstechniken für Baurestmassen. Technische Universität Wien. Wien. Umweltbundesamt.

Schachermayer, E. und C. Lampert (2008). Deponiegaserfassung auf österreichischen Deponien: Zeitreihe 2002 bis 2007. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Schachermayer, E. und C. Lampert (2009). Aufkommen und Behandlung von Deponiesickerwasser - Bestandsaufnahme an ausgewählten österreichischen Deponien. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Schachtschabel, P., H. Blume, G. Brümmer, K. Hartge und U. Schwertmann 2002. Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Scharff, H. 2014. Landfill reduction experience in The Netherlands. Waste Management.

Scheffknecht, C. (1999). Umweltanalytik - Chemisch analytische Untersuchungen von Altholz. Amt der Vorarlberger Landesregierung. Bregenz.

Scheibengraf, M. und H. Reisinger (2005). Abfallvermeidung und –verwertung: Baurestmassen – Detailstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und –verwertungsstrategie für den Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006. Umweltbundesamt. Wien.

Schirmbeck GmbH (2014, Glasrecycling. Retrieved 30.8.2014, 2014, from http://www.recycling.schirmbeck.com.

Schneider, M. und K. J. Thomé-Kozmiensky 1989. Sammlung, Umschlag, Transport von Abfällen. EF-Verlag für Energie-u. Umwelttechnik.

Schnöller, J., K. Hammer, D. Clement und P. H. Brunner (2010). EnBa - Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU. ACTION 2 – Bestimmung von Herkunft, Zusammensetzung und des Verbleibs von Baurestmassen – Labor. Wien.

Scholz, A. 2015. Flächenverbrauch der österreichischen Abfallwirtschaft von 1950-2014. Diplomarbeit: TU Wien Fachbereich für Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik und Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft. Wien.

Siebert, G. und S. Kempf 2008. Benchmarking: Leitfaden für die Praxis. Hanser Verlag.

Sjödin, A., L. Hagmar, E. Klasson-Wehler, K. Kronholm-Diab, E. Jakobsson und A. Bergman. 1999. Flame retardant exposure: polybrominated diphenyl ethers in blood from Swedish workers. Environmental Health Perspectives. 107(8): 643.

Skutan, S. und P. H. Brunner (2006). Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll (SEMBA). Technische Universität Wien. Wien. BMLFUW.

Skutan, S. und H. Rechberger. (2007). Bestimmung von Stoffbilanzen und Transferkoeffizienten für die Linie II der MVA Wels. Wien, Technische Universität Wien.

Sleeswijk, A. W., L. F. van Oers, J. B. Guinée, J. Struijs und M. A. Huijbregts. 2008. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. Science of The Total Environment. 390(1): 227-240.

SMUL (2000). Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung – Glasherstellung. Beller Consult GmbH. Freiberg. S. L. f. U. u. Geologie.

Soyez, K., D. Thrän, T. Hermann, M. Koller und S. Plickert (2001). Ergebnisse des BMBF-Verbundsvorhabens mechanisch-biologische Abfallbehandlung. Erich Schmidt Verlag Berlin.

Spaun, S. (1995). Vergleich der Stoffbilanzen von Restmüllverbrennung und Restmülldeponierung unter besonderer Berücksichtigung der Wasserbilanz. Technische Universität Wien. Wien.

Speckels, L. 2001. Ökologischer Vergleich verschiedener Verwertungs- und Entsorgungswege für Altholz. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Hamburg.

Statistik Austria. 2012. Statistisches Jahrbuch Österreich.

Statistik Austria. 2015. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/volkswirtschaftliche_gesamtrechnungen/bruttoinlandsprodukt_und_hauptaggregate/jahresdaten/index.html.

Stäubli, B. (1992). Emissionsabschätzung für Kehrichtschlacke: (Projekt EKESA). MBT Umwelttechnik AG und EAWAG, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushal. Zürich und Dübendorf.

StAWG (1991). Gesetz, mit dem die umweltgerechte und wirtschaftliche Vermeidung, Sammlung und Verwertung und Entsorgung von Abfällen geregelt wird. Steiermärkisches Abfallwirtschaftsgesetz 1990

Stegmann, R., K.-U. Heyer, K. Hupe und A. Willand (2006). Deponienachsorge - Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge. D-Umweltbundesamt. Dessau.

Stubenvoll, J., S. Böhmer und I. Szednyj (2002). Stand der Technik bei Abfallverbrennungsanlagen. Umweltbundesamt. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Sushil, S. und V. S. Batra. 2006. Analysis of fly ash heavy metal content and disposal in three thermal power plants in India. Fuel. 85(17): 2676-2679.

Svehla, J. und B. Winter (2013). Stand der Technik von Anlagen der Span- und Faserplattenindustrie. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Tabasaran, O. 1994. Abfallwirtschaft, Abfalltechnik: Siedlungsabfälle. Ernst.

Tabasaran, O. 1997. Abfallwirtschaft, Abfalltechnik: Sonderabfälle. Ernst.

Tarnawski, W. 2004. Emission factors for combustion of biomass fuels in the pulp and paper mills. Fibres and Textiles in Eastern Europe. 12(3): 91-95.

Tesar, M. und A. Öhlinger (2008). Elektroaltgerätbehandlung in Österreich – Zustandsbericht 2008. Wien. U. u. W. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Tesar, M. und A. Öhlinger (2012). Flachbildschirmgeräte Behandlung. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Thaler, P. und B. Walter (2012). Ex-Situ Behandlung von kontaminierten Böden - Anlagen in Österrich und angewandte Praxis. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Umweltbundesamt (2013, Altpapier. Retrieved 30.8.2014, 2014, from http://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/entsorgung-verwertung-ausgewaehlter-abfallarten/altpapier.

Umweltbundesamt (2014, Zellstoff- und Papierindustrie. Retrieved 30.8.2014, 2014, from http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriebranchen/holz-zellstoff-papierindustrie/zellstoff-papierindustrie.

UPM (2012). Gemeinsame Umwelterklärung 2012. UPM Zellstoff- und Papierfabriken

Van der sloot, A. H., G. J. L. Van der Wegen, D. Hoede und G. J. De Groot. 1994. Intercomparition of Leaching Tests for Stabilised Waste. In: Goumans, J.M., Van Der Sloot, A. & Aalbers, T.G. (ed.): Environmental Aspects of Construction with Waste Materials. Elsevier Science B. V. 1994(

VEGAS (2008). REFINA-Projekt: KOSAR - Kostenoptimierte Sanierung und Bewirtschaftung von Reserveflächen Arbeitspaket 3: Analyse und Zusammenstellung von geeigneten, kostengünstigen Verfahren zur Sanierung und Sicherung von Kontaminationen Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart

Vetropack. 2012. Glas bleibt Glas - Glasrecycling bei Vetropack.

Vock, W. (2004). Umwelt-Materialien Nr. 178: Schadstoffgehalte in Holzabfällen - Analyseresultate der Holzkampagne 98. Ingenieurbüro Abfall und Recycling. Bern. W. u. L. Bundesamt für Umwelt.

Vogel, G. (1997). Kostenwahrheit in der Abfallwirtschaft In: Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 112. Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband. Wien.

Vogtländer, J. (2013, Data on Eco-costs 2012. Retrieved 29. 08. 2014, 2014, from http://www.ecocostsvalue.com/EVR/img/Ecocosts2012_LCA_data_on_products_and_services_EI_V2-2%2BIdemat2012.xlsx.

Wagner, M., H. Menapace und R. Frate (2010). Stand der Technik bei der chemisch-physikalischen Behandlung von flüssigen Abfällen. Montanuniversität Leoben. Leoben. A. d. S. L. , Fachabteilung 19D.

Walker, I. und M. Dohmann (1998). Grundlagenuntersuchungen zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Bauschutt und Baustellenabfällen. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. Aachen.

Watanabe, N., S. Inoue und H. Ito. 1999. Antimony in municipal waste. Chemosphere. 39(10): 1689-1698.

Weber, W. J., Y.-C. Jang, T. G. Townsend und S. Laux. 2002. Leachate from Land Disposed Residential Construction Waste. Journal of environmental engineering. 128(3): 237-245.

Weigand, H. und C. Marb. 2006. Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen–Teil III: Physikalisch-chemische Eigenschaften und Schadstoffgehalte. Müll und Abfall. 38(5):

Westerdahl, J., P. Andersson, F. Fuhrman, P. Haglund, E. Hallberg, T. Holmgren, S. Molander, T. Rydberg, J. Tivander und A. Öman (2010). National inventory of emissions of additives from plastic materials. Chalmers University of Technology.

Wikipedia (2014a, Deinking. Retrieved 28.8.2014, 2014, from http://de.wikipedia.org/wiki/Deinking.

Wikipedia (2014b, Eisen-Kohlenstoff-Diagramm. Retrieved 28.8.2014, 2014, from http://de.wikipedia.org/wiki/Deinking.

Wikipedia (2014c, Glas-Recycling. Retrieved 28.8.2014, 2014, from http://de.wikipedia.org/wiki/Glasrecycling.

Wilewska-Bien, M., M. Lundberg, B.-M. Steenari und H. Theliander. 2007. Treatment process for MSW combustion fly ash laboratory and pilot plant experiments. Waste Management. 27(9): 1213-1224.

Windsperger, A. (2010). Optimierung der Ressourceneffizienz der Holznutzung: Modellierung der Holzverarbeitungsprozesse zur Darstellung der Auswirkungen von Entwicklungen auf die Leistungscharakteristik. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 62/2010. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.

Winter, B., I. Szednyj, H. Reisinger, S. Böhmer und T. Janhsen (2005). Abfallvermeidung und -Verwertung: Aschen, Schlacken und Stäube in Österreich. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Wojtalewicz-Kasprzak, D.-I. A. (2007). Erzeugung von synthetischen Selten-Erd-Konzentraten aus Leuchtstoffabfällen. Clausthal.

Wolff, F. (2004). Biomasse in Baden-Württemberg – Ein Beitrag zur wirtschaftlichen Nutzung der Ressource Holz als Energieträger, Dissertation, Universität Karlsruhe, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Karlsruhe.

Wolfgarten, S. (2010). Prognose des Sickerwasseraufkommens und der Sickerwasserqualität nach Abschluss der Abfallablagerung am Beispiel der Deponie Aßlar. Justus-Liebig-Universität Gießen. Gießen.

Zeschmar-Lahl, B. (2003). Schadstoffanreicherung im Erzeugnis aufgrund des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken und Feuerungsanlagen. Technische Universität Berlin. Berlin.

Zeschmar-Lahl, B., J. Jager, K. Ketelsen, U. Lahl, K. Scheidel, M. Steiner und A. Heckmann (2000). Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa. Parey Buchverlag. Berlin.

Zimmermann, P., G. Doka, F. Huber, A. Labhardt und M. Menard (1996). Ökoinventare von Entsorgungsprozessen, ESU-Reihe Nr. 1/96. ETH - Institut für Energietechnik Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt. Zürich.

18 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

18.1 Abbildungen

Abb. 3-1: Benchmarking der österreichischen Abfallwirtschaft 14
Abb. 4-1: Allgemeine Systemstruktur 15
Abb. 4-2: Unsicherheitslevel – exponentiell 19
Abb. 5-1: Zusammenhang der AWG Ziele 20
Abb. 5-2: Berechnung Nutzenpunkte (logarithmisch) 29
Abb. 5-3: Beispiel einer Transformationsfunktion (linear) 30
Abb. 5-4: Benchmarks: AWG Ziel 1 32
Abb. 5-5: SO_2-Emissionen Österreichs gesamt und nach Sektoren, 1990-2012 [UBA Bundesländer Luftschadstoffinventur, 2014] 35
Abb. 5-6: NMVOC-Emissionen Österreichs gesamt und nach Sektoren, 1990–2012 [UBA Bundesländer Luftschadstoffinventur, 2014] 36
Abb. 5-7: Benchmarks: AWG Ziel 2 37
Abb. 5-8: Benchmarks: AWG Ziel 3 39
Abb. 5-9: Benchmarks: AWG Ziel 4 41
Abb. 5-10: Benchmarks: AWG Ziel 5 51
Abb. 5-11: geogene Hintergrundkonzentrationen österreichischer Grundwasserkörper (GEOHINT 2004) 53
Abb. 5-12: Zusammenhänge innerhalb des gewählten Bewertungsrahmen 56
Abb. 5-13: kritische Betrachtung der gewählten Benchmarks 57
Abb. 5-14: Zusammenfassung der methodischen Vorgehensweise der Bewertung 58
Abb. 6-1: Abfallaufkommen im Jahr 2012 (primär und sekundär) 60
Abb. 6-2: Restmüllzusammensetzung für das Jahr 2011 (BMLFUW 2014a) 64
Abb. 6-3: Sperrmüllanalyse (Pladerer et al. 2001) 64
Abb. 6-4: *Europäischer Plastikbedarf (Plastics Europe 2012)* 70
Abb. 6-5: Abfallfraktionen der Verbrennungsrückstände aus Feuerungsanlagen und der thermischen Abfallbehandlung [t, %) 88
Abb. 6-6: Darstellung der methodischen Vorgehensweise zur Erhebung der Transportdaten (eigene Grafik) 101
Abb. 6-7: Darstellung der Stadtregionen Österreichs Quelle: Statistik Austria 102
Abb. 6-8: Darstellung der nahe an den Stadtregionen befindlichen Behandlungsanlagen (Google MyMaps, eigene Daten) 102
Abb. 6-9: biotechnische behandelte Abfälle 2012 (Kompost- und Biogasanlagen) 105
Abb. 6-10: mechanisch biologisch behandelte Abfälle 2012 109
Abb. 6-11: Output-Güter der MBA-Anlagen in Österreich für das Jahr 2005 112
Abb. 6-12: Output-Güter der MBA Anlage Halbenrain für den Zeitraum 18.02.2013 bis 11.04.2013 112
Abb. 6-13: Veränderungen der Metallgehalte der Deponiefraktion in den Jahren 2012 - 2013 114
Abb. 6-14: Beispiel für das Abluftmanagement von MBA-Anlagen (Österreichische Anlage, anonymisiert, Stand 2013) 117
Abb. 6-15: Thermisch behandelte Abfälle 2012 (EDM 2012) 125
Abb. 6-16: Abgelagerte Massen im Jahr 2012 [t] 131
Abb. 6-17: Deponiegasproduktionsrate der österreichischen Massenabfalldeponien in m³/a 134
Abb. 6-18: Deponiegasemissionen (abzüglich Methanoxidation und Deponiegaserfassung) der österreichischen Massenabfalldeponien in m³/a 135
Abb. 6-19: Sickerwasserkonzentrationen [mg/l] der im Jahr 2012 abgelagerten Abfälle auf MAD 138
Abb. 6-20: Sickerwasserkonzentrationen [mg/l] der im Jahr 2012 abgelagerten Abfälle auf RSD 139
Abb. 6-21: Sickerwasserkonzentrationen [mg/l] der im Jahr 2012 abgelagerten Abfälle auf BRMD 139
Abb. 6-22: Sickerwasserkonzentrationen [mg/l] der im Jahr 2012 abgelagerten Abfälle auf IAD 139
Abb. 6-23: chemisch-physikalisch behandelte (organische) Abfälle 2012 143
Abb. 6-24: Chemisch-physikalisch behandelte (anorganische) Abfälle 2012 144
Abb. 6-25: Chemisch-physikalisch behandelte (organisch-anorganische) Abfälle 2012 144
Abb. 6-26: Spezifische Kosten von 11 Aufbereitungsanlagen für Baurestmassen in Abhängigkeit vom Durchsatz (Bilitewski und Härdtle 2013) 168
Abb. 7-1: Güterebene: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 22 Mio. Tonnen Güter) und aggregierte Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 182

Abb. 7-2: Güterbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Millionen Tonnen 183
Abb. 7-3: Kohlenstoffebene: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 3,5 Mio. Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 184
Abb. 7-4: Kohlenstoffbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Mio. Tonnen 185
Abb. 7-5: Cadmiumebene: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 160 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 186
Abb. 7-6: Cadmiumbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 187
Abb. 7-7: Kupfer: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 58.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 188
Abb. 7-8: Kupferbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 189
Abb. 7-9: Chrom: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 15.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 190
Abb. 7-10: Chrombilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 191
Abb. 7-11: Eisen: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 1,8 Mio. Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 192
Abb. 7-12: Eisenbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Kilotonnen 193
Abb. 7-13: Quecksilber: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 17 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 194
Abb. 7-14: Quecksilberbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 195
Abb. 7-15: Stickstoff: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 62.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 196
Abb. 7-16: Stickstoffbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 197
Abb. 7-17: Nickel: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 200.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 198
Abb. 7-18: Nickelbilanz: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 199
Abb. 7-19: Phosphor: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 19.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 200
Abb. 7-20: Phosphor: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 201
Abb. 7-21: Blei: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 18.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 202
Abb. 7-22: Blei: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 203
Abb. 7-23: Zink: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle: rd. ∑ 22.000 Tonnen) und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 204
Abb. 7-24: Zink: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Tonnen 205
Abb. 8-1: Struktur Ökobilanz (ISO 14040, 2006) 207
Abb. 8-2: Treibhauspotential der österreichischen Abfallwirtschaft 213
Abb. 8-3: Versauerungs- und Photooxidantienpotential der österreichischen Abfallwirtschaft 214
Abb. 8-4: Eutrophierungspotential der österreichischen Abfallwirtschaft 214
Abb. 8-5: Umweltauswirkungen der österreichischen Abfallwirtschaft, auf EU25 normalisierte Ergebnisse in Personenäquivalenten 215
Abb. 9-1: Überblick: Systemgrenzen für die Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft 216
Abb. 9-2: Status Quo AWG Ziel 1: Klimawandel 217
Abb. 9-3: Status Quo AWG Ziel 1: Terrestrische Versauerung 217
Abb. 9-4: Status Quo AWG Ziel 1: Photooxidantienpotential 218
Abb. 9-5: Status Quo AWG Ziel 1: Eutrophierung 218
Abb. 9-6: Status Quo AWG Ziel 2: klimarelevante Emissionen und Luftschadstoffe (ohne Gutschriften) 219
Abb. 9-7: Status Quo AWG Ziel 2: klimarelevante Emissionen und Luftschadstoffe (mit Gutschriften) 220
Abb. 9-8: Status Quo AWG Ziel 3: Schonung von Rohstoffen 221
Abb. 9-9: Grenzen der Rohstoffbereitstellung aus Abfällen 221
Abb. 9-10: Status Quo AWG Ziel 3: Schonung von Energie 222
Abb. 9-11: Energieeinsparung durch Recycling von Altstoffen im Vergleich mit dem österreichischen Endenergieverbrauch 223
Abb. 9-12: Energieeinsparungspotentiale ausgedrückt durch den kumulierten Energieaufwand 223
Abb. 9-13: Status Quo AWG Ziel 3: Deponievolumen 224
Abb. 9-14: Deponierte Abfallfraktionen in Masseprozent 224

Abb. 9-15: Status Quo AWG Ziel 4: Altholz zur stofflichen Verwertung 225
Abb. 9-16: Status Quo AWG Ziel 4: Schadstoffe in Recycling-Baustoffen 226
Abb. 9-17: Status Quo AWG Ziel 4: Schadstoffe im Kompost 226
Abb. 9-18: Status Quo AWG Ziel 5: Schwermetalle in Deponien 228
Abb. 9-19: Status Quo AWG Ziel 5: kurzfristige Sickerwasseremission 1 Jahr nach Ablagerung 229
Abb. 9-20: Status Quo AWG Ziel 5: langfristige Sickerwasseremission im Zeitraum 2-100 Jahre nach Ablagerung 229
Abb. 9-21: Status Quo AWG Ziel 5: langfristige Sickerwasseremission im Zeitraum 101-1000 Jahre nach Ablagerung 229
Abb. 9-22: Status Quo AWG Ziel 5: Deponiegasemissionen pro m² für die Zeiträume 1 Jahr, 2-100 und 101-1000 Jahre nach Ablagerung 230
Abb. 10-1: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 1 232
Abb. 10-2: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 2 234
Abb. 10-3: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 3 235
Abb. 10-4: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 4 237
Abb. 10-5: Zusammenfassende Beurteilung von AWG Ziel 5 239
Abb. 10-6: Einhaltung (<0) und Überschreitung (>0) der Benchmarks von langfristige Sickerwasseremissionen aus Deponien 240
Abb. 10-7: Zusammenfassende Beurteilung der Abfallwirtschaft auf Basis der errechneten Nutzenpunkte (10 Punkte = 100% Zielerreichung) 244
Abb. 11-1: Monetarisierte Leistungen der österreichischen Haushalte für die Abfallwirtschaft im weiteren Sinne (eigene Darstellung, auf Basis Graser (2014)) 255
Abb. 11-2: Komponenten der Zeitkosten nach Haushaltstypen (eigene Darstellung, auf Basis Graser (2014)) 255
Abb. 12-1: modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) ohne Gewichtung, reduzierte und vollständiger Gewichtung 263
Abb. 12-2: modifizierte Kostenwirksamkeit bei unterschiedlicher Gewichtung 264
Abb. 13-1: Güterbilanz – Szenario W1: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Millionen Tonnen 274
Abb. 13-2: Güterbilanz – Szenario R2: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Millionen Tonnen 275
Abb. 13-3: Güterbilanz – Szenario N3: Hauptsystem (gerundet auf 2-signifikante Stellen) in Millionen Tonnen 276
Abb. 13-4: Güterebene je Szenario: Input in Behandlungsanlagen (quantitativ betrachtete Primär- und Sekundärabfälle und aggregierter Output aus Behandlungsanlagen bzw. Lager in Deponien 277
Abb. 13-5: Prozentuelle Verteilung der Outputflüsse (Emissionen, Export, Produkt) und Lager (Deponie) je Szenario 1/2 278
Abb. 13-6: Prozentuelle Verteilung der Outputflüsse (Emissionen, Export, Produkt) und Lager (Deponie) je Szenario 2/2 279
Abb. 13-7: Szenarienvergleich für die Wirkungskategorien Treibhauspotential, Eutrophierungspotential, Photooxidantienpotential und Versauerungspotential 280
Abb. 13-8: Szenarienvergleich für klimarelevante Emissionen und Luftschadstoffe (ohne Gutschriften) 280
Abb. 13-9: Zusammensetzung der treibhausrelevanten Umweltauswirkungen im Szenarienvergleich 281
Abb. 13-10: Zusammensetzung der eutrophierungsrelevanten Umweltauswirkungen im Szenarienvergleich 281
Abb. 13-11: Zusammensetzung der versauerungsrelevanten Umweltauswirkungen im Szenarienvergleich 282
Abb. 13-12: Relative Änderung der für AWG Ziel 1 berücksichtigten Umweltauswirkungen in Prozent vom Status Quo 282
Abb. 13-13: Relative Änderung der für AWG Ziel 2 berücksichtigten klimarelevanten Emissionen und anderen Luftschadstoffen in Prozent vom Status quo. THG…Treibhausgas relevante Emissionen (%-Veränderung der CO_2-Äquivalente). CO_2, CH_4, N_2O, SO_2, NO_2 (%-Veränderung der Masse je Gas) 283
Abb. 13-14: Szenarienvergleich: Gesamtkosten der österreichischen Abfallwirtschaft [EUR Mrd.] 283
Abb. 13-15: Szenarienvergleich: Nutzenpunkte je AWG Ziel 287
Abb. 13-16: Szenarienanalyse: Vergleich der mittleren Nutzenpunkte je AWG Ziel 289
Abb. 14-1: Optimiertes Szenario: Veränderung der Nutzenpunkte 298
Abb. 15-1: Zusammenfassende Übersicht der methodischen Vorgehensweise 300
Abb. 15-2: Zusammenfassende Darstellung der Stoffkonzentrationen in Deponiematerial und Produkten (stoffliche Verwertung und Ersatzbrennstoffe) 302
Abb. 15-3: Zusammenfassende Ergebnisse der Ökobilanzierung des Status Quo 303
Abb. 15-4. Zusammenfassende Darstellung der Zielerreichung 304
Abb. 15-5: Zusammenfassende Darstellung des Szenarienvergleichs: Änderung der Nutzenpunkte zum Status Quo 305
Abb. 19-1: Qualitatives Hauptsystem: österreichische Abfallwirtschaft 329
Abb. 19-2: Qualitatives Subsystem: sonstige Behandlung 330
Abb. 19-3: Qualitatives Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Elektroaltgeräte 330
Abb. 19-4: Qualitatives Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altstoffe und ähnlichen Abfällen 331

