EMPA

Materials Science & Technology

u b

UNIVERSITÄT BERN

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Abfall und Rohstoffe
Herr Robin Quartier

CH-3003 Bern

Bestimmung des fossilen CO_2 Anteils an drei Kehrichtverbrennungsanlagen mittels ^{14}C Methode und Bilanzenmethode

Projekt:	FOCAWIN (Fossil carbon dioxide emissions from waste incineration facilities)
Auftraggeber:	Dr. R. Quartier, BAFU
Ausführung der Messungen:	KVA A: 9. Oktober - 9. November 2006
	KVA B: 13. November - 15. Dezember 2006
	KVA C: 15. Januar - 16. Februar 2007
Anzahl Seiten:	30
Anhang:	Berechnung des Referenzwertes für biogenes Material (^{14}C Methode)
	Chemische Zusammensetzung der Stoffgruppen Biogen und Fossil (Bilanzenmethode)

Dübendorf, 18. Juni 2007

Dr. J. Mohn

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Abteilung Luftfremdstoffe / Umwelttechnik
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf

Bern, 18. Juni 2007

Dr. S. Szidat

Universität Bern
Labor für Radio- und Umweltchemie
Freiestrasse 3
3012 Bern

1 Einleitung und Zusammenfassung

Ziel des Projekts FOCAWIN (fossil carbon dioxide emissions from waste incineration facilities) ist es, Methoden zur Bestimmung der fossilen CO_2 Emissionen aus Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) zu evaluieren. Im vorliegenden Synthesebericht wird die exemplarische Anwendung von zwei verschiedenen Ansätzen an drei KVAs beschrieben. Auf der einen Seite wurde die so genannte Bilanzenmethode der TU Wien verwendet, welche den Anteil fossiler CO_2 Emissionen mit Hilfe einer Reihe von Bilanzgleichungen aus verschiedenen Betriebsgrössen der Anlage berechnet. Des Weiteren wurde eine zweite Methode eingesetzt, welche auf der Messung des radioaktiven Isotops Kohlenstoff-14 (^{14}C, Halbwertzeit: 5780 Jahre) im CO_2 des Abgases der Kehrichtverbrennungsanlage beruht. Diese beiden Ansätze haben zahlreiche Vorteile gegenüber den bisher angewandten Methoden, insbesondere der Handverlesung und der Löslichkeitsmethode.

Zur Anonymisierung der Daten wurden die Anlagen mit den Buchstaben A, B und C bezeichnet. Die detaillierten Messergebnisse zu den einzelnen Anlagen sind in je zwei separaten Messberichten zusammengefasst. Der vorliegende Synthesebericht soll einen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Messungen geben. Er beinhaltet eine Methodenbeschreibung, die Zusammenstellung der Messergebnisse und deren Diskussion.

Der mit den beiden Methoden für die Probenahmeintervalle bestimmte mittlere Anteil der fossilen CO_2 Emissionen war mit einer Ausnahme unter 50 % und zeigte für alle Anlagen eine sehr gute Übereinstimmung (Tabelle 1). Mit der Bilanzenmethode wurden etwa 1 – 2 % höhere fossile CO_2 Emissionen ermittelt, die Differenzen sind jedoch verglichen mit den Messunsicherheiten der beiden Verfahren nicht signifikant. Der Anteil der fossilen CO_2 Emissionen aller Anlagen lag damit deutlich über dem Wert von 40 %, der vom BAFU im Nationalen Treibhausgasinventar der Schweiz verwendet wird.

Auch die mit den beiden Methoden über einzelne Probenahmeintervalle von 3 bis 4 Tagen berechneten Anteile der fossilen CO_2 Emissionen zeigten meist eine sehr gute Übereinstimmung und einen vergleichbaren zeitlichen Verlauf. Generell waren die Schwankungen zwischen den mit der ^{14}C Methode bestimmten Einzelwerten höher.

Tabelle 1 Zusammenstellung der Messergebnisse der untersuchten Anlagen

	Fossile CO_2 Emissionen [%]			
	KVA A	KVA B	KVA C	Mittelwert
^{14}C Methode	46.9 ± 2.6	47.6 ± 8.2	48.4 ± 6.9	47.6 ± 1.5
Bilanzenmethode	48.1 ± 2.6	48.2 ± 2.8	50.3 ± 3.6	48.9 ± 2.4
Differenz	-1.2	-0.7	-1.8	-1.2

Verdankungen:

Die Autoren des vorliegenden Berichts bedanken sich beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die Mitfinanzierung des Projekts. Unser Dank gilt im besonderen Herrn Robin Quartier, Abteilung Abfall und Rohstoffe, der dies mit seinem grossen Einsatz ermöglicht hat. Die vorliegende Untersuchung war nur unter Mithilfe der Anlagenbetreiber sowie verschiedener Ansprechpartner der beprobten Anlagen möglich. Unser Dank gilt hier insbesondere Hr. P. Ender, Hr. H. Engeli, Hr. U. Freundorfer, Hr. H. Fürsinger, Hr. E. Schönmann, Hr. H. Siegenthaler, Hr. W. Stierli, Hr. H. Suter, Hr. H. Wanger und Hr. P. Zeller.

Da die Anlagenbetreiber einer namentlichen Nennung der Anlagen zugestimmt haben, erfolgt an dieser Stelle eine Zuordnung der im Bericht verwendeten Abkürzungen:

KVA A: KVA Buchs; KVA B: KVA Limmattal; KVA C: KVA Turgi

Beteiligte Personen:

^{14}C Methode	Dr. J. Mohn, Dr. L. Emmenegger (CO_2 Probenahme, Bericht; Empa)
	Dr. S. Szidat (CO_2 Freisetzung, Auswertung, Bericht; Universität Bern)
	Dr. G. Bonani (^{14}C Analytik; ETH/PSI Labor für Ionenstrahlphysik)
Bilanzenmethode	Dr. J. Fellner, Dl. O. Cencic, Prof. Dr. H. Rechberger (TU Wien)
	Dr. J. Mohn (CO_2 und O_2 Analytik, Datenerhebung; Empa)
Projektleitung	Dr. J. Mohn (Empa)
Synthesebericht	Dr. J. Mohn, Dr. L. Emmenegger (Empa)
	Dr. S. Szidat (Universität Bern)

2 Methodenbeschreibung

2.1 Messmethoden

2.1.1 ^{14}C Methode

2.1.1.1 Konzept

Die ^{14}C Methode beruht auf der Messung des radioaktiven Isotops Kohlenstoff-14 (^{14}C, Halbwertzeit: 5780 Jahre) im CO_2 des Abgases der Kehrichtverbrennungsanlage. Diese Isotopenmessung ermöglicht eine Unterscheidung von fossilem Kohlenstoff, in dem wegen seines hohen Alters das ursprünglich vorhandene ^{14}C zerfallen ist, und modernem (biogenem) Kohlenstoff, der den aktuellen $^{14}C/^{12}C$-Level aufweist. Damit ist der biogene Anteil im Kohlendioxid proportional zu dessen ^{14}C Gehalt und kann auf einfache und transparente Weise aus diesem berechnet werden. Für diese Berechnung wird lediglich der mittlere ^{14}C Gehalt und damit das Alter der biogenen Brennstofffraktion benötigt. Die Abschätzung dieser Grösse wird in Kapitel 2.1.2.4 näher betrachtet.

Die Bestimmung des biogenen bzw. fossilen Anteils mit der ^{14}C Methode ist gegenwärtig von grosser Aktualität, da in einer Arbeitsgruppe (WG 3) des CEN/TC 343 (Technische Komission des Europäischen Komitees für Normung) eine technische Spezifikation zur Bestimmung des Biomasseanteils in aufbereiteten festen Ersatzbrennstoffen (SRF, solid recovered fuel) erarbeitet wird [1]. Eine amerikanische Testmethode zur Bestimmung des Biomasseanteils in Feststoffen mit der ^{14}C Methode besteht bereits [2].

2.1.1.2 Vorgehen

In diesem Kapitel finden sich Angaben zur CO_2 Probenahme auf den Anlagen, dessen Freisetzung im Labor, der ^{14}C Bestimmung mit dem Beschleunigermassenspektrometer und der anschliessenden Berechnung des fossilen CO_2 Anteils. Details sind den Teilberichten der Kehrichtverbrennungsanlagen und dem Bericht FOCAWIN 1. Teilprojekt (Methodenentwicklung) zu entnehmen.

CO_2 Probenahme

Auf jeder der Kehrichtverbrennungsanlagen wurde im Zeitraum von etwa einem Monat über 9 oder 10 Zeitintervalle von 3 bis 4 Tagen jeweils eine repräsentative CO_2 Probe gesammelt (Abbildung 1, I). Hierfür wurde ein konstanter Volumenstrom von 10 ml min^{-1} des partikelfreien, heissen und feuchten Abgases durch zwei hintereinander geschaltete Waschflaschen (A und B) mit je 100 ml 4 M wässrige KOH Lösung geleitet und das CO_2 absorbiert (1a). Den beiden Waschflaschen nachgeschaltet war ein Tropfenfänger mit ca. 100 ml Silicagel PS (1b). Das Abgas wurde durch einen Massenflussregler (2) mit Hilfe einer Membranpumpe angesaugt (3). Ein Durchbruch von CO_2 durch die Absorptionslösungen wurde mit Hilfe eines CO_2-Sensors ausgeschlossen (4). Der Volumenstrom durch den Massenflussregler und das Ausgangssignal des CO_2 Sensors wurden mit einem Datalogger (5) aufgezeichnet. Der Volumenstrom wurde nachträglich mit dem absorbierten CO_2 Volumen korrigiert.

Die Verschmutzung der Absorptionslösung durch Kohlendioxid aus der Umgebungsluft wurde mit Hilfe eines Feldblindexperiments abgeschätzt. Hierzu wurde entsprechend dem oben

beschriebenen Vorgehen über 3 Tage Stickstoffgas durch die Absorptionslösungen gesaugt und das absorbierte CO_2 freigesetzt. Die absorbierte CO_2 Molmenge entsprach dem Chemikalienblindwert der verwendeten Absorptionslösung und wurde bei der Auswertung berücksichtigt. Da dieser Term nur etwa 1 % der aus dem Abgas absorbierten Kohlendioxidmenge entsprach, wurde die zugehörige Unsicherheit bei der Abschätzung der Messunsicherheit nicht berücksichtigt.

CO_2 Freisetzung

Das Kohlendioxid von sechs ausgewählten Absorptionsproben wurde im Labor aus der Absorptionslösung ausgetrieben (Abbildung 1, II). Bei drei dieser Proben wurde lediglich das Kohlendioxid aus der 1. Waschflasche (A) freigesetzt. Dies genügt um den $^{14}CO_2$ Gehalt im Abgas zu bestimmen. Zur Kontrolle der Absorptionsrate wurde für drei Intervalle das CO_2 der 2. Waschflasche (B) separat ausgetrieben.

Zur CO_2 Freisetzung wurden < 1 ml der alkalischen Absorptionslösung mit 1 ml 4 M Phosphorsäure (p.a., Merck) in einer evakuierten Vakuumapparatur angesäuert (5). Anschliessend wurde der Wasserdampfs in einer Trockeneis / Ethanol – Kühlfalle entfernt (4) und das CO_2 in einem kalibrierten Gasvolumen kryofokusiert (3). Nach dem Auftauen wurde die freigesetzte CO_2 Molmenge entsprechend dem idealen Gasgesetz manometrisch bestimmt. Für den Transport an die ETH und die anschliessende ^{14}C Messung wurde das CO_2 in eine andere Ampulle umgefüllt und abgeschmolzen. (2).

