

# Band 3 Kapitel 3: Energie und Verkehr

## Volume 3 Chapter 3: Energy and Transport

### Koordinierende Leitautoren

Reinhard Haas, Romain Molitor

### LeitautorInnen

Amela Ajanovic, Tadej Brezina, Michael Hartner, Petra Hirschler, Gerald Kalt, Claudia Kettner, Lukas Kranzl, Norbert Kreuzinger, Thomas Macoun, Michael Paula, Gustav Resch, Karl Steininger, Andreas Türk, Sibylla Zech

### Beiträge von

Birgit Bednar-Friedl, Helmut Haberl, Stefan Hausberger, Markus Mailer, Andreas Müller

### Für den Begutachtungsprozess

Brigitte Bach

### Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG	858	3.2	Verkehr	895
SUMMARY	858	3.2.1	Welt- und europaweite Fakten zu Energieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen des Verkehrs	895
KERNAUSSAGEN	858	3.2.2	Wirkungsmechanismen im Personenverkehr	900
3.1 Energie	861	3.2.3	Trends und Entwicklungen im Verkehr bis 2030 und danach	901
3.1.1 Wie energierelevante THG-Emissionen verursacht werden	862	3.2.4	Trends und Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen bis 2030 und danach	902
3.1.2 Historische Charakteristika desenergieversorgungssystems und der korrespondierenden THG-Emissionen in Österreich	864	3.2.5	Adaptation und Mitigation: Lösungsansätze und politische Maßnahmen	907
3.1.3 Indikatoren des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen: Bewertung Österreichs im internationalen Vergleich	871	3.2.6	Zentrale Maßnahmen für Adaptation und Mitigation	922
3.1.4 Optionen für den Klimaschutz (zur Verringerung der THG-Emissionen) – Ein Überblick	872	3.3	Anforderungen an Forschung und Entwicklung	923
3.1.5 Optionen für den Klimaschutz I (zur Verringerung der THG-Emissionen) – Beeinflussung des THG-Faktors bei der Energieaufbringung	872	3.4	Literaturverzeichnis	925
3.1.6 Optionen für den Klimaschutz II – Perspektiven für technische Effizienzsteigerungen bei der Energieumwandlung	877			
3.1.7 Optionen für den Klimaschutz III (zur Verringerung der THG-Emissionen) – bei der Energienutzung: Szenarien des Energieverbrauchs	881			
3.1.8 Optionen für Adaptation (Anpassung an den Klimawandel)	886			
3.1.9 Energiepolitische Instrumente	888			
3.1.10 Kernaussagen	893			

## ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Kapitel werden auf Basis der vorliegenden Literatur – vorrangig wissenschaftlich begutachtet („peer-reviewed“), aber auch „graue Literatur“ – die wichtigsten treibhausgas-(THG-)spezifischen Entwicklungen in den Bereichen „Energie“ und „Verkehr“ in Österreich bewertet und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sowie den Klimaschutz betreffend dokumentiert.<sup>1</sup>

Der Anteil der energiebedingten THG-Emissionen lag in Österreich von 1990 bis 2011 bei ca. 87 % und war damit unter allen THG-Quellen am größten. Am stärksten gestiegen sind die THG Emissionen in den letzten beiden Dekaden (1990 bis 2010) im Verkehr mit +55 %.

Grundsätzlich sind energiebedingte THG-Emissionen abhängig vom spezifischen THG-Emissionsfaktor der eingesetzten Primärenergie, der Effizienz der Umwandlungstechnologien und der Nachfrage nach Energiedienstleistungen (ED). Davon leiten sich die wichtigsten Klimaschutzmaßnahmen ab: (i) im Bereich der Primärenergie die Forcierung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger (EET), deren Potenzial bei 750 bis 1300 PJ liegt, wovon derzeit ca. 450 PJ genutzt werden; (ii) im Bereich der Umwandlung die Steigerung der Effizienz vor allem bei Raum- und Prozesswärme, bei stromspezifischen Anwendungen in allen Sektoren und bei Fahrzeugen; (iii) die Reduktion der Nachfrage nach ED vor allem im Verkehrssektor durch Stärkung effizienterer Verkehrsmittel (nicht motorisierter Verkehr, öffentlicher Verkehr) sowie eine effiziente Raumplanung sowie die Vermeidung „unsinniger“ stromspezifischer Anwendungen, z. B. bei Stand-by-Verlusten.

Die wichtigsten energiepolitischen Instrumente zur Reduktion der THG-Emissionen sind:

- Im Energiesektor (A) THG-basierte Steuern, (B) Verschärfung der thermischen Gebäudestandards sowie jener für Elektrogeräte, (C) eine effiziente weitere (fiskalische) Förderung EET sowie (D) technologische Innovation und Bewusstseinsbildung.
- Im Verkehrssektor ein umfassendes Portfolio aus folgenden Maßnahmen: (A) fiskalische Instrumente; (B) raumplanerische und gesetzliche Maßnahmen; (C) technologische Innovationen bei konventionellen und alternativen

Antrieben; (D) Steuerung des Verkehrsflusses und Bewusstseinsbildung.

## SUMMARY

From 1990 to 2011, Energy related GHG emissions were the dominant source of Austrian GHG emissions, with a share of about 87 %. The transport sector showed the biggest increase in GHG emissions with 55 % over the last two decades (1990 to 2010).

Energy related GHG emissions depend in principle on: the specific GHG-Emission factor of the primary energy used, the efficiency of the conversion technologies and the demand for energy services. From these impact parameters the following central mitigation measures can be derived: (i) the increased use of renewable energy sources in all sectors with respect to primary energy, which, according to different studies, can potentially increase from the current 450 PJ to between 600 and 1000 PJ; (ii) the increased efficiency of conversion technologies, especially for room heating and process heat and for specific electric uses in all sectors and for all types of vehicles; and (iii) the reduction of energy intensive services in transport by switching to non-motorized and public transport, spatial planning and reduction of „useless“ electricity consumption (e. g. stand-by losses).

The key policy instruments for a reduction of GHG emissions for the energy sector include:

- (A) fiscal instruments like GHG-based taxes; (B) tightening of the efficiency standards for buildings and electric appliances in general; (C) efficient and effective further (fiscal) promotion of renewable energy sources; and (D) technological innovation and awareness raising.
- The transport sector could benefit from a portfolio consisting of: (A) fiscal instruments; (B) spatial planning and legal measures; (C) technological innovations for conventional and new alternative powertrains; and (D) soft measures and awareness raising.