Abb. 19-5: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altpapier und ähnlichen Abfällen 331
Abb. 19-6: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altglas und ähnlichen Abfällen 331
Abb. 19-7: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altmetalle und ähnlichen Abfällen 332
Abb. 19-8: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altholz und ähnlichen Abfällen 332
Abb. 19-9: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altkunststoffen und ähnlichen Abfällen 332
Abb. 19-10: Qualitatives Sub-Subsystem: Shredderanlagen 332
Abb. 19-11: Qualitatives Subsystem: thermische Behandlung 333
Abb. 19-12: Qualitatives Sub-Subsystem: Verbrennungsanlagen von Siedlungsabfällen 333
Abb. 19-13: qualitatives Sub-Subsystem: Mitverbrennungsanlagen und sonstige Abfallverbrennungsanlagen 334
Abb. 19-14: qualitatives Subsystem: biotechnische Behandlung 334
Abb. 19-15: qualitatives Subsystem: Deponie 335
Abb. 19-16: qualitatives Sub-Subsystem: Bodenaushubdeponie 335
Abb. 19-17: qualitatives Sub-Subsystem: Baurestmassendeponie 336
Abb. 19-18: qualitatives Sub-Subsystem: Inertabfalldeponie 336
Abb. 19-19: qualitatives Sub-Subsystem: Reststoffdeponie 336
Abb. 19-20: qualitatives Sub-Subsystem: Massenabfalldeponie 337
Abb. 19-21: qualitatives Subsystem: chemisch-physikalische Behandlung 337

18.2 Tabellen

Tabelle 4-1: Prozesse und Güterflüsse 15
Tabelle 4-2: Definition von Unsicherheiten bei Literaturdaten 18
Tabelle 4-3: Definition von Unsicherheiten bei Expertenschätzung 19
Tabelle 5-1: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel Vermeidung von schädlichen Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze und Umwelt 21
Tabelle 5-2: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel „Vermeidung und Verringerung von Luftschadstoffen“ 22
Tabelle 5-3: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel „Ressourcenschonung“ 22
Tabelle 5-4: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel „Kein Gefährdungspotential durch stoffliche Verwertung“ 23
Tabelle 5-5: Vorgeschlagene Indikatoren für das AWG Ziel „keine Gefährdung nachfolgender Generationen durch Ablagerungen“ 24
Tabelle 5-6: definiertes Bewertungssystem – ausgewählte Indikatoren 26
Tabelle 5-7: Berechnung der Nutzenpunkte für AWG Ziel 1 und 3 (Energieschonung) 29
Tabelle 5-8: Berechnung der Nutzenpunkte für AWG Ziel 3 (Ressourcenschonung) 30
Tabelle 5-9: Zielgewichtung: Vorlage Stakeholderbefragung 31
Tabelle 5-10: Klimawandel GWP 2012 [UBA, 2014] 34
Tabelle 5-11: Benchmark AWG Ziel 1 - Versauerungspotential 35
Tabelle 5-12: klimarelevante Emissionen in CO_2 Äquivalenten für Gesamt-Österreich 37
Tabelle 5-13: Emissionsanteile klimarelevanter Gase 38
Tabelle 5-14: klimarelevante Gase in Tonnen pro Jahr 38
Tabelle 5-15: AWG Ziel 2 – klimarelevante Gase: Benchmark 38
Tabelle 5-16: SO_2 Emissionen für Gesamt - Österreich 38
Tabelle 5-17: NO_x Emissionen für Gesamt - Österreich 39
Tabelle 5-18: AWG Ziel 2 – Luftschadstoffe: Benchmark [Tonnen] 39
Tabelle 5-19: AWG Ziel 3: Benchmarks - Schonung von Rohstoffen [Tonnen] 40
Tabelle 5-20: Benchmarks AWG Ziel 3: Schonung Deponievolumen 41
Tabelle 5-21: Benchmarks AWG Ziel 4: Benchmarks und Minimalanforderungen für Altholz 43
Tabelle 5-22: Benchmarks AWG Ziel 4: Benchmarks und Minimalanforderungen für Recycling-Baustoffe 45
Tabelle 5-23: Benchmarks AWG Ziel 4: Benchmarks und Minimalanforderungen für Komposte 46
Tabelle 5-24: Zusammenfassung der Kunststoffabfallmengen und Verwertungswege in Österreich (eigene Abschätzung / Berechnung) 47
Tabelle 5-25: Schadstoffe in Kunststoffen (Quelle: COWI, 2013) 48
Tabelle 5-26: Normen zu Kunststoff-Rezyklaten 50

Tabelle 5-27: Indikatoren für AWG Ziel 5 51
Tabelle 5-28: Vorsorgewerte und Maßnahmenwerte gemäß BBodSchV und normale Gehalte im Boden laut Scheffer/Schachtschabel im Vergleich zu den Grenzwerte der DVO für ausgewählte Stoffe 52
Tabelle 5-29: Benchmarks AWG Ziel 5: Schwermetalle 52
Tabelle 5-30: Hintergrundkonzentrationen von unbelastetem Grundwasser und Grenzwerte der AEV Deponiesickerwasser 53
Tabelle 5-31: Untergrundverhältnisse aller Modelldeponien 54
Tabelle 5-32: Geometrie Modelldeponien 54
Tabelle 5-33: Benchmarks AWG Ziel 5: langfristige Deponiesickerwasseremissionen 54
Tabelle 5-34: Emissionsziele der Abfallwirtschaft in Mio. t CO_2-Äquivalente gem. Anlage 2 des Klimaschutzgesetzes (2013-2020) 54
Tabelle 5-35: Benchmarks AWG Ziel 5: langfristige Deponiegasemissionen (Vorschlag) 55
Tabelle 5-36: Zusammenfassung Benchmarks 59
Tabelle 6-1: Zuordnung der Abfallarten zu der jeweiligen Gruppe und Begründung 61
Tabelle 6-2: Betrachtungsweise je SN-Gruppe (Primär- und Sekundärabfälle) [t] 63
Tabelle 6-3: Stoffkonzentration Restmüll [mg/kg TM; außer H_2O in mg/kg] 64
Tabelle 6-4: Stoffkonzentration Sperrmüll [mg/kg TM; außer H_2O in mg/kg] 65
Tabelle 6-5: Abfälle aus dem Grünflächenbereich im Jahr 2012 65
Tabelle 6-6: Abschätzung der Stoffzusammensetzung biogener Abfälle zur Kompostierung und Vergärung [mg/kg] 66
Tabelle 6-7: Angenommene Stoffkonzentrationen für Altpapier 67
Tabelle 6-8: Stoffkonzentration Verpackungsmaterialien [mg/kg] 67
Tabelle 6-9: Stoffkonzentration weitere Papierabfälle [mg/kg] 67
Tabelle 6-10: Angenommene Stoffkonzentrationen im Altglas für ausgewählte Stoffe 68
Tabelle 6-11: Angenommene Stoffkonzentrationen in der Leichtfraktion für ausgewählte Stoffe 69
Tabelle 6-12: Additivanteil je Kunststoffsorte 70
Tabelle 6-13: Stoffkonzentration Kunststoffabfällen [mg/kg] 70
Tabelle 6-14: Holzabfälle – Fraktion [t] 71
Tabelle 6-15: Stoffkonzentration Holzabfälle [mg/kg] 72
Tabelle 6-16: Angenommene Stoffkonzentrationen in Altmetallen (Haushaltsschrott) für ausgewählte Stoffe 72
Tabelle 6-17: Angenommene Stoffkonzentrationen im Altmetall (Metallverpackungen) für ausgewählte Stoffe 73
Tabelle 6-18: Stoffkonzentration für Eisen-, Stahl- und weitere Metallabfälle (Schrott) 74
Tabelle 6-19: weitere Metallabfälle – Fraktion (t) 74
Tabelle 6-20: Angenommene Stoffkonzentrationen in Alttextilien 75
Tabelle 6-21: Angenommene Stoffkonzentrationen für Textilschlämme 75
Tabelle 6-22: Stoffkonzentration Problemstoffe [mg/kg] 76
Tabelle 6-23: Zusammensetzung, Aufkommen und Verwertung (in Tonnen) von Abfällen aus dem Bauwesen 76
Tabelle 6-24: Aufkommen, Deponierung und sonstige Verwertung (in Tonnen) von Abfällen aus dem Bauwesen 77
Tabelle 6-25: Stoffliche Zusammensetzung von Bauschutt [mg/kg] 78
Tabelle 6-26: Stoffliche Zusammensetzung von Bauschutt aus zwei Projekten (Steiermark und NÖ) 79
Tabelle 6-27: Stoffliche Zusammensetzung von Recycling-Baustoffen aus Straßenaufbruch 79
Tabelle 6-28: Stoffliche Zusammensetzung von Betonabbruch sowie dessen Recycling-Baustoffen 80
Tabelle 6-29: Annahmen zur stofflichen Zusammensetzung der Abfallfraktionen [mg/kg] 81
Tabelle 6-30: Materialzusammensetzung von Bildschirmgeräten (LCD/Plasma und CRT) 82
Tabelle 6-31: Materialzusammensetzung von Kühl- und Gefriergeräten 83
Tabelle 6-32: Materialzusammensetzung von Großgeräten 83
Tabelle 6-33: Materialzusammensetzung von Kleingeräten 84
Tabelle 6-34: Materialzusammensetzung von Gasentladungslampen 84
Tabelle 6-35: Stoffkonzentration Säuren, Laugen und Lösungsmittel, Farben und Lacken [mg/kg] 85
Tabelle 6-36: Stoffkonzentration von Asbestzement [mg/kg] 85
Tabelle 6-37: Stoffkonzentration von Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube [mg/kg] 86
Tabelle 6-38: 5.2.13.3 Gebrauchte Öle und mineralölhaltige Abfälle – Fraktion (t) 86
Tabelle 6-39: Stoffkonzentration für Abfallfraktion der 54 Schlüsselnummerngruppe [mg/kg] 87
Tabelle 6-40: Stoffkonzentration für Oxide, Hydroxide und Salzabfälle [mg/kg] 87
Tabelle 6-41: Stoffkonzentration Wasch- und Prozesswässer [mg/kg] 87

Tabelle 6-42: Stoffkonzentration von Aschen, Schlacken und Stäuben aus Feuerungsanlagen [mg/kg] 88
Tabelle 6-43: Batterien [t] 88
Tabelle 6-44: Stoffkonzentration Batterien [mg/kg] 89
Tabelle 6-45: Stoffkonzentration Kalkschlamm [mg/kg] 89
Tabelle 6-46: Stoffkonzentration sonstig verunreinigte Böden [mg/kg] 89
Tabelle 6-47: gefährliche Abfälle (ausgewählte Fraktionen) 90
Tabelle 6-48: Stoffkonzentration weitere gefährliche Abfälle [mg/kg] 91
Tabelle 6-49: Aushubmaterialien – Aufkommen 2012 91
Tabelle 6-50: Stoffliche Zusammensetzung der Einzelfraktion aus Baustellenabfällen [mg/kg TS] (Pladerer et al. 2004) 92
Tabelle 6-51: Medizinische Abfälle – Aufkommen 2012 94
Tabelle 6-52: Abfälle aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion 2012, die nicht biologisch behandelt wurden (EDM 2012) 95
Tabelle 6-53: Rein pflanzliche Abfälle aus der Nahrungs- und Genussmittelproduktion 2012, die biologisch behandelt wurden (EDM 2012) 96
Tabelle 6-54: Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse, die nicht biologisch behandelt werden, 2012 (EDM 2012) 97
Tabelle 6-55: Auszug aus der Expertenschätzung für Haushaltsabfälle Quelle: eigene Erhebungen 101
Tabelle 6-56: Durchschnittliche Transportdistanzen der Stadtregionen zu den nahegelegenen Behandlungsanlagen (eigene Erhebungen) 102
Tabelle 6-57: Neuberechnung nach Bereinigung der Transportdaten durch zwei Ausreißer (Region Vorarlberg – Verbringung ins Ausland) (eigene Erhebungen) 103
Tabelle 6-58: Ergebnis der Expertenschätzung für die Haushaltsabfallsammlung Quelle: eigene Erhebungen 103
Tabelle 6-59: Ausgewählte Charakterisierungsfaktoren für die Berechnung des GWP 103
Tabelle 6-60: Darstellung der spezifischen bzw. gesamten Emissionen im städtischen und ländlichen Raum (eigene Berechnungen) 104
Tabelle 6-61: Durchschnittliche Verarbeitungskapazität und -menge für biogene Abfälle in Kompost- und Biogasanlagen nach Bundesländern [t/a] (Amlinger und Tulnik 2012) 106
Tabelle 6-62: Energieverbräuche bei der biologischen Abfallbehandlung (Lampert et al. 2011) 106
Tabelle 6-63: Durchschnittliche Emissionswerte bei der biologischen Abfallbehandlung nach Cuhls et al. (2008) 107
Tabelle 6-64: Transferkoeffizienten auf Güterebene (Gut) und Stoffebene bei Kompostanlagen 107
Tabelle 6-65: Transferkoeffizienten auf Güterebene (Gut) und Stoffebene bei Biogasanlagen inkl. Gärrestkompostierung 108
Tabelle 6-66: MBA-Anlagen in Österreich, Inputmengen und Deponiefraktionen 2012 / 2013 und 2014 110
Tabelle 6-67: TOC, TC und N in MBA-Proben 113
Tabelle 6-68: Schwermetalle, Fe und POPs in Deponiefraktionen aus der MBA in Österreich, Anm.: Erhoben und zusammengestellt von: Institut für Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien. 114
Tabelle 6-69: Abfallstrom und Phosphor Konzentration in MBA-Anlagen in Österreich (Egle et al. 2014) 115
Tabelle 6-70: Transferkoeffizienten für die Anlagenkonstellation „Oberpullendorf II“ (Skutan und Brunner 2006) 115
Tabelle 6-71: Transferkoeffizienten für die Splittinganlage „Rinterzelt“ (Skutan und Brunner 2006) 116
Tabelle 6-72: Ergebnisse der Umfrage im Juli 2014 betreffen die abgeschiedenen Metallmengen 116
Tabelle 6-73: Schlüssel- und Summenparameter in der Reinluft von MBA-Anlagen 118
Tabelle 6-74: Kohlenstoff-Spezifizierung in der Abluft (Reinluft-Daten), Emissionsfaktoren für umweltrelevante organische Spurenstoffe 120
Tabelle 6-75: PCDD/F und PCB im Restmüll (Skutan und Brunner 2006) und Klärschlämmen (Fürhacker und Bursch 2007). 121
Tabelle 6-76: Transferkoeffizienten für MBA-Anlagen (gemischte Transferkoeffizienten für klassische MBA und Anlagen mit Trockenstabilat) 124
Tabelle 6-77: Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Kapazitäten 125
Tabelle 6-78: Transferkoeffizienten für Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung 126
Tabelle 6-79: Transferkoeffizienten für Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Wirbelschichtfeuerung 127
Tabelle 6-80: Transferkoeffizienten Zementindustrie 128
Tabelle 6-81: Transferkoeffizienten Papierindustrie 128
Tabelle 6-82: Transferkoeffizienten Holzindustrie und Biomassefeuerung 129
Tabelle 6-83: Transferkoeffizienten sonstige Abfallbehandlungsanlagen - Wirbelschichtfeuerung 129
Tabelle 6-84: Transferkoeffizienten sonstige Abfallbehandlungsanlagen - Drehrohrofen 130
Tabelle 6-85: Anzahl und Restkapazität [m³] der Deponien 2012 131

Tabelle 6-86: abgelagerte Massen im Jahr 2012 je Deponietyp [t] 132
Tabelle 6-87: Leitparameter zur Charakterisierung des Abfallemissionsverhaltens von Deponien 132
Tabelle 6-88: Eingangsparameter zur Berechnung der Deponiesickerwasser- und Deponiegasemissionen 132
Tabelle 6-89: Halbwertszeit und Abbauraten für Massenabfalldeponien 133
Tabelle 6-90: CH_4- und CO_2 Emissionen für Massenabfalldeponien [m³] für 1y, 100y und 1.000y abzüglich Methanoxidation und Deponiegaserfassung 134
Tabelle 6-91: Eingangsparameter: Berechnung der Deponiesickerwasser-Konzentration (gerundet auf zwei signifikante Stellen) c_o in [mg/l] m_v in [mg/kg TS] 136
Tabelle 6-92: Deponiesickerwässer - Rückhalteraten 137
Tabelle 6-93: Wasserhaushaltsgrößen je Deponietyp in m³/a 137
Tabelle 6-94: Frachten[t] im Deponiesickerwasser für 1y, 100y, 1.000y 138
Tabelle 6-95: Deponiesickerwasserbehandlung: Frachten [t] für 1y und 1-100y im Konzentrat und Permeat 140
Tabelle 6-96: Übersicht CP-Anlagen in Österreich (BMLFUW 2014a); („O“ resp. „A“ stehen für org. resp. anorganische Behandlung) 141
Tabelle 6-97: Typischer Input und Output aus CPO-Anlagen (Annahme) 143
Tabelle 6-98: Transferkoeffizienten für CPO-Anlagen (Annahme) 143
Tabelle 6-99: Transferkoeffizienten für CPA-Anlagen (Annahme) 144
Tabelle 6-100: Transferkoeffizienten für CPO/A-Anlagen (Annahme) 145
Tabelle 6-101: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Bildschirmgeräten 146
Tabelle 6-102: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Kühl- und Gefriergeräten 146
Tabelle 6-103: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Großgeräten 147
Tabelle 6-104: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Kleingeräten 147
Tabelle 6-105: Transferkoeffizienten für die Behandlung von Gasentladungslampen 148
Tabelle 6-106:Übersicht Shredderbetriebe in Österreich (BMLFUW 2014a) 148
Tabelle 6-107: Input in Shredderanlagen (Annahme) 149
Tabelle 6-108: Output aus Shredderanlagen (Annahme) 149
Tabelle 6-109: Input in Shredderanlagen (Musteranlage – Annahme) 150
Tabelle 6-110: Transferkoeffizienten für Shredderanlagen 150
Tabelle 6-111: Anlagenanzahl je Recycling-Baustoff und Qualitätsklasse 152
Tabelle 6-112: Transferkoeffizienten Abfälle aus dem Bauwesen 153
Tabelle 6-113: Anlagen zur stofflichen Verwertung von getrennt erfassten Altstoffen in Österreich 2012 (BMLFUW 2014a) 154
Tabelle 6-114: Angenommene Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Altpapier“ für ausgewählte Stoffe 156
Tabelle 6-115: Angenommene Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Altglas“ für ausgewählte Stoffe 159
Tabelle 6-116: Angenommene Transferkoeffizienten für den Abfallstrom „Leichtfraktion“ für ausgewählte Stoffe 161
Tabelle 6-117: Angenommene Transferkoeffizienten für Holzabfälle für ausgewählte Stoffe 163
Tabelle 6-118: Angenommene Transferkoeffizienten auf Stoffebene für Metallverpackungen aus der Haushaltssammlung für ausgewählte Stoffe 163
Tabelle 6-119: Angenommene Transferkoeffizienten auf Stoffebene für Altmetalle aus der Gewerbe und Industrie 164
Tabelle 6-120: Transferkoeffizienten für mechanische Anlagen für Siedlungs- und Gewerbeabfällen 165
Tabelle 6-121: Kosten der Sammlung von Siedlungsabfällen ((Kranert und Cord-Landwehr 2010), eigene Berechnung des Preisstandes 2012) 166
Tabelle 6-122: Behandlungskosten für Sortierung von Siedlungsabfällen (Eigene Erhebungen und Berechnungen auf Basis von Fleischhacker (2011) [EUR] 167
Tabelle 6-123: Behandlungskosten für EAG je Gerätekategorie (Expertenschätzung) [EUR/t] 167
Tabelle 6-124: Behandlungskosten (EUR/t) für Baurestmassen (Expertenschätzung) [EUR/t] 168
Tabelle 6-125: Investitions- und Betriebskosten von Altpapiersortieranlagen (Eigene Erhebungen und Berechnungen auf Basis (Bilitewski und Härdtle 2013)) 169
Tabelle 6-126: Behandlungskosten (EUR/t) für Altglassortierung (Expertenschätzung) 169
Tabelle 6-127: Behandlungskosten für Altholz – eigene Berechnung nach (Wolff 2004) 169
Tabelle 6-128: Behandlungskosten für Altkunststoffe - Eigene Erhebungen und Berechnungen auf Basis (Bilitewski und Härdtle 2013) 170
Tabelle 6-129: Kostensätze der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen (Eigene Darstellung auf Basis (BDSV 2007)) 171

Tabelle 6-130: Behandlungskosten für Thermische Behandlung von Siedlungsabfällen - Eigene Erhebungen und Berechnungen auf (Stubenvoll et al. 2002, Hauer 2010) 172
Tabelle 6-131: Investitions- und Betriebskosten von Bioabfallkompostierungsanlagen 172
Tabelle 6-132: Investitions- und Betriebskosten bei bestimmten Vergärungsverfahren nach Bilitewski und Härdtle (2013) 173
Tabelle 6-133: Investitions- und Betriebskosten von Deponien (Kranert und Cord-Landwehr 2010) 174
Tabelle 6-134: Durchschnittliche kostendeckende Übernahmepreise von Deponien (EU 2012) 174
Tabelle 6-135: Externe Kosten (in EUR/kg) ausgewählter Schadstoffe ((Vogtländer 2013), eigene Berechnungen) 175
Tabelle 6-136: Erlöse für Wertstoffe und Wärmelieferung (in EUR/t) 176
Tabelle 6-137: Raumkosten für Haushaltstypen (eigene Darstellung, auf Basis (Graser 2014))) 177
Tabelle 6-138: Fahrkosten für einen durchschnittlichen Haushalt (eigene Darstellung, auf Basis (Graser 2014))) 177
Tabelle 6-139: Materialkosten für einen durchschnittlichen Haushalt (eigene Darstellung, auf Basis Graser (2014)) 177
Tabelle 7-1: MFA – System der österreichischen Abfallwirtschaft: Abkürzungen und Bezeichnungen 181
Tabelle 7-2: Produkte aus der österreichischen Abfallwirtschaft 182
Tabelle 7-3: Zusammenfassung der MFA-Ergebnisse [1.000 Tonnen] 1/2 (gerundet auf 3 signifikante Stellen) 206
Tabelle 7-4: Zusammenfassung der MFA-Ergebnisse [1.000 Tonnen] 2/2 (gerundet auf 3 signifikante Stellen) 206
Tabelle 8-1: Verwendete Datensätze für die Modellierung mittels GaBi 6.0 211
Tabelle 8-2: verwendete Datensätze 212
Tabelle 9-1: AWG Ziel 3 – Rohstoffe: Status Quo und Gesamteinsatz an Rohstoffen 221
Tabelle 9-2: Energieeinsparung durch Sekundärproduktion [basierend auf UBA, 20101] 222
Tabelle 9-3: Gegenüberstellung: Schadstoffkonzentrationen in Komposten (Mittelwerte der ARGE Kompost & Biogas, 2015), Status Quo, Minimalanforderung und Benchmark 227
Tabelle 9-4: Stoffkonzentrationen in Kunststoffen zur stofflichen Verwertung 227
Tabelle 10-1: Beurteilung der österreichischen Abfallwirtschaft in Nutzenpunkten (min = 0 und max. = 10) 243
Tabelle 11-1: Kosten für Sammlung und Transport 249
Tabelle 11-2: Kosten der Behandlung und Entsorgung 250
Tabelle 11-3: Vergleich der internen Kosten der Abfallwirtschaft im engeren Sinne mit den Aufwendungen der Leistungs-/Strukturstatistik (in Mio. EUR) 251
Tabelle 11-4: Parameter für die Quantifizierung der Leistungen der österreichischen Haushalte für die Abfallwirtschaft im weiteren Sinne (eigene Darstellung, auf Basis von Graser (2014)) 253
Tabelle 11-5: Angenommene Entledigungshäufigkeiten (eigene Darstellung, auf Basis von Graser (2014)) 253
Tabelle 11-6: Externe Kosten der Abfallwirtschaft 256
Tabelle 11-7: Erlöse für Wertstoffe und Wärmelieferungen in der österreichischen Abfallwirtschaft im Überblick (2012) 257
Tabelle 11-8: Volkswirtschaftliche Kosten der österreichischen Abfallwirtschaft im Überblick (2012) 257
Tabelle 12-1: modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) der österreichischen AWS ohne externe Gewichtung 259
Tabelle 12-2: externe Gewichtung auf Ebene der AWG Ziele 259
Tabelle 12-3: Externe Gewichtung auf Ebene der Unterziele 259
Tabelle 12-4: externe Gewichtung auf Ebene Indikatorensammlung 260
Tabelle 12-5: mittlere Gewichtung der Stakeholderbefragung 261
Tabelle 12-6: Reduzierte Gewichtung 262
Tabelle 13-1: betrachte Szenarien 265
Tabelle 13-2: Szenario W1: Änderung der HH-Abfallsammlung 266
Tabelle 13-3: Szenario 1: Änderung der Abfallbehandlung 267
Tabelle 13-4: Erhöhung des Erfassungsgrades für Rest-, Sperr und Gewerbemüll im Szenario R2 268
Tabelle 13-5: Geänderte Erfassungsgrade für Szenario R2 – getrennt gesammelte Abfälle aus Haushalten 268
Tabelle 13-6: Geänderte Menge für Sperrmüll und Restmüll - Szenario R2 269
Tabelle 13-7: Geänderte Erfassungsgrade für Szenario R2 - getrennt gesammelte Altstoffe aus Gewerbe und Industrie 269
Tabelle 13-8: Geänderte Menge für Gewerbemüll - Szenario R2 269
Tabelle 13-9: thermisch behandelte Abfälle in Szenario N3 270
Tabelle 13-10: thermische behandelte Abfälle je Verbrennungsanlagentyp in Szenario 3 270
Tabelle 13-11: Szenarienanalyse: Änderungen im Bereich Sammlung und Transport 271
Tabelle 13-12: Szenarienanalyse: Änderungen im Bereich Behandlung und Entsorgung 272
Tabelle 13-13: Szenarienanalyse: Änderungen im Bereich der Haushalte 272
Tabelle 13-14: Szenarienanalyse: Änderungen im Bereich der Erlöse 273