Durch Vergleich der in den Absorptionslösungen zurückgehaltenen und der freigesetzten CO_2 Molmengen konnte die Wiederfindungsrate abgeschätzt werde. Die absorbierte CO_2 Molmenge wurde aus der mittleren CO_2 Konzentration, der Absorptionsdauer und dem Volumenstrom durch die Absorber berechnet. Im Mittel wurden über 95 % des CO_2 in beiden Waschflaschen wiedergefunden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass Absorption und Freisetzung quantitativ verlaufen sind und keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Bestimmung des ^{14}C Gehalts

Der Gehalt an ^{14}C im Kohlendioxid wurde anschliessend am PSI/ETH Beschleunigermassenspektrometer (AMS) (Abbildung 2) bestimmt [3]. Bei diesem aufwendigen Messverfahren werden einzelne Atome des langlebigen Radionuklids ^{14}C neben 10^{14} Atomen des stabilen Hauptnuklids ^{12}C massenspektrometrisch detektiert. Die Unterdrückung von isobaren Interferenzen der Masse 14 (z.B. durch ^{14}N oder ^{13}CH) um mehr als 10 Grössenordnungen wird durch den Einsatz unterschiedlicher physikalischer Filter erreicht.

Die $^{14}C/^{12}C$-Verhältnisse der CO_2 Proben wird dabei in „Anteilen modernen Kohlenstoffs“ oder f_M (von „fractions of modern carbon“) angegeben. Der Bezug auf das Referenzjahres 1950 wird durch den Vergleich mit einem Standardreferenzmaterial (SRM 4990B, f_M = 1.0526) erreicht [4].

$$f_{M,\,Probe} = \frac{(^{14}C/^{12}C)_{Probe}}{(^{14}C/^{12}C)_{AD1950}} \qquad (1)$$

Abbildung 1 Schematische Darstellung der ^{14}C Methode zur Bestimmung des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen

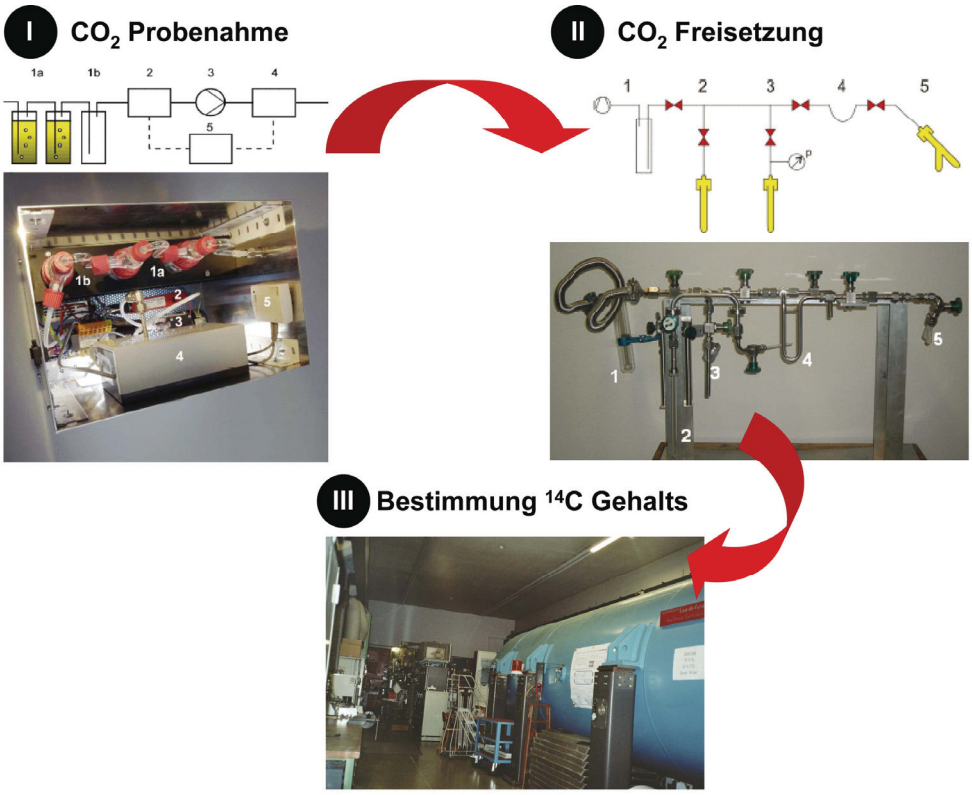
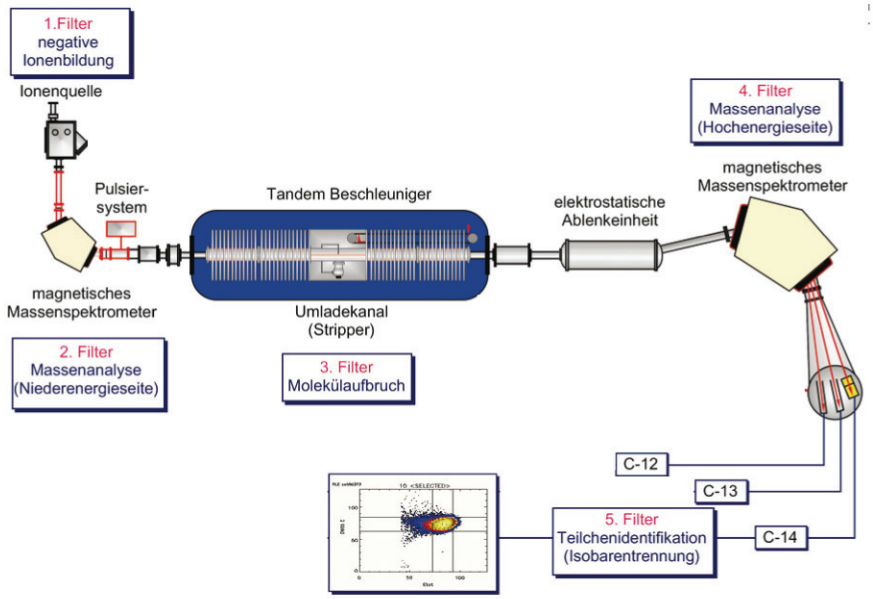


Abbildung 2 Bestimmung des ^{14}C Gehalts mit dem Beschleunigermassenspektrometer



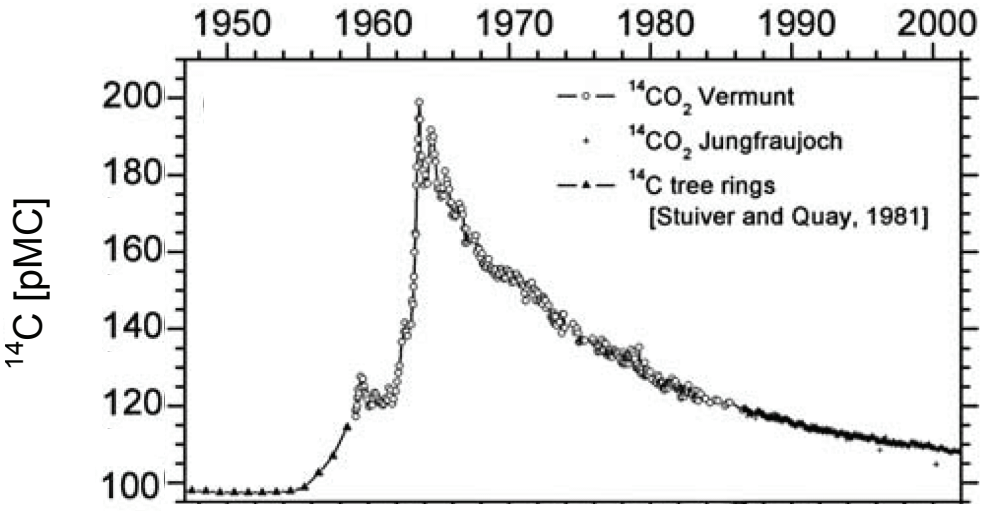
Berechnung der biogenen bzw. fossilen CO_2 Emissionen

Der „Anteil moderner Kohlenstoff" f_M kann auch in pMC, d.h. Prozent moderner Kohlenstoff (oder percent modern carbon) angegeben werden (pMC=100 * f_M). Während f_M eine exakt definierte Messgrösse ist, interessiert in der praktischen Anwendung der Anteil des biogenen bzw. fossilen Kohlenstoffs (% Bio C bzw. % Fos C).

$$\%\text{Bio C} = 100\% - \%\text{ Fos C} = (f_{M,Probe} / f_{M,bio}) * 100\% \quad (2)$$

Für diese Berechnung benötigt man $f_{M,bio}$, d.h. den ^{14}C Gehalt des biogenen Materials, im konkreten Fall der biogenen Fraktion des Brennstoffs. Diese ist abhängig vom ^{14}C Gehalt des atmosphärischen Kohlendioxids während des Wachstums des Brennstoffs und damit wesentlich von dessen Alter [5]. Der ^{14}C Gehalt des CO_2 erreichte in den 60er Jahren auf Grund der Atombombenversuche ein Maximum von etwa 200 pMC und hat seither durch den Austausch der Atmosphäre und durch die CO_2 Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe auf nahezu 100 pMC abgenommen [6] (Abbildung 3).

Abbildung 3 Veränderung des ^{14}C Gehalts des atmosphärischen CO_2 in Folge der Atombombenversuche in den 60er Jahren, der fossilen CO_2 Emissionen und dem Austausch der Atmosphäre (Graphik modifiziert aus I. Levin et al. [6])



Der biogene Brennstoffanteil einer KVA besteht aus einem Mix von frischem organischem Material und einer Fraktion Papier/Pappe/Holz, welche ein grösseres Alter aufweist. Gemäss einer Untersuchung des BAFU kann abschätzen werden, dass das Mischungsverhältnis dieser beiden Fraktionen im Hauskehricht bei 10:90 bis 30:70 liegt [7]. Auf Grund seines geringen Alters wurde angenommen, dass der ^{14}C Gehalt des frischen organischen Materials mit 105.3 ± 2 pMC (Unsicherheit 1 σ) dem des aktuellen atmosphärischen CO_2 entspricht [8, 9]. Die Unsicherheit beinhaltet natürliche Variationen des $^{14}CO_2$ und eine konservative Abschätzung des Alters der Proben. Für die Fraktion Papier/Pappe/Holz des Hauskehrichts wurde ein ^{14}C Gehalt von 113.9 ± 3 pMC angenommen [5, 10]. Die Annahme geht davon aus, dass dieses Brennstoffsortiment aus einem Mix von 10, 20, 40, 70 und 85 jähriger Biomasse im Verhältnis

20%, 20%, 40%, 10% und 10% besteht, welche 2004 geerntet wurde. Die entsprechende Zusammensetzung wurde auf Grund einer Umfrage bei einer Reihe von Zellstoff- und Papierherstellern sowie verschiedener Experten festgelegt (siehe Anhang Tabelle 12). Für zukünftige Bestimmungen könnte dieser Wert eventuell noch genauer abgeschätzt werden, indem beispielsweise detaillierte Untersuchungen über die Altersstruktur von Bau- und Sperrholz (Möbel) durchgeführt werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand hätte dies jedoch keine relevante Auswirkung auf das Endergebnis und würde lediglich eine Optimierung bzw. zusätzliche Verifikation darstellen.

Hauskehricht sowie der vergleichbar zusammengesetzte Siedlungsabfall des Industriekehrichts stellen etwa 60 % der gesamten Müllmenge dar. Der Industriekehricht kann neben den Sortimenten frische Biomasse und Papier/Pappe welche in der obigen Abschätzung enthalten sind nach Befragung verschiedener Betreiber von Kehrichtverbrennungsanlagen und einer BAFU Publikation [11] auch einen Anteil von 10 - 25 % Holz, insbesondere aus Bauabfällen, enthalten. Da dieses Sortiment sehr heterogen zusammengesetzt ist (Verpackungsmaterialien, Abbruchholz, etc.) wurde angenommen, dass dessen mittlerer ^{14}C Gehalts dem der biogenen Brennstofffraktion des Hauskehrichts entspricht. Die maximale Abweichung von dieser Annahme, z. B. bei Verbrennung eines sehr grossen Monosortiments von Bauholz (40 % des Industriekehrichts) mit sehr hohem ^{14}C Gehalt (120 pMC, entsprechend 70 jährigen Bäumen, welche etwa 1965 gefällt wurden) wurden mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse in der Messunsicherheit des mittleren ^{14}C Gehalts der biogenen Brennstofffraktion berücksichtigt.