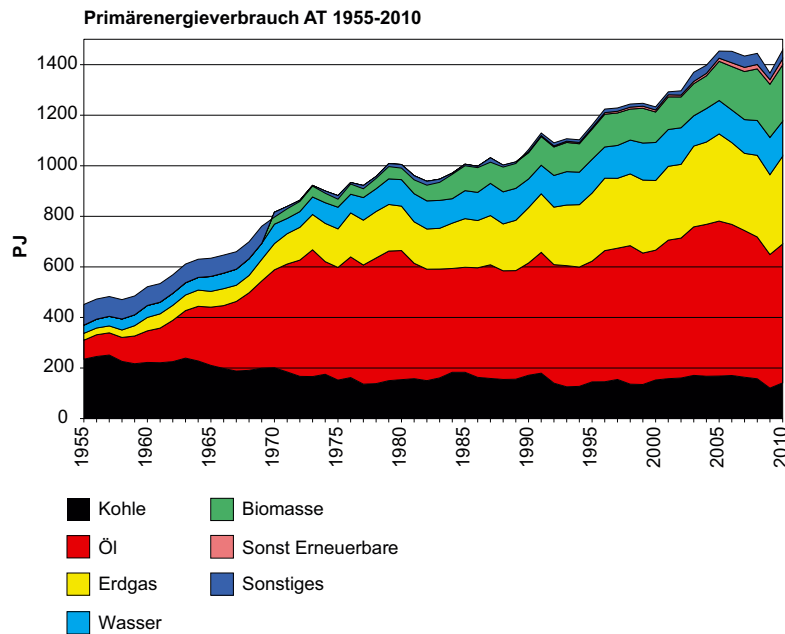
## KERNAUSSAGEN

1. Historische Entwicklung des Energieverbrauchs (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)

Die wichtigsten Aspekte der historischen Entwicklung des Energieverbrauchs in Österreich sind:

- Der Anteil von Öl ist seit ca. 1990 gleichbleibend, jener der erneuerbaren Energieträger (EET) und von Gas hingegen ist seither stark gestiegen.

<sup>1</sup> Anmerkung zu Unsicherheiten: In Bezug auf die dargestellten Szenarien und ihre Bandbreite sowie die Effekte energiepolitischer Instrumente gibt es keine Studie, die sich diesen gewidmet hätte. Darum werden in dieser Arbeit diesbezüglich auch keine Angaben gemacht.



**Abbildung 3.1** Entwicklung der Primärenergieversorgung in Österreich von 1955 bis 2011 nach Energieträgern. Quelle: eigene Darstellung nach Datenbank Energy Economics Group und Statistik Austria (2013a)

**Figure 3.1** Development of primary energy supply in Austria from 1955 till 2010 by energy carrier. Source: own graph based on the database of the Energy Economics Group and Statistik Austria (2013a)

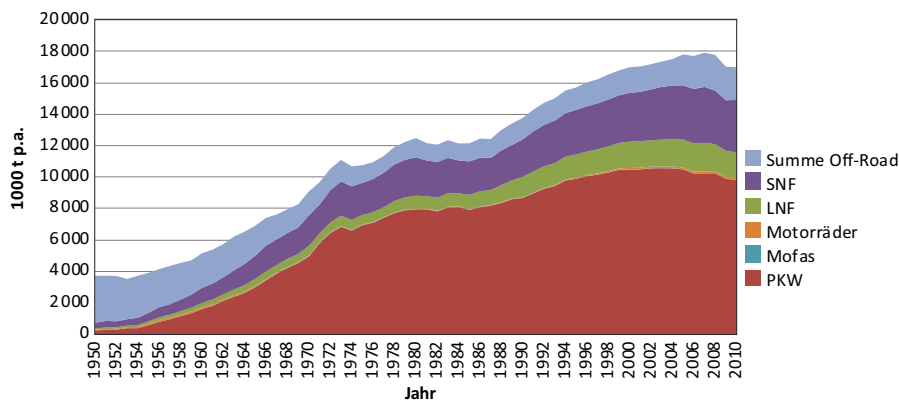
- Hohe Importabhängigkeit von ca. 70 % seit 1975.
  - Seit 2005 kann eine Stagnation von Primär- und Endenergieverbrauch beobachtet werden.
  - Anstieg der Anteile von Strom (23 % im Jahr 2011 im Vergleich zu 17 % im Jahr 1990) und Gas (28 % im Jahr 2011 im Vergleich zu 13 % im Jahr 1990).
  - Steigerung des Anteils EET an der Primärenergieaufbringung in den letzten Jahren, von ca. 23 % im Jahr 2000 auf ca. 29 % 2011.
2. Option erneuerbare Energiequellen im Bereich der Energieaufbringung (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)
- Das Potenzial an EET in Österreich insgesamt liegt den verschiedenen Studien zufolge bis 2050 im Bereich von 750 bis 1 300 PJ, das sind ca. 50 bis 90 % des Primärenergieverbrauchs von 2010.
  - Biomasse nimmt unter den erneuerbaren Energieträgern eine spezifische Stellung ein und wird auch in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Substitution fossiler Energieträger spielen müssen. Die primärenergetischen Potenziale sind in Österreich jedoch bereits weitgehend erschlossen.
  - Beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassennutzung ist der Flächen- bzw. Rohstoffbedarf für Nahrungsmittelproduktion und stoffliche Biomassennutzung zu berücksichtigen (zumal eine Substitution fossiler Rohstoffe auch bei stofflichen Produkten erforderlich ist).

3. Optionen im Bereich der Stromversorgung (hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage):

Im Bereich der Stromaufbringung kann bis 2050 – je nach Szenario – bis zu 100 % Deckung durch EET erreicht werden. In Bezug auf die Infrastruktur sind deutliche Veränderungen notwendig, wobei hierbei nahezu alle Subbereiche (Erzeugung, Netz, Speicherung und Verbrauch) betroffen sind. Diese Strukturanpassungen erscheinen aber auch bei maßvoller Weiterentwicklung der energiepolitischen Rahmenbedingungen durchaus erreichbar. Der steigende Anteil EET im Erzeugungsbereich, Smart Grids vor allem auf Verteilnetzebene, neue Stromspeichertechnologien und -kapazitäten sowie Smart Meters bei den Verbrauchern werden die bestehenden Strukturen signifikant verändern und eine weitgehend CO<sub>2</sub>-arme Stromversorgung ermöglichen.