Tabelle 13-15: Szenarienvergleich: gesamte Treibhausgasemissionen in CO_2-Äquivalente 280
Tabelle 13-16: Szenarienvergleich: W1 - Veränderungen zum Status Quo 284
Tabelle 13-17: Szenarienvergleich: R2 - Veränderungen zum Status Quo 284
Tabelle 13-18: Szenarienvergleich: N3 - Veränderungen zum Status Quo 285
Tabelle 13-19: Szenarienvergleich: Beschreibung der Änderung der Nutzenpunkte (NP) auf Ebene der Indikatorensammlung 286
Tabelle 13-20: Szenarienvergleich: modifizierte Kostenwirksamkeit der österreichischen Abfallwirtschaft 287
Tabelle 13-21: Szenarienvergleich: modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) der österreichischen Abfallwirtschaft bei Berücksichtigung unterschiedlicher Kostenbereiche 288
Tabelle 14-1: Szenarienanalyse: optimiertes Szenario – Änderung des Erfassungsgrades 290
Tabelle 14-2: Szenarienanalyse: optimiertes Szenario – Änderung des Altholzverwertung 292
Tabelle 14-3: Optimiertes Szenario: Veränderung Sammlung und Transport 294
Tabelle 14-4: Optimiertes Szenario: Veränderung Behandlung und Entsorgung 294
Tabelle 14-5: Optimiertes Szenario: Veränderung der abgeschätzten Erlöse 295
Tabelle 14-6: Optimiertes Szenario: Veränderung der monetarisierten Kosten für Haushalte 295
Tabelle 14-7: Optimiertes Szenario: Veränderung der externen Kosten 296
Tabelle 14-8: Optimiertes Szenario: Veränderung hinsichtlich der Ergebnisse der Ökobilanz 296
Tabelle 14-9: Optimiertes Szenario: Zusammenfassung der Veränderungen [% der absoluten Werte] 297
Tabelle 14-10: Szenarienanalyse: modifizierte Kostenwirksamkeit (mKW) des optimierten Szenarios 298
Tabelle 14-11: Szenarienanalyse: Vergleich der mKW aller Szenarien 299
Tabelle 15-1: Zusammenfassung der volkswirtschaftlichen Kosten 303
Tabelle 15-2: Zusammenfassende Darstellung des Szenarienvergleichs: modifizierte Kostenwirksamkeit 305
Tabelle 15-3: Gegenüberstellung der mittleren Nutzenpunkte je AWG Ziel, der Kosten und Erlöse sowie der modifizierten Kostenwirksamkeit (mKW) des Status Quo und aller Szenarien 306
Tabelle 19-1: quantitativ betrachtete Abfallfraktionen (Tonnen) und relative Unsicherheiten [-] 340
Tabelle 19-2: Stoffkonzentration wie in der MFA verwendet [mg/kg, gerundet auf 1 signifikante Stelle)] und relative Unsicherheiten US [-] Teil ½ 342
Tabelle 19-3: Stoffkonzentration wie in der MFA verwendet [mg/kg] und Unsicherheiten [-] Teil 2/2 345
Tabelle 19-4: Transferkoeffizienten (TK) und Unsicherheiten (US) (Abkürzungen siehe Kapitel 19.1.7) 348
Tabelle 19-5: Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft – Status Quo 1/3 357
Tabelle 19-6: Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft – Status Quo 2/3 358
Tabelle 19-7: Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft – Status Quo 3/3 359
Tabelle 19-8: Ergebnisse der Szenarienanalyse 1/3: absolute Werte 360
Tabelle 19-9: Ergebnisse der Szenarienanalyse 2/3: absolute Werte 361
Tabelle 19-10: Ergebnisse der Szenarienanalyse 3/3: absolute Werte 362
Tabelle 19-11: Ergebnisse der Szenarienanalyse 1/3: Nutzenpunkte 363
Tabelle 19-12: Ergebnisse der Szenarienanalyse 2/3: Nutzenpunkte 364
Tabelle 19-13: Ergebnisse der Szenarienanalyse 3/3: Nutzenpunkte 365

19 Anhang

19.1 Qualitative Darstellung des Systems

19.1.1 Hauptsystem

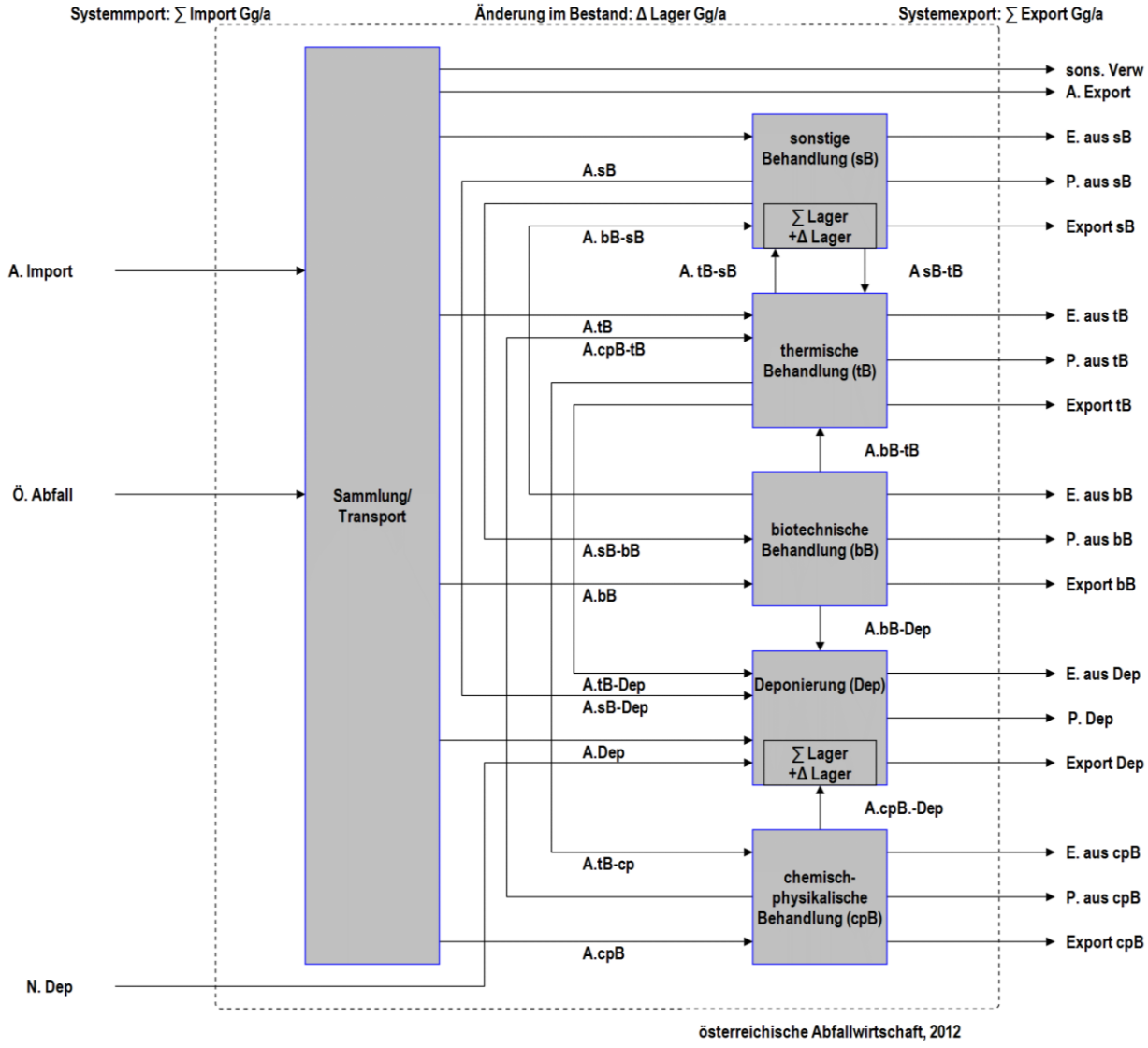


Abb. 19-1: Qualitatives Hauptsystem: österreichische Abfallwirtschaft

19.1.2 Subsystem: sonstige Behandlung

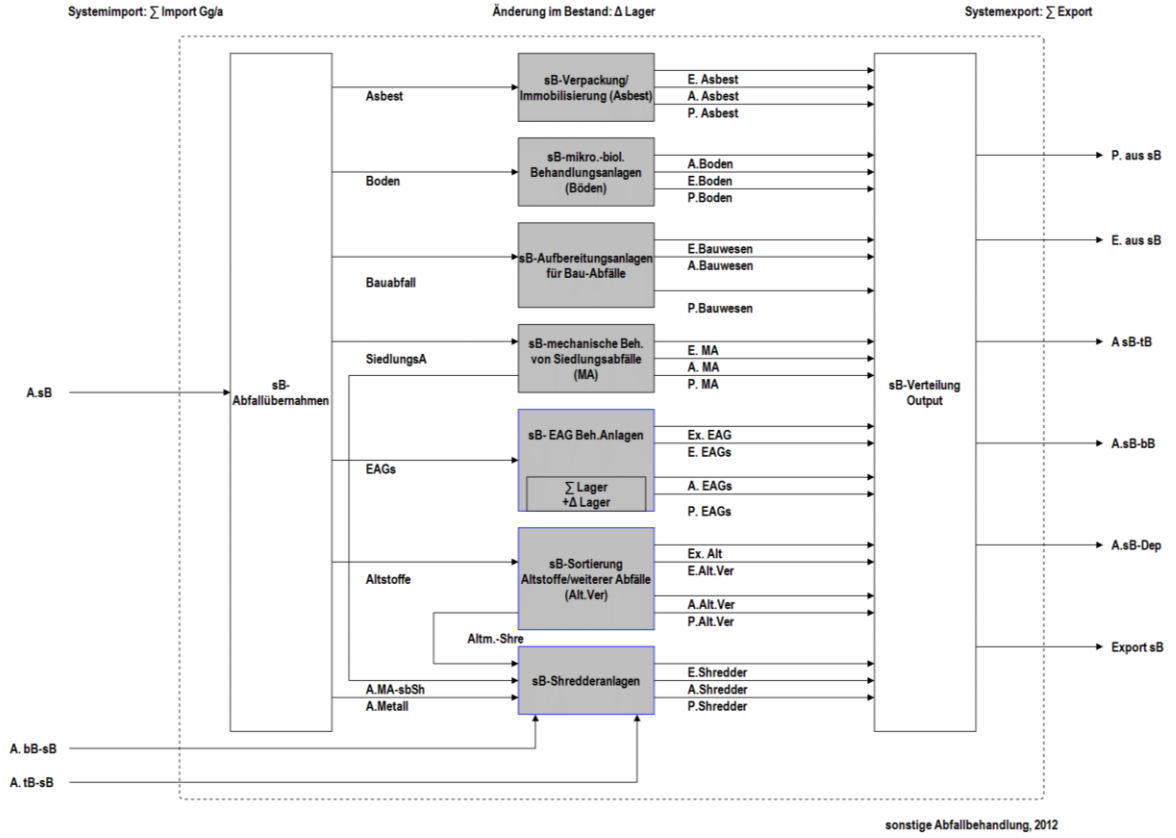


Abb. 19-2: Qualitatives Subsystem: sonstige Behandlung

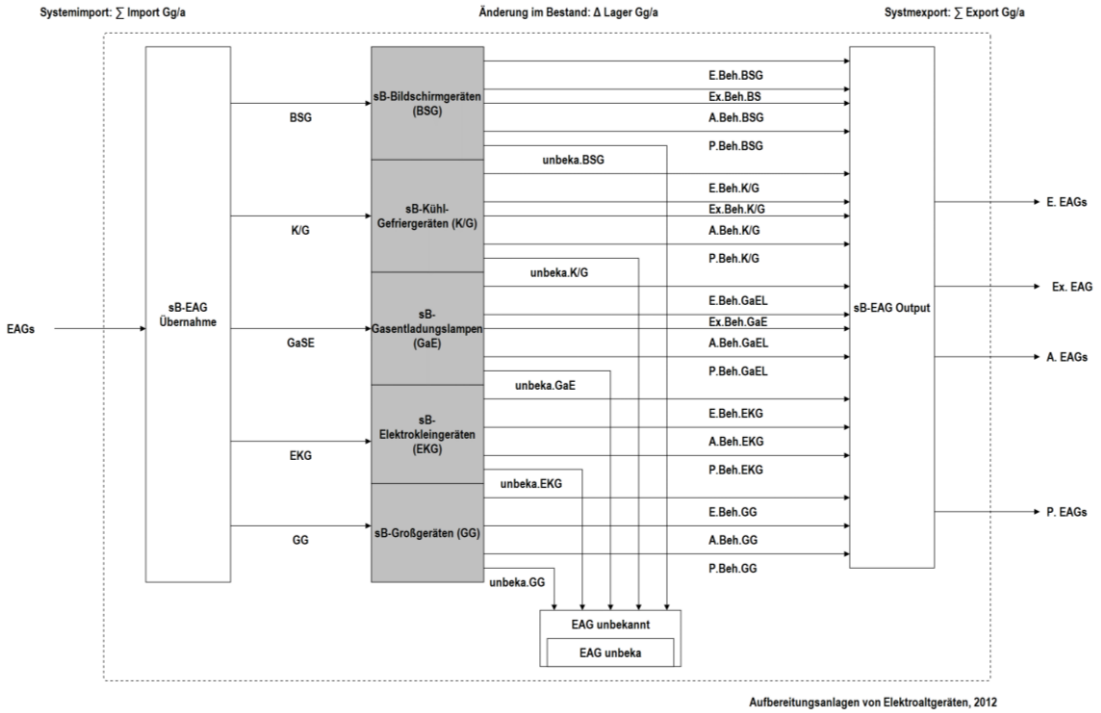


Abb. 19-3: Qualitatives Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Elektroaltgeräte

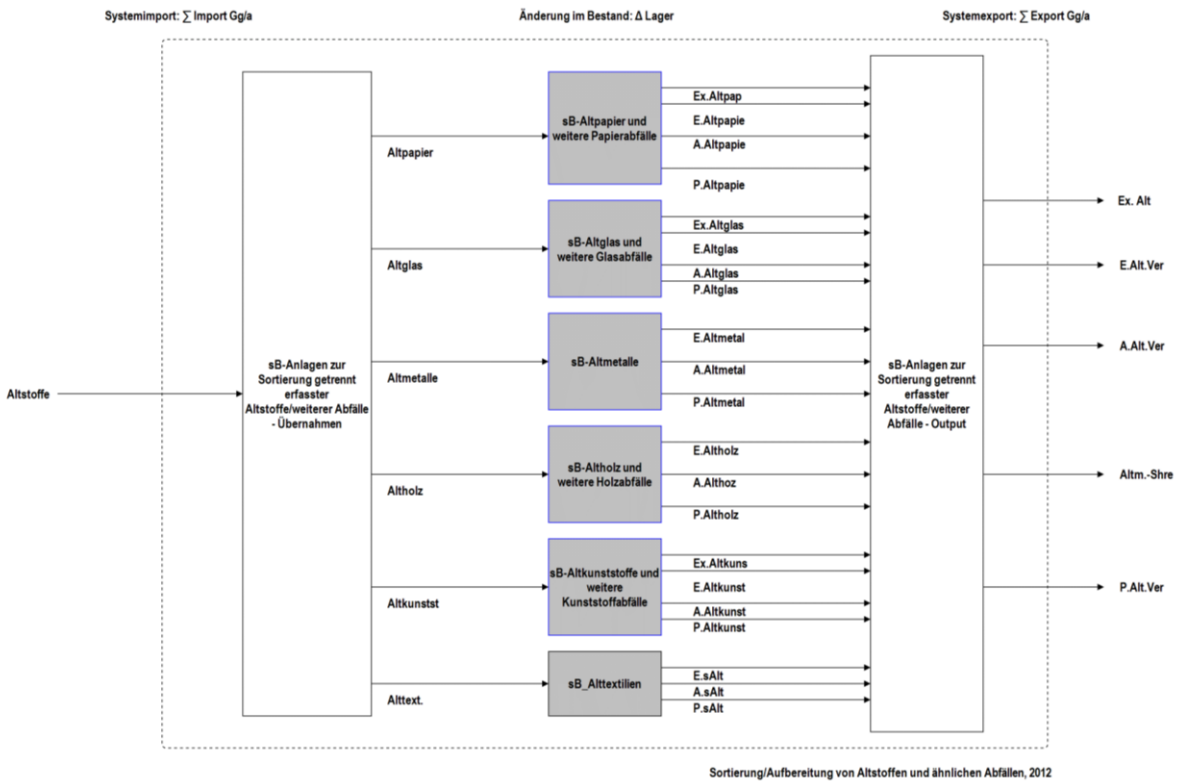


Abb. 19-4: Qualitatives Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altstoffe und ähnlichen Abfällen

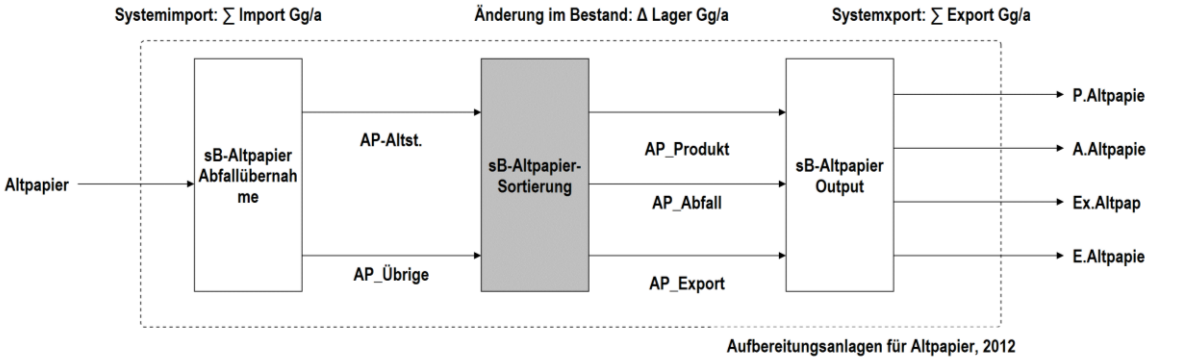


Abb. 19-5: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altpapier und ähnlichen Abfällen

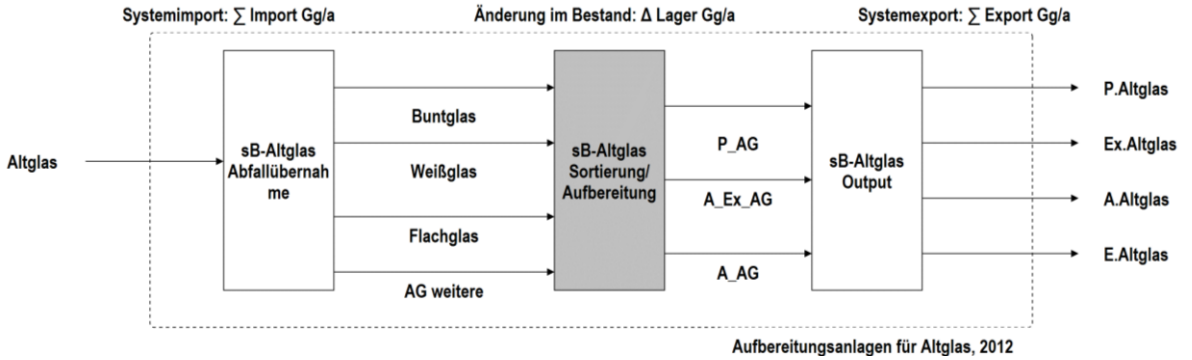


Abb. 19-6: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altglas und ähnlichen Abfällen

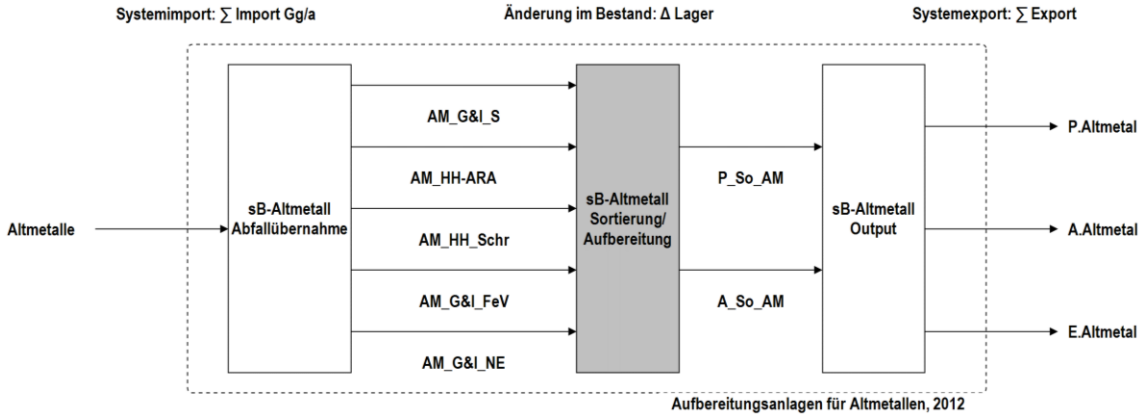


Abb. 19-7: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altmetalle und ähnlichen Abfällen

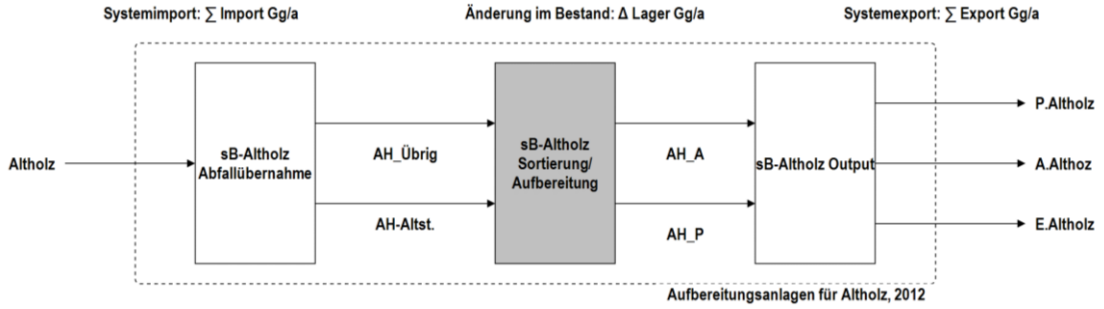


Abb. 19-8: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altholz und ähnlichen Abfällen

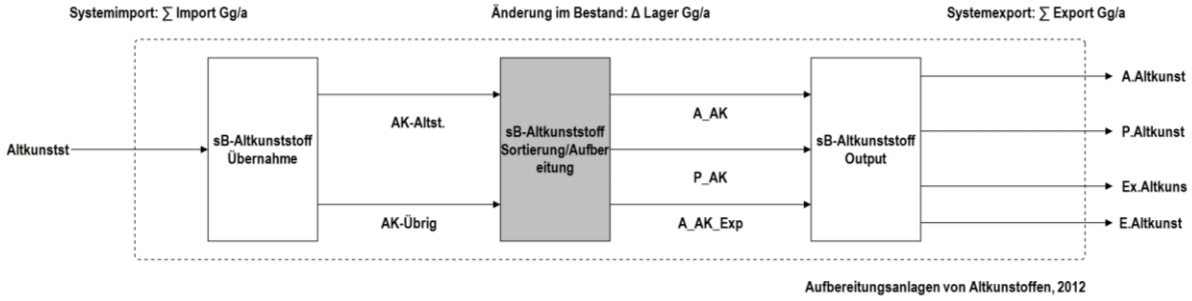


Abb. 19-9: Qualitatives Sub-Sub-Subsystem: Aufbereitungsanlagen für Altkunststoffen und ähnlichen Abfällen