Unter den oben genannten Annahmen errechnet sich $f_{M,bio}$, der mittlere ^{14}C Gehalt der biogenen Fraktion des KVA Brennstoffs zu 112.2 ± 4 pMC (Unsicherheit 1 σ). Dieser Wert wurde bei der Bestimmung des biogenen bzw. fossilen Anteils des CO_2 zugrunde gelegt. Details zur Berechnung des ^{14}C Gehalts der biogenen Fraktion des Brennstoffsortiments sind im Anhang angegeben.

Messunsicherheit

Die kombinierte Messunsicherheit des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen kann auf Grund seiner sehr transparenten Berechnungsweise (siehe (2)) aus der Unsicherheit des mit dem Beschleunigermassenspektrometer bestimmten ^{14}C Gehalts f_M und der Unsicherheit des mittleren Alters bzw. des ^{14}C Gehalts der biogenen Brennstofffraktion $f_{M,bio}$ abgeschätzt werden.

Die Messunsicherheit des Beschleunigermassenspektrometers ist mit ≤ 0.8 % (Unsicherheit 1 σ) vergleichsweise gering. Die Hauptunsicherheit der ^{14}C Methode besteht in der Abschätzung des ^{14}C Gehalts der biogenen Brennstofffraktion. Diese wurde aus dem Verhältnis frischer Biomasse zu Papier/Pappe/Holz und deren jeweiligem ^{14}C Gehalt berechnet. Die Fraktion Papier/Pappe/Holz ist ihrerseits aus Biomasse unterschiedlichen Alters zusammengesetzt. Ausserdem wurde die Erhöhung der Messunsicherheit bei Verbrennung eines Monosortiments von Bauholz abgeschätzt und berücksichtigt. Die Unsicherheiten der einzelnen Eingangsgrösse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Aus den gegebenen Werten kann die kombinierte erweiterte Messunsicherheit (95% Vertrauensintervall) des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen zu 3.6 % (absolut), die relative Messunsicherheit zu 7.2 % abgeschätzt werden.

Tabelle 2 Abschätzung der Unsicherheiten bei der Berechnung des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen (% FosC) nach der ^{14}C Methode

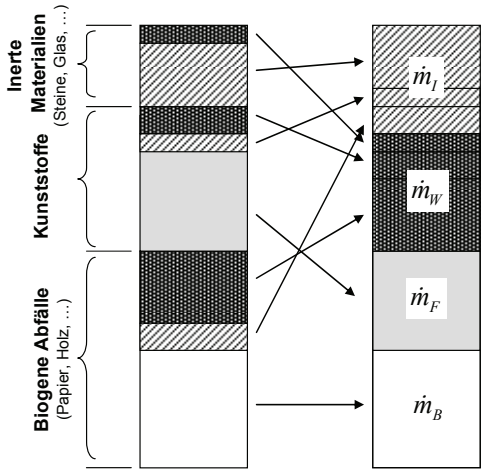
Grösse	Bestimmungsmethode	absolute (relative) Messunsicherheit (Unsicherheit 1 σ)	Ermittlung der Unsicherheit
% FosC	Berechnet gemäss: % FosC = 100 % - ($f_M/f_{M,bio}$ x 100 %)	1.8 % (3.6 %)	Berechnet aus Unsicherheit von f_M und $f_{M,bio}$ gemäss Fehlerfortpflanzungsgesetz
f_M	Messwert des AMS	0.4 – 0.5 pMC (0.6 – 0.8 %)	Anwendung der Poisson-Statistik für zählende Messverfahren, bestätigt durch Standardabweichung wiederholter Messungen
$f_{M, bio}$	Berechnet gemäss: $f_{M, bio} = \beta$ x $f_{M,bio,H}$ + (1-β) x $f_{M,bio,B}$	4 pMC (3.5 %)	Berechnet aus Unsicherheit von β, $f_{M,bio,B}$ und $f_{M,bio,H}$ gemäss Fehlerfortpflanzungsgesetz; Ausserdem wurde der Einfluss bei Verbrennung eines Monosortiments von Bauholz berücksichtigt (Sensitivitätsanalyse).
$(1-\beta)$ bzw. β Anteil frische Biomasse bzw. Papier / Pappe / Holz	Abschätzung auf Grundlage von [7, 12] (20 : 80)	6 % (30 %)	Abschätzung der maximalen Unsicherheit
$f_{M,bio,B}$ Referenzwert (pMC) für frische Biomasse	$^{14}CO_2$ Jahresmittelwert am Standort Schauinsland gemäss [8] (105.3 pMC)	2 pMC (2 %)	Abschätzung der lokalen und zeitlichen Variationen des $^{14}CO_2$
$f_{M,bio,H}$ Referenzwert (pMC) für Holz & Papier / Pappe	Berechnet aus der Alterstruktur der Bäume welche gemäss einer Umfrage bei versch. Experten (Anhang) zur Hestellung von Papier/Pappe eingesetzt werden und dem ^{14}C Gehalt dieser Biomasse berechnet gemäss [5]	3 pMC (2.6 %)	Abschätzung der maximalen Unsicherheit der Zusammensetzung des Papier/Pappe/Holz Sortiments

2.1.2 Bilanzenmethode

2.1.2.1 Konzept

Die methodische Grundlage für die Ermittlung der fossilen Kohlendioxidemissionen bildet die am 30.3.2005 zum österreichischen Patent [13] bzw. am 30.3.2006 zum europäischen Patent [14] angemeldete Bilanzenmethode („Verfahren zur Ermittlung der Anteile biogener und fossiler Energieträger sowie biogener und fossiler Kohlendioxidemissionen"). Das Verfahren stützt sich auf den Abgleich von theoretischen Bilanzgleichungen mit messbaren Betriebsgrössen der Verbrennungsanlage. Jede der Bilanzgleichungen charakterisiert eine bestimmte Abfalleigenschaft (z.B.: Aschegehalt, Kohlenstoffgehalt, Heizwert, …). Für die Erstellung der Bilanzgleichungen werden die Materialien des Abfallinputs gedanklich in vier Stoffgruppen unterteilt: inerte (m_I), biogene (m_B) und fossile (m_F) Materialien sowie Wasser (m_W). Die inerte Stoffgruppe beinhaltet dabei per Definition die Trockensubstanz aller nicht brennbaren Abfallbestandteile, wie beispielsweise Glas, Steine, Aschen oder anorganische Anteile in Bioabfällen bzw. Kunststoffen (z.B.: Kaolin in Papier, bzw. anorganische Additive in Kunststoffen). In der biogenen bzw. fossilen Stoffgruppe m_B bzw. m_F ist die wasser- und aschefreie, organische Substanz subsumiert (siehe Abbildung 4).

Abbildung 4 Unterteilung des Abfalls in 4 Stoffgruppen: m_B, m_F, m_W und m_I, (B … biogen, F … fossil, W … Wasser und I … inert)

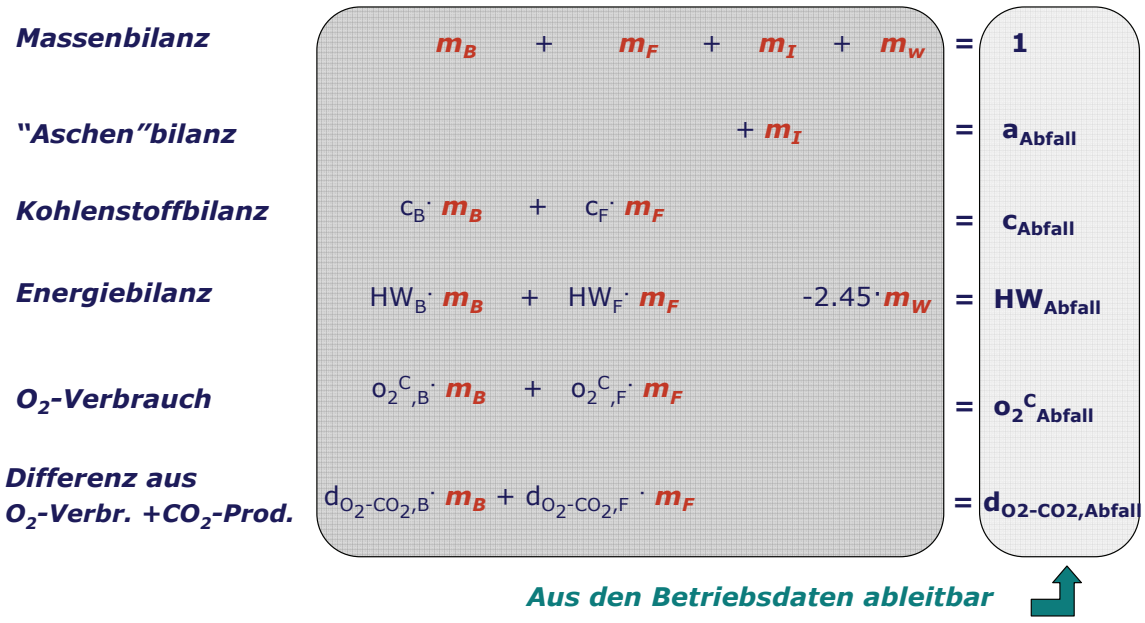


2.1.2.2 Vorgehen

Gleichunssysteme

Insgesamt werden 6 Bilanzgleichungen herangezogen:

- Massenbilanz
- Aschenbilanz
- Kohlenstoffbilanz
- Energiebilanz
- Bilanz der Differenz aus Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidproduktion
- Sauerstoffverbrauchsbilanz



Die Unbekannten in diesem Gleichungssystem sind die Massenanteile an inerten, biogenen und fossilen Stoffen sowie Wasser (m_I, $m_{B,}$, m_F und m_w). Die Koeffizienten der Unbekannten (c_B, c_F, HW_B, HW_F, $_{O2}c_B$, $_{O2}c_F$, $d_{O2\text{-}CO2,B}$, $d_{O2\text{-}CO2,F}$) lassen sich direkt aus der chemischen Zusammensetzung der biogenen und fossilen Stoffgruppen ($m_{B,}$, m_F) ableiten, wobei die chemische Zusammensetzung der beiden Stoffgruppen durch die im Kehricht enthaltenen biogenen und fossilen Materialien gegeben ist (z. B.: biogene Materialien: Holz, Papier, Küchenabfälle; und fossile Materialien: verschiedene Kunststoffsorten wie beispielsweise PE, PE, PVC, PS, …). Die mittleren Elementargehalte (samt Unsicherheiten) von C, H, O, N und S der biogenen und fossilen Materialien sind im Anhang zusammengefasst. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Gleichungen ist Fellner et al. 2007 [15] bzw. Rechberger et al. 2007 [16] zu entnehmen.

Beim verwendeten Gleichungssystem der Bilanzenmethode handelt es sich um ein überbestimmtes System (mehr Gleichungen als Unbekannte), das mit Hilfe von nichtlinearer Ausgleichsrechnung zu lösen ist. Dabei wird eine iterative Methode der schrittweisen linearen Ausgleichsrechung angewandt. Die Berechnung beinhaltet vorab Plausibilitätstest der Eingangsparameter (Betriebsparameter der Anlage). Die anschliessenden Berechnungen

gemäss Bilanzenmethode werden nur für jene Zeiträume durchgeführt in denen die Plausibilitätstests der Parameter positiv verlaufen.

Datenerhebung

Für die Berechnungen werden neben den Stoffdaten die in Tabelle 3 angeführten Betriebsparameter der Kehrichtverbrennungsanlage benötigt. Diese Daten stehen in der Regel an den Anlagen im Routinebetrieb zur Verfügung. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden die einzelnen Parameter von der Empa auf den Anlagen erhoben. Mittelwerte der Betriebsparameter über die Messperioden sind in Kapitel 2.2 angegeben.