4. Optionen im Bereich Heizenergie (hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage):

- Im Bereich der Heizenergieversorgung von Wohngebäuden könnten mittels ambitionierten politischer Maßnahmen die THG-Emissionen bis 2050 am drastischsten gesenkt werden. Am wichtigsten dabei ist eine qualitativ hochwertige thermische Sanierung des Bestands und die optimale Einbindung der Nutzung EET.
- Bei Neubauten wurde in den letzten Jahren ein beträchtlicher technologischer Fortschritt realisiert. In den nächsten Jahren sollte dieser Trend weiter forciert werden; die



**Abbildung 3.2** Historische Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gesamter Verkehr 1950-2010 in Österreich nach Kategorie. Quelle: Hausberger und Schwingshackl (2011)<sup>1</sup>

**Figure 3.2** Historical development of CO<sub>2</sub>-emissions in transport by mode from 1950 to 2010 in Austria. Source: Hausberger und Schwingshackl (2011)

<sup>1</sup> LNF: Leichte Nutzfahrzeuge (Lieferwagen und Lkw <3,5 t Gesamtmasse); SNF: Schwere Nutzfahrzeuge (Lkw >3,5 t Gesamtmasse und Busse); Off-Road: Eisenbahn (Dampf- und Dieseltraktion, Baumaschinen, Landwirtschaftliche Maschinen, Rasenmäher etc.)

erreichten Kennwerte derjenigen Gebäude mit dem geringsten Energiebedarf bzw. THG-Emissionen sollten der Festlegung von Standards für künftige Neubauten dienen. Im Sinne des mit der europäischen Gebäuderichtlinie (Neufassung) eingeschlagenen Weges ist eine sehr ambitionierte Festlegung von Neubaustandards erforderlich, um langfristige Klimaschutzziele zu erreichen.

- Unter diesen Randbedingungen kann bis 2050 auf Basis EET eine Abdeckung von etwa 70 % des Wärmebedarfs erreicht werden, wobei hier ein breites Portfolio aus Biomasse, Solarthermie, Geothermie und der Nutzung von Umgebungswärme zum Einsatz käme.

##### 5. Optionen im Bereich des Stromverbrauchs (starke Übereinstimmung, mittlere Beweislage):

Der Stromverbrauch wird ohne gravierende politische Eingriffe weiterhin deutlich ansteigen. Zwar wird es durch effizientere Technologien bei bestehenden Anwendungen und der Beleuchtung zu Einsparungen kommen, vor allem durch die weitere Verbreitung neuer stromkonsumierender Anwendungsbereiche bei gleichbleibenden niedrigen (realen) Niveaus der Strompreise wird der Gesamtstromverbrauch zumindest moderat weiter steigen. Das ist das Ergebnis praktisch aller berücksichtigten Szenarien, ausgenommen jener, die eine Reduktion des Stromverbrauchs explizit vorgegeben haben.

##### 6. Die THG-Emissionen im Verkehrssektor (mittlere Übereinstimmung, starke Beweislage):

Der Verkehrssektor war sowohl in Österreich als auch in der EU in den letzten Jahren der Sektor mit der ungünstigsten Entwicklung der THG-Emissionen. Die in den letzten Jahren auf EU-Ebene forcierten regulativen Instrumente – im Wesentlichen Standards für CO<sub>2</sub>-Emissionen pro zurückgelegtem km – haben lange Zeit nicht die gewünschten Erfolge gezeigt.

Die Gründe dafür waren, dass die gesteigerte Effizienz der Pkw zu einem Großteil durch höhere Fahrleistungen (= gefahrene km) und größere/schwerere Pkw kompensiert wurden.

Wenn die THG insgesamt gesenkt werden sollen, wird im Verkehrsbereich ebenfalls eine substantielle Reduktion der THG-Emissionen erforderlich sein. Dieses setzt eine deutliche Reduktion des Einsatzes fossiler Energie voraus, die nur durch ein konsequent von der Politik umzusetzendes Maßnahmenbündel erreicht werden kann, mit dem die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Weg im Personenverkehr bzw. je Transporteinheit im Güterverkehr reduziert werden.

##### 7. Reduktion der Fahrzeugkilometer im Verkehr (mittlere Übereinstimmung, starke Beweislage):

- Weniger Personen- und Güterkilometer durch Maßnahmen, die Gesellschafts-, Wirtschafts- und Siedlungsstrukturen unterstützen, welche es ermöglichen die menschlichen Daseinsgrundfunktionen (Wohnen, Arbeiten, Bildung, Ver- und Entsorgen, Erholung, Gemeinschaft) und wirtschaftlichen Austauschprozesse in geringerer räumlicher Distanz zu erfüllen und somit Nahmobilität fördern.
- Weniger Fahrzeugkilometer pro Personen- und Güterkilometer durch Maßnahmen, die in erster Linie das Zufußgehen und Radfahren fördern, aber auch zu höherer Effizienz im Fahrzeugverkehr führen, etwa mittels höherer Besetzungsgrade durch ÖV und Fahrgemeinschaften, weniger Leerfahrten, weniger Bring-/Holfahrten, weniger Parksuchverkehr, Bedarfsverkehre im ÖV etc.

Dazu gehören zum Beispiel kurz- bis mittelfristige Maßnahmen, wie Angebote im nicht motorisierten Verkehr und im Öffentlichen Verkehr, insbesondere auch im suburbanen und

ländlichen Raum; ökonomische Maßnahmen zur Steuerung bzw. Lenkung der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr sowie des Verkehrsverhaltens, darüber hinaus die Implementierung von Anwendungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie mit dem Ziel eine einfache und barrierefreie Multimodalität zu unterstützen. Weiters sind langfristige Maßnahmen wie etwa die Umsetzung der „Stadt / Region der kurzen Wege“, das Erreichen von Mindestgrößen und -dichten für Siedlungen zwecks einer effizienten Erschließung, Innenentwicklung durch verdichtete Bauformen und Mischnutzung oder integrative Standortpolitik zu erwähnen (mittlere Übereinstimmung, starke Beweislage).

8. Weniger fossile Energie pro Fahrzeugkilometer (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage):

- Verbrennungsmotoren mit weniger Verbrauch, durch Maßnahmen, die Fahrzeuge bzw. Motoren mit geringem spezifischem Verbrauch fördern, etwa durch Senkung von Roll- und Luftwiderstand sowie der Fahrzeugmasse.
- Geringere CO<sub>2</sub>-Emission pro Primärenergieeinheit durch Maßnahmen zur Förderung entsprechender alternative Energieträger.
- Energieeffizienter Verkehrsfluss durch Maßnahmen, die zu einer gleichmäßigeren Fahrweise mit weniger Anhalte- und Beschleunigungsvorgängen, weniger Staus und niedrigerer Geschwindigkeit führen.

Dazu gehören zum Beispiel ökonomische Maßnahmen zur Steuerung des spezifischen Energieverbrauchs von Fahrzeugen, ordnungspolitische Maßnahmen wie das Festsetzen von Grenzwerten der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fahrzeuge oder von wirksamen Geschwindigkeitsbeschränkungen. Ferner Maßnahmen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie zur effizienteren Steuerung des verbleibenden Verkehrsflusses von Automobilen oder technologische Maßnahmen wie die verstärkte Einführung von alternativen Antriebssystemen (z. B. Elektro-Antrieb) bzw. von alternativen Kraftstoffen wie Biokraftstoffen, BioCNG oder Wasserstoff.