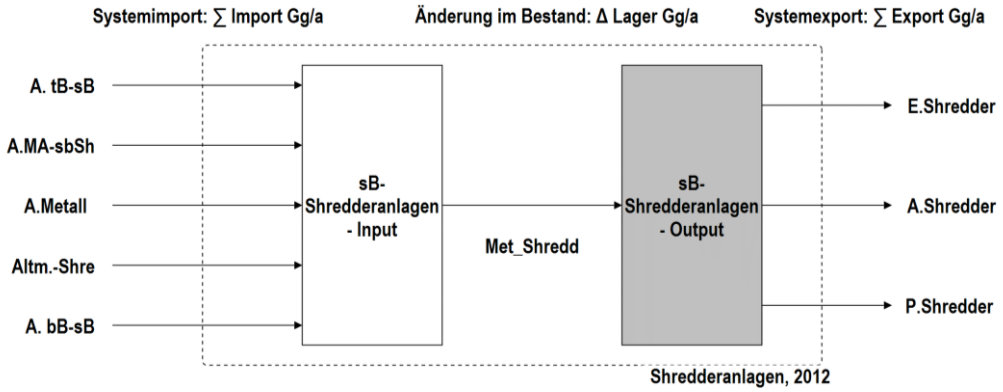


Abb. 19-10: Qualitatives Sub-Subsystem: Shredderanlagen

19.1.3 Subsystem: thermische Behandlung

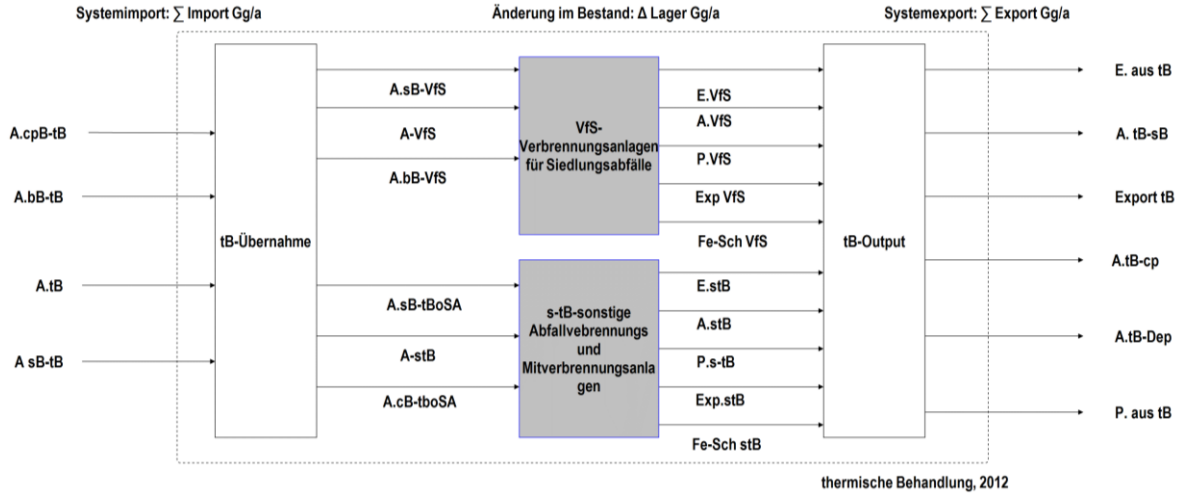


Abb. 19-11: Qualitatives Subsystem: thermische Behandlung

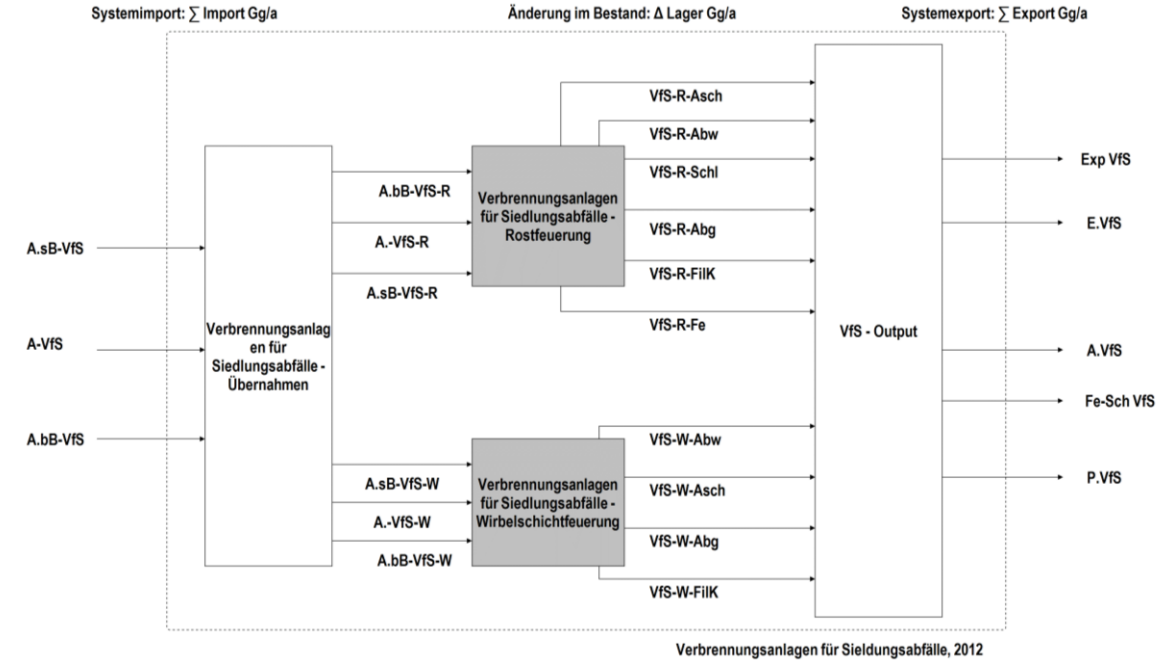


Abb. 19-12: Qualitatives Sub-Subsystem: Verbrennungsanlagen von Siedlungsabfällen

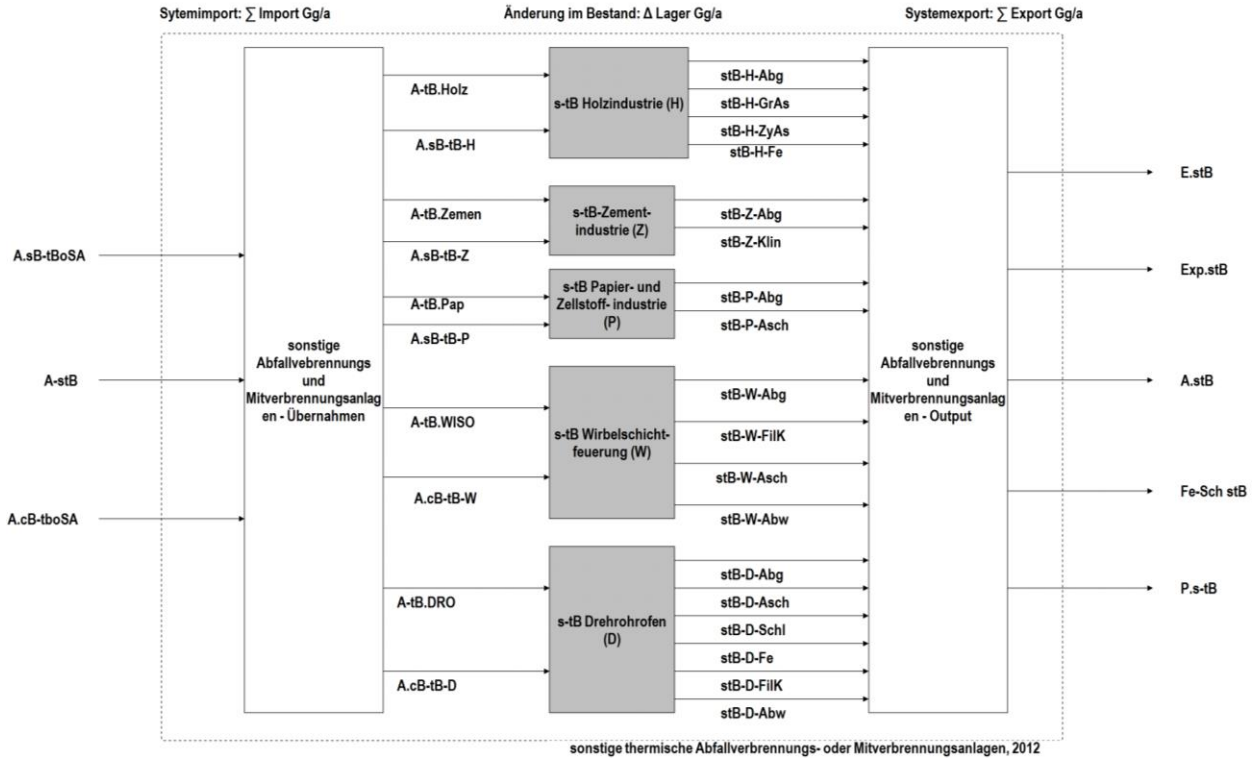


Abb. 19-13: qualitatives Sub-Subsystem: Mitverbrennungsanlagen und sonstige Abfallverbrennungsanlagen

19.1.4 Subsystem: biotechnische Behandlung

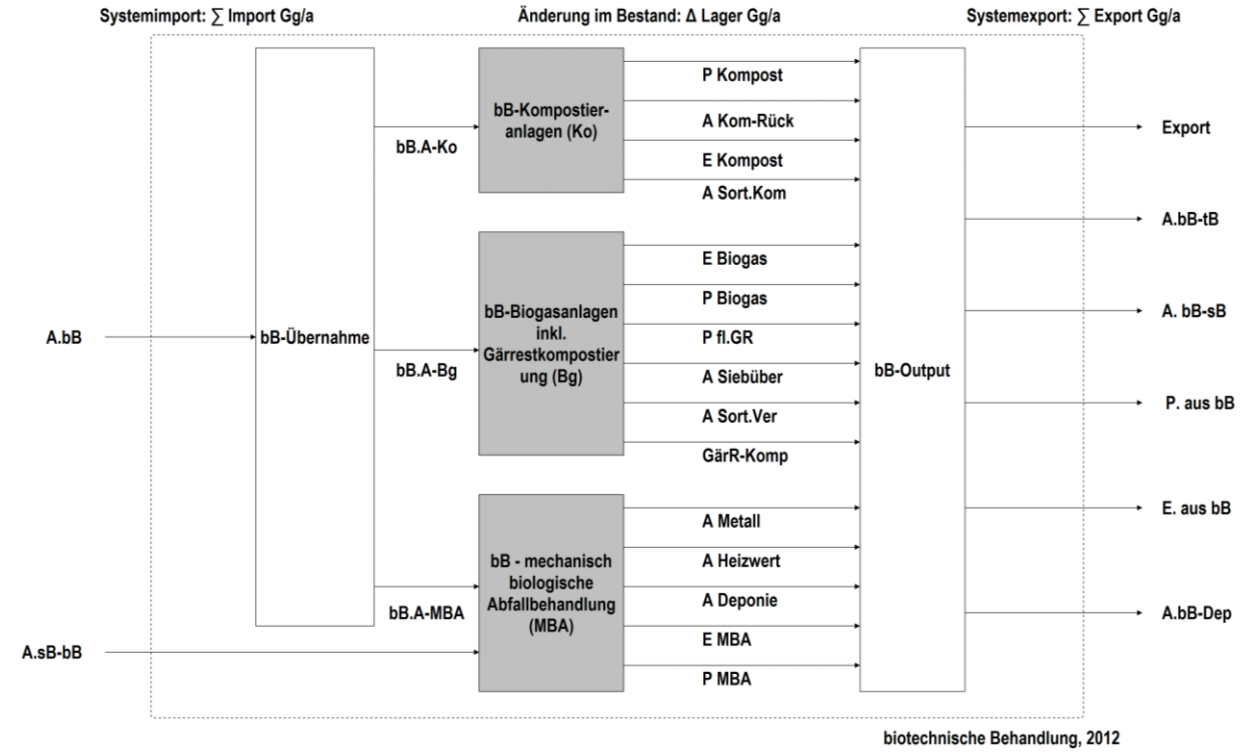


Abb. 19-14: qualitatives Subsystem: biotechnische Behandlung

19.1.5 Subsystem: Deponie

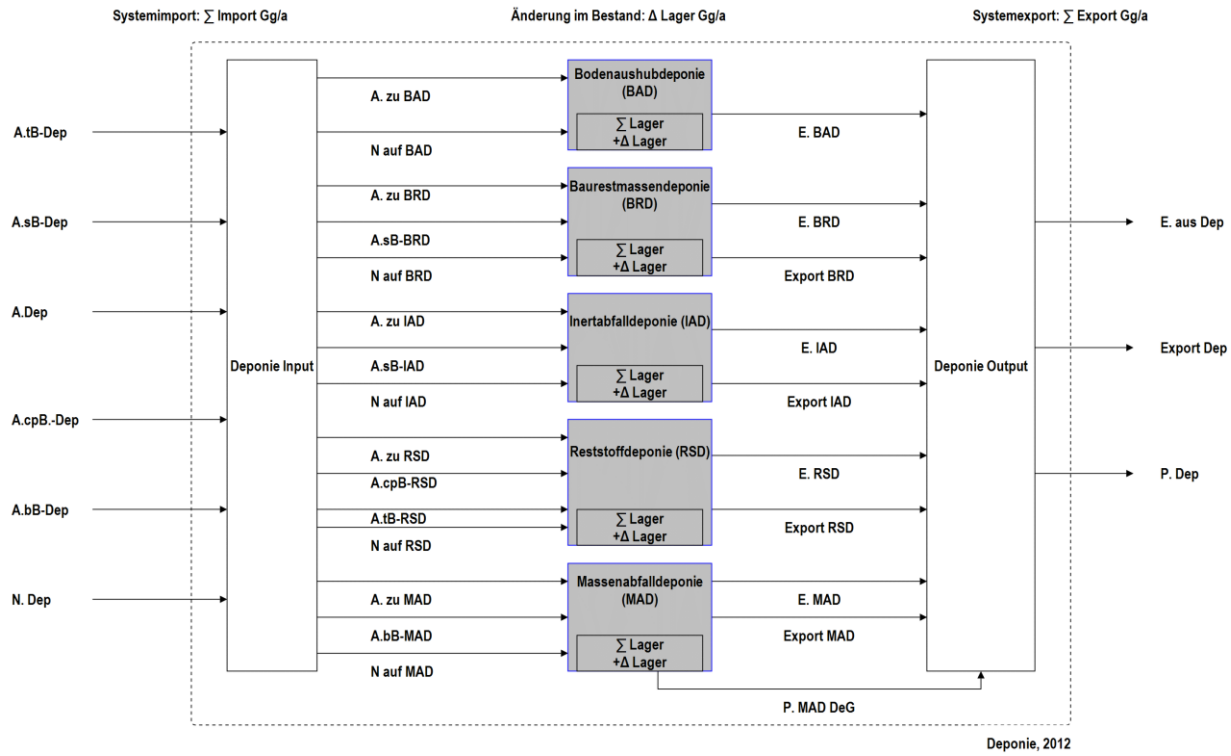


Abb. 19-15: qualitatives Subsystem: Deponie

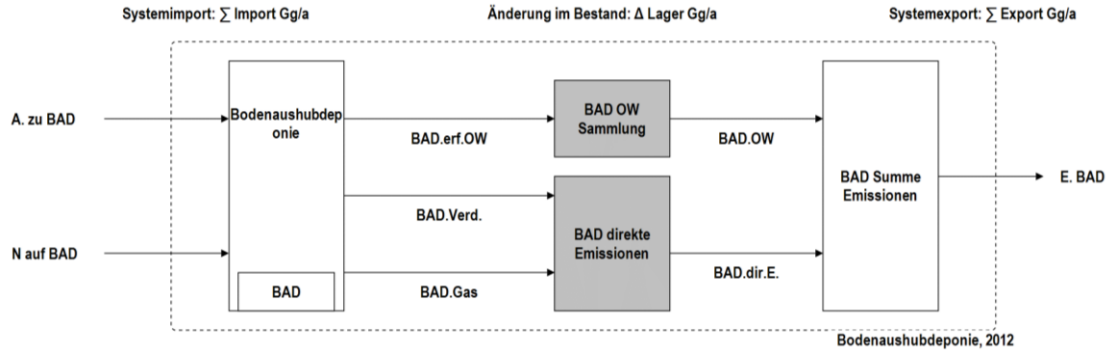


Abb. 19-16: qualitatives Sub-Subsystem: Bodenaushubdeponie

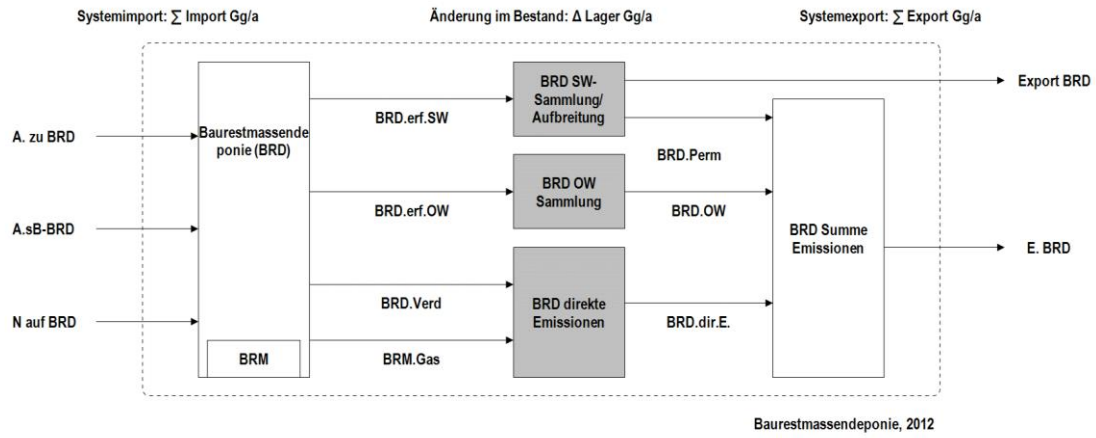


Abb. 19-17: qualitatives Sub-Subsystem: Baurestmassendeponie

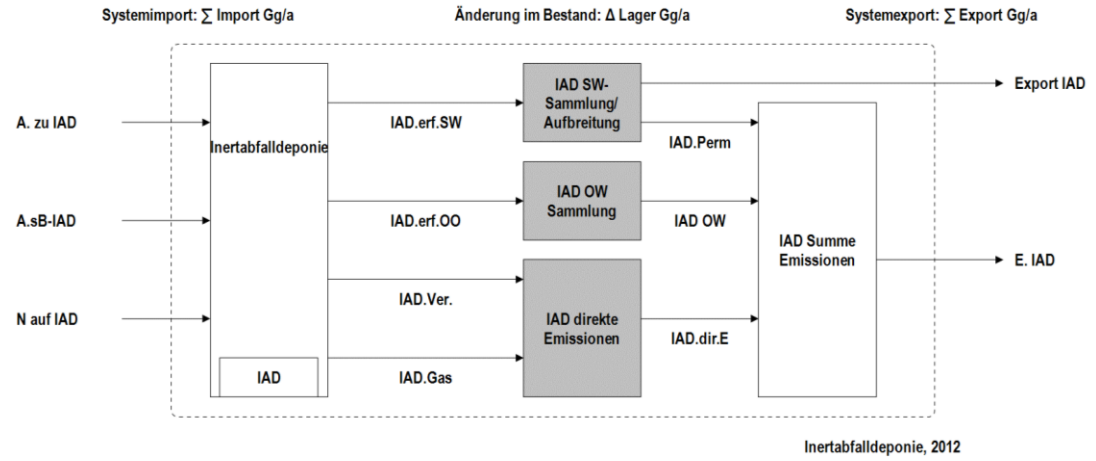


Abb. 19-18: qualitatives Sub-Subsystem: Inertabfalldeponie

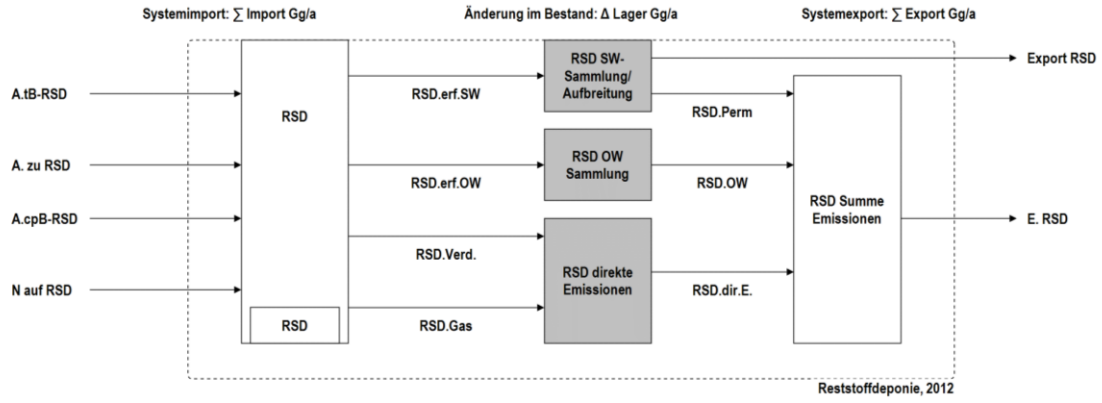


Abb. 19-19: qualitatives Sub-Subsystem: Reststoffdeponie

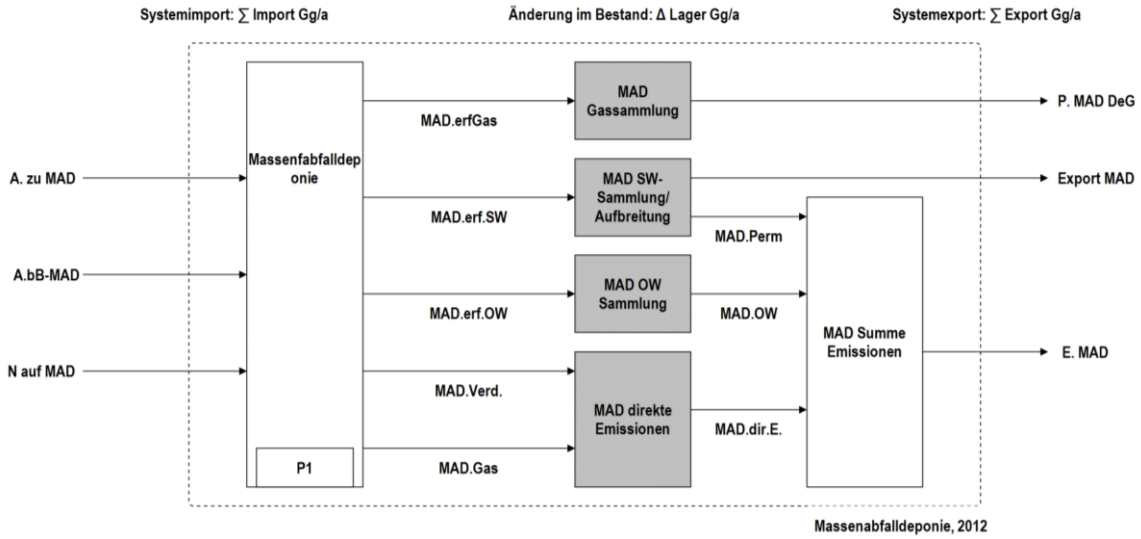


Abb. 19-20: qualitatives Sub-Subsystem: Massenabfalldeponie

19.1.6 Subsystem: chemisch-physikalische Behandlung

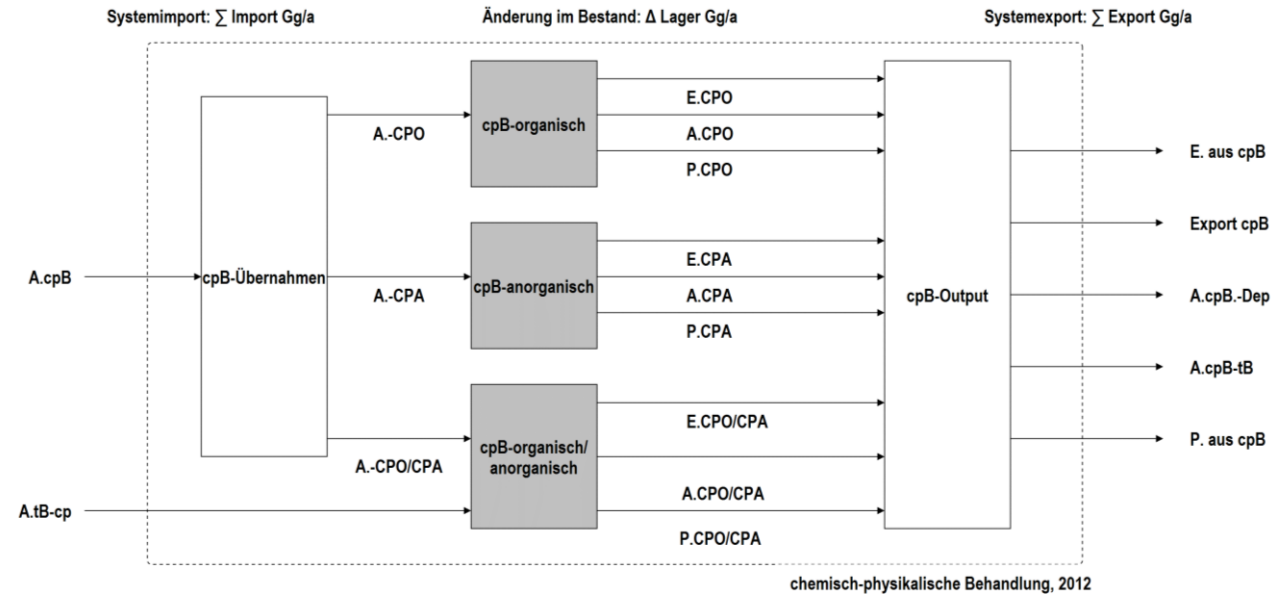


Abb. 19-21: qualitatives Subsystem: chemisch-physikalische Behandlung

19.1.7 Abkürzungen

A Deponie	Deponiefraktion aus der mechanisch biologischen Abfallbehandlung
A Heizwert	heizwertreiche Fraktion aus der mechanisch biologischen Abfallbehandlung
A Kom-Rück	Kompostierrückstände
A Metall	Metalle aus der mechanisch biologischen Abfallbehandlung
A sB-tB	Abfälle von sonstiger zu thermischen Behandlung
A Siebüber	Siebüberlauf
A Sort.Kom	Abfälle aus der Sortierung f. Kompostierung
A Sort.Ver	Abfälle aus der Sortierung f. Vergärung
A. Asbest	Abfälle aus Verpackung/Immobilisierung von Asbest
A. bB-sB	Abfälle aus biotechnischer zu sonstiger Behandlung
A. EAGs	Abfälle aus Anlagen zur Behandlung von Elektroaltgeräten
A. Export	Abfallexport nach Sammlung
A. G/I	Abfalle aus Gewerbe und Industrie