Tabelle 3 Benötigte Betriebsparameter der Kehrichtverbrennungsanlagen

Betriebsparameter	Bemerkungen
Verbrannte Müllmenge [Tonnen]	Summenwert über eine Stunde
Schlacke [Tonnen] (inkl. mittlerer Wassergehalt) Asche + Filterkuchen [Tonnen] (inkl. mittlerer Wassergehalt)	Da eine Zuordnung zur verbrannten Müllmenge schwierig bzw. unmöglich ist, wurden Jahresmittelwerte verwendet
Reingasmenge [Nm³] trocken O_2 – Konz. im Reingas [Vol-% trocken] CO_2 – Konz. im Reingas [Vol-% trocken]	Stundenmittelwerte [1)]
Dampfproduktion [Tonnen]	Stundenmittelwert [2)]
Mittl. Dampfdruck im Kessel [bar] Mittl. Dampftemperatur im Kessel [°C] Mittl. Druck [bar] bzw. mittl. Temperatur [°C] des Speisewassers	Stundenmittelwert [3)]
Wirkungsgrad des Dampfkessels [-]	Aus zusätzlich erhobenen Betriebsparametern berechnet

1) siehe Seite 14
2) Anlage A nur 4 Stunden- bzw. Tagesmittelwerte möglich
3) Anlage A nur Tagesmittelwerte

Bestimmung der O_2 und CO_2 Konzentration

Da die O_2 und CO_2 Konzentrationen auf den Anlagen nicht bzw. nicht in ausreichender Qualität zur Verfügung standen, wurden diese von der Empa bestimmt. Hierzu wurde ein Teilvolumenstrom des Abgases über ein beheiztes Messgasfilter und eine beheizte Teflonleitung entnommen. Das Abgas wurde mit einem Messgaskühler mit integrierter Messgaspumpe mit einem Volumenstrom von ca. 2 l min^{-1} durch die Probenahmeeinrichtung angesaugt und auf einen Taupunkt von ca. 4°C getrocknet.

Nach dem Messgaskühler wurde das trockene und drucklose Messgas parallel von zwei CO_2 Analysatoren Typ UNOR 600 bzw. 610 (Maihak AG) angesaugt und über je einen O_2 Analysator Typ 570 A (Servomex) geleitet. Der Volumenstrom über den Messgaskühler wurde so eingestellt, dass ein „Overflow“ von etwa 1 – 1.5 l min^{-1} resultierte, welcher über einen Flowmeter abgeleitet wurde.

Die CO_2 und O_2 Analysatoren wurden einmal täglich mit einem zertifizierten Referenzgas (10 % CO_2, 11 % O_2, Unsicherheit 0.5 %) kalibriert. Hierzu wurde über einen Massenflussregler und ein per Zeitschaltuhr gesteuertes Magnetventil nach dem Messgaskühler ein Gasfluss von etwa 1 l min^{-1} aufgegeben. Etwa alle drei Tage, wurde die Dichtigkeit der gesamten Probenahme-apparatur mit Hilfe eines Stickstoffgasflusses über den beheizten Filter (ca. 3 l min^{-1}) überprüft. Auf Grund des beschriebenen besonders sorgfältigen Vorgehens konnte eine relative Mess-unsicherheit für beide Messgrössen von 3 % erzielt werden (Unsicherheit 2 σ).

Abbildung 5 Verwendetes Setup zur Bestimmung der O_2 und der CO_2 Konzentration

Messunsicherheit

Im Rahmen der Berechungen der Messunsicherheit der Bilanzenmethode werden die Unsicherheiten sämtlicher Eingangsdaten berücksichtigt. Diese umfassen sowohl die Betriebsgrössen der Anlage (siehe Tabelle 3) als auch die chemische Zusammensetzung der Stoffgruppen (siehe Tabelle 13). Neben den Unsicherheiten werden auch Abhängigkeiten einzelner Parameter voneinander (beispielsweise zwischen dem Kohlenstoff- und dem Wasserstoffgehalt fossiler Materialien) mitberücksichtigt (siehe Anhang Abbildung 9).

Die Tatsache, dass alle Koeffizienten der Bilanzgleichungen mit Unsicherheiten behaftet sind, führt zu einem nicht linearen Gleichungssystem, das aus 6 Gleichungen und 4 Unbekannten besteht. In einem ersten Lösungsschritt wird dieses System iterativ mittels linearer Ausgleichsrechnung so ausgeglichen, dass eventuelle Widersprüche in den gegebenen Werten (Betreibsgrössen und Literaturdaten) beseitigt werden. Der Datenausgleich hat auch zur Folge, dass die Unsicherheitsbereiche der Eingangsgrössen verkleinert werden. Die verbesserten Werte werden danach verwendet, um die unbekannten Grössen (m_I, m_W ,m_F ,m_B) des Gleichungssystems inklusive ihrer Unsicherheit zu berechnen. Eine detaillierte mathematische Beschreibung des Lösungsalgorithmus ist Rechberger et al. [16] zu entnehmen.

Bei der Verknüpfung voneinander unhängiger Grössen im Rahmen der Berechnungen wird das Gesetz der Gaußschen Fehlerfortpflanzung herangezogen. Bei der Mittelwertbildung einzelner Grössen hingegen wird die Unsicherheit des Einzelwertes (systematischer Fehler) beibehalten.

Tabelle 4 Unsicherheiten der Eingangsgrössen zur Berechnung des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen nach der Bilanzenmethode (basierend auf Tages- bzw. Stundenbasis)

Grösse	Bestimmungs-methode	absolute (relative) Messunsicherheit (Unsicherheit 1 σ)	Ermittlung der Unsicherheit
Verbrannte Müllmenge [Tonnen]		3.5 - 11 Tonnen/Tag (3 %)	Erfahrungswerte aus österreichischen Müll-verbrennungsanlagen
Schlacke [Tonnen] (inkl. mittlerer Wassergehalt)		1.5 - 4.0 Tonnen/Tag (5 %)	
Asche + Filterkuchen [Tonnen] (inkl. mittlerer Wassergehalt)		0.1 - 0.5 Tonnen/Tag (5 %)	
Reingasmenge [Nm³] trocken		3'000 - 8'000 Nm^3/h (8 %)	
O_2 Reingas [Vol-% trocken]	O_2 Analysator (Suszeptibilität)	0.15 % (1.5 %)	Berechnung der Mess-unsicherheit entsprechend [17]
CO_2 Reingas [Vol-% trocken]	CO_2 Analysator (NDIR)	0.15 % (1.5 %)	Berechnung der Messunsicherheit entsprechend [17]
Dampfproduktion [Tonnen]		0.6 - 1.8 Tonnen/h (3 %)	Erfahrungswerte aus österreichischen Müll-verbrennungsanlagen
Mittl. Dampfdruck Kessel [bar]		1.2 – 1.5 bar (3 %)	
Mittl. Dampftemperatur Kessel [°C]		10°C (2.5 %)	
Mittl. Druck [bar] bzw. mittl. Temperatur [°C] Speisewassers		4°C (3 %)	
Wirkungsgrad Dampfkessel [-]		0.02 (2.5 %)	

2.2 Untersuchte Kehrichtverbrennungsanlagen

Für die Feldmessungen des Projekts FOCAWIN wurden drei KVAs ausgewählt. Zur Auswahl der Anlagen siehe Bericht FOCAWIN 1. Teilprojekt (Methodenentwicklung). Wichtige Betriebsparameter dieser Anlagen sind in Tabelle 5 aufgeführt.

2.2.1 KVA A

Die KVA A besitzt zwei Verbrennungslinien, die über einen gemeinsamen DeNOx Katalysator verfügen. Nach dem Katalysator wird das Abgas über zwei Kamine abgeführt. Für den Vergleich von Bilanzenmethode und ^{14}C Methode wurde die gesamte Anlage als Einheit betrachtet. Kohlendioxid Probenahme (^{14}C Methode) und CO_2 sowie O_2 Konzentrationsbestimmung (Bilanzenmethode) wurden jedoch nur an einem Kamin durchgeführt, da davon ausgegangen werden kann, dass das Abgas beider Kamine identisch ist.

2.2.2 KVA B

Die KVA B besitzt zwei Verbrennungslinien, die über separate Rauchgasreinigungen und Kamine verfügen. Für den Vergleich von Bilanzenmethode und ^{14}C Methode wurde lediglich eine Linie betrachtet. CO_2 Probenahme und CO_2 sowie O_2 Konzentrationsbestimmung wurden daher nur am Kamin dieser Linie durchgeführt.

2.2.3 KVA C

Die KVA C besitzt zwei Verbrennungslinien mit separatem Elektrofilter und Wäscher. Vor dem DeNOx Katalysator wird das Abgas der beiden Linien vereinigt und über einen gemeinsamen Kamin abgeleitet. Für den Vergleich von Bilanzenmethode und ^{14}C Methode wurde die gesamte Anlage als Einheit betrachtet.

Tabelle 5 Mittelwerte der Betriebsparameter der KVAs über die Messperioden

	KVA A		KVA B	KVA C	
	9. Okt – 9. Nov 2006		13. Nov – 15. Dez 2006	15. Jan – 16. Feb 2007	
	Linie 1	Linie 2	Linie 1	Linie 1	Linie 2
Verbrannte Müllmenge [t / h]	8.1	6.6	5.7	6.0	8.1
Schlacke [%] (mittlerer Wassergehalt)	19.1 (14 %)		22.9 (24.5 %)	20.5 (18.5 %)	
Asche [%]	1.42		1.55	2.40	
Filterkuchen [%] (mittl. Wassergehalt)	0.46 (35 %)		0.79 (49 %)	0.031 [2]	
Reingasmenge [Nm³] tr	59'100 [1]	46’500	37’500	83’300	
O_2 – Konz. Reingas [Vol-% tr]	10.0		10.2	8.9	
CO_2 – Konz. Reingas [Vol-% tr]	9.3		9.1	10.2	
Dampfproduktion [t / h]	29.8	31.6	20.9	22.2	32.9
Dampfdruck Kessel [bar]	41.4	21.5	49.6	38.7	39.2
Dampftemperatur Kessel [°C]	400	281	395	392	394
Temperatur Speisewasser [°C]	131	133	140	132	130
Wirkungsgrad des Dampfkessels [%]	78.0	80.2	79.6	81.3 [3]	

1) nur Messwerte bis 7.11 verwendet, da danach Probleme mit der Messeinrichtung
2) Wassergehalt auf Grund der geringen Menge nicht relevant
3) gewichteter Mittelwert beider Linien

3 Resultate und Diskussion

3.1 Anteil der fossilen CO_2 Emissionen

In den folgenden Kapiteln werden für die einzelnen Anlagen die mit der ^{14}C Methode und der Bilanzenmethode bestimmten Anteile der fossilen CO_2 Emissionen einander gegenübergestellt. Es werden sowohl die Einzelwerte der beprobten Zeitintervalle, deren zeitliche Variation, als auch Anlagenmittelwerte für die Messperiode diskutiert. Zu beachten ist, dass die Messunsicherheiten (jeweils 95% Vertrauensbereich) der Einzelwerte und der Mittelwerte unterschiedlich interpretiert werden müssen. Während die Messunsicherheit der Einzelwerte als Gesamtunsicherheit unter Einbezug der zufälligen Streuung sowie systematischer Fehlerquellen abgeschätzt wurde, wurde die Unsicherheit der Mittelwerte aus der Standardabweichung der Einzelwerte einer Anlage berechnet und ist damit kein Mass für deren Richtigkeit, da mögliche systematische Fehler nicht berücksichtigt werden.