9. Wichtigste energiepolitische Instrumente insgesamt (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage):

Insgesamt sind die wichtigsten energiepolitischen Instrumente zur Reduktion der THG-Emissionen: CO<sub>2</sub>-basierte Steuern, Verschärfung der thermischen Gebäudestandards, verschärfte Standards für Elektrogeräte und effiziente weitere (fiskalische) Förderung EET. Zu letzterem ist anzumerken, dass eine weitere Förderung vom technologischen Fortschritt und von Ler-

neffekten der Technologien abhängig gemacht werden sollte. Von zentraler Bedeutung sind hier Anreize für die Marktintegration, sowohl bei Strom als auch bei Wärme und Mobilität.

### 3.1 Energie

#### 3.1 Energy

Energie ist vital für unser Wirtschaftssystem. Sowohl die Produktion von Gütern als auch die Bereitstellung von Dienstleistungen gehen mit dem Einsatz von mehr oder weniger Energie einher. So wurden in Österreich zwischen 1990 und 2011 pro Mrd. € Bruttoinlandsprodukt (BIP) 4,8–5,5 PJ an Primärenergie eingesetzt, wobei kein Trend einer Veränderung erkennbar war.

Aus der Sicht des Klimawandels führt dieser Energieeinsatz allerdings zu gravierenden Problemen, denn die Umwandlung von Primärenergie in Energieträger und weiter in Energiedienstleistungen geht mit der Emission von THG-Emissionen einher. In Österreich lag der Anteil der energieumwandlungsbedingten THG-Emissionen von 1990 bis 2011 bei ca. 87 % und stellt damit den bei weitem größten Anteil an den österreichischen THG-Emissionen dar. Die Ursachen hierfür sind:

- Große Umwandlungsverluste (ca. 50 %) von der Primärenergie bis zur Nutzenergie
- Hoher Anteil – bei ihrer Nutzung THG-emittierender – fossiler Energieträger, derzeit ca. 71 % des österreichischen Bruttoinlandsverbrauchs
- Niedrige Energiepreise: seit 1965 sind diese im Durchschnitt gleich geblieben

Darüber hinaus führen verschiedene weitere Probleme dazu, dass dieses Energie“versorgungssystem derzeit nicht nachhaltig ist. Die wichtigsten sind nach Nakicenovic et al. (2012):

- Hohe Abhängigkeit vom Verbrauch begrenzter fossiler Ressourcen
- Hohe Auslandsabhängigkeit von ca. 90 % beim Verbrauch dieser fossilen Energieträger
- Ungerechte internationale Verteilung beim Verbrauch der Ressourcen. Dies führt zunehmend zu internationalen Spannungen, auch im Kontext von Emissionsrechten und Emissionsreduktion in Bezug auf THG

Das Ziel dieses Kapitels ist eine Bewertung des Wissensstands in Bezug auf das österreichische Energiesystem (Energieauf-

bringung, Energieumwandlung, „Energieverbrauch“<sup>2)</sup> aus der Sicht des Klimawandels. Dazu wird zunächst dargestellt, wie energetische THG-Emissionen verursacht werden, welche Faktoren diese beeinflussen und wie die derzeitige Situation in Bezug auf diese Einflussfaktoren absolut einzuschätzen ist. In Ergänzung dazu erfolgt in Abschnitt 3.1.2 eine Beschreibung der wichtigsten historischen Trends in Bezug auf Energieverbrauch und THG-Emissionen in Österreich. In Abschnitt 3.1.3 werden die wichtigsten Indikatoren des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen für Österreich im internationalen Vergleich dokumentiert und analysiert wie die Position Österreichs im Vergleich zu anderen Ländern einzuschätzen ist.

Bis zu Abschnitt 3.1.3 erfolgt also eine beschreibende Bewertung des österreichischen Energiesystems. Beginnend mit Abschnitt 3.1.4 wird dargestellt, wie dieses und die THG-Emissionen beeinflusst werden können. Dazu werden in den Abschnitten 3.1.4 bis 3.1.7 Klimaschutzmaßnahmen (*Mitigation*) beschrieben, wobei in Abschnitt 3.1.4 ein Überblick gegeben wird, in Abschnitt 3.1.5 Möglichkeiten den Energiemix (und damit die spezifischen THG-Emissionen je Energieeinheit) zu beeinflussen dokumentiert werden, in Abschnitt 3.1.6 Maßnahmen zur Effizienzsteigerung beschrieben werden und in Abschnitt 3.1.7 Szenarien der Entwicklung bei den Anwendungen verglichen werden. Energiepolitische Instrumente, um diese Klimaschutzmaßnahmen praktisch umzusetzen, werden in Abschnitt 3.1.9 erörtert. Optionen für Anpassung (*Adaptation*) an den Klimawandel sind in Abschnitt 3.1.8 dokumentiert. Anforderungen an F&E sowie Schlussfolgerungen beschließen dieses Kapitel.

### 3.1.1 Wie energierelevante THG-Emissionen verursacht werden

Zunächst werden die wichtigsten grundsätzlichen formalen Zusammenhänge, die zur Emission von THG aufgrund von Energieverbrauch führen, dokumentiert. Ausgangspunkt ist, dass die THG<sup>3)</sup>-Emissionen (THG) vom Energieverbrauch (E) und den spezifischen Emissionen des Energiemix ( $f_{\text{THG}}$ ) abhängen (siehe z. B. Howarth und Schipper, 1991; Schipper und Haas, 1997; Haas et al., 2008):

$$\text{THG} = E * f_{\text{THG}} \quad (1)$$

<sup>2)</sup> Energie kann grundsätzlich natürlich weder „erzeugt“ noch „verbraucht“ sondern nur umgewandelt werden, vgl. Mayer (1845). Aufgrund der weiten Verbreitung dieses Begriffs wird er jedoch auch in dieser Arbeit genutzt.

<sup>3)</sup> In diesem Kapitel werden jeweils alle Treibhausgase unter THG subsummiert. Als Einheit wird immer CO<sub>2</sub>-Äq. verwendet.

### Das zentrale Motiv der Energienutzung: Bereitstellung von Energiedienstleistungen

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Analysen in diesem Kapitel ist die Feststellung, dass nicht Energie nachgefragt wird, sondern Energiedienstleistungen (im Folgenden mit S für Service bezeichnet), vgl. Köppl et al. (2011) oder Haas et al (2008). Das heißt, es geht nicht darum, Benzin, Kohle oder Heizöl an sich zu verbrauchen, sondern darum, mit Energie und Effizienz von Technologien die Energiedienstleistungen Mobilität, warme und behagliche Räume, helle Arbeitsplätze, rechnende und nicht heizende IT-Geräte bereitzustellen. Dieser Aspekt der Energiedienstleistung wird in der Literatur nicht immer explizit erwähnt, vgl. z. B. Erdmann und Zweifel (2008).