A. HH	Abfälle aus Haushalten
A. Import	Abfallimport
A. MA	Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Siedlungsabfälle
A. tB-sB	Abfälle von thermische Behandlung zur sonstigen Behandlung
A. zu BAD	Abfälle zur Bodenaushubdeponie
A. zu BRD	Abfälle zur Baurestmassendeponie
A. zu IAD	Abfälle zur Inertabfalldeponie
A. zu MAD	Abfälle zur Massenabfalldeponie
A. zu RSD	Abfälle zur Reststoffdeponie
A.Alt.Ver	Abfälle aus Anlagen zur Sortierung getrennt erfasster Altstoffe
A.Altglas	Abfälle aus Anlage zur Sortierung von Altglas
A.Althoz	Abfälle aus Anlage zur Sortierung von Altholz
A.Altkunst	Abfälle aus Anlage zur Sortierung von Altkunststoffen
A.Altmetal	Abfälle aus Anlage zur Sortierung von Altmetallen

A.Altpapie	Abfälle aus Anlage zur Sortierung von Altpapier
A.Bau	Abfälle aus dem Bauwesen
A.Bauwesen	Abfälle aus Aufbereitungsanlagen für Abfälle aus dem Bauwesen
A.bB	Abfälle zur biotechnischen Behandlung
A.bB-Dep	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Deponierung
A.bB-MAD	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Massenabfalldeponie
A.bB-tB	Abfälle von biotechnischer zu thermischer Behandlung
A.bB-VfS	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zu Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
A.bB-VfS-R	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung
A.bB-VfS-W	Abfälle aus biotechnischer Behandlung zur Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Wirbelschicht
A.Beh.BSG	Abfälle aus Behandlung von Bildschirmgeräten
A.Beh.EKG	Abfälle aus Behandlung von Elektrokleingeräten
A.Beh.GaEL	Abfälle aus Behandlung Gasentladungslampen
A.Beh.GG	Abfälle aus Behandlung von Großgeräten
A.Beh.K/G	Abfälle aus Behandlung von Kühl-Gefriergeräten
A.Boden	Abfälle aus Behandlungsanlagen von verunreinigten Böden
A.-BringS	Abfälle aus der Bringsammlung
A.BringSam	Abfälle zur Bringsammlung
A.cB-tB-D	Abfälle aus chemisch physikalischer Behandlung zu sonstige Abfallvebrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Drehrohrofen
A.cB-tboSA	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zu sonstige Abfallvebrennungs und Mitverbrennungsanlagen
A.cB-tB-W	Abfälle aus chemisch physikalischer Behandlung zu sonstige Abfallvebrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Wirbelschischt
A.CPA	Abfälle aus anorganisch chemisch-physikalischer Behandlung
A.-CPA	Abfälle zur anorganisch chemisch-physikalische Behandlung
A.cpB	Abfälle zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.cpB.-Dep	Abfälle aus chemisch-physikalischer Behandlung zur Deponierung
A.cpB-RSD	Abfälle aus chemisch physikalischer Behandlung zur Reststoffdeponie
A.cpB-tB	Abfälle von chemisch-physikalischer zu thermischer Behandlung
A.CPO	Abfälle aus organisch chemisch-physikalischer Behandlung
A.-CPO	Abfälle zur organisch chemisch-physikalischen Behandlung
A.CPO/CPA	Abfälle aus organisch/anorganisch chemisch-physikalischer Behandlung
A.-CPO/CPA	Abfälle zur organisch/anorganischen chemisch-physikalischen Behandlung
A.Dep	Abfälle zur Deponierung
A.-HolS	Abfälle aus der Holsammlung
A.HolSam	Abfälle zur Holsammlung
A.komS	kommunale Abfallsammlung
A.-komS	Abfälle aus der kommunalen Sammlung
A.MA-sbSh	Abfälle aus der Sortierung von Siedlungsabfällen zu Shredderanlagen
A.Metall	Abfälle zu Shredderanlagen
A.nkomS	restliche Abfallsammlung
A.-nkomS	Abfälle der nicht kommunalen Sammlung
A.sAlt	Abfälle aus Anlage zur Sortierung von Alttextilien
A.-Samm	Abfälle aus der Sammlung
A.sB	Abfälle zur sonstigen Behandlung
A.sB-bB	Abfälle aus sonstiger zur biotechnischen Behandlung
A.sB-BRD	Abfälle aus sonstiger Behandlung zur Bauerstmassendeponie
A.sB-Dep	Abfälle von sonstiger Behandlung zur Deponie
A.sB-IAD	Abfälle aus sonstiger Behandlung zur Inertabfalldeponie
A.sB-tB-H	Abfälle aus sonstiger Behandlung zu sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Holzindustrie
A.sB-tBoSA	Abfälle aus sonstiger Behandlung zu sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen
A.sB-tB-P	Abfälle aus sonstiger Behandlung zu sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Papierindustrie
A.sB-tB-Z	Abfälle aus sonstiger Behandlung zu sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Zementindustrie
A.sB-VfS	Abfälle aus sonstiger Behandlung zu Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
A.sB-VfS-R	Abfälle aus sonstiger Behandlung zur Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung
A.sB-VfS-W	Abfälle aus sonstiger Behandlung zur Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Wirbelschicht
A.Shredder	Abfälle aus Shredderanlagen
A.stB	Abfälle aus sonstigen Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen
A.tB	Abfälle zur thermischen Behandlung
A.tB-cp	Abfälle von thermischer zur chemisch-physikalischen Behandlung
A.tB-Dep	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Deponierung
A.tB-RSD	Abfälle aus thermischer Behandlung zur Reststoffdeponie
A.VfS	Abfälle aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
A.-VfS-R	Abfälle zu Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfällen -Rostfeuerung
A.-VfS-W	Abfälle zu Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfällen - Wirbelschichtfeuerung
A_AG	Abfällen aus der Sortierung von Altglas
A_AK	Abfälle aus der Sortierung von Altkunststoffen
A_AK_Exp	Abfallexport aus der Sortierung von Altkunststoffen
A_Ex_AG	Export von Abfällen aus der Sortierung von Altglas
A_So_AM	Abfälle aus der Sortierung von Altmetallen
AG weitere	weiter Glasabfälle
AH_A	Produkte aus der Sortierung von Altholz
AH_P	Abfälle aus der Sortierung von Altholz zur energetischen Verwertung
AH_Übrig	übrige Holzabfälle
AH-Altst.	Holzabfälle (Altstoffe)
AK-Altst.	Kunststoffabfälle (Altstoffe)
AK-Übrig	weitere Kunststoff- und Gummiabfälle
Altglas	Altglas
Altholz	Altholz
Altkunstst	Altkunststoffe
Altm.-Shre	Altmetalle aus Anlagen zur Sortierung getrennt erfasster Altstoffe
Altmetalle	Altmetalle
Altpapier	Papier und Zellulose
Altstoffe	Abfälle zu Anlagen zur Verwertung getrennt erfasster Altstoffe
Alttext.	Alttextilien
AM_G&I_FeV	FE-Verpackungen aus Gewerbe und Industrie
AM_G&I_NE	NE-Abfälle aus Gewerbe und Industrie
AM_G&I_S	Eisen- und Stahlabfälle (Schrott) aus Gewerbe und Industrie
AM_HH_Schr	Altmetalle – Haushaltsschrot
AM_HH-ARA	Metallverpackungen aus Haushalten
AP_Abfall	Abfall aus der Sortierung von Altpapier
AP_Export	Exporte aus der Sortierung von Altpapier
AP_Produkt	Produkt aus der Sortierung von Altpapier
AP_Übrige	Übrige Abfälle - Zellulose-, Papier-und Pappeabfälle
AP-Altst.	Getrennt gesammelte Altstoffe - Altpapier aus Haushalten
Asbest	Asbest
A-stB	Abfälle zu sonstigen Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen
A-tB.DRO	Abfälle zur thermischen Behandlung in sonstigen Anlagen (DRO)
A-tB.Holz	Abfälle zur thermischen Behandlung in der Holzindustrie
A-tB.Pap	Abfälle zur thermischen Behandlung in der Papierindustrie
A-tB.WISO	Abfälle zur thermischen Behandlung in sonstigen Anlagen (WISO)
A-tB.Zemen	Abfälle zur thermischen Behandlung in der Zementindustrie
Aushub	Aushubmaterialien
A-VfS	Abfälle zu Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
BAD.dir.E.	Bodenaushubdeponie direkte Emissionen
BAD.erf.OW	Bodenaushubdeponie erfasstes Oberflächenwasser
BAD.Gas	Bodenaushubdeponie Deponiegas
BAD.OW	Bodenaushubdeponie Oberflächenwasser
BAD.Verd.	Bodenaushubdeponie Verdunstung
Bauabfall	Abfälle aus dem Bauwesen
bB.A-Bg	Abfälle zur Behandlung in Biogasanlagen
bB.A-Ko	Abfälle zur Behandlung in Kompostanlagen
bB.A-MBA	Abfälle zur mechanische-biologischen Behandlung (MBA)
Boden	Abfälle zu Behandlungsanlagen von Böden
BRD.dir.E.	Baurestmassendeponie direkte Emissionen
BRD.erf.OW	Baurestmassendeponie erfasstes Oberflächenwasser
BRD.erf.SW	Baurestmassendeponie erfasstes Sickerwasser
BRD.OW	Baurestmassendeponie Oberflächenwasser
BRD.Perm	Baurestmassendeponie Permeat

BRD.Verd	Baurestmassendeponie Verdunstung
BRM.Gas	Baurestmassendeponie Deponiegas
BSG	Bildschirmgeräte
Buntglas	Buntglas (Altstoffe)
E Biogas	Emissionen aus der Biogasanlage
E Kompost	Emissionen aus der Kompostanlage
E MBA	Emissionen aus der mechanisch biologischen Abfallbehandlung
E. Asbest	Emissionen aus Verpackung/Immobilisierung von Asbest
E. aus bB	Emissionen aus biotechnischer Behandlung
E. aus cpB	Emissionen aus chemisch-physikalischer Behandlung
E. aus Dep	Emissionen aus Deponierung
E. aus sB	Emissionen aus sonstiger Behandlung
E. aus tB	Emissionen aus thermischer Behandlung
E. BAD	Emissionen aus Bodenaushubdeponien
E. BRD	Emissionen aus Baurestmassendeponien
E. EAGs	Emissionen aus Anlagen zur Behandlung von Elektroaltgeräten
E. IAD	Emissionen aus Inertabfalldeponien
E. MA	Emissionen aus der mechanischen Behandlung von Siedlungsabfälle
E. MAD	Emissionen aus Massenabfalldeponien
E. RSD	Emissionen aus Reststoffdeponien
E.Alt.Ver	Emissionen aus Anlagen zur Sortierung getrennt erfasster Altstoffe
E.Altglas	Emissionen aus Anlage zur Sortierung von Altglas
E.Altholz	Emissionen aus Anlage zur Sortierung von Altholz
E.Altkunst	Emissionen aus Anlage zur Sortierung von Altkunststoffen
E.Altmetal	Emissionen aus Anlage zur Sortierung von Altmetallen
E.Altpapie	Emissionen aus Anlage zur Sortierung von Altpapier
E.Bauwesen	Emissionen aus Aufbereitungsanlagen für Abfälle aus dem Bauwesen
E.Beh.BSG	Emissionen aus Behandlung von Bildschirmgeräten
E.Beh.EKG	Emissionen aus Behandlung von Elektrokleingeräten
E.Beh.GaEL	Emissionen aus Behandlung Gasentladungslampen
E.Beh.GG	Emissionen aus Behandlung von Großgeräten
E.Beh.K/G	Emissionen aus Behandlung von Kühl-Gefriergeräten
E.Boden	Emissionen aus Behandlungsanlagen von
E.-BringS	Emissionen aus der Bringsammlung
E.CPA	Emissionen aus anorganisch chemisch-physikalischer Behandlung
E.CPO	Emissionen aus organisch chemisch-physikalischer Behandlung
E.CPO/CPA	Emissionen aus organisch/anorganisch chemisch-physikalischer Behandlung
E.-HolS	Emissionen aus der Holsammlung
E.-komS	Emissionen aus der kommunalen Sammlung
E.-nkomS	Emissionen aus der nicht kommunalen Sammlung
E.sAlt	Emissionen aus Anlage zur Sortierung von Alttextilien
E.Shredder	Emissionen aus Shredderanlagen
E.stB	Emissionen aus sonstigen Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen
E.VfS	Emissionen aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
EAGs	Abfälle zu Anlagen zur Behandlung von Elektroaltgeräten
EKG	Elektrokleingeräte
Ex. Alt	Export aus Anlagen zur Sortierung getrennt erfasster Altstoffe
Ex. EAG	Export aus Anlagen zur Behandlung von Elektroaltgeräten
Ex.Altglas	Export aus Anlage zur Sortierung von Altglas
Ex.Altkuns	Export aus Anlage zur Sortierung von Altkunststoffen
Ex.Altpap	Export aus Anlage zur Sortierung von Altpapier
Ex.Beh.BS	Export aus Behandlung von Bildschirmgeräten
Ex.Beh.GaE	Export aus Behandlung Gasentladungslampen
Ex.Beh.K/G	Export aus Behandlung von Kühl-Gefriergeräten
Exp VfS	Exporte aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
Exp.stB	Exporte aus sonstigen Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen
Export bB	Abfallexport aus biotechnischer Behandlung
Export BRD	Export Baurestmassendeponie
Export cpB	Abfallexport aus chemisch-physikalischer Behandlung
Export Dep	Export Deponierung
Export IAD	Export Inertabfalldeponie
Export MAD	Export Massenfabfalldeponie
Export RSD	Export Reststoffdeponie
Export sB	Abfallexport aus sonstiger Behandlung
Export tB	Abfallexport aus thermischer Behandlung
Fe-Sch stB	Fe-Schrott aus sonstigen Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen
Fe-Sch VfS	Fe-Schrott aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
Flachglas	Flachglas
GärR-Komp	Gärrückstand Kompost aus der Gärrestkompostierung
GaSE	Gasentladungslampen
GG	Großgeräte
IAD OW	Inertabfalldeponie Oberflächenwasser
IAD.dir.E	Inertabfalldeponie direkte Emissionen
IAD.erf.OO	Inertabfalldeponie erfasstes Oberflächenwasser
IAD.erf.SW	Inertabfalldeponie erfasstes Sickerwasser
IAD.Gas	Inertabfalldeponie Deponiegas
IAD.Perm	Inertabfalldeponie Permeat
IAD.Ver.	Inertabfalldeponie Verdunstung
K/G	Kühl- und Gefriergeräte
MAD.dir.E.	Massenfabfalldeponie direkte Emissionen
MAD.erf.OW	Massenfabfalldeponie erfasstes Oberflächenwasser
MAD.erf.SW	Massenfabfalldeponie erfasstes Sickerwasser
MAD.erfGas	Massenfabfalldeponie erfasste Gasmenge
MAD.Gas	Massenfabfalldeponie Deponiegas
MAD.OW	Massenfabfalldeponie Oberflächenwasser
MAD.Perm	Massenfabfalldeponie Permeat
MAD.Verd.	Massenfabfalldeponie Verdunstung
Met_Shredd	Metalle zur Behandlung in Shredder-Anlagen
N auf BAD	Niederschlag auf Bodenaushubdeponien
N auf BRD	Niederschlag auf Baurestmassendeponien
N auf IAD	Niederschlag auf Inertabfalldeponien
N auf MAD	Niederschlag auf Massenabfalldeponien
N auf RSD	Niederschlag auf Reststoffdeponien
N. Dep	Niederschlag auf Deponien
Ö. Abfall	Primärabfallaufkommen
P Biogas	Produkt Biogas
P fl.GR	Gärrückstände flüssig
P Kompost	Produkt - Kompost
P MBA	Produkte aus der mechanisch biologischen Abfallbehandlung
P. Asbest	Produkte aus Aufbereitungsanlagen für spezielle Abfälle
P. aus bB	Produkte aus biotechnischer Behandlung
P. aus cpB	Produkte aus chemisch-physikalischer Behandlung
P. aus sB	Produkte aus sonstiger Behandlung
P. aus tB	Produkte aus thermischer Behandlung
P. Dep	Produkte aus der Deponierung
P. EAGs	Produkte aus Anlagen zur Behandlung von Elektroaltgeräten
P. MA	Produkte aus der mechanischen Behandlung von Siedlungsabfälle
P. MAD DeG	Produkt (Deponiegas) aus Massenfabfalldeponie
P.Alt.Ver	Produkte aus Anlagen zur Verwertung getrennt erfasster Altstoffe
P.Altglas	Produkte aus Anlage zur Sortierung von Altglas
P.Altholz	Produkte aus Anlage zur Sortierung von Altholz
P.Altkunst	Produkte aus Anlage zur Sortierung von Altkunststoffen
P.Altmetal	Produkte aus Anlage zur Sortierung von Altmetallen
P.Altpapie	Produkte aus Anlage zur Sortierung von Altpapier
P.Bauwesen	Produkte aus Aufbereitungsanlagen für Abfälle aus dem Bauwesen
P.Beh.BSG	Produkte aus Behandlung von Bildschirmgeräten
P.Beh.EKG	Produkte aus Behandlung von Elektrokleingeräten
P.Beh.GaEL	Produkte aus Behandlung Gasentladungslampen
P.Beh.GG	Produkte aus Behandlung von Großgeräten
P.Beh.K/G	Produkte aus Behandlung von Kühl-Gefriergeräten
P.Boden	Produkte aus Behandlungsanlagen von verunreinigten Böden
P.CPA	Produkte aus anorganisch chemisch-physikalischer Behandlung
P.CPO	Produkte aus organisch chemisch-physikalischer Behandlung
P.CPO/CPA	Produkte aus organisch/anorganisch chemisch-physikalischer Behandlung
P.sAlt	Produkte aus Anlage zur Sortierung von Alttextilien
P.Shredder	Produkte aus Shredderanlagen
P.s-tB	Produkte aus sonstigen Abfallverbrennungs und Mitverbrennungsanlagen
P.VfS	Produkte aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
P_AG	Produkt Buntglas
P_AK	Produkte aus der stofflichen Verwertung von Altkunststoffen
P_So_AM	Produkte aus der Sortierung von Altmetallen
RSD.dir.E.	Reststoffdeponie direkte Emissionen
RSD.erf.OW	Reststoffdeponie erfasstes Oberflächenwasser
RSD.erf.SW	Reststoffdeponie erfasstes Sickerwasser
RSD.Gas	Reststoffdeponie Deponiegas
RSD.OW	Reststoffdeponie Oberflächenwasser
RSD.Perm	Reststoffdeponie Permeat

RSD.Verd.	Reststoffdeponie Verdunstung
SiedlungsA	Siedlungsabfälle zur Sortierung
Sons. Verw.	sonstige Verwertung
stB-D-Ab	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Drehrohrofen - Abgase
stB-D-Abw.	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Drehrohrofen – Abwasser
stB-D-Asch	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Drehrohrofen – Asche
stB-D-Fe	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Drehrohrofen – Eisenschrott
stB-D-Falk	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Drehrohrofen – Filterkuchen
stB-D-Schal	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Drehrohrofen – Schlacke
stB-H-Ab	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Holzindustrie - Abgas
stB-H-Fe	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Holzindustrie – Eisenschrott
stB-H-Grase	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Holzindustrie - Grobasche
stB-H-Ziyas	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Holzindustrie - Zyklonasche
stB-P-Ab	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Papier-/Zellstoffindustrie -
stB-P-Asch	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Papier-/Zellstoffindustrie - Asche
stB-W-Ab	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Wirbelschichtfeuerung - Abgas
stB-W-Abw.	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Wirbelschichtfeuerung - Abwasser
stB-W-Asch	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Wirbelschichtfeuerung - Asche
stB-W-Falk	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Wirbelschichtfeuerung - Filterkuchen
stB-Z-Ab	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Zementindustrie - Abgas
stB-Z-Kling	sonstige Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen - Zementindustrie - Klinker
unbeka.BSG	unbekannter Output Behandlung von Bildschirmgeräten
unbeka.EKG	unbekannter Output Behandlung von
unbeka.GaE	unbekannter Output Behandlung von Gasentladungslampen
unbeka.GG	unbekannter Output Behandlung von Großgeräten
unbeka.K/G	unbekannter Output Behandlung von Kühl-Gefriergeräten
VfS-R-Abg	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung - Abgas
VfS-R-Abw	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung - Abwasser
VfS-R-Asch	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung - Asche
VfS-R-Fe	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung - Eisenschrott
VfS-R-FilK	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung - Filterkuchen
VfS-R-Schl	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Rostfeuerung - Schlacke
VfS-W-Abg	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Wirbelschichtfeuerung - Abgas
VfS-W-Abw	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Wirbelschichtfeuerung - Abwasser
VfS-W-Asch	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Wirbelschichtfeuerung - Asche
VfS-W-FilK	Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle - Wirbelschichtfeuerung - Filterkuchen
Weißglas	Weißglas (Altstoffe)
weit.A.	weitere Abfälle

19.2 quantitativ betrachtete Abfälle und Unsicherheiten

In Tabelle 19-1 sind die quantitativ betrachteten Abfallströme (Primärabfallaufkommen inkl. Import) zusammengefasst.