3.1.1 KVA A

Der mit der ^{14}C Methode bestimmte Anteil der fossilen CO_2 Emissionen lag für die Probenahmeintervalle 1-3 und 6-8 zwischen 44.8 ± 3.6 % und 48.3 ± 3.6 %. Der mittlere fossile CO_2 Anteil der ausgewerteten Probenahmeintervalle beträgt 46.9 ± 2.6 %. (Tabelle 6 und Abbildung 6)

Mit der Bilanzenmethode wurde für dieselben Zeitintervalle ein vergleichbarer Anteil der fossilen CO_2 Emissionen zwischen 46.3 ± 4.5 % und 49.9 ± 4.5 % bestimmt. Der Mittelwert des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen für diese Zeitintervalle war mit 48.0 ± 2.6 % etwas höher als der Mittelwert der ^{14}C Methode. Die Abweichungen sowohl der Mittelwerte als auch der Einzelwerte beider Methoden sind jedoch geringer als deren Messunsicherheiten. (Tabelle 6 und Abbildung 6)

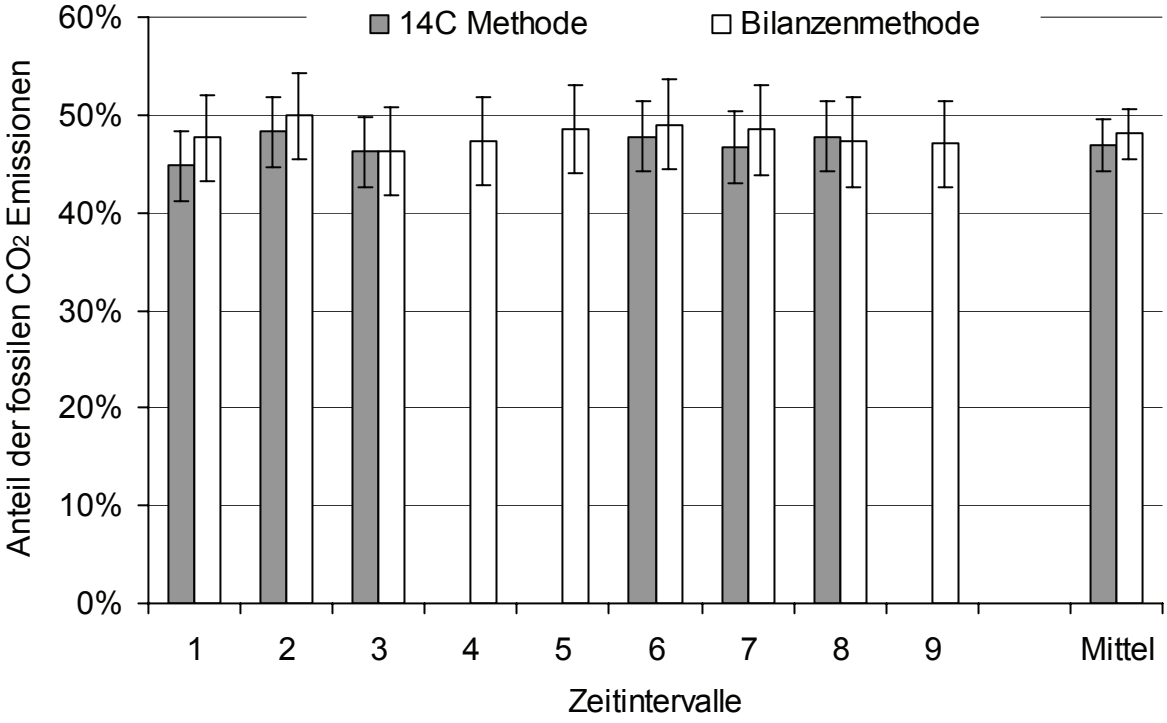
Tabelle 6 Anteil der fossilen CO_2 Emissionen der KVA A

Probe	Zeitintervall	Fossile CO_2 Emissionen [%]		
		^{14}C Methode	Bilanzenmethode	Differenz
1	09.10.06 15:25 - 12.10.06 15:25	44.8 ± 3.6	47.7 ± 4.4	-2.9
2	12.10.06 16:45 - 15.10.06 20:05	48.3 ± 3.6	49.9 ± 4.5	-1.6
3	16.10.06 09:20 - 19.10.06 06:45	46.2 ± 3.6	46.3 ± 4.5	-0.1
4	20.10.06 14:40 - 23.10.06 13:57	- [1)]	47.0 ± 4.5	
5	23.10.06 15:25 - 26.10.06 16:00	- [1)]	48.8 ± 4.5	
6	27.10.06 09:25 - 30.10.06 09:35	47.8 ± 3.6	48.7 ± 4.6	-1.2
7	31.10.06 10:25 - 03.11.06 12:40	46.7 ± 3.6	48.4 ± 4.7	-1.7
8	03.11.06 13:30 - 06.11.06 11:43	47.8 ± 3.6	47.2 ± 4.6	0.6
9	06.11.06 12:35 - 09.11.06 11:30	- [1)]	47.0 ± 4.5	
Mittelwert der Proben 1-3 und 6-8		46.9 ± 2.6	48.1 ± 2.6	-1.2

1) Analyse der Probe aus finanziellen Gründen nicht vorgesehen

Die Resultate beider Methoden deuten an, dass der Anteil der biogenen CO_2 Emissionen im Untersuchungszeitraum auf der KVA Buchs etwas höher ist als der Anteil der fossilen Emissionen. Es wurden im Untersuchungszeitraum nur geringe zeitlichen Variationen der fossilen CO_2 Emissionen beobachtet (Abbildung 6).

Abbildung 6 Zeitlicher Verlauf des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen der KVA A



3.1.2 KVA B

Der mit der ^{14}C Methode bestimmte Anteil der fossilen CO_2 Emissionen variiert in den Probenahmeintervallen 1-3, 5 und 7-8 im Bereich zwischen 40.4 ± 3.6 % und 52.3 ± 3.6 %. Auf Grund der grossen Variation der Einzelwerte ist der mittlere Anteil des fossilen CO_2 in den ausgewerteten Probenahmeintervallen von 47.6 ± 8.2 % mit einer relativ grossen Unsicherheit behaftet. (Tabelle 7 und Abbildung 7)

Mit der Bilanzenmethode wurden für dieselben Zeitintervalle Anteile des fossilen CO_2 Emissionen zwischen 46.9 ± 4.5 % und 50.0 ± 4.6 % bestimmt. Diese Werte lagen im Mittel etwas über denen der ^{14}C Methode. Die grössten Differenzen traten im Zeitintervall 7 (4. bis 8. Dezember 2006) auf, in welchem der Anteil der fossilen CO_2 Emissionen mit der Bilanzenmethode um ca. 8 % höher berechnet wurde. Mögliche Gründe für dieses Phänomen werden in Kapitel 3.2 diskutiert. Die Abweichungen der Mittelwerte beider Methoden sind jedoch geringer als deren Messunsicherheiten. Die Unsicherheit des Mittelwerts der Bilanzenmethode ist auf Grund der geringeren Streuung der Einzelwerte deutlich niedriger. Wie bereits erwähnt kann daraus jedoch nicht eine höhere Genauigkeit der Methode abgeleitet werden. Der Anteil der biogenen CO_2 Emissionen lagen bei beiden Bestimmungsmethoden über 50 %.

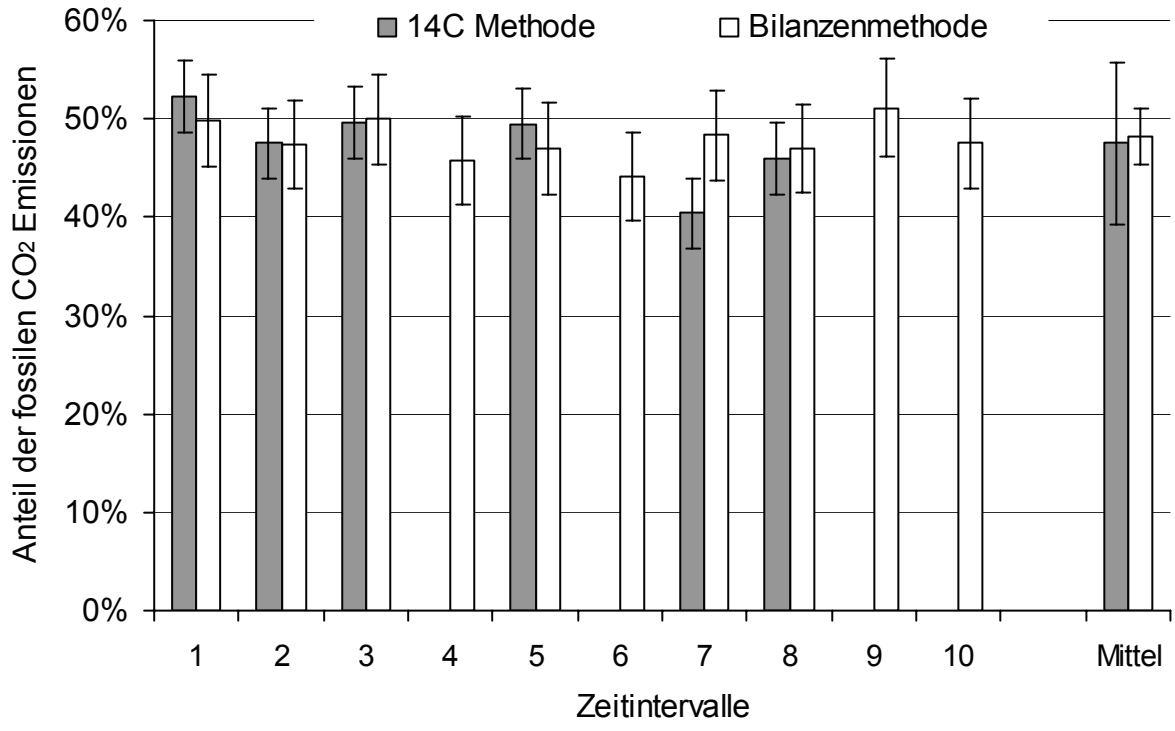
Die Variation des fossilen bzw. biogenen Anteils des Kohlendioxids auf der KVA B ist deutlich grösser als auf der ersten Anlage. Eine mögliche Ursache ist die Mitverbrennung von Klärschlamm in der Anlage zwischen Ende November und Anfang Dezember.

Tabelle 7 Anteil der fossilen CO_2 Emissionen der KVA B

Probe	Zeitintervall	Fossile CO_2 Emissionen [%]		
		^{14}C Methode	Bilanzenmethode	Differenz
1	14.11.06 14:30 – 17.11.06 07:39	52.3 ± 3.6	49.8 ± 4.8	2.5
2	17.11.06 08:30 - 20.11.06 09:10	47.5 ± 3.6	47.4 ± 4.5	0.1
3	20.11.06 10:05 - 24.11.06 06:45	49.6 ± 3.6	50.0 ± 4.6	-0.4
4	24.11.06 07:45 - 27.11.06 11:55	- [1)]	45.8 ± 4.5	
5	27.11.06 13:25 - 30.11.06 09:55	49.5 ± 3.6	47.0 ± 4.6	2.5
6	30.11.06 11:05 - 04.12.06 07:45	- [1)]	44.1 ± 4.5	
7	04.12.06 08:55 - 08.12.06 11:15	40.4 ± 3.6	48.4 ± 4.6	-8.0
8	08.12.06 12:15 - 11.12.06 11:45	46.0 ± 3.6	46.9 ± 4.5	-0.9
9	12.12.06 10:30 - 15.12.06 07:45	- [1)]	51.1 ± 4.9	
10	12.12.06 10:30 - 15.12.06 07:45	- [1)]	47.5 ± 4.6	
Mittelwert der Proben 1-3, 5 und 7-8		47.6 ± 8.2	48.2 ± 2.8	-0.7

1) Analyse der Probe aus finanziellen Gründen nicht vorgesehen

Abbildung 7 Zeitlicher Verlauf des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen der KVA B



3.1.3 KVA C

Der auf der Kehrichtverbrennungsanlage C mit der ^{14}C Methode bestimmte Anteil der fossilen CO_2 Emissionen variiert in den Probenahmeintervallen 1 und 4-8 im Bereich zwischen 44.0 ± 3.6 % und 51.5 ± 3.6 %. Auf Grund der grossen Variation der Einzelwerte ist der mittlere Anteil des fossilen CO_2 von 48.4 ± 7.0 % mit einer relativ grossen Unsicherheit behaftet. (Tabelle 8 und Abbildung 8)