Energiedienstleistungen können im Allgemeinen aus einem Mix aus Technologien (z. B. Heizsystem und Wärmedämmung) und Energie bereitgestellt werden (wenn wir die weiteren Inputs wie menschliche Arbeit oder Umwelt als konstant betrachten). Je effizienter die Umwandlungstechnologie, umso geringer der notwendige Energieeinsatz, um die gleiche Energiedienstleistung bereitzustellen.

Die energiebedingten THG-Emissionen sind also letztendlich abhängig von der Nachfrage nach Energiedienstleistungen (Services) S, der Effizienz der Umwandlungstechnologie  $h(T)$  und dem spezifischen THG-Emissionsfaktor  $f_{\text{THG}}$ : (vgl. Box 3.1)

$$\text{THG} = (S / \eta (T)) * f_{\text{THG}} \quad (2)$$

Daraus abgeleitet folgt, dass es die folgenden drei Ansätze gibt, die energetischen THG-Emissionen zu verringern (Weitere Details Abschnitt 3.2.4):

- Einfluss auf  $f_{\text{THG}}$
- Einfluss auf  $\eta$
- Einfluss auf S

### Das Energiesystem Österreichs und die korrespondierenden THG-Emissionen

Nur in wenigen Fällen, wie bei der traditionellen Nutzung der Wasserkraft (Wassermühlen) und des Windes (Segelschiffe, Windmühlen), der geothermischen Energienutzung und der thermischen Nutzung der Solarenergie, steht Energie bereits in transienten Formen bereit, sodass direkt mit Hilfe einer Anwendungstechnologie Energiedienstleistungen bereit gestellt werden können. In den meisten Fällen kann ein Primärener-

**Box 3.1: Wie die Nachfrage nach Energiedienstleistungen zu THG-Emissionen führt****Box 3.1: How the demand for energy services causes GHG emissions**

Technisch werden Energiedienstleistungen (S), wie etwa behaglich temperierter und beleuchteter Raum oder Mobilität durch zumindest drei Inputs bereitgestellt: Durch Energie (E), durch eine Technologie (T) die über ihre Effizienz  $\eta$  definiert wird und durch einen Verbrauch von Umwelt, in unserem Kontext z.B. THG:

$$S = f(E, \eta(T), \text{THG}) \quad (\text{Gleichung 3.1.1})$$

Kurzfristig, vorausgesetzt einer bestimmten Infrastruktur, kann dieser Zusammenhang einfacher aus dem Produkt von E und  $\eta(T)$  wie folgt dargestellt werden

$$S = E\eta(T) \quad (\text{Gleichung 3.1.2})$$

und

$$\text{THG} = E * f_{\text{THG}} \quad (\text{Gleichung 3.1.3})$$

Die konsumierte Menge an Energiedienstleistungen hängt ab vom individuellen Nutzen dieses Services ( $u[s]$ ), vom Einkommen (Y, dem Preis der Energiedienstleistung ( $p_s$ ) und den Kapitalkosten (CC)

$$S = f(p_s, CC, Y, u(s)) \quad (\text{Gleichung 3.1.4})$$

wobei sich der kurzfristige Preis der Energiedienstleistung ( $p_s$ ) ergibt aus:

$$p_s = p_E / \eta(T) \quad (\text{Gleichung 3.1.5})$$

$p_E$  Energiepreis

$\eta(T)$  Effizienz

Anmerkung: Aus diesen Zusammenhängen werden auch bereits einige Probleme energiepolitischer Maßnahmen offensichtlich. So zeigen die Gleichungen 3.1.2, 3.1.4 und 3.1.5, dass Energiedienstleistungen durch technische Maßnahmen zwar effizienter bereit gestellt werden können, aber auch das Niveau des Service-Bedarfs von  $\eta(T)$  abhängt (Gleichung 3.1.4 und 3.1.5). Dies führt zum sogenannten *Rebound-Effekt*.

Aus Gleichung 3.1.2 und 3.1.3 ergibt sich der Zusammenhang:

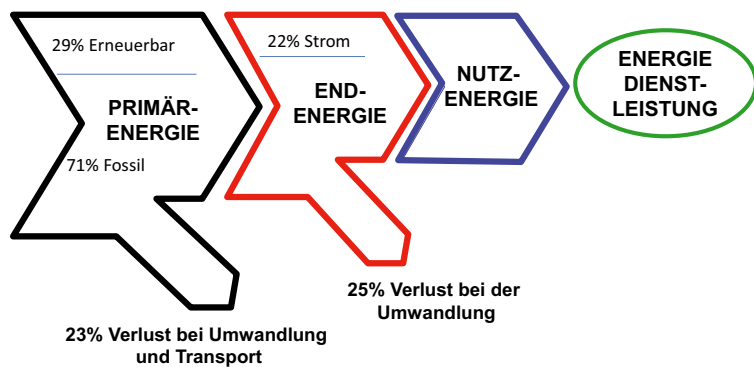
$$\text{THG} = (S / \eta(T)) * f_{\text{THG}} \quad (\text{Gleichung 3.1.6})$$

gieträger jedoch erst nach einem oder mehreren Umwandlungsschritten genutzt werden.

Dies führt zum Begriff der Energieumwandlungsketten. Ausgehend von der verfügbaren Primärenergie (Öl, Kohle, Biomasse, Uran, Gas, Solar) und der Nachfrage nach End- bzw. Nutzenergie ist nun die Frage, wie viel Energie letztendlich wirklich nutz. B.ar verwendet wird. Denn eines der zentralen Probleme der Nutzung von Energie sind die in der langen Kette von der Erschließung von Primärenergie (z. B. Abbau

von Kohle, Gewinnung von Erdöl) bis zur Bereitstellung einer ED auftretenden Verluste (vgl. Abbildung 3.3). Diese sind natürlich von der Effizienz  $h(T)$  der Umwandlungstechnologie auf der jeweiligen Stufe abhängig.