Tabelle 19-1: quantitativ betrachtete Abfallfraktionen (Tonnen) und relative Unsicherheiten [-]

	Abfallfraktion	Tonnen	Unsicherheit
Abfälle aus dem Bauwesen	Bauschutt	2.200.000	31 %
	Betonabbruch	2.400.000	31 %
	Gleisschotter	230.000	7 %
	Straßenaufbruch/Bitumen und Asphalt	1.500.000	31 %
biogene Abfälle	biogene Abfälle aus Haushalten	790.000	7 %
	Rest	700.000	31 %
EAG	Beleuchtungskörper	1.100	3 %
	Bildschirmgeräte	19.000	3 %
	Elektro-Kleingeräte	27.000	3 %
	Großgeräte	19.000	3 %
	Kühl- und Gefriergeräte	13.000	3 %
	Rest	1.800	3 %
Öle und verunreinigte Böden	Altöle und Altschmierstoffe	3.100	7 %
	Altöle	36.000	7 %
	Filter Tücher	9.100	7 %
	öl verunreinigter Böden	66.000	7 %
	ölhaltige Bohrschlämme/Rückstände	120.000	7 %
	Sandfang	15.000	7 %
	sonstige Öl-Wassergemische	23.000	7 %
Glas	Rest	4.400	7 %
	Altglas	290.000	7 %

	Abfallfraktion	Tonnen	Unsicherheit
Holz	Bau-und Abbruchholz	310.000	20 %
	Eisenbahn-schwellen	31.000	31 %
	Holzemballagen	320.000	31 %
	Pfahl, Mast	42.000	31 %
	Rinde aus der Be-und Verarbeitung	120.000	31 %
	Sägemehl und Sägespäne	130.000	31 %
	Schwarten, Spreißel	22.000	31 %
	Spanplattenabfälle	26.000	31 %
Kunststoffabfälle	Leichtfraktion	180.000	3 %
	Rest	170.000	3 %
Metallabfälle	Altmetalle - Haushaltsschrott	88.000	7 %
	Metallverpackungen	30.000	7 %
	Altmetalle G&I	780.000	7 %
	Aluminium, Aluminiumfolien	110.000	7 %
	Blei	1.200	7 %
	Eisen und Stahlabfälle	870.000	7 %
	Kupfer	43.000	7 %
	NE-Metallabfälle G&I	60.000	7 %
	Nickel und nickelhaltige Abfälle	23.000	7 %
	Rest	92.000	7 %
	Zink, Zinkplatten	2.600	7 %
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube	Salzschlacken	48.000	7 %
	Schlacken	49.000	7 %
	Stäube und Aschen	150.000	7 %
	Krätzen	10.000	7 %
Restmüll	Restmüll	2.000.000	3 %
Sperrmüll	Sperrmüll	330.000	3%
Textilabfälle	Alttextilien	38.000	31 %
	Textilfasern	2.400	31 %
	Textilschlamm	510	31 %
Verbrennungsrückstände	Flugasche	190.000	3 %
	Holzasche	120.000	3 %
	Rest	16.000	3 %
Zellulose, Papier, Kartonagen	Zellulose, Papier, Kartonagen	2.000.000	7%
weitere Abfälle	Asbestabfälle	62.000	7 %
	Batterien	17.000	7 %
	Farben und Lacke	6.700	7 %
	Farben und Lacke (Problemstoffe)	21.000	7 %
	Laugen	34.000	7 %
	Lösungsmittel	48.000	7 %
	Oxide und Hydroxide	89.000	7 %
	Salze	5.100	7 %
	Säuren	22.000	7 %
	verunreinigter Böden	59.000	8 %
	Wasch- und Prozesswässer	7.700	7 %
	weitere gefährliche Abfälle	56.000	7 %
	Kalkschlamm	22.000	7 %
Summe		**17.000.000**	

19.3 Stoffkonzentrationen und Unsicherheiten

Tabelle 19-2: Stoffkonzentration wie in der MFA verwendet [mg/kg, gerundet auf 1 signifikante Stelle)] und relative Unsicherheiten US [-] Teil ½

Fraktion	Cd		C		Fe		N		P	
	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]
Asbestabfälle					40.000,0	32%				
Abfälle aus dem Bauwesen (Bauschutt)	0,2	32%	60.000,0	32%	10.000,0	32%	200,0	32%		
Abfälle aus dem Bauwesen (Betonabbruch)	0,2	32%	90.000,0	32%	7.000,0	32%	200,0	32%		
Abfälle aus dem Bauwesen (Gleisschotter)	4,0	32%								
Abfälle aus dem Bauwesen (Straßenaufbruch/Bitumen und Asphalt)	0,2	32%	90.000,0	32%	7.000,0	32%	200,0	32%		
Batterien	20.000,0	32%	90.000,0	32%	60.000,0	32%	1.000,0	32%	10,0	32%
Weitere biogene Abfälle aus dem Grünflächenbereich	0,3	48%	200.000,0	48%	3.000,0	48%	20.000,0	48%	3.000,0	48%
Biogene Abfälle aus Haushalten	0,3	11%	200.000,0	11%	3.000,0	11%	20.000,0	11%	2.000,0	11%
EAG	10,0	96%	200.000,0	96%	100.000,0	96%	2.000,0	96%	300,0	96%
EAG (Beleuchtungskörper)	0,5	32%	50.000,0	32%	30.000,0	32%	500,0	32%	8,0	32%
EAG (Bildschirmgeräte)			100.000,0	96%	4.000,0	96%	2.000,0	96%	200,0	96%
EAG (Elektro-Kleingeräte)	10,0	96%	200.000,0	96%	200.000,0	96%	2.000,0	96%	300,0	96%
EAG (Großgeräte)	20,0	96%	200.000,0	96%	200.000,0	96%	2.000,0	96%	400,0	96%
EAG (Kühl- und Gefriergeräte)	10,0	96%	200.000,0	96%	200.000,0	96%	2.000,0	96%	300,0	96%
Farben und Lacke	0,7	66%								
Farben und Lacke (Problemstoffe)	20,0	96%			50,0	96%	4.000,0	96%		
gebrauchte Öle (Altöle und Altschmierstoffe)	0,1	32%	700.000,0	32%	400,0	32%	10.000,0	32%	10.000,0	32%
gebrauchte Öle (Altöle)	0,1	32%	700.000,0	32%	400,0	32%	10.000,0	32%	10.000,0	32%
gebrauchte Öle (Filter Tücher)	0,1	32%	50.000,0	32%	400,0	32%	10.000,0	32%	10.000,0	32%
gebrauchte Öle (öl verunreinigter Böden)	0,9	32%	200.000,0	32%	10.000,0	32%	1.000,0	32%	600,0	32%
gebrauchte Öle (ölhaltige Bohrschlämme/Rückstände)	3,0	32%	300.000,0	32%	40.000,0	32%			2.000,0	32%
gebrauchte Öle (Sandfang)	5,0	32%	100.000,0	32%					2.000,0	32%

Fraktion	Cd		C		Fe		N		P	
	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]
gebrauchte Öle (sonstige Öl-Wassergemische)	4,0	32%	800.000,0	32%	30.000,0	32%	1.000,0	32%	30,0	32%
Glasabfälle	0,2	96%	3.000,0	96%	10.000,0	96%	0,0	96%	0,0	96%
Glasabfälle (Altglas)	0,2	32%	3.000,0	32%	10.000,0	32%	0,0	32%	0,0	32%
Holz (Bau-und Abbruchholz)	0,4	32%	500.000,0	32%	400,0	32%	4.000,0	32%	200,0	32%
Holz (Eisenbahn-schwellen)	0,5	32%	500.000,0	32%	4.000,0	32%	4.000,0	32%	200,0	32%
Holz (Holzemballagen)	0,3	32%	500.000,0	32%	400,0	32%	4.000,0	32%	80,0	32%
Holz (Pfahl, Mast)	0,4	32%	500.000,0	32%	300,0	32%	4.000,0	32%	60,0	32%
Holz (Rinde aus der Be-und Verarbeitung)	0,3	11%	500.000,0	11%	200,0	11%	6.000,0	11%	60,0	11%
Holz (Sägemehl und Sägespäne aus naturbelassenem, sauberem, unbeschichtetem Holz)	0,4	24%	500.000,0	24%	600,0	24%	4.000,0	24%	100,0	24%
Holz (Schwarten, Spreißel aus naturbelassenem, sauberem, unbeschichtetem Holz)	0,4	22%	500.000,0	22%	400,0	22%	4.000,0	22%	90,0	22%
Holz (Spanplattenabfälle)	0,4	32%	500.000,0	32%	600,0	32%	4.000,0	32%	100,0	32%
Kalkschlamm	0,2	96%								
Kunststoffabfälle	50,0	35%	600.000,0	35%	4.000,0	35%	8.000,0	35%	1.000,0	35%
Kunststoffabfälle (Leichtfraktion)	10,0	32%	600.000,0	32%	4.000,0	32%	4.000,0	32%	400,0	32%
Laugen							4.000,0	88%		
Lösungsmittel	1,0	94%			300,0	94%				
Metallabfälle (Altmetalle - Haushaltsschrott)	4,0	32%	200.000,0	32%	700.000,0	32%	900,0	32%	90,0	32%
Metallabfälle (Altmetalle - Metallverpackungen)	2,0	32%	100.000,0	32%	800.000,0	32%	500,0	32%	50,0	32%
Metallabfälle (Altmetalle G&I)	10,0	11%	500,0	11%	700.000,0	11%			300,0	11%
Metallabfälle (Aluminium, Aluminiumfolien)										
Metallabfälle (Blei)										
Metallabfälle (Eisen und Stahlabfälle)	10,0	11%	500,0	11%	700.000,0	11%			300,0	11%
Metallabfälle (Kupfer)										
Metallabfälle (NE-Metallabfälle G&I)	10,0	32%	500,0	32%	80.000,0	32%			300,0	32%
Metallabfälle (Nickel und nickelhaltige Abfälle)					500,0	32%			500,0	32%

Fraktion	Cd		C		Fe		N		P	
	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]
Metallabfälle (Rest)	9,0	32%	500,0	32%	600.000,0	32%			300,0	32%
Metallabfälle (Zink, Zinkplatten)										
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (Salzschlacken)	3,0	32%	1.000,0	32%	20.000,0	32%				
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (Schlacken)	100,0	32%			100.000,0	32%			2.000,0	32%
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (Stäube und Aschen)	5,0	32%	500.000,0	32%	20.000,0	32%			40.000,0	32%
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (Krätzen)	60,0	32%	200.000,0	32%	2.000,0	32%			1,0	32%
Oxide und Hydroxide	30,0	64%	7.000,0	64%	200.000,0	64%			400,0	64%
Restmüll	6,0	34%	200.000,0	34%	20.000,0	34%	7.000,0	34%	1.000,0	34%
Salze	1,0	85%			1.000,0	85%			20.000,0	85%
Säuren	0,1	96%					20.000,0	96%		
Sperrmüll	40,0	4%	200.000,0	4%	600,0	4%	1.000,0	4%	80,0	4%
Textilabfälle (Alttextilien)	3,0	32%	400.000,0	32%	2.000,0	32%	20.000,0	32%	800,0	32%
Textilabfälle (Textilfasern)	0,3	32%	700.000,0	32%	2.000,0	32%	20.000,0	32%	800,0	32%
Textilabfälle (Textilschlamm)	3,0	32%	400.000,0	32%	2.000,0	32%	20.000,0	32%	800,0	32%
Verbrennungsrückstände (Flugasche)	200,0	4%	20.000,0	4%	20.000,0	4%	800,0	4%	6.000,0	4%
Verbrennungsrückstände (Holzasche)	1,0	4%			10.000,0	4%			8.000,0	4%
Verbrennungsrückstände(Rest)	50,0	4%	20.000,0	4%	40.000,0	4%	200,0	4%	5.000,0	4%
verunreinigter Böden	0,9	32%	10.000,0	32%	9.000,0	32%			700,0	32%
Wasch- und Prozesswässer	0,5	64%					7.000,0	64%	400,0	64%
weitere gefährliche Abfälle	0,5	86%	800,0	86%	6.000,0	86%	10.000,0	86%	70,0	86%
Zellulose, Papier, Kartonagen (Altpapier)	3,0	32%	400.000,0	32%	2.000,0	32%	3.000,0	32%	60,0	32%
Zellulose, Papier, Kartonagen (Papierreste)	2,0	32%	400.000,0	32%	1.000,0	32%	7.000,0	32%	500,0	32%
Zellulose, Papier, Kartonagen (Verpackungspapier)	0,3	32%	400.000,0	32%	2.000,0	32%	3.000,0	32%	60,0	32%

Tabelle 19-3: Stoffkonzentration wie in der MFA verwendet [mg/kg] und Unsicherheiten [-] Teil 2/2

Fraktion	Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]
Asbestabfälle												
Abfälle aus dem Bauwesen (Bauschutt)	40,0	32%	20,0	32%	0,2	32%			40,0	32%	50,0	32%
Abfälle aus dem Bauwesen (Betonabbruch)	20,0	32%	10,0	32%	0,0	32%	20,0	32%	30,0	32%	30,0	32%
Abfälle aus dem Bauwesen (Gleisschotter)	100,0	32%	300,0	32%	0,4	32%	100,0	32%	200,0	32%	400,0	32%
Abfälle aus dem Bauwesen (Straßenaufbruch/Bitumen und Asphalt)	20,0	32%	10,0	32%	0,0	32%	20,0	32%	30,0	32%	30,0	32%
Batterien	30,0	32%	5.000,0	32%			4,0	32%	90.000,0	32%	300.000,0	32%
Weitere biogene Abfälle aus dem Grünflächenbereich	10,0	48%	30,0	48%	0,1	48%	2,0	48%	20,0	48%	90,0	48%
Biogene Abfälle aus Haushalten	9,0	11%	30,0	11%	0,1	11%	4,0	11%	20,0	11%	90,0	11%
EAG	20.000,0	96%	10.000,0	96%	1,0	96%	7.000,0	96%	3.000,0	96%	800,0	96%
EAG (Beleuchtungskörper)	20,0	32%	3.000,0	32%	1,0	32%	80,0	32%	100,0	32%	100.000,0	32%
EAG (Bildschirmgeräte)	30,0	96%	3.000,0	96%	0,9	96%	40,0	96%	20.000,0	96%	2.000,0	96%
EAG (Elektro-Kleingeräte)	30,0	96%	20.000,0	96%	1,0	96%	100,0	96%	100,0	96%	500,0	96%
EAG (Großgeräte)	60.000,0	96%	2.000,0	96%	1,0	96%	30.000,0	96%	100,0	96%	300,0	96%
EAG (Kühl- und Gefriergeräte)	3.000,0	96%	20.000,0	96%	1,0	96%	2.000,0	96%	40,0	96%	100,0	96%
Farben und Lacke	6,0	66%	9,0	66%	0,4	66%	10,0	66%	50,0	66%	300,0	66%
Farben und Lacke (Problemstoffe)	20,0	96%	300,0	96%	60,0	96%	8,0	96%	300,0	96%	300,0	96%
gebrauchte Öle (Altöle und Altschmierstoffe)	2,0	32%	3,0	32%	0,0	32%	5,0	32%			10,0	32%
gebrauchte Öle (Altöle)	2,0	32%	3,0	32%	0,0	32%					10,0	32%
gebrauchte Öle (Filter Tücher)	2,0	32%	3,0	32%	0,0	32%					10,0	32%
gebrauchte Öle (öl verunreinigter Böden)	60,0	32%	100,0	32%	5,0	32%	40,0	32%	50,0	32%	600,0	32%
gebrauchte Öle (ölhaltige Bohrschlämme/Rückstände)	300,0	32%	90,0	32%	2,0	32%	70,0	32%	1,0	32%	30,0	32%
gebrauchte Öle (Sandfang)	200,0	32%	700,0	32%	1,0	32%	200,0	32%			3.000,0	32%
gebrauchte Öle (sonstige Öl-Wassergemische)	300,0	32%	300,0	32%	4,0	32%	40,0	32%	60,0	32%	1.000,0	32%
Glasabfälle	3.000,0	96%	1,0	96%	0,0	96%	1,0	96%	0,9	96%	6,0	96%

Fraktion	Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]
Glasabfälle (Altglas)	3.000,0	32%	1,0	32%	0,0	32%	1,0	32%	0,9	32%	6,0	32%
Holz (Bau-und Abbruchholz)	9,0	32%	500,0	32%	0,2	32%	40,0	32%	30,0	32%	100,0	32%
Holz (Eisenbahn-schwellen)	20,0	32%	20,0	32%	0,1	32%	3,0	32%	10,0	32%	70,0	32%
Holz (Holzemballagen)	8,0	32%	80,0	32%	0,1	32%	3,0	32%	10,0	32%	70,0	32%
Holz (Pfahl, Mast)	10,0	32%	600,0	32%	0,1	32%	3,0	32%	10,0	32%	200,0	32%
Holz (Rinde aus der Be-und Verarbeitung)	5,0	11%	4,0	11%	0,0	11%	1,0	11%	3,0	11%	90,0	11%
Holz (Sägemehl und Sägespäne aus naturbelassenem, sauberem, unbeschichtetem Holz)	10,0	24%	200,0	24%	0,1	24%	6,0	24%	10,0	24%	90,0	24%
Holz (Schwarten, Spreißel aus naturbelassenem, sauberem, unbeschichtetem Holz)	10,0	22%	100,0	22%	0,1	22%	4,0	22%	20,0	22%	100,0	22%
Holz (Spanplattenabfälle)	4,0	32%	30,0	32%	0,1	32%	4,0	32%	10,0	32%	20,0	32%
Kalkschlamm	9,0	96%	9,0	96%	0,1	96%	4,0	96%	6,0	96%	20,0	96%
Kunststoffabfälle	100,0	35%	50,0	35%	4,0	35%	20,0	35%	400,0	35%	400,0	35%
Kunststoffabfälle (Leichtfraktion)	60,0	32%	60,0	32%	0,1	32%	20,0	32%	90,0	32%	0,0	32%
Laugen			20,0	88%	0,5	88%	5,0	88%	3,0	88%	300,0	88%
Lösungsmittel	100,0	94%	90,0	94%	3,0	94%	7,0	94%	300,0	94%	100,0	94%
Metallabfälle (Altmetalle - Haushaltsschrott)	10.000,0	32%	6.000,0	32%			7.000,0	32%				
Metallabfälle (Altmetalle - Metallverpackungen)	10.000,0	32%	6.000,0	32%			7.000,0	32%				
Metallabfälle (Altmetalle G&I)	1.000,0	11%	3.000,0	11%			80.000,0	11%	20,0	11%	500,0	11%
Metallabfälle (Aluminium, Aluminiumfolien)												
Metallabfälle (Blei)									1.000.000,0	32%		
Metallabfälle (Eisen und Stahlabfälle)	1.000,0	11%	3.000,0	11%			80.000,0	11%	20,0	11%	500,0	11%
Metallabfälle (Kupfer)			1.000.000,0	32%								
Metallabfälle (NE-Metallabfälle G&I)	1.000,0	32%	3.000,0	32%			80.000,0	32%	20,0	32%	500,0	32%
Metallabfälle (Nickel und nickelhaltige Abfälle)	500,0	32%	500,0	32%			500.000,0	32%	500,0	32%		
Metallabfälle (Rest)	1.000,0	32%	3.000,0	32%			80.000,0	32%	40,0	32%	500,0	32%
Metallabfälle (Zink, Zinkplatten)											1.000.000,0	32%

Fraktion	Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]	mg/kg	US [-]
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (Salzschlacken)	600,0	32%	5.000,0	32%	3,0	32%	200,0	32%	700,0	32%	2.000,0	32%
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (Schlacken)	500,0	32%	5.000,0	32%	40,0	32%	200,0	32%	70.000,0	32%	10.000,0	32%
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (Stäube und Aschen)	100,0	32%	200,0	32%	6,0	32%	70,0	32%	400,0	32%	2.000,0	32%
Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube (Krätzen)	20,0	32%	6.000,0	32%	1,0	32%	600,0	32%	1.000,0	32%	200.000,0	32%
Oxide und Hydroxide	60.000,0	64%	6.000,0	64%	30,0	64%	90.000,0	64%	10.000,0	64%	20.000,0	64%
Restmüll	200,0	34%	700,0	34%	0,4	34%	50,0	34%	300,0	34%	700,0	34%
Salze	10,0	85%	10,0	85%	40,0	85%			50,0	85%	100,0	85%
Säuren			0,8	96%	0,0	96%	3,0	96%			60,0	96%
Sperrmüll	400,0	4%	200,0	4%	0,2	4%	4,0	4%	1.000,0	4%	800,0	4%
Textilabfälle (Alttextilien)	200,0	32%	300,0	32%	0,3	32%	7,0	32%	200,0	32%	500,0	32%
Textilabfälle (Textilfasern)	20,0	32%	90,0	32%	0,2	32%	7,0	32%	10,0	32%	100,0	32%
Textilabfälle (Textilschlamm)	100,0	32%	200,0	32%	1,0	32%	10,0	32%	200,0	32%	300,0	32%
Verbrennungsrückstände (Flugasche)	400,0	4%	2.000,0	4%	10,0	4%	6.000,0	4%	5.000,0	4%	20.000,0	4%
Verbrennungsrückstände (Holzasche)	70,0	4%	200,0	4%	0,4	4%	30,0	4%	900,0	4%	1.000,0	4%
Verbrennungsrückstände(Rest)	400,0	4%	4.000,0	4%	2,0	4%	200,0	4%	2.000,0	4%	6.000,0	4%
verunreinigter Böden	90,0	32%	200,0	32%	8,0	32%	60,0	32%	80,0	32%	900,0	32%
Wasch- und Prozesswässer	40,0	64%	100,0	64%	0,2	64%	30,0	64%			300,0	64%
weitere gefährliche Abfälle	20,0	86%	20,0	86%	1,0	86%	5,0	86%	90,0	86%	200,0	86%
Zellulose, Papier, Kartonagen (Altpapier)	20,0	32%	50,0	32%	0,2	32%	7,0	32%	20,0	32%	10,0	32%
Zellulose, Papier, Kartonagen (Papierreste)	20,0	32%	70,0	32%	0,3	32%	600,0	32%	30,0	32%	200,0	32%
Zellulose, Papier, Kartonagen (Verpackungspapier)	5,0	32%	9,0	32%	0,2	32%	4,0	32%	3,0	32%	20,0	32%

19.4 Transferkoeffizienten und Unsicherheiten

Tabelle 19-4: Transferkoeffizienten (TK) und Unsicherheiten (US) (Abkürzungen siehe Kapitel 19.1.7)

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
Kompost-anlagen	Luft	0,52	11%		32%	0,55	32%		32%	0,48	32%		32%							0,52	96%				
	Produkt = Kompost	0,36	11%	0,50	32%	0,27	32%		32%	0,46	32%	0,97	32%	0,96	32%	0,67	32%	0,86	32%	0,36	96%	0,59	32%	0,75	32%
	Abfall (Siebüberlauf)- tB	0,09	11%	0,15	32%	0,18	32%		32%	0,06	32%	0,03	32%	0,04	32%	0,01	32%	0,02	32%	0,09	96%	0,17	32%	0,03	32%
	Abfall in weitere Anlagen (Störstoffe) - VfS-R	0,01	11%	0,12	32%		32%		32%		32%		32%			0,10	32%	0,04	32%	0,01	96%	0,08	32%	0,07	32%
	Abfall in weitere Anlagen (Störstoffe) - VfS-W	0,01	11%	0,12	32%		32%		32%		32%		32%			0,10	32%	0,04	32%	0,01	96%	0,08	32%	0,07	32%
	Abfall in weitere Anlagen (Metalle) - Shredder	0,01	11%	0,12	32%		32%	1,00	32%		32%		32%			0,10	32%	0,04	32%	0,01	96%	0,08	32%	0,07	32%
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		1,00		1,00	
Biogas-Anlagen inkl. Gärrestkompostierung	Luft (Abluft aus Gärrestkompostierung)	0,02	11%		32%	0,01	32%		32%	0,04	32%		32%					0,02	96%	0,02	96%				
	Produkt (Biogas)	0,12	11%		32%	0,54	32%		32%		32%		32%					0,12	96%	0,12	96%				
	Produkt(flüssiger Gärrest)	0,79	11%	0,32	32%	0,40	32%		32%	0,95	32%	0,96	32%	0,95	32%	0,65	32%	0,79	96%	0,79	96%	0,52	32%	0,72	32%
	Produkt (Gärrest-Kompost)	0,02	11%	0,07	32%	0,04	32%		32%	0,01	32%	0,04	32%	0,05	32%	0,06	32%	0,02	96%	0,02	96%	0,04	32%	0,05	32%
	Abfall in weitere Anlagen (Störstoffe) - VfS-R	0,02	11%	0,23	32%		32%		32%		32%		32%			0,11	32%	0,02	96%	0,02	96%	0,16	32%	0,09	32%
	Abfall in weitere Anlagen (Störstoffe) - VfS-W	0,02	11%	0,23	32%		32%		32%		32%		32%			0,11	32%	0,02	96%	0,02	96%	0,16	32%	0,09	32%
	Abfall in weitere Anlagen (Metalle) - Shredder	0,01	11%	0,15	32%		32%	1,00	32%		32%		32%			0,07	32%	0,01	96%	0,01	96%	0,11	32%	0,06	32%
	Abfall in weitere Anlagen (Siebüberlauf)	0,00	11%	0,01	32%	0,00	32%		32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	32%	0,00	32%
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	
MBA Behandlung	Abwasser (Trockenstabilisierung)	0,04	4%	0,00	11%		11%		11%		11%		11%												
	Luft (Rotteverlust)	0,16	4%		11%	0,13	11%		11%	0,16	11%		11%												
	Abfallexport	0,00	4%		11%		11%		11%		11%		11%												
	Abfall weitere: Metallfraktionen - Shredder	0,04	4%	0,68	11%	0,01	11%	0,75	11%	0,01	11%	0,02	11%	0,20	11%	0,10	11%	0,01	11%	0,26	11%	0,04	11%	0,14	11%
	Abfall weitere: Heizwertreiches - VfS-R	0,27	4%	0,14	11%	0,38	11%	0,07	11%	0,35	11%	0,14	11%	0,30	11%	0,40	11%	0,45	11%	0,17	11%	0,41	11%	0,35	11%
	Abfall weitere: Heizwertreiches - VfS-W	0,27	4%	0,14	11%	0,38	11%	0,07	11%	0,35	11%	0,14	11%	0,30	11%	0,40	11%	0,45	11%	0,17	11%	0,41	11%	0,35	11%