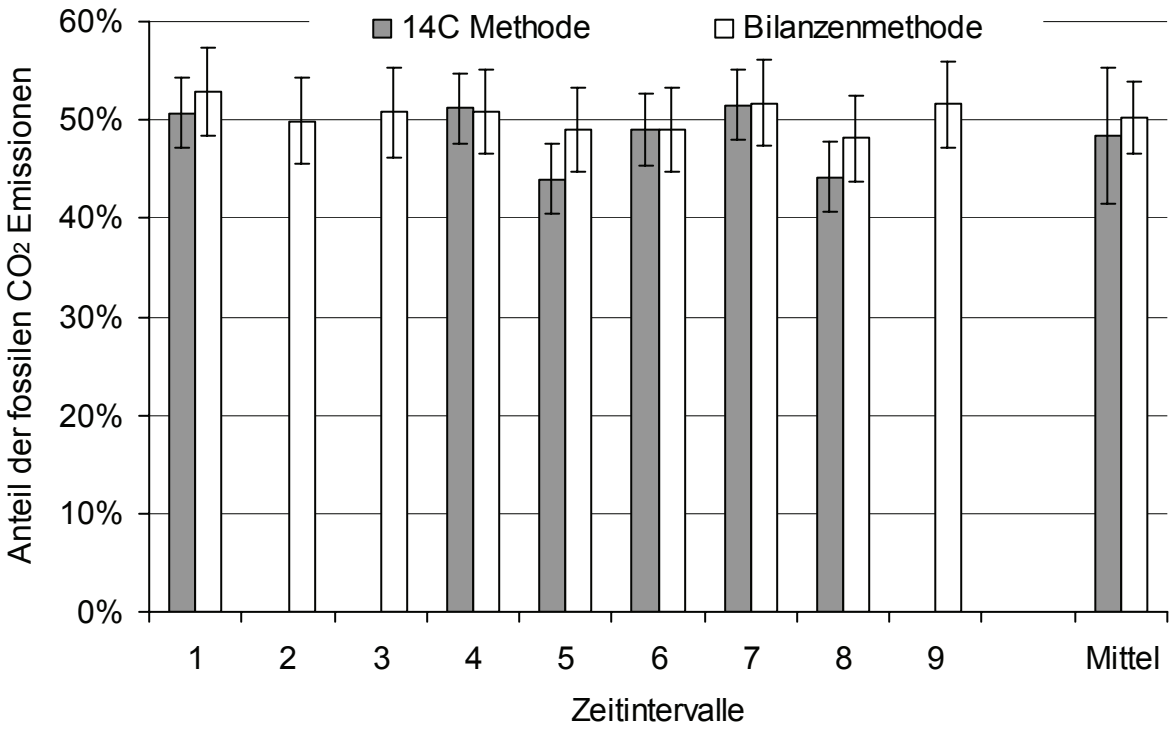
Tabelle 8 Anteil der fossilen CO_2 Emissionen der KVA C

Probe	Zeitintervall	Fossile CO_2 Emissionen [%]		
		^{14}C Methode	Bilanzenmethode	Differenz
1	16.01.07 11:45 - 19.01.07 07:45	50.7 ± 3.6	52.9 ± 4.5	-2.2
2	19.01.07 8:45 - 23.01.07 09:40	- [1)]	49.8 ± 4.4	
3	23.01.07 10:30 - 25.01.07 22:30	- [1)]	50.7 ± 4.5	
4	25.01.07 23:15 - 29.01.07 12:45	51.2 ± 3.6	50.8 ± 4.3	0.4
5	29.01.07 13:40 - 01.02.07 13:20	44.0 ± 3.6	49.0 ± 4.3	-5.0
6	01.02.07 14:05 - 05.02.07 07:05	49.0 ± 3.6	49.1 ± 4.3	-0.1
7	05.02.07 08:00 - 09.02.07 08:20	51.5 ± 3.6	51.7 ± 4.3	-0.2
8	09.02.07 09:00 - 12.02.07 08:10	44.2 ± 3.6	48.1 ± 4.3	-3.9
9	12.02.07 09:05 - 16.02.07 07:05	- [1)]	51.6 ± 4.3	
Mittelwert der Proben 1, 4-8		48.4 ± 6.9	50.3 ± 3.6	-1.8

1) Analyse der Probe aus finanziellen Gründen nicht vorgesehen

Mit der Bilanzenmethode wurden für dieselben Zeitintervalle Anteile der fossilen CO_2 Emissionen zwischen 48.1 ± 4.3 % und 52.9 ± 4.5 % bestimmt. Diese Werte lagen wie bei den beiden vorangehenden Anlagen im Mittel etwas über denen der ^{14}C Methode. Die grössten Differenzen traten in den Zeitintervallen 5 (29. Januar bis 1. Februar 2007) und 8 (9. bis 12. Februar 2006) auf, in welchem der Anteil der fossilen CO_2 Emissionen mit der Bilanzenmethode um ca. 4 bis 5 % höher berechnet wurde. Die Abweichungen liegen jedoch im Bereich der Messunsicherheiten der beiden Methoden. Der Anteil der fossilen bzw. biogenen CO_2 Emissionen wurden mit beiden Bestimmungsmethoden im Mittel auf etwa 50 % bestimmt. Der zeitliche Verlauf des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen der beiden Methoden scheint vergleichbar (Abbildung 8).

Abbildung 8 Zeitlicher Verlauf des Anteils der fossilen CO_2 Emissionen der KVA C



3.2 Mögliche systematischer Fehlerquellen der ^{14}C Methode und der Bilanzenmethode

In einem Zeitintervall der Untersuchung, zwischen dem 4. und 8. Dezember auf der KVA B wurden mit der ^{14}C Methode und der Bilanzenmethode Anteile des fossilen CO_2 bestimmt, die deutlich, d.h. um etwa die angegebene Messunsicherheit voneinander abweichen. Der Anteil des fossilen CO_2 wurde dabei mit der ^{14}C Methode zu 40.4 ± 3.6 % und damit um 8 % tiefer bestimmt wie mit der Bilanzenmethode, welche 48.4 ± 4.6 % ergab. In diesem Kapitel werden mögliche systematische Fehlerquellen diskutiert, die in den jeweiligen Unsicherheitsbetrachtungen nicht berücksichtigt sind und als Ursachen für eine Überschätzung des Anteils des fossilen CO_2 mit der ^{14}C Methode bzw. eine Unterschätzung mit der Bilanzenmethode in Frage kommen.

3.2.1 ^{14}C Methode

Auf Grund der sehr einfachen und transparenten Berechnungsweise aus nur zwei Eingangsgrössen sind die folgenden Ursachen denkbar: Entweder ist die Messung des ^{14}C Gehalts der Probe fehlerhaft, oder weicht die $^{14}C/^{12}C$ Konzentration des verbrannten biogenen Materials sehr stark (ca. 10 bis 15 %) vom Erwartungswert ab.

Die Bestimmung des ^{14}C Gehalts mit dem Beschleunigermassenspektrometer ist sehr präzise und höchstwahrscheinlich nicht für die beobachtete Abweichung verantwortlich. Allerdings traten bei der Freisetzung des CO_2 aus der Absorptionslösung Probleme auf, welche jedoch keinen Einfluss auf den ^{14}C Gehalt haben sollten. Um dies vollständig auszuschliessen ist eine Wiederholung der CO_2 Freisetzung und der Bestimmung des ^{14}C Gehalts geplant.

Sollte die Abweichung auf eine Erhöhung des $^{14}C/^{12}C$ Konzentration der biogenen Brennstofffraktion zurückzuführen sein, so müsste es sich um ein kurzes punktuelles Ereignis handeln, da die anderen Zeitintervalle nicht betroffen sind. Geht man davon aus, dass beispielsweise ein grosses Monosortiment angeliefert wurde, dessen biogener Kohlenstoff einen stark erhöhten ^{14}C Gehalt aufweist, so müsste dadurch der mittlere ^{14}C Gehalt des gesamten biogenen Kohlenstoffs um 10 bis 15 % erhöht werden. Betrachtet man die vom 4. bis 8. Dezember eingegangenen Müllmengen, so werden von einem KVA Kunden maximal 13 % der gesamten Müllmenge angeliefert. Sollte dieser Kunde für die Erhöhung des ^{14}C Gehalts der biogenen Brennstofffraktion verantwortlich sein, so müsste dessen biogener Brennstoff eine $^{14}C/^{12}C$ Konzentration von über 200 pMC aufweisen. Dies ist nicht möglich.

Nicht ausgeschlossen werden kann allerdings, dass eine geringe Menge ^{14}C markierten Mülls z.B. aus einem Spital in die KVA gelangt ist und zum Anstieg im ^{14}C Gehalt des Verbrennungs-CO_2 geführt hat. Die Verbrennung eines radioaktiven Präparats der Aktivität von 3,4 MBq würde zur beobachteten Diskrepanz führen. Dies wäre aber nach Art. 82 der Strahlenschutzverordnung (SR 814.501) verboten, da nur ausnahmsweise maximal 2 MBq ^{14}C in fester Form mit Zustimmung der Bewilligungsbehörde an die Umwelt abgegeben werden dürfen. Um den Einfluss derartiger ^{14}C Kontaminationen des Mülls abschätzen zu können, wäre eine Untersuchung der wesentlichen Nutzungen (Produkte, Anwendungen) und Entsorgungswege für ^{14}C zielführend („anthropogene“ ^{14}C-Bilanz). Dies ist jedoch aufwendig und hätte den Rahmen dieser Studie gesprengt. Außerdem wurde durch die Wahl der untersuchten KVAs dieses Problem mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen.

3.2.2 Bilanzenmethode

Die zweite Möglichkeit ist, dass der Anteil der fossilen CO_2 Emissionen mit der Bilanzenmethode überschätzt wurde. Dies könnte auf eine fehlerhafte Bestimmung mehrerer Betriebsparameter (wobei sich insbesondere Fehler bei der Bestimmung der O_2 und CO_2 Konzentration sensitiv auf

das Ergebnis auswirken) oder auf eine sich deutlich ändernde Kehrichtzusammensetzung und damit veränderte Elementarzusammensetzung zurückzuführen sein. Bei einer grossen Änderung der Elementarzusammensetzung z. B. durch Anlieferung großer Mengen eines Monosortiments kann es vorkommen, dass die Koeffizienten in den Gleichungssystemen mit einer erhöhten Unsicherheit behaftet sind. Allerdings zeigen sowohl die Konzentrationsmessungen von O_2 und CO_2 während des Messzeitraums (4.12. bis 8.12.) keinerlei Auffälligkeiten, auch sind aus den Aufzeichnungen des Anlagenbetreibers keine Hinweise auf größere Menge eines während dieses Zeitraums angelieferten Monosortiments erkennbar. Des Weiteren ist aus den Aufzeichnungen des Betreibers kein wesentlicher Unterschied in Kehrrichtanlieferungen in den Messzeiträumen davor bzw. danach erkennbar. Eine Ausnahme bilden die Probenahmintervalle 4, 5 und 6 (24.11. bis 4.12.), wo Klärschlamm zugefeuert wurde. Relevante Mengen an Klärschlamm (>10% des Gesamtinputs) wurden allerdings nur während des Messzeitraums der Probe 5 bzw. 6 verbrannt. Diese Tatsache spiegelt sich in etwas geringeren Anteilen an fossilen CO_2 Emissionen wieder (siehe Abbildung 7).

Werden nur jene Ergebnisse der KVA B miteinander verglichen in denen kein Klärschlamm verbrannt wurde, so weicht das Analyseergebnis der ^{14}C Methode für die Probe 7 deutlich von den restlichen Werten ab.

Nachdem die Anlagendaten für die fragliche Periode 7 keine signifikanten Auffälligkeiten zeigen, ist auch erklärbar, warum sich das mittels Bilanzenmethode berechnete Teilresultat nicht signifikant von den benachbarten Perioden unterscheidet. Aus der Sicht der Bilanzenmethode gibt es keine Erklärung für die Differenz.