Die Verknüpfung, Verkettung und Kombination von Energieketten bzw. die Interaktion zwischen diesen bezeichnen wir als „Energiesystem“ (vgl. Nakicenovic, 1996). Das heißt, ein Energiesystem umfasst innerhalb bestimmter Systemgrenzen alle Flüsse, Umwandlungen wie auch Nutzungen verschiede-



**Abbildung 3.3** Die Elemente der Energiekette; Beispiel für die Verluste in Österreich. Quelle: eigene Darstellung nach Statistik Austria (2013a)

**Figure 3.3** Parts of the energy chain; Example for Losses in Austria. Source: own graph based on Statistik Austria (2013a)

ner Energiequellen und -träger. Energiesysteme können auf verschiedenen Aggregationsniveaus beschrieben werden: Gebäude, Siedlung, Region, Stadt etc.

Die Verluste fallen sowohl bei der Umwandlung von Primär- in Endenergieträger (z. B. Kohle zu Elektrizität oder Wärme) als auch bei der Umwandlung von Endenergieträger in Nutzenergie an (z. B. Elektrizität zu Licht oder Diesel zu Mobilität). Die Wirkungsgrade der einzelnen Technologien auf beiden Umwandlungsstufen werden ständig verbessert, unterliegen aber auch den physikalischen Grenzen der Thermodynamik, die Verluste unvermeidbar machen. Typische Wirkungsgrade im Bereich der thermischen Kraftwerke zur Stromerzeugung liegen zwischen 25 % (altes Kohlekraftwerk) und 60 % (neue Gas- und Dampfkraftwerke) und bis zu 90 % bei Heizkraftwerken und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Bei den erneuerbaren Energien Wasserkraft, Geothermie, Wind und Photovoltaik wird nach den IPCC Konventionen ein Wirkungsgrad von 100 % angesetzt, da bei der Nutzung keine direkten Ressourcen verbraucht werden. Unter diesen Annahmen führt ein Umstieg auf diese Energieträger zu einer Steigerung der Umwandlungseffizienz von Primärenergie auf Endenergie.

Im Bereich der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie hängt der Wirkungsgrad sehr stark vom Anwendungsbereich ab. Während Technologien zur Bereitstellung von Wärme Wirkungsgrade bis über 90 % erreichen, zeigen andere Bereiche wie etwa die Umwandlung von Strom in Licht (4 % bei Glühlampen, 20 % bei Energiesparlampen) oder von Treibstoff in Traktion (25–40 % bei konventionellen Motoren) weit geringere Wirkungsgrade. Zu den Umwandlungsverlusten kommen noch Verluste bei der Verteilung (z. B. Netzverluste bei der Stromübertragung), der Eigenverbrauch des Sektors Energie zum Betrieb der Erzeugungs- und Verteilungsanlagen und die Nutzung von Primärenergieträgern für nicht energetische Zwecke (z. B. chemische Industrie).

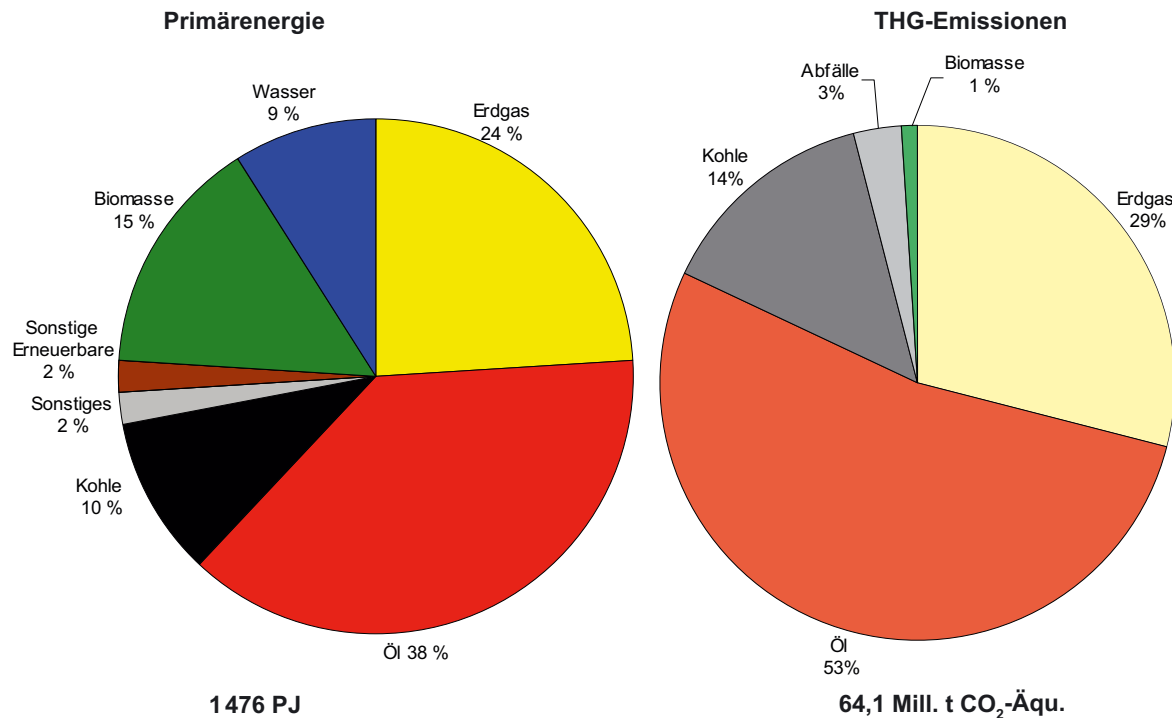
Auf der letzten Stufe der Energiedienstleistungen sind Verluste nur schwer zu quantifizieren. Hier geht es eher um den Vergleich möglicher Bereitstellungsketten (z. B. gefahrene Personenkilometer mit Bahn bzw. PKW, Reduktion des Energiebedarfs für Beleuchtung durch die intelligente Nutzung des Tageslichts) zur Befriedigung der Dienstleistung. Lebenszyklusanalysen der einzelnen Möglichkeiten, welche die Energieflüsse zur Bereitstellung der Nutzenergie berücksichtigen, sind hier geeignete Methoden um die Auswirkungen auf den Energiebedarf zu bewerten. Im Rahmen dieses Kapitels liegt der Fokus allerdings auf der Effizienz der dahinter liegenden Energieketten. Sprich in den folgenden Analysen wird die Bereitstellung von Energiedienstleistungen quantitativ im Detail nicht weiter verfolgt, vor allem auch, weil dafür praktisch keine Daten verfügbar sind.

Die Bewertung des österreichischen Energiesystems beginnt mit der Dokumentation der Energiekette in Abbildung 3.3. Dementsprechend lag der Primärenergie-Einsatz 2010 bei ca. 1 476 PJ, davon entfielen ca. 29 % auf erneuerbare Energieträger (EET) und der Rest auf fossile Energieträger. Bis zur Umwandlung in Endenergie gingen ca. 23 % an Energie verloren, bis zur Nutzenergie weitere 25 %. Die korrespondierenden THG-Emission von 64 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2010 zeigt Abbildung 3.4. Der größte Anteil von über 50 % entfällt auf Erdöl, gefolgt von Erdgas mit ca. 30 %. Für den spezifischen THG-Emissionsfaktor  $f_{\text{THG}}$  ergibt sich für 2010 ein Wert von 44 t CO<sub>2</sub>-Äq. /TJ.