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
	Abfall weitere: Deponiefraktion - MAD	*0,24*	*4%*	0,04	*11%*	0,09	*11%*	0,10	*11%*	0,13	*11%*	0,71	*11%*	0,21	*11%*	0,11	*11%*	0,09	*11%*	0,40	*11%*	0,14	*11%*	0,15	*11%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Chemisch physik. Behandlung – org.	*Wasser*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	0,05	*96%*		*96%*	0,10	*96%*	0,05	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	0,05	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-W	*0,16*	*32%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*		*96%*	*0,15*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-D	*0,16*	*32%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*		*96%*	*0,15*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*	*0,16*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - RSD	*0,66*	*32%*	*0,66*	*96%*	*0,64*	*96%*	*1,00*	*96%*	*0,60*	*96%*	*0,64*	*96%*	*0,66*	*96%*	*0,66*	*96%*	*0,66*	*96%*	*0,66*	*96%*	*0,66*	*96%*	*0,64*	*96%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Chemisch physik. Behandlung – anorg.	*Wasser*	*0,01*	*32%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*		*96%*	0,01	*96%*	0,05	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*
	Boden	*0,01*	*32%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*		*96%*	0,01	*96%*	0,00	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*
	Luft	*0,01*	*32%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*		*96%*	0,01	*96%*	0,00	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen-RSD	*0,97*	*32%*	0,97	*96%*	0,97	*96%*	*1,00*	*96%*	0,97	*96%*	0,95	*96%*	0,97	*96%*	0,97	*96%*	0,97	*96%*	0,97	*96%*	0,97	*96%*	0,97	*96%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Chemisch physik. Behandlung – org und anorg	*Wasser*	*0,01*	*32%*	0,01	*96%*	0,05	*96%*		*96%*	0,10	*96%*	0,05	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,01	*96%*	0,05	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen-RSD	*0,99*	*32%*	0,99	*96%*	0,95	*96%*	*1,00*	*96%*	0,90	*96%*	0,95	*96%*	0,99	*96%*	0,99	*96%*	0,99	*96%*	0,99	*96%*	0,99	*96%*	0,95	*96%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
VFS-R	*Eisen-Schrott - Shredder*	*0,02*	*4%*	0,25	11%	0,00	11%	0,69	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,13	11%	0,03	11%	0,00	11%	0,15	11%	0,00	11%	0,00	11%
	Schlacke - Produkt	*0,07*	*4%*	0,04	11%	0,00	11%	0,09	11%	0,00	11%	0,25	11%	0,25	11%	0,28	11%	0,05	11%	0,25	11%	0,20	11%	0,19	11%
	Schlacke - RSD	*0,10*	*4%*	0,05	11%	0,01	11%	0,12	11%	0,01	11%	0,35	11%	0,35	11%	0,39	11%	0,06	11%	0,35	11%	0,29	11%	0,27	11%
	Schlacke - CPO/CPA	*0,07*	*4%*	0,03	11%	0,00	11%	0,08	11%	0,00	11%	0,23	11%	0,23	11%	0,26	11%	0,04	11%	0,23	11%	0,19	11%	0,18	11%
	Asche - Produkt	*0,01*	*4%*	0,19	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,05	11%	0,01	11%	0,01	11%	0,09	11%	0,01	11%	0,09	11%	0,10	11%
	Asche - RSD	*0,01*	*4%*	0,26	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,07	11%	0,02	11%	0,01	11%	0,13	11%	0,01	11%	0,13	11%	0,15	11%
	Asche - CPO/CPA	*0,01*	*4%*	0,17	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,05	11%	0,01	11%	0,01	11%	0,08	11%	0,01	11%	0,09	11%	0,10	11%
	Filterkuchen - Export	*0,00*	*4%*	0,01	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,49	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%
	Emission - Abwasser	*0,00*	*4%*	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%
	Emission - Gas	*0,70*	*4%*	0,00	11%	0,98	11%	0,01	11%	0,98	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,05	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
VFS-W	*Asche - Produkt*	*0,06*	*4%*	0,30	11%	0,00	11%	0,30	11%	0,00	11%	0,25	11%	0,30	11%	0,30	11%	0,09	11%	0,30	11%	0,30	11%	0,30	11%
	Asche - RSD	*0,08*	*4%*	*0,42*	11%	*0,00*	11%	*0,42*	11%	*0,00*	11%	*0,35*	11%	*0,42*	11%	*0,42*	11%	*0,13*	11%	*0,41*	11%	*0,42*	11%	*0,42*	11%
	Asche - CPO/CPA	*0,06*	*4%*	*0,28*	11%	*0,00*	11%	*0,28*	11%	*0,00*	11%	*0,23*	11%	*0,28*	11%	*0,28*	11%	*0,09*	11%	*0,28*	11%	*0,28*	11%	*0,28*	11%
	Filterkuchen - Export	*0,02*	*4%*	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,17	11%	0,00	11%	0,01	11%	0,66	11%	0,01	11%	0,00	11%	0,00	11%
	Emission - Abwasser	*0,00*	*4%*	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%
	Emission - Gas	*0,79*	*4%*	0,00	11%	0,99	11%	0,00	11%	0,99	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,03	11%	0,00	11%	0,00	11%	0,00	11%
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
tB-Zement	*Produkt*	*0,29*	*32%*	0,99	*32%*	0,01	*32%*	*1,00*	*32%*	0,01	*32%*	1,00	*32%*	1,00	*32%*	1,00	*32%*	0,66	*32%*	1,00	*32%*	1,00	*32%*	1,00	*32%*
	Reingas	*0,71*	*32%*	0,01	*32%*	0,99	*32%*		*32%*	0,99	*32%*	0,00	*32%*	0,00	*32%*	0,00	*32%*	0,34	*32%*	0,00	*32%*	0,00	*32%*	0,00	*32%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
tB-Holz	*Grobasche - Produkt*	*0,01*	*32%*	0,01	*96%*	0,00	*96%*	*1,00*	*96%*	0,00	*96%*	0,15	*96%*	0,16	*96%*	*0,01*	*96%*	0,00	*96%*	0,16	*96%*	0,02	*96%*	0,03	*96%*
	Grobasche - RSD	*0,02*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,00*	*96%*		*96%*	*0,00*	*96%*	*0,21*	*96%*	*0,23*	*96%*	*0,02*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,22*	*96%*	*0,03*	*96%*	*0,04*	*96%*
	Grobasche - CPO/CPA	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,00*	*96%*		*96%*	*0,00*	*96%*	*0,14*	*96%*	*0,15*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,15*	*96%*	*0,02*	*96%*	*0,02*	*96%*
	Zyklon-Flugasche - Produkt	*0,00*	*32%*	0,12	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	0,00	*96%*	0,12	*96%*	0,10	*96%*	*0,00*	*96%*	0,02	*96%*	0,12	*96%*	0,07	*96%*	0,11	*96%*
	Zyklon-Flugasche - RSD	*0,01*	*32%*	0,17	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	0,00	*96%*	0,17	*96%*	0,15	*96%*	*0,01*	*96%*	0,02	*96%*	0,17	*96%*	0,10	*96%*	0,15	*96%*
	Zyklon-Flugasche - CPO/CPA	*0,00*	*32%*	0,11	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	0,00	*96%*	0,12	*96%*	0,10	*96%*	*0,00*	*96%*	0,02	*96%*	0,11	*96%*	0,07	*96%*	0,10	*96%*
	Feinst-Flugasche - Produkt	*0,00*	*32%*	0,00	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	0,00	*96%*	0,00	*96%*	0,00	*96%*	*0,00*	*96%*	0,00	*96%*	0,00	*96%*	0,00	*96%*	0,00	*96%*
	Feinst-Flugasche - RSD	*0,00*	*32%*	0,16	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	0,00	*96%*	0,05	*96%*	0,06	*96%*	*0,00*	*96%*	0,19	*96%*	0,03	*96%*	0,19	*96%*	0,18	*96%*
	Feinst-Flugasche - CPO/CPA	*0,00*	*32%*	0,16	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	0,00	*96%*	0,05	*96%*	0,06	*96%*	*0,00*	*96%*	0,19	*96%*	0,03	*96%*	0,19	*96%*	0,18	*96%*
	Emission - Gas	*0,94*	*32%*	0,25	*96%*	0,99	*96%*		*96%*	*0,99*	*96%*	0,00	*96%*	0,00	*96%*	*0,94*	*96%*	0,55	*96%*	0,00	*96%*	0,30	*96%*	0,20	*96%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
tB-Papier	*Flugasche - Produkt*	0,10	32%	0,29	*96%*	0,00	*96%*	*1,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,10*	*96%*	0,27	*96%*	0,10	*96%*	0,23	*96%*	0,27	*96%*	0,28	*96%*	0,27	*96%*
	Flugasche - RSD	0,14	32%	0,40	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	*0,00*	*96%*	*0,14*	*96%*	0,38	*96%*	0,14	*96%*	0,32	*96%*	0,38	*96%*	0,40	*96%*	0,38	*96%*
	Flugasche - CPO/CPA	0,09	32%	0,27	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	*0,00*	*96%*	*0,09*	*96%*	0,25	*96%*	0,09	*96%*	0,21	*96%*	0,25	*96%*	0,26	*96%*	0,25	*96%*
	Bettasche - Produkt		32%	0,00	*96%*	0,00	*96%*		*96%*	*0,00*	*96%*		*96%*	0,03	*96%*			0,02	*96%*	0,03	*96%*	0,02	*96%*	0,03	*96%*

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
	Bettasche - RSD		32%	0,01	96%	0,00	96%		96%	*0,00*	96%		96%	0,04	96%			0,02	96%	0,04	96%	0,02	96%	0,04	96%
	Bettasche - CPO/CPA		32%	0,00	96%	0,00	96%		96%	*0,00*	96%		96%	0,03	96%			0,01	96%	0,03	96%	0,01	96%	0,02	96%
	Emission - Gas	*0,68*	32%	0,02	96%	0,99	96%		96%	*0,98*	96%	*0,68*	96%	0,00	96%	0,68	96%	0,20	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		1,00		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
tb-sons. WS	*Asche - Produkt*	*0,05*	11%	0,20	32%	0,00	32%	0,30	32%	0,00	32%	0,25	32%	0,30	32%	0,30	32%	0,01	32%	0,30	32%	0,29	32%	0,30	32%
	Asche - RSD	*0,07*	11%	*0,28*	32%	*0,00*	32%	*0,42*	32%	*0,00*	32%	*0,35*	32%	*0,42*	32%	*0,42*	32%	*0,01*	32%	*0,41*	32%	*0,41*	32%	*0,41*	32%
	Asche - CPO/CPA	*0,05*	11%	*0,19*	32%	*0,00*	32%	*0,28*	32%	*0,00*	32%	*0,23*	32%	*0,28*	32%	*0,28*	32%	*0,01*	32%	*0,28*	32%	*0,27*	32%	*0,28*	32%
	Filterkuchen - Export	*0,00*	11%	*0,33*	32%	*0,00*	32%	*0,00*	32%	*0,00*	32%	*0,17*	32%	*0,00*	32%	*0,01*	32%	*0,97*	32%	*0,01*	32%	*0,02*	32%	*0,01*	32%
	Emission - Abwasser	*0,00*	11%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%
	Emission - Gas	*0,82*	11%	0,00	32%	0,99	32%	0,00	32%	0,99	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,01	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
tb-sons. DR	*Schlacke - Produkt*	0,06	11%	0,02	32%	0,00	32%	0,21	32%	0,00	32%	0,25	32%	0,28	32%	0,23	32%	0,01	32%	0,25	32%	0,16	32%	0,12	32%
	Schlacke - RSD	0,09	11%	0,02	32%	0,01	32%	0,30	32%	0,01	32%	0,35	32%	0,39	32%	0,32	32%	0,01	32%	0,34	32%	0,22	32%	0,16	32%
	Schlacke - CPO/CPA	0,06	11%	0,01	32%	0,00	32%	0,20	32%	0,00	32%	0,23	32%	0,26	32%	0,21	32%	0,01	32%	0,23	32%	0,15	32%	0,11	32%
	Flugasche - Produkt	0,01	11%	0,25	32%	0,00	32%	0,01	32%	0,00	32%		32%	0,02	32%	0,05	32%	0,03	32%	0,04	32%	0,14	32%	0,18	32%
	Flugasche - RSD	0,01	11%	0,35	32%	0,00	32%	0,01	32%	0,00	32%		32%	0,03	32%	0,07	32%	0,05	32%	0,05	32%	0,20	32%	0,25	32%
	Flugasche - CPO/CPA	0,01	11%	0,23	32%	0,00	32%	0,01	32%	0,00	32%		32%	0,02	32%	0,04	32%	0,03	32%	0,04	32%	0,13	32%	0,17	32%
	Filterkuchen - Export	*0,01*	11%	0,12	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,17	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,86	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,01	32%
	Eisen-Schrott - Shredder	*0,02*	11%	0,00	32%	0,00	32%	0,27	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,01	32%	0,08	32%	0,00	32%	0,05	32%	0,00	32%	0,00	32%
	Emission - Abwasser	*0,00*	11%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%		32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%
	Emission - Gas	*0,73*	11%	0,00	32%	0,98	32%	0,00	32%	0,98	32%	0,00	32%	0,00	32%		32%	0,00	32%		32%	0,00	32%		32%
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Sortierung von Siedlungsabfällen	*Abfälle - Shredder*	*0,05*	0,32	0,70	0,32	0,00	0,32	0,57	0,32	0,00	0,32	0,06	0,32	*0,05*	*0,96*	*0,05*	*0,96*	*0,05*	*0,05*	*0,05*	*0,96*	*0,05*	*0,96*	*0,05*	*0,96*
	Abfälle - tB	*0,70*	0,32	0,12	0,32	0,60	0,32	0,27	0,32	0,51	0,32	0,41	0,32	*0,65*	*0,96*	*0,65*	*0,96*	*0,65*	*0,65*	*0,65*	*0,96*	*0,65*	*0,96*	*0,65*	*0,96*
	Abfälle - Dep	*0,10*	0,32	0,04	0,32	0,01	0,32	0,03	0,32	0,10	0,32	0,11	0,32	*0,10*	*0,96*	*0,10*	*0,96*	*0,10*	*0,10*	*0,10*	*0,96*	*0,10*	*0,96*	*0,10*	*0,96*
	Abfälle - MBA	*0,15*	0,32	0,15	0,32	0,40	0,32	0,13	0,32	0,39	0,32	0,43	0,32	*0,20*	*0,96*	*0,20*	*0,96*	*0,20*	*0,20*	*0,20*	*0,96*	*0,20*	*0,96*	*0,20*	*0,96*

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	***1,00***	***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Aufbereit-ungs-anlagen von BRM	*Produkt*	*0,91*	*32%*	0,92	32%	*0,91*	*32%*	*0,91*	*32%*	*0,91*	*32%*	0,90	32%	*0,89*	*32%*	*0,92*	*32%*	*0,91*	*96%*	*0,93*	*32%*	*0,91*	*96%*	*0,91*	*96%*
	Abfälle - VFS-R	*0,02*	*32%*	0,00	32%	*0,02*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,02*	*32%*	0,05	32%					*0,02*	*96%*			*0,02*	*96%*	*0,02*	*96%*
	Abfälle - IAD	*0,04*	*32%*	0,04	32%	*0,04*	*32%*	*0,05*	*32%*	*0,04*	*32%*	0,03	32%	*0,06*	*32%*	*0,04*	*32%*	*0,04*	*96%*	*0,04*	*32%*	*0,04*	*96%*	*0,04*	*96%*
	Abfälle - BRD	*0,04*	*32%*	0,04	32%	*0,04*	*32%*	*0,05*	*32%*	*0,04*	*32%*	0,03	32%	*0,06*	*32%*	*0,04*	*32%*	*0,04*	*96%*	*0,04*	*32%*	*0,04*	*96%*	*0,04*	*96%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Shredder-Anlagen für Metallabfälle	*Produkt*	*0,95*	*32%*	0,70	32%	0,10	32%	0,98	32%	0,90	32%	0,90	32%	*0,95*	*32%*	*0,95*	*32%*	*0,95*	*32%*	*0,95*	*32%*	*0,95*	*32%*	*0,95*	*32%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	*0,01*	*32%*	*0,08*	*32%*	*0,23*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,03*	*32%*	*0,03*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	*0,01*	*32%*	*0,08*	*32%*	*0,23*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,03*	*32%*	*0,03*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	*0,01*	*32%*	*0,05*	*32%*	*0,16*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,02*	*32%*	*0,02*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	*0,01*	*32%*	*0,04*	*32%*	*0,12*		*0,00*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	*0,01*	*32%*	*0,06*	*32%*	*0,17*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,02*	*32%*	*0,02*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbe-reitung von Altpapier	*Produkt*	*0,74*	*11%*	*0,74*	*32%*	0,74	32%	0,74	32%	0,74	32%	0,74	32%	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*
	Abfallexport	*0,24*	*11%*	*0,24*	*32%*	0,24	32%	0,24	32%	0,24	32%	0,24	32%	*0,24*	*96%*	*0,24*	*96%*	*0,24*	*96%*	*0,24*	*96%*	*0,24*	*96%*	*0,24*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	*0,01*	*11%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	*0,01*	*11%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	*0,00*	*11%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	*0,00*	*11%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	*0,00*	*11%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbe-reitung von Altglas	*Produkt*	*0,74*	*11%*	*0,74*	*32%*	*0,00*	*32%*	*0,66*	*32%*	*0,74*	*32%*	*0,74*	*32%*	*0,76*	*32%*	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*	*0,74*	*96%*
	Abfallexport (aus Sortierung)	*0,20*	*11%*	*0,20*	*32%*	*0,20*	*32%*	*0,20*	*32%*	*0,20*	*32%*	*0,20*	*32%*	*0,20*	*32%*	*0,20*	*96%*	*0,20*	*96%*	*0,20*	*96%*	*0,20*	*96%*	*0,20*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	*0,01*	*11%*	*0,01*	*32%*	*0,20*	*32%*	*0,04*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	*0,01*	*11%*	*0,01*	*32%*	*0,20*	*32%*	*0,04*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	0,01	11%	0,01	32%	0,14	32%	0,02	32%	0,01	32%	0,01	32%	0,01	32%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	0,01	11%	0,01	32%	0,11	32%	0,02	32%	0,01	32%	0,01	32%	0,01	32%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	0,01	11%	0,01	32%	0,15	32%	0,03	32%	0,01	32%	0,01	32%	0,01	32%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbereitung von Metallverpackungen	*Produkt*	0,85	11%		32%	0,02	32%	1,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,85	96%	0,85	96%	0,85	96%	0,85	96%	0,85	96%	0,85	96%
	Abfall in weitere Anlagen - Shredder	0,15	11%	1,00	32%	0,98	32%	0,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbereitung von Haushaltsschrott	*Produkt*	0,00	11%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%	0,00	32%
	Abfall in weitere Anlagen - Shredder	1,00	11%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%	1,00	32%
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbereitung von Altmetallen aus G&I	*Produkt*	0,68	11%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%	0,68	32%
	Abfall in weitere Anlagen - Shredder	0,32	11%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%	0,32	32%
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbereitung von Holzabfällen	*Produkt*	0,55	11%	0,56	32%	0,55	32%	0,53	32%	0,55	32%	0,55	32%	0,55	32%	0,54	32%	0,54	32%	0,55	32%	0,56	32%	0,55	32%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	0,11	11%	0,11	32%	0,11	32%	0,12	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	0,11	11%	0,11	32%	0,11	32%	0,12	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%	0,11	32%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	0,08	11%	0,08	32%	0,08	32%	0,08	32%	0,08	32%	0,08	32%	0,08	32%	0,08	32%	0,08	32%	0,08		0,08	32%	0,08	32%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	0,06	11%	0,06	32%	0,06	32%	0,06	32%	0,06	32%	0,06	32%	0,06	32%	0,06	32%	0,06	32%	0,06		0,06	32%	0,06	32%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	0,08	11%	0,08	32%	0,08	32%	0,09	32%	0,09	32%	0,09	32%	0,08	32%	0,09	32%	0,09	32%	0,09	32%	0,08	32%	0,08	32%
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbereitung von Altkunststoffen	*Produkt*	0,75	11%	0,82	32%	0,83	32%	0,34	32%	0,63	32%	0,57	32%	0,75	96%	0,75	96%	0,75	96%	0,75	96%	0,75	96%	0,75	96%
	Abfallexport	0,05	11%	0,05	32%	0,06	32%	0,02	32%	0,05	32%	0,04	32%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	0,05	11%	0,03	32%	0,03	32%	0,16	32%	0,08	32%	0,10	32%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	0,05	11%	0,03	32%	0,03	32%	0,16	32%	0,08	32%	0,10	32%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	0,04	11%	0,02	32%	0,02	32%	0,11	32%	0,06	32%	0,07		0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	0,03	11%	0,02	32%	0,01	32%	0,09	32%	0,04	32%	0,05		0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	0,04	11%	0,02	32%	0,02	32%	0,12	32%	0,06	32%	0,07	32%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbereitung von weiteren Kunststoffen	*Produkt*	0,60	32%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%	0,60	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	0,10	32%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	0,10	32%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%	0,10	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	0,07	32%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%	0,07	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	0,05	32%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	0,08	32%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
Anlagen zur Sortierung/ Aufbereitung von Alttextilien	*Produkt*	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%	0,40	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%	0,15	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%	0,08	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%	0,11	96%
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
EAG Behandlungsanlagen für Bildschirmgeräte	*Produkt*	0,12	32%	0,12	96%	0,12	96%	0,12	96%	0,12	96%	0,12	96%	0,12	96%	0,95	96%	0,12	96%	0,12	96%	0,12	96%	0,95	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	0,04	32%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,01	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	0,04	32%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,01	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,04	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	0,02	32%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,01	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	0,02	32%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,01	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,02	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	0,03	32%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,01	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,01	96%
	Abfallexport	0,71	32%	0,71	96%	0,71	96%	0,71	96%	0,71	96%	0,71	96%	0,71	96%	0,00	96%	0,71	96%	0,71	96%	0,71	96%	0,00	96%
	unbekannt	0,03	32%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,00	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,03	96%	0,00	96%