3.3 Vergleich der Messergebnisse mit Literaturdaten

Der mit den beiden Methoden für die Probenahmeintervalle bestimmte mittlere Anteil der fossilen CO_2 Emissionen war mit einer Ausnahme unter 50 % und zeigte für alle Anlagen eine sehr gute Übereinstimmung (Tabelle 9). Mit der Bilanzenmethode wurden etwa 1 – 2 % höhere fossile CO_2 Emissionen ermittelt, die Differenzen sind jedoch verglichen mit den Messunsicherheiten der beiden Verfahren nicht signifikant. Der Anteil der fossilen CO_2 Emissionen aller Anlagen waren damit deutlich höher als der Wert von 40 %, der vom BAFU im Nationalen Treibhausgasinventar der Schweiz verwendet wird [18]. Die ermittelten fossilen CO_2 Emissionen lagen im oberen Wertebereich, welcher in einem Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) aus dem Jahr 2000 für die Verbrennung von städtischem Müll (municipal solid waste MSW) angegeben wird (30 bis 50 %; [19]).

Tabelle 9 Zusammenstellung der Messergebnisse der untersuchten Anlagen

	Fossile CO_2 Emissionen [%]			
	KVA A	KVA B	KVA C	Mittelwert
^{14}C Methode	46.9 ± 2.6	47.6 ± 8.2	48.4 ± 6.9	47.6 ± 1.5
Bilanzenmethode	48.1 ± 2.6	48.2 ± 2.8	50.3 ± 3.6	48.9 ± 2.4
Differenz	-1.2	-0.7	-1.8	-1.2

3.4 Kosten

Für die vorliegenden Untersuchungen waren die Kosten der beiden Methoden in etwa vergleichbar. Der Beitrag des BAFU betrug ca. 80 kCHF, wobei damit keine vollständige Kostendeckung erreicht wurde. Da es sich aber um eine erstmalige und einmalige Untersuchung handelt, sind diese Kosten nicht repräsentative für weitere Messungen, diese könnten für beide Methoden, im Rahmen einer längeren Untersuchung, deutlich gesenkt werden.

Bei der ^{14}C Methode sind die Kosten im Wesentlichen abhängig von der Anzahl der CO_2 Proben die gemessen, d. h. absorbiert, freigesetzt und analysiert werden. Fixkosten fallen für den Auf- sowie Abbau der Probenahmeapparatur und die Berichterstattung an. Ist lediglich der mittlere Anteil des fossilen CO_2 von Interesse, so könnten z.B. die Anzahl der Proben und damit die Kosten deutlich reduziert werden.

Bei der Bilanzenmethode ist der Aufwand für Datenerhebung und Datenaufbereitung, eine präzise Sauerstoff- und Kohlendioxid-Analytik sowie Auswertung und Berichterstattung von ähnlicher Grösse. Sind alle Betriebsparameter in digitaler Form verfügbar, was auf keiner der Anlagen der Fall war, so könnte der Aufwand für Datenerhebung und Datenaufbereitung für eine längere Untersuchung deutlich reduziert werden. Eine weitere Kostensenkung wäre möglich, wenn die Anlage mit einer sehr präzisen O_2 und CO_2 Messtechnik ausgestattet würden. In Österreich, wo das Verfahren bereits routinemäßig an mehreren Kehrichtverbrennungsanlagen eingesetzt wird, belaufen sich die jährlichen Gesamtkosten (inkl. Kurzbericht) auf rund 5’000 CHF.

4 Schlussfolgerungen

Im Rahmen einer Feldkampagne des Projekts FOCAWIN wurde der Anteil der fossilen CO_2 Emissionen an drei schweizerischen Kehrichtverbrennungsanlagen bestimmt. Hierzu wurden zwei sehr unterschiedliche Ansätze, die Bilanzenmethode der TU Wien und die ^{14}C Methode, über jeweils etwa einen Monat eingesetzt.

Der mit den beiden Methoden für die Probenahmeintervalle bestimmte mittlere Anteil der fossilen CO_2 Emissionen lag mit einer Ausnahme unter 50 % und zeigte für alle Anlagen eine sehr gute Übereinstimmung. Mit der Bilanzenmethode wurden etwa 1 – 2 % höhere fossile CO_2 Emissionen ermittelt, die Differenzen sind jedoch verglichen mit den Messunsicherheiten der beiden Verfahren nicht signifikant. Der Anteil der fossilen CO_2 Emissionen aller Anlagen waren damit deutlich höher als der Wert von 40 %, der vom BAFU im Nationalen Treibhausgasinventar der Schweiz verwendet wird.

Auch die mit den beiden Methoden über einzelne Probenahmeintervalle von 3 bis 4 Tagen berechneten Anteile der fossilen CO_2 Emissionen zeigten eine sehr gute Übereinstimmung und einen vergleichbaren zeitlichen Verlauf. Generell waren die Schwankungen zwischen den mit der ^{14}C Methode bestimmten Einzelwerten höher.

Die ^{14}C Methode beruht auf einem einfachen und anschaulichen Konzept. Momentan wird in einer Arbeitsgruppe (WG 3) des CEN/TC 343 (Technische Komission des Europäischen Komitees für Normung) eine technische Spezifikation zur Bestimmung des Biomasseanteils in aufbereiteten festen Ersatzbrennstoffen (SRF, solid recovered fuel) auf der Grundlage dieser Methode erarbeitet. Es handelt sich um eine sehr präzise Methode, deren Messunsicherheit im Wesentlichen durch die Unsicherheit bestimmt wird mit der das Alter der biogenen Brennstofffraktion bekannt ist. Die Qualität der Messungen ist unabhängig von Änderungen des Betriebszustand bzw. der Messung der Betriebsparameter auf der Anlage. Neben dem Anteil der fossilen / biogenen CO_2 Emissionen lässt sich unter Einbezug des Abgasvolumenstroms und der CO_2 Konzentration und ihrer jeweiligen Unsicherheitsbreiche auch die fossile bzw. biogene CO_2 Fracht berechnen.

Die Bilanzenmethode bedient sich neben allgemein gültigen Stoffdaten über die chemische Zusammensetzung von fossilen und biogenen Materialien ausschliesslich Parameter, die in der Regel auf KVA routinemäßig erhoben werden. Dabei müssen für eine präzise Bestimmung des fossilen CO_2 Anteils die Betriebsparameter O_2 und CO_2 Konzentration des Reingases mit sehr hoher Präzision verfügbar sein. Die wesentliche Vorteile der Bilanzenmethode liegen darin, dass neben dem Anteil der fossilen CO_2 Emissionen auch deren Absolutwert bestimmt wird und darüber hinaus auch der Anteil der eingesetzten Energieträger. Bei der Bestimmung der fossilen CO_2 Fracht (Absolutwert) ist vor allem die der Bilanzenmethode inhärente Verknüpfung von Energiedaten mit Reingasdaten hervorzuheben, die dazu führt, dass die Reingasmenge (primäre Fehlerquelle für die Bestimmung von absoluten Emissionsfrachten) in der Routineanwendung der Bilanzenmethode deutlich präziser bestimmt werden kann, als dies mit alleiniger Messung des Volumenstroms möglich wäre. Für den Fall, dass die erforderlichen Betriebsparameter an der Anlage digital erfasst werden, kann die Auswertung der Daten online auf dem Rechner der Anlage und damit vergleichsweise günstiger durchgeführt werden. Ein weiterer Vorteil der Bilanzenmethode ist, dass die relevanten Grössen (Anteil „grüner“ Strom, Fracht fossiler und klimaneutraler CO_2-Emissionen) quasi permanent (zumindest Tagesmittelwerte) berechnet werden und damit Unplausibilitäten leichter erkannt werden können, als dies mit einer Beprobung über lange Zeiträume und anschließender Bestimmung eines Messwertes der Fall ist.

Man kann davon ausgehen, dass der Einsatz beider Methoden nicht nur auf den Einsatz in KVAs beschränkt ist, sondern auch für industrielle Abfallverbrennung geeignet ist (z.B. ^{14}C Methode im Zementwerk).

Literatur

1. CEN, *TR 15591 Solid recovered fuels - Determination of the biomass content based on the ^{14}C method* 2007: Brussels. p. 36.
2. ASTM, *D 6866-06a Standard Test Method for Determining the Biobased Content of Natural Range Materials Using Radiaocarbon and Isotope Ratio Mass Spectrometry Analysis*. 2006. p. 725-738.
3. Synal, H.A., et al., *Status report of the PSI/ETH AMS facility.* Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms, 1997. 123(1-4): p. 62-68.
4. Stuiver, M. and H.A. Polach, *Reporting of C-14 Data - Discussion.* Radiocarbon, 1977. 19(3): p. 355-363.
5. Lewis, C.W., G.A. Klouda, and W.D. Ellenson, *Radiocarbon measurement of the biogenic contribution to summertime PM-2.5 ambient aerosol in Nashville, TN.* Atmospheric Environment, 2004. 38(35): p. 6053-6061.
6. Levin, I., et al., *A novel approach for independent budgeting of fossil fuel CO_2 over Europe by ^{14}C-(CO_2) observations.* Geophysical Research Letters, 2003. 30(23).
7. FOEN, *Erhebung der Kehrichtzusammensetzung 2001/02; Schriftenreihe Umwelt Nr. 356*. 2003, FOEN: Bern. p. 67.
8. Levin, I. pers. Mitteilungen, 2007.
9. Levin, I. and B. Kromer, *The tropospheric ^{14}C-(CO_2) level in mid-latitudes of the Northern Hemisphere (1959-2003).* Radiocarbon, 2004. 46(3): p. 1261-1272.
10. Szidat, S., et al., *Contributions of fossil fuel, biomass burning, and biogenic emissions to carbonaceous aerosols in Zürich as traced by ^{14}C.* Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2006. 111: p. D07206, doi:10.1029/2005JD006590.
11. FOEN, *Bauabfälle Schweiz - Mengen, Perspektiven und Entsorgungswege*. 2001: Bern. p. 97.
12. SFOE, *Potentiale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz*. 2004, SFOE: Bern. p. 65.
13. Fellner, J., O. Cencic, and H. Rechberger, *Verfahren zur Ermittlung der Anteile biogener und fossiler Energieträger sowie biogener und fossiler Kohlendioxidemissionen beim Betrieb von Verbrennungsanlagen (Bilanzenmethode)*. 2005: Österreichisches Patent A539.
14. Fellner, J., O. Cencic, and H. Rechberger, *Verfahren zur Ermittlung der Anteile biogener und fossiler Energieträger sowie biogener und fossiler Kohlendioxidemissionen beim Betrieb von Verbrennungsanlagen (Bilanzenmethode)*. 2006: Anmeldung zum europäischen Patent.
15. Fellner, J., O. Cencic, and H. Rechberger, *A new method to determine the ratio of electricity production from fossil and biogenic sources in waste-to-energy plants.* Environmental Science & Technology, 2007. 41(7): p. 2579-2586.
16. Rechberger, H., J. Fellner, and O. Cencic, *Verfahren zur Ermittlung der Anteile biogener und fossiler Energieträger sowie biogener und fossiler Kohlendioxidemissionen beim Betrieb von Abfallverbrennungsanlagen.* Müllhandbuch (im Druck), 2007.
17. ISO, *14956 Air quality - Evaluation of the suitability of a measurement procedure by comparison with a required measurement uncertainty* 2002: Geneva. p. 26.
18. FOEN, *Switzerland's greenhouse gas inventory 1990-2005*. 2007, FOEN: Bern. p. 292.
19. IPCC, *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. 2000, IGES: Hayama, Japan.

Anhang

Berechnung des Referenzwertes für biogenes Material $f_{M,bio}$

a Alter von Holz & Papier/Karton

j Fällungsjahr

$C_{a,j}$ pMC von Material mit Alter a und Fällungsjahr j

α Anteil der Holzfraktion(a,j) an der gesamten Holzmenge

β Anteil Holz & Papier/Karton am SRF (solid recovered fuel)

1-β Anteil frische Biomasse am SRF

$f_{M,bio,H}$ Referenzwert (pMC) für Holz & Papier/Karton

$f_{M,bio,B}$ Referenzwert (pMC) für frische Biomasse

$f_{M,bio} = \beta \times f_{M,bio,H} + (1-\beta) \times f_{M,bio,B}$

$f_{M,bio,B} = C_{0,heute}$

$f_{M,bio,H} = \sum A_{a,j} C_{a,j}$

Tabelle 10 ^{14}C Gehalt für Biomasse $C_{a,j}$ verschiedenen Alters (a) und Fällungsjahr (j) in pMC; berechnet aus $^{14}CO_2$-Jahresmitteln am Standort Schauinsland entsprechend [5]

	Alter (a)				
Fällungsjahr (j)	10	20	40	70	85
2000	109.6	111.6	119.7	124.8	120.5
2002	108.5	110.3	117.5	124.5	120.7
2004	107.3	109.1	115.4	124.1	120.9
2006	106.3	107.9	113.6	123.5	121.0
2008	105.6	107.0	112.0	122.9	121.0
2010	105.0	106.2	110.6	122.1	121.0

Tabelle 11 $^{14}CO_2$-Jahresmittel am Standort Schauinsland; diese Werte können als Referenzwerte für frische Biomasse $f_{M,bio,B}$ verwendet werden [8, 9]

Jahr	$f_{M,bio,B}$ (pMC)
2000	108.6 [1)]
2002	107.2 [1)]
2004	106.0 [2)]
2006	105.3 [2)]
2008	105.0 [3)]
2010	104.4 [3)]
2012	103.9 [3)]
2014	103.4 [3)]

1) Levin und Kromer (2004) [9]
2) I. Levin, persönliche Mitteilung (2007) [8]
3) extrapoliert

Berechnung von $f_{M,bio}$ entsprechend den Eingangsdaten des vorliegenden Berichts:

Jahr der Analyse (Bezugsjahr frische Biomasse): 2006

Angenommenes Fällungsjahr: j = 2004

Anteil Holz & Papier/Karton am SRF: ß = 0.8

Anteil frische Biomasse am SRF: $(1-\beta) = 0.2$

Anteil Biomasse α_a mit dem Alter a an der gesamten Menge:

$\alpha_{10} = 0.2$

$\alpha_{20} = 0.2$

$\alpha_{40} = 0.4$

$\alpha_{70} = 0.1$

$\alpha_{85} = 0.1$

Ergebnisse:

$f_{M,bio,H}$ = (0.2 x 107.3 + 0.2 x 109.1 + 0.4 x 115.4 +0.1 x 124.1 + 0.1 x 120.9) pMC = 113.9 pMC

$f_{M,bio,B}$ = 105.3 pMC

$f_{M,bio}$ = 112.2 pMC

Umfrage bei Zellstoff- und Papierherstellern

Tabelle 12 Ergebnisse einer Umfrage bei verschiedenen Experten, um die Altersstruktur der Brennstofffraktion Papier/Pappe/Holz abzuschätzen

Branche	Anteil Biomasse mit Alter a an der gesamten Menge [%] [1)]				
	10 Jahre	20 Jahre	40 Jahre	70 Jahre	85 Jahre
Hersteller von Papier, Zellstoff, Holz, Verpackungsmaterial etc. sowie Branchenorganisationen	15	10	45	15	15
Universitäten sowie Forschungseinrichtungen	20	40	40		
Verwendete α Werte	20	20	40	10	10

1) Mittelwerte der Umfrageergebnisse

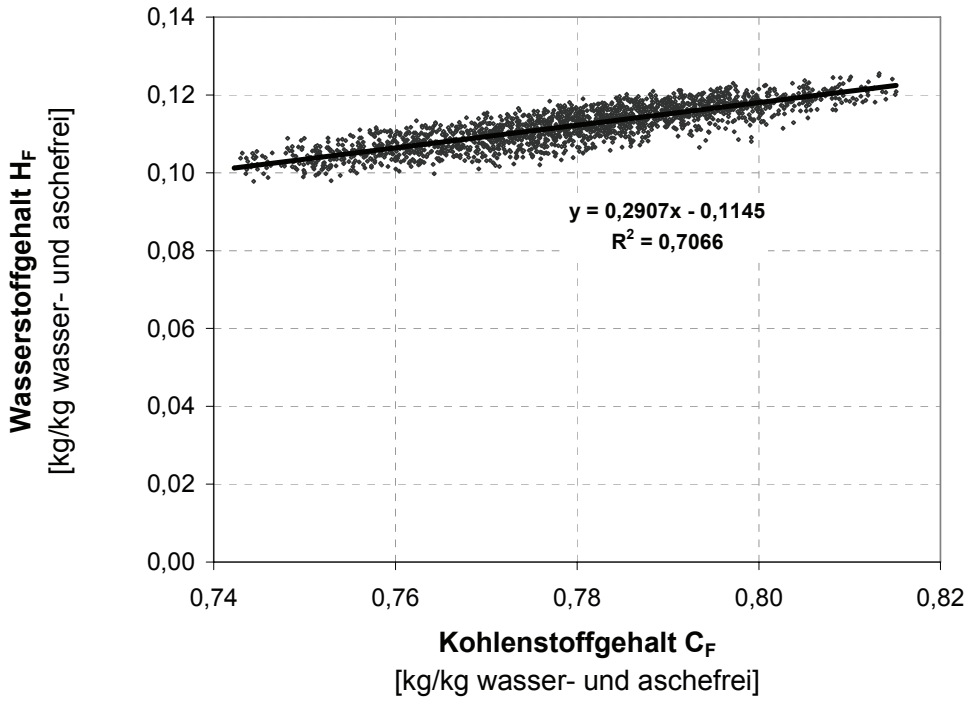
Chemische Zusammensetzung der Stoffgruppen Biogen und Fossil

Die chemische Zusammensetzung der Stoffgruppen wurde aus bestehenden Informationen über die Abfallzusammensetzung (welche biogenen und fossilen Materialien befinden sich im Kehricht) hergeleitet.

Tabelle 13 Elementarzusammensetzung der „Stoffgruppen“ für Mischabfälle im Allgemeinen (Haushaltskehricht und Industriekehricht im Verhältnis 1:1)

Stoff-gruppe	Kohlenstoff-gehalt		Wasserstoff-gehalt		Schwefelgehalt		Stickstoff-gehalt		Sauerstoff-gehalt		Chlorgehalt	
	[kg/kg aschefrei]											
	MW	Stabw	MW	Stabw	MW	Stabw	MW	Stabw	MW	Stabw	MW	Stabw
Biogen	0.48	0.003	0.065	0.0009	0.001	0.0003	0.008	0.003	0.441	0.005	-	-
Fossil	0.78	0.016	0.112	0.005	0.003	0.0015	0.014	0.006	0.059	0.012	0.03	0.01

Abbildung 9 Korrelation zwischen dem Wasserstoff- und dem Kohlenstoffgehalt fossiler Materialien



M e r k b l a t t

für die Benützung von Empa-Prüfberichten zu Werbezwecken sowie für die Veröffentlichung deren Inhaltes

Prüfberichte der Empa können unter Umständen als wirksame Werbemittel eingesetzt werden. Angesichts der für die Unabhängigkeit und Neutralität der Empa unerlässlichen Bestimmungen müssen aber gewisse Spielregeln strikt eingehalten werden. Dies geschieht im Interesse der an der Werbung interessierten Auftraggeber selber, weil Übertretungen in der Regel das Ansehen der Empa und damit die angestrebte Werbewirkung schädigen. Wer einen Auftrag in der Absicht erteilt, den Prüfbericht zu Werbezwecken zu benützen, ist daher gut beraten, wenn er dem zuständigen Fachbereich der Empa diese Absicht bei der Auftragserteilung bekannt gibt. Damit kann er im Übrigen unangenehme Überraschungen vermeiden (beispielsweise die Erwähnung von Fabrikationsgeheimnissen im Berichtstext). Im Einzelnen beachte man die folgenden Punkte:

1. Bewilligungspflicht

Die Benützung von Empa-Prüfberichten zu Werbezwecken sowie die Veröffentlichung deren Inhaltes in schriftlicher oder anderer Form, der blosse Hinweis auf eine Untersuchung an der Empa eingeschlossen, ist nur mit ausdrücklicher schriftlicher Einwilligung der Empa statthaft (Artikel 15 Absatz 4 der Verordnung des Bundesrates über die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt vom 13. Januar 1993, SR 414.165). Bei Ablehnung eines Gesuches ist die Empa zu keiner Begründung verpflichtet. Bewilligungen werden in der Regel nur für Berichte erteilt, die nicht älter als zwei bis drei Jahre sind.

2. Vollständigkeit des unterbreiteten Textes

Werbetexte sind der Stelle Marketing an der Empa in vollem Wortlaut und mit sämtlichen Illustrationen zu unterbreiten. Dies geschieht in der Regel durch Einreichen des Manuskriptes, bei gedruckten Texten zusätzlich durch Vorlage eines Probeabzuges.

3. Erwähnung des Prüfberichtes

Jede Erwähnung einer Empa-Prüfung hat die Nummer und das Datum des betreffenden Empa-Prüfberichtes zu enthalten (z.B.: "Siehe Empa-Prüfbericht Nr. 192'311 vom 15. Februar 2005").

4. Erwähnung der geprüften Eigenschaften

Jeder zu Werbezwecken dienende Hinweis auf einen Empa-Prüfbericht hat ausdrücklich und vollständig die von der Empa geprüften Eigenschaften des fraglichen Produktes anzugeben.

5. Vollständigkeit von Zitaten

Auszüge aus einem Empa-Prüfbericht haben in vollem Wortlaut und mit originalgetreuer Wiedergabe allfälliger Illustrationen und Erläuterungen zu erfolgen.

6. Sinntreue

Hinweise, Auszüge und Folgerungen dürfen nicht in irreführender Weise in den Text eingeschoben oder diesem beigefügt werden. Insbesondere darf nicht der Eindruck entstehen,

– die Empa habe eine repräsentative Anzahl Objekte geprüft, wenn in Wirklichkeit nur eines oder wenige Objekte geprüft wurden,
– die Empa führe eine laufende Kontrolle eines (in Wirklichkeit nur in wenigen Mustern geprüften) Produktes durch,
– sie habe weitere (in Wirklichkeit nicht geprüfte) Eigenschaften geprüft, oder
– sie habe werbetechnisch orientierte (in Wirklichkeit vom Auftraggeber formulierte) Schlussfolgerungen gezogen.

7. Verpflichtung zur Offenlegung

Mit der Erwähnung eines Empa-Prüfberichtes übernimmt der Auftraggeber die Verpflichtung, die gesamten Ergebnisse des betreffenden Berichtes jedem Interessenten in vollem Wortlaut, mit sämtlichen Illustrationen und allfälligen Erläuterungen zur Einsicht zu überlassen. Er entbindet gleichzeitig die Empa von ihrer Geheimhaltungspflicht bezüglich dieser Ergebnisse, nicht aber bezüglich Fabrikations- und Geschäftsgeheimnissen (z.B. Rezepturen oder Fabrikationsmethoden).

8. Zeitliche Limitierung

Die Empa behält sich vor, eine zeitliche Limitierung der Genehmigung (in der Regel zwei Jahre) für die Benützung oder Veröffentlichung im Sinn dieses Merkblattes festzulegen. Auch hier ist sie zu keiner Begründung verpflichtet.

9. Gebühr

Für die Erteilung der Werbebewilligung wird eine Gebühr erhoben.

10. Folgen von Verstössen

Bei Verstössen gegen die Vorschriften dieses Merkblattes behält sich die Empa alle weiteren Massnahmen unter Einschluss korrigierter Gegendarstellung (zuhanden falsch informierter Interessenten) sowie des gerichtlichen Vorgehens vor.

Dübendorf / St. Gallen / Thun, Oktober 2006

Kn/Vs