### 3.1.2 Historische Charakteristika desenergieversorgungssystems und der korrespondierenden THG-Emissionen in Österreich

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Fakten zum Energieeinsatz, sowie die damit verbundenden THG-Emissionen, in Österreich beschrieben. Weiters dokumentieren wir die





**Abbildung 3.4** Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen in Österreich 2010 nach Energieträgern. Quelle: eigene Darstellung nach Statistik Austria (2013a) und Umweltbundesamt (2013)

**Figure 3.4** Development of primary energy consumption and energy related Greenhouse gas emissions in Austria 2010 by energy carrier. Source: own graph based on Statistik Austria (2013a) and Umweltbundesamt (2013)

wichtigsten Indikatoren, welche die Höhe des Energieeinsatzes (z. B. Energie vs. BIP, Energie vs. Energiepreis) und des Stromverbrauchs beeinflussen. Details zu den Bilanzierungsregeln finden sich in der Standarddokumentation zu Energiebilanzen der Statistik Austria (2013a). Die Daten zu THG-Emissionen der Energieträger wurden vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt und richten sich nach den IPCC Bilanzierungsvorschriften.

## Energieverbrauch in Österreich

### Primärenergie

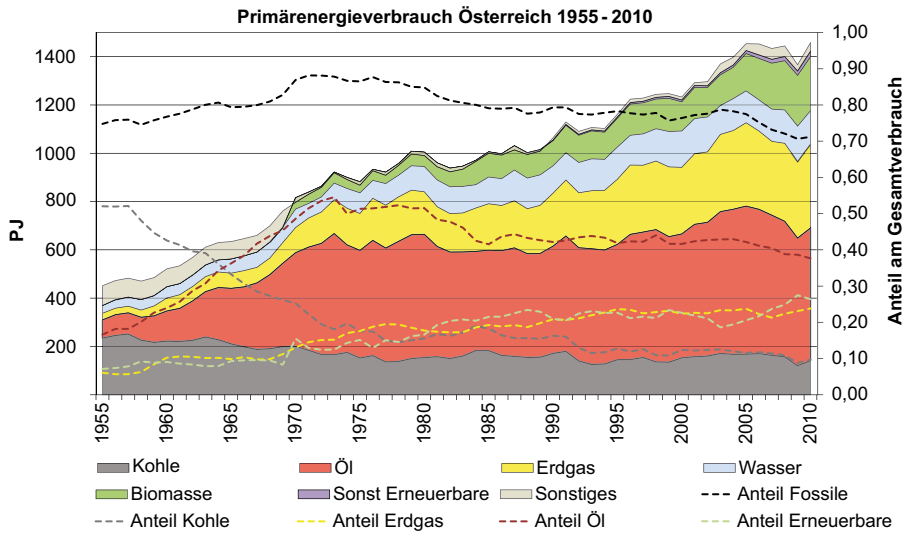
Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Österreich von 1955 bis 2011 zeigt Abbildung 3.5.<sup>4</sup> Im Jahr 2011 betrug der gesamte Bruttoinlandsverbrauch an Primärenergie in Österreich ca. 1430 PJ. Seit 1955 hat sich der Energieeinsatz damit mehr als verdreifacht, was einer durchschnittlichen Wachstumsrate von ca. 2,1 % p.a. entspricht. Abbildung 3.5 zeigt allerdings auch eine Stabilisierung des Primärenergiebe-

<sup>4</sup> Die fossilen Energieträger und biogenen Brennstoffe gehen jeweils mit ihrem Heizwert in den Primärenergieverbrauch ein. Der Einsatz von Wasserkraft, Photovoltaik und Wind wird mit dem Umwandlungsausstoß bilanziert (100 % Wirkungsgrad).

darfs von 2005 bis 2011 mit einem signifikanten kurzfristigen Einbruch im Jahr 2009, der auf die geringere Produktion im Zuge der Wirtschaftskrise zurückzuführen ist. Die Stagnation der letzten Jahre ist vor allem auf folgende Faktoren zurückzuführen: Effizienzgewinne bei Umwandlungs- und Nutzungstechnologien, die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger<sup>5</sup> (EET) sowie generell geringe Wachstumsraten des BIP.

Während des gesamten Betrachtungszeitraums zeigt sich die Dominanz fossiler Energieträger, deren Anteil stets mehr als 70 % des Primärenergieeinsatzes betrug. Der Höchststand wurde im Jahr 1972 vor der ersten Ölkrise erreicht, als bedingt durch einen starken Anstieg des Erdölverbrauchs der Anteil der fossilen Energieträger mehr als 88 % betrug. Seither sank der Anteil fossiler Energieträger bis auf 70 % im Jahr 2011. In absoluten Zahlen legte der Verbrauch fossiler Energieträger

<sup>5</sup> Aufgrund der Bilanzierung mit den in der obigen Fußnote beschriebenen Bilanzierungsregeln kommt eine Steigerung des Anteils EET einem Effizienzgewinn im Vergleich zu fossilen Energieträgern gleich – Der Effizienzgewinn durch EET ist im Sinne eines geringeren Verbrauchs von endlichen Ressourcen zur Bereitstellung von Endenergie zu verstehen und nicht als Steigerung des Wirkungsgrades einer konkreten Umwandlungstechnologie.



**Abbildung 3.5** Entwicklung des Primärenergieverbrauchs von 1955 bis 2011 nach Energieträgern in Österreich. Quelle: Statistik Austria (2013a)<sup>2</sup>

**Figure 3.5** Development of primary energy consumption from 1955 till 2011 by energy carrier in Austria. Source: Statistik Austria (2013a)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Eine konsistente Zeitreihe von 1955 bis 2011 ist praktisch unmöglich. Vor 1970 wurden sonstige EET und Biomasse unter „Sonstiges“ bilanziert.

von ca. 750 PJ auf ca. 1 000 PJ im Jahr 2011 um 33 % bzw. < 1 % p.a. zu.

Innerhalb der fossilen Energieträger gab es signifikante Trends, die auf eine Substitution innerhalb der fossilen Brennstoffe hinweisen. Der Energieträger Kohle wies sowohl anteilmäßig (von > 50 % 1955 auf < 10 % 2011) als auch absolut (von 245 PJ auf 145 PJ) einen Rückgang auf. Während der Einsatz von Kohle in Hochöfen, Kokereien und Kraftwerken relativ konstant war, ging vor allem die Bedeutung der Kohle als Endenergieträger zur Wärmebereitstellung in privaten Haushalten und im öffentlichen Dienstleistungsbereich zurück. Dazu ist zu beachten, dass es im Bereich der Stromversorgung aufgrund von geringen CO<sub>2</sub>-Preisen aktuell ein Trend in Richtung eines steigenden Einsatzes von Kohle im Vergleich zu Erdgas zu verzeichnen ist, der aus klimapolitischer Sicht sehr kritisch zu sehen ist.

Der Bedarf an Erdöl bzw. an Mineralölprodukten generell hat sich von 1955 bis 2011 mehr als versiebenfacht, wobei der Großteil des Anstiegs bereits vor der ersten Ölkrise stattfand, als Erdölprodukte alleine mehr als 55 % der österreichischen Primärenergieversorgung abdeckten. Seither ist der Anteil auf ca. 38 % gesunken. Absolut gab es seit 1972 einen nur geringen Zuwachs von ca. 15 % bzw. 0,5 %/Jahr von 450 PJ auf aktuell 517 PJ. Dieser Zuwachs ist fast ausschließlich auf den Verkehrssektor zurückzuführen, während in anderen Bereichen (Produktion, Stromerzeugung, Heizöl) die Bedeutung von Erdöl generell abnimmt. Tendenziell ist aber auch der absolute Erdölbedarfs Österreichs seit dem Jahr 2005 rückläufig.

Gas ist der einzige fossile Energieträger, dessen Anteil am Primärenergieverbrauch sich auch nach der Ölkrise kontinuierlich erhöhte. Im Jahr 2010 lag der Anteil mit ca. 350 PJ bei

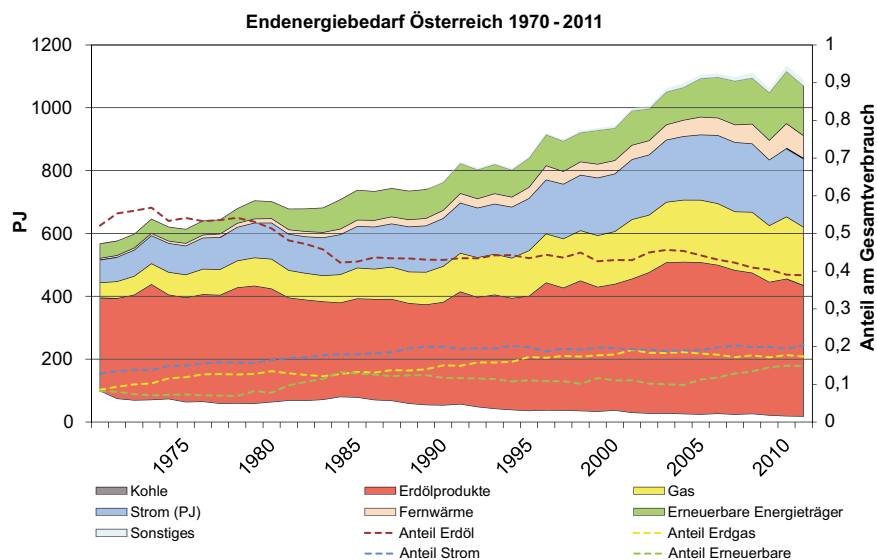
knapp 24 %. Der Anstieg begründet sich sowohl durch einen verstärkten Umwandlungseinsatz, v. a. im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und Heizwerke zur Bereitstellung von Wärme und Strom, als auch durch einen Anstieg zur Bereitstellung von Prozess- und Raumwärme.

Die Entwicklung der EET wird später in diesem Kapitel detailliert behandelt, sie wird hier nur kurz zusammen gefasst. In Abbildung 3.5 ist ein Anstieg der Bedeutung von EET zu erkennen, wobei ein Großteil auf Wasserkraft und die Nutzung der Biomasse zurückzuführen war und nur ein geringer Anteil auf neue Formen wie Wind, PV und Geothermie.<sup>6</sup>

Im Jahr 2011 betrug der Anteil von EET am gesamten Primärenergieeinsatz etwas mehr als 26 %. Weiters zeigt sich, dass der Anteil von EET vor allem nach den beiden Ölkrisen bzw. als Reaktion auf den starken Anstieg der Ölpreise nach der Jahrtausendwende anstieg. Dazwischen gab es keine nennenswerten Veränderungen im Anteil am Primärenergieeinsatz. In absoluten Zahlen erhöhte sich die Produktion aus EET zwischen 1970 und 2011 von ca. 120 PJ auf 394 PJ.

Beim Primärenergieaufkommen ist festzustellen, dass dieses vor allem bei den fossilen Energieträgern durch Importe gedeckt werden muss. In den letzten Jahren war eine Stagnation festzustellen, die auf die verstärkte Nutzung regionaler erneuerbarer Energiequellen (100 % Inlandserzeugung bei Wasser, Wind, PV; 83 % bei Biomasse) in Verbindung mit einem geringen Wachstum des Aufkommens zurückzuführen ist. Bei den fossilen Energieträgern besteht eine nennenswerte Inlandserzeugung bei Öl (7,4 %) und Gas (12 %) während bei Kohle

<sup>6</sup> Daten für Biomasse standen erst ab dem Jahr 1970 zur Verfügung, was den Sprung im EET-Anteil ab 1970 erklärt. Davor wurde der Biomasseanteil zu den sonstigen Energieträgern gezählt.



**Abbildung 3.6** Entwicklung des Endenergiebedarfs Österreichs nach Energieträgern von 1970 bis 2011. Quelle: Statistik Austria (2013a)

**Figure 3.6** Development of final energy consumption in Austria from 1970 till 2011 by energy carrier. Source: Statistik Austria (2013a)

fast der gesamte Bedarf importiert werden muss.

Die Primärenergieträger können nun entweder direkt als Endenergieträger bereit stehen (z. B. Kohle für Kohleheizungen) oder über Umwandlungsschritte (Strom und Fernwärme aus Erdgas) als transformierte Energieträger zur Endenergienutzung bereit gestellt werden. Bei der Umwandlung ergeben sich Verluste (hauptsächlich in Form von nicht genutzter Abwärme, Transportverlusten und des Eigenverbrauchs des Energieumwandlungssektors), die sich nach Abzug des Endenergieeinsatzes und des nicht-energetischen Verbrauchs von Energieträgern (ca. 8 % des Primärenergieträgereinsatzes) vom Primärenergieeinsatz ergeben. Diese Verluste bzw. der energetische Aufwand zur Bereitstellung der Endenergie sind ein Maß für die Effizienz der Bereitstellung von Endenergie wie z. B. Strom oder Fernwärme.

### Endenergie