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
EAG Behandlungsanlagen für Kühl-Gefriergeräte	Emission	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*		*0,00*		*0,00*	*96%*	*0,00*		*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	Produkt	*0,68*	*32%*	*0,68*	*96%*	*0,68*	*96%*	*0,68*	*96%*	*0,68*	*96%*	*0,68*	*96%*	*0,95*	*96%*	*0,95*	*96%*	*0,68*	*96%*	*0,68*	*96%*	*0,68*	*96%*	*0,68*	*96%*
	Export	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,00*		*0,00*		*0,01*	*96%*	*0,01*		*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	unbekannt	*0,27*	*32%*	*0,27*	*96%*	*0,27*	*96%*	*0,27*	*96%*	*0,27*	*96%*	*0,27*	*96%*					*0,27*	*96%*	*0,27*		*0,27*	*96%*	*0,27*	*96%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
EAG Behandlungsanlagen für Gasentladungslampen	Emission	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*			*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	Produkt	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*			*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Export	*0,93*	*32%*	*0,93*	*96%*	*0,93*	*96%*	*0,93*	*96%*	*0,93*	*96%*	*0,93*	*96%*	*0,93*	*96%*	*0,93*	*96%*	*0,83*	*96%*	*0,93*	*96%*	*0,93*	*96%*	*0,93*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,04*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,04*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,03*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,02*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,03*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*
	unbekannt	*0,06*	*32%*	*0,06*	*96%*	*0,06*	*96%*	*0,06*	*96%*	*0,06*	*96%*	*0,06*	*96%*	*0,06*	*96%*	*0,06*	*96%*	*0,00*		*0,06*	*96%*	*0,06*	*96%*	*0,06*	*96%*
	SUMMEN	***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***		***1,00***	
EAG Behandlungsanlagen für Großgeräte	*Produkt*	*0,45*	*32%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,45*	*96%*	*0,95*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	*0,01*	*32%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*	*0,01*	*96%*
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	*0,00*	*32%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,00*	*96%*	*0,01*	*96%*

Prozess	Output	Güter		Cd		C		Fe		N		P		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
		TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US	TK	US
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	0,00	32%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	0,00	32%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%
	unbekannt	0,53	32%	0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%	0,53		0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%		
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	
EAG Behandlungsanlagen für Elektrokleingeräte	*Produkt*	0,45	32%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,95	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,95	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-R	0,01	32%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - VfS-W	0,01	32%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-P	0,00	32%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-H	0,00	32%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%
	Abfall in weitere Anlagen - tB-Z	0,00	32%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,00	96%	0,01	96%
	unbekannt	0,53	32%	0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%			0,53	96%	0,53	96%	0,53	96%		
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	
Anlagen zu Behandlung von Böden	*Produkt*	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%
	Emission Luft	0,05	96%	0,05	96%	0,90	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%	0,05	96%
	Abfall in weitere Anlagen BRD	0,45	96%	0,45	96%	0,03	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%
	Abfall in weitere Anlagen IAD	0,45	96%	0,45	96%	0,03	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%	0,45	96%
	SUMMEN	1,00		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
Asbest	*Abfall in weitere Anlagen BRD*	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%
	Abfall in weitere Anlagen IAD	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%	0,50	32%
	SUMMEN	**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**		**1,00**	

19.5 Überblick: Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft

Tabelle 19-5: Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft – Status Quo 1/3

Bewertungsframework					Status Quo	Minimal-anforderung	Benchmark	Nutzenpunkte			
AWG Ziele	Unterziele	Indikatorensammlung	Indikatoren	Einheit				Indi-katoren	Indikatoren-sammlung (Mittelwert)	Unterziele (Mittelwert)	AWG Ziele (Mittelwert)
AWG Ziel 1	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Treibhauspotential	Treibhauspotential	t CO_2eq/a	-3.670.000		454.000	10,0	10,0	8,6	
		Versauerungspotential	Versauerungspotential	t SO_2eq/a	-14.400		4.820	10,0	10,0		
		Photooxidantienpotential	Photooxidantienpotential	t NMVOC/a	-12.900		748	10,0	10,0		
		Eutrophierungspotential	Eutrophierungspotential	t Peq/a	18		24	4,4	4,4		
AWG Ziel 2	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	klimarelevanten Gase	CO_2	t CO_2/a	1.480.000	2.500.000	383.000	4,8	4,6	4,6	2,8
			CH_4	t CH_4/a	8.500	9.300	1.420	1,0			
			N_2O	t N_2O/a	200	621	95	8,0			
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe	SO_2	t SO_2/a	882	877	98	0,0	0	0	
			NO_x	t NO_x/a	2.230	1.520	797	0,0			
AWG Ziel 3	Schonung von Rohstoffen	Metalle	Metalle	t/a	2.050.000		2.180.000	9,4	9,4	4,7	4,8
		Glas	Glas	t/a	218.000		378.000	5,8	5,8		
		Papier	Papier	t/a	1.400.000		2.400.000	5,8	5,8		
		Kunststoff	Kunststoff	t/a	111.000		629.000	1,8	1,8		
		Holz	Holz	t/a	105.000		1.110.000	0,9	0,9		
	Schonung von Energie	Verbrauch	Verbrauch	TJ/a	13.800		7.990	3,4	3,4	3,4	
	Schonung Deponievolumen	Deponievolumen	Deponievolumen	m³/a	3.650.000	8.880	519.000	6,3	6,3	6,3	

Tabelle 19-6: Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft – Status Quo 2/3

Bewertungsframework					Status Quo	Minimal-anforderung	Benchmark	Nutzenpunkte			
AWG Ziele	Unterziele	Indikatorensammlung	Indikatoren	Einheit				Indi-katoren	Indikatoren-sammlung (Mittelwert)	Unterziele (Mittelwert)	AWG Ziele (Mittelwert)
AWG Ziel 4		Schadstoffe im Kompost	Cd	mg/kg	0,4	1,0	0,7	10,0	10,0	8,7	8,7
			Cr	mg/kg	18,6	71,0	70,0	10,0			
			Hg	mg/kg	0,3	0,7	0,4	10,0			
			Ni	mg/kg	10,0	60,0	25,0	10,0			
			Pb	mg/kg	31,8	120,0	45,0	10,0			
			Cu	mg/kg	38,3	150,0	70,0	10,0			
			Zn	mg/kg	147,9	500,0	200,0	10,0			
		Schadstoffe in Sekundärbaustoffe	As	mg/kg	5,7	40,0	20,0	10,0	8,6		
			Pb	mg/kg	36,9	100,0	30,0	9,0			
			Cd	mg/kg	0,3	1,0	0,5	10,0			
			Cr	mg/kg	26,4	90,0	40,0	10,0			
			Cu	mg/kg	24,0	90,0	30,0	10,0			
			Ni	mg/kg	18,1	60,0	30,0	10,0			
			Hg	mg/kg	0,1	0,7	0,2	10,0			
			Zn	mg/kg	47,9	450,0	100,0	10,0			
			KW Index	mg/kg	303,0	100,0	50,0	0,0			
			Summe PAK	mg/kg	6,3	12,0	4,0	7,1			
		Schadstoffe in Sekundärholz	As	mg/kg	0,9	3,7	1,2	10,0	7,7		
			Cd	mg/kg	0,4	2,5	0,8	10,0			
			Cl	mg/kg	287,1	775,0	250,0	9,3			
			Cr	mg/kg	8,4	31,0	10,0	10,0			
			F	mg/kg	11,4	46,5	15,0	10,0			
			Hg	mg/kg	0,1	0,2	0,1	4,6			
			Pb	mg/kg	19,0	31,0	10,0	5,7			
			Zn	mg/kg	86,6	434,0	140,0	10,0			
			Summe PAK	mg/kg	6,3	6,2	2,0	0,0			

Tabelle 19-7: Bewertung der österreichischen Abfallwirtschaft – Status Quo 3/3

Bewertungsframework					Status Quo	Minimal-anforderung	Bench-mark	Nutzenpunkte			
AWG Ziele	Unterziele	Indikatorensammlung	Indikatoren	Einheit				Indi-katoren	Indikatorensammlung (Mittelwert)	Unterziele (Mittelwert)	AWG Ziele (Mittelwert)
AWG Ziel 5	Reduktion der Schwertmetalle in Deponien	Reduktion von Schwermetallen	Cr	kg/a	5.290.000	13.100.000	43.300	6,0	6,2	6,2	7,2
			Cd	kg/a	58.000	5.780.000	1.300	9,9			
			Cu	kg/a	2.390.000	12.700.000	21.600	8,1			
			Hg	kg/a	9.100	120.000	1.080	9,3			
			Ni	kg/a	11.200.000	12.200.000	43.300	0,8			
			Pb	kg/a	5.470.000	12.700.000	173.000	5,8			
			Zn	kg/a	8.990.000	13.300.000	173.000	3,3			
	Reduktion langfristiger aus Deponien	Reduktion langfristiger Sickerwasseremissionen	TOC	kg/a	327,0	1.610,0	99,1	8,5	7,9	7,4	
			NH_4	kg/a	1.290,0	8.440,0	2,4	8,5			
			Cd	kg/a	4,4	8,0	0,03	4,6			
			Cr	kg/a	1,1	40,2	0,2	9,8			
			Fe	kg/a	1.290,0	3.370,0	11,3	6,2			
			Hg	kg/a	0,1	0,8	0,01	9,1			
			Pb	kg/a	0,2	40,2	0,2	10,0			
			Zn	kg/a	2,6	40,2	1,7	9,7			
			TOC	kg/2-100 a	5.470,0	60.300,0	9.810,0	10,0			
			NH_4	kg/2-100 a	22.000,0	317.000,0	234,0	9,3			
			Cd	kg/2-100 a	164,0	301,0	3,0	4,6			
			Cr	kg/2-100 a	40,8	1.510,0	16,4	9,8			
			Fe	kg/2-100 a	48.100,0	126.000,0	1.120,0	6,3			
			Hg	kg/2-100 a	4,4	30,1	0,5	8,7			
			Pb	kg/2-100 a	6,4	1.510,0	16,4	10,0			
			Zn	kg/2-100 a	98,8	1.510,0	164,0	10,0			
			TOC	kg/101-1.000 a	325.000,0	1.450.000,0	89.200,0	8,3			
			NH_4	kg/101-1.000 a	67.400,0	7.590.000,0	2.130,0	9,9			
			Cd	kg/101-1.000 a	3.960,0	7.230,0	27,3	4,5			
			Cr	kg/101-1.000 a	2.140,0	36.100,0	149,0	9,4			
			Fe	kg/101-1.000 a	1.200.000,0	3.030.000,0	10.200,0	6,1			
			Hg	kg/101-1.000 a	1.040,0	723,0	5,0	0,0			
			Pb	kg/101-1.000 a	1.400,0	36.100,0	149,0	9,7			
			Zn	kg/101-1.000 a	11.400,0	36.100,0	1.490,0	7,1			
		Reduktion langfristiger Deponiegasemission	CO_2eq	kg CO_2eq/m²/a	1.340,0	20,3	4,1	0,0	3,3		
			CO_2eq	kg CO_2eq/m²/2-100a	4.610,0	2.030,0	400,0	0,0			
			CO_2eq	kg CO_2eq/m²/101-1000a	1.540,0	20.300,0	3.680,0	10,0			

19.6 Ergebnisse Szenarienanalyse

Tabelle 19-8: Ergebnisse der Szenarienanalyse 1/3: absolute Werte

AWG Ziel	Unterziel	Indikatorensammlung	Indikator	Einheit	Status Quo	W1	R2	N3	Benchmark
AWG Ziel 1	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Treibhauspotential	Treibhauspotential	t CO_2eq/a	-3.670.000	-3.250.000	-3.840.000	-2.440.000	454.000
		Versauerungspotential	Versauerungspotential	t SO2eq/a	-14.400	-13.200	-14.500	-5.410	4.820
		Photooxidantienpotential	Photooxidantienpotential	t NMVOC/a	-12.900	-14.600	-14.600	-4.200	748
		Eutrophierungspotential	Eutrophierungspotential	t Peq/a	18	17	18	27	24
AWG Ziel 2	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	klimarelevanten Gase	CO_2	t CO_2/a	1.480.000	2.300.000	1.230.000	4.010.000	381.000
			CH_4	t CH_4/a	8.500	6.640	8.750	9.030	1.200
			N_2O	t N_2O/a	200	16	185	27	98
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe	SO_2	t SO_2/a	882	725	820	1.480	97
			NO_x	t NO_x/a	2.230	2.000	1.800	4.780	794
AWG Ziel 3	Rohstoffe	Metalle	Metalle	t/a	2.050.000	1.940.000	2.090.000	1.110.000	2.180.000
		Glas	Glas	t/a	218.000	218.000	253.000		378.000
		Papier	Papier	t/a	1.400.000	1.400.000	1.580.000		2.400.000
		Kunststoff	Kunststoff	t/a	111.000	7.380	329.000		629.000
		Holz	Holz	t/a	105.000	105.000	584.000		1.110.000
		Verbrauch	Verbrauch	TJ/a	13.800	12.600	12.600	23.400	7.990
	Schonung Deponievolumen	Deponievolumen	Deponievolumen	m³/a	3.650.000	3.630.000	3.170.000	4.280.000	519.000

Tabelle 19-9: Ergebnisse der Szenarienanalyse 2/3: absolute Werte

AWG Ziel	Unterziel	Indikatorensammlung	Indikator	Einheit	Status Quo	W1	R2	N3	Benchmark
AWG Ziel 4	kein Gefährdungspotential	Schadstoffe im Kompost	Cd	mg/kg	0,4	0,4	0,0	0,0	0,7
			Cr	mg/kg	18,6	18,9	0,0	0,0	70,0
			Hg	mg/kg	0,3	0,3	0,0	0,0	0,4
			Ni	mg/kg	10,0	10,0	0,0	0,0	25,0
			Pb	mg/kg	31,8	32,1	0,0	0,0	45,0
			Cu	mg/kg	38,3	39,2	0,0	0,0	70,0
			Zn	mg/kg	147,9	148,8	0,0	0,0	200,0
		Schadstoffe in Sekundärbaustoffe	As	mg/kg	5,7	5,7	5,7	5,7	20,0
			Pb	mg/kg	36,9	36,9	36,9	36,9	30,0
			Cd	mg/kg	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5
			Cr	mg/kg	26,4	26,4	26,4	26,4	40,0
			Cu	mg/kg	24,0	24,0	24,0	24,0	30,0
			Ni	mg/kg	18,1	18,1	18,1	18,1	30,0
			Hg	mg/kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
			Zn	mg/kg	47,9	47,9	47,9	47,9	100,0
			KW Index	mg/kg	303,0	303,0	303,0	303,0	50,0
			Summe PAK	mg/kg	6,3	6,3	6,3	6,3	4,0
		Schadstoffe in Sekundärholz	As	mg/kg	0,9	0,9	0,6	0,0	1,2
			Cd	mg/kg	0,374	0,374	0,3	0,0	0,8
			Cl	mg/kg	287,1	287,1	346,2	0,0	250,0
			Cr	mg/kg	8,4	8,4	8,2	0,0	10,0
			F	mg/kg	11,4	11,4	8,2	0,0	15,0
			Hg	mg/kg	0,11	0,11	0,14	0,0	0,1
			Pb	mg/kg	19,0	19,0	17,8	0,0	10,0
			Zn	mg/kg	86,6	86,6	83,1	0,0	140,0
			Summe PAK	mg/kg	6,3	6,3	6,3	0,0	2,0

Tabelle 19-10: Ergebnisse der Szenarienanalyse 3/3: absolute Werte

AWG Ziel	Unterziel	Indikatorensammlung	Indikator	Einheit	Status Quo	W1	R2	N3	Benchmark
AWG Ziel 5	Reduktion der Schwermetalle in Deponien	Reduktion von Schwermetallen	Cr	kg/a	5.290.000	6.910.000	5.090.000	7.090.000	43.300
			Cd	kg/a	58.000	66.100	54.300	74.600	1.300
			Cu	kg/a	2.390.000	3.590.000	1.950.000	5.370.000	21.600
			Hg	kg/a	9.100	9.220	8.950	6.900	1.080
			Ni	kg/a	11.200.000	12.100.000	10.800.000	52.400.000	43.300
			Pb	kg/a	5.470.000	5.790.000	5.280.000	11.300.000	173.000
			Zn	kg/a	8.990.000	9.150.000	8.690.000	12.100.000	173.000
	Reduktion langfristiger aus Deponien	Reduktion langfristiger Sickerwasseremissionen	TOC	kg/a	327,0	153,0	273,0	151,0	99,1
			NH_4	kg/a	1.290,0	836,0	1.080,0	940,0	2,4
			Cd	kg/a	4,4	4,4	4,4	4,4	0,03
			Cr	kg/a	1,1	0,8	0,9	1,0	0,2
			Fe	kg/a	1.290,0	1.260,0	1.280,0	1.260,0	11,3
			Hg	kg/a	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01
			Pb	kg/a	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
			Zn	kg/a	2,6	2,4	2,2	2,9	1,7
			TOC	kg/2-100 a	5.470,0	4.100,0	4.570,0	4.900,0	9.810,0
			NH_4	kg/2-100 a	22.000,0	19.200,0	18.500,0	23.700,0	234,0
			Cd	kg/2-100 a	164,0	164,0	164,0	163,0	3,0
			Cr	kg/2-100 a	40,8	31,5	34,7	36,0	16,4
			Fe	kg/2-100 a	48.100,0	47.100,0	47.900,0	47.000,0	1.120,0
			Hg	kg/2-100 a	4,4	3,9	4,1	2,2	0,5
			Pb	kg/2-100 a	6,4	5,1	5,4	6,1	16,4
			Zn	kg/2-100 a	98,8	89,4	83,8	108,0	164,0
			TOC	kg/101-1.000 a	325.000,0	405.000,0	269.000,0	100.000,0	89.200,0
			NH_4	kg/101-1.000 a	67.400,0	82.700,0	56.000,0	3.820,0	2.130,0
			Cd	kg/101-1.000 a	3.960,0	3.940,0	3.950,0	2.480,0	27,3
			Cr	kg/101-1.000 a	2.140,0	1.650,0	1.820,0	1.110,0	149,0
			Fe	kg/101-1.000 a	1.200.000,0	1.140.000,0	1.190.000,0	712.000,0	10.200,0
			Hg	kg/101-1.000 a	1.040,0	884,0	962,0	380,0	5,0
			Pb	kg/101-1.000 a	1.400,0	1.120,0	1.170,0	753,0	149,0
			Zn	kg/101-1.000 a	11.400,0	10.600,0	9.460,0	7.720,0	1.490,0
		Reduktion langfristiger Deponiegasemission	CO_2eq	kg CO_2eq/m²/a	1.340,0	463,0	1.160,0		4,1
			CO_2eq	kg CO_2eq/m²/2-100a	4.610,0	1.210,0	4.230,0		400,0
			CO_2eq	kg CO_2eq/m²/101-1000a	1.540,0	203,0	1.540,0		3.680,0

Tabelle 19-11: Ergebnisse der Szenarienanalyse 1/3: Nutzenpunkte

AWG Ziel	Unterziel	Indikatorensammlung	Indikator	Einheit	Nutzenpunkte							
					Status Quo	W1	R2	N3	Status Quo	W1	R2	N3
AWG Ziel 1	Verringerung der Einwirkungen auf die Umwelt	Treibhauspotential	Treibhauspotential	kg CO_2eq/a	10,0	10,0	10,0	10,0	8,6	8,6	8,6	8,5
		Versauerungspotential	Versauerungspotential	kg SO_2eq/a	10,0	10,0	10,0	10,0				
		Photooxidantienpotential	Photooxidantienpotential	kg NMVOC/a	10,0	10,0	10,0	10,0				
		Eutrophierungspotential	Eutrophierungspotential	kg Peq/a	4,4	4,4	4,4	3,9				
AWG Ziel 2	Verringerung von klimarelevanten Emissionen	klimarelevanten Gase	CO_2	kg CO_2/a	4,8	1,0	6,0	0,0	2,8	3,3	3,1	2,1
			CH_4	kg CH_4/a	1,0	3,4	0,7	0,3				
			N_2O	kg N_2O/a	8,0	10,0	8,3	10,0				
	Verringerung von Luftschadstoffen	Luftschadstoffe	SO_2	kg SO_2/a	0,0	1,9	0,7	0,0				
			NO_x	kg NO_x/a	0,0	0,0	0,0	0,0				
AWG Ziel 3	Schonung von Rohstoffen	Metalle	Metalle	kg/a	9,4	8,9	9,6	5,1	4,8	4,5	6,2	1,9
		Glas	Glas	kg/a	5,8	5,8	6,7	0,0				
		Papier	Papier	kg/a	5,8	5,8	6,6	0,0				
		Kunststoff	Kunststoff	kg/a	1,8	0,1	5,2	0,0				
		Holz	Holz	kg/a	0,9	0,9	5,2	0,0				
	Schonung von Energie	Verbrauch	Verbrauch	TJ/a	3,4	3,5	3,5	2,8				
	Schonung von Deponievolumen	Deponievolumen	Deponievolumen	m³/a	6,3	6,3	6,8	5,5				

Tabelle 19-12: Ergebnisse der Szenarienanalyse 2/3: Nutzenpunkte

AWG Ziel	Unterziel	Indikatorensammlung	Indikator	Einheit	Nutzenpunkte							
					Status Quo	W1	R2	N3	Status Quo	W1	R2	N3
AWG Ziel 4	kein Gefährdungspotential	Schadstoffe im Kompost	Cd	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0	8,7	8,7	8,6	9,5
			Cr	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Hg	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Ni	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Pb	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Cu	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Zn	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
		Schadstoffe in Sekundärbaustoffe	As	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Pb	mg/kg	9,0	9,0	9,0	9,0				
			Cd	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Cr	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Cu	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Ni	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Hg	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Zn	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			KW Index	mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0				
			Summe PAK	mg/kg	7,1	7,1	7,1	7,1				
		Schadstoffe in Sekundärholz	As	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Cd	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Cl	mg/kg	9,3	9,3	8,2	10,0				
			Cr	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			F	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Hg	mg/kg	4,6	4,6	1,9	10,0				
			Pb	mg/kg	5,7	5,7	6,3	10,0				
			Zn	mg/kg	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Summe PAK	mg/kg	0,0	0,0	0,0	10,0				

Tabelle 19-13: Ergebnisse der Szenarienanalyse 3/3: Nutzenpunkte

AWG Ziel	Unterziel	Indikatorensammlung	Indikator	Einheit	Nutzenpunkte							
					Status Quo	W1	R2	N3	Status Quo	W1	R2	N3
AWG Ziel 5	Reduktion der Schwermetalle in Deponien	Reduktion von Schwermetallen	Cr	kg/a	6,0	4,7	6,1	4,6	7,2	7,3	7,3	7,8
			Cd	kg/a	9,9	9,9	9,9	9,9				
			Cu	kg/a	8,1	7,2	8,5	5,8				
			Hg	kg/a	9,3	9,3	9,3	9,5				
			Ni	kg/a	0,8	0,1	1,2	0,0				
			Pb	kg/a	5,8	5,5	5,9	1,1				
			Zn	kg/a	3,3	3,2	3,5	0,9				
	Reduktion langfristiger aus Deponien	Reduktion langfristiger Sickerwasseremissionen	TOC	kg/a	8,5	9,6	8,8	9,7				
			NH_4	kg/a	8,5	9,0	8,7	8,9				
			Cd	kg/a	4,6	4,6	4,6	4,6				
			Cr	kg/a	9,8	9,8	9,8	9,8				
			Fe	kg/a	6,2	6,3	6,2	6,3				
			Hg	kg/a	9,1	9,3	9,2	9,3				
			Pb	kg/a	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Zn	kg/a	9,7	9,8	9,8	9,7				
			TOC	kg/2-100 a	10,0	10,0	10,0	10,0				
			NH_4	kg/2-100 a	9,3	9,4	9,4	9,3				
			Cd	kg/2-100 a	4,6	4,6	4,6	4,6				
			Cr	kg/2-100 a	9,8	9,9	9,9	9,9				
			Fe	kg/2-100 a	6,3	6,3	6,3	6,3				
			Hg	kg/2-100 a	8,7	8,9	8,8	9,4				
			Pb	kg/2-100 a	10,0	10,0	10,0	10,0				
			Zn	kg/2-100 a	10,0	10,0	10,0	10,0				
			TOC	kg/101-1.000 a	8,3	7,7	8,7	9,9				
			NH4	kg/101-1.000 a	9,9	9,9	9,9	10,0				
			Cd	kg/101-1.000 a	4,5	4,6	4,5	6,6				
			Cr	kg/101-1.000 a	9,4	9,6	9,5	9,7				
			Fe	kg/101-1.000 a	6,1	6,3	6,1	7,7				
			Hg	kg/101-1.000 a	0,0	0,0	0,0	4,8				
			Pb	kg/101-1.000 a	9,7	9,7	9,7	9,8				
			Zn	kg/101-1.000 a	7,1	7,4	7,7	8,2				
		Reduktion langfristiger Deponiegasemission	CO_2eq	kg CO_2eq/m²/a	0,0	0,0	0,0	10,0				
			CO_2eq	kg CO_2eq/m²/2-100a	0,0	5,0	0,0	10,0				
			CO_2eq	kg CO_2eq/m²/101-1000a	10,0	10,0	10,0	10,0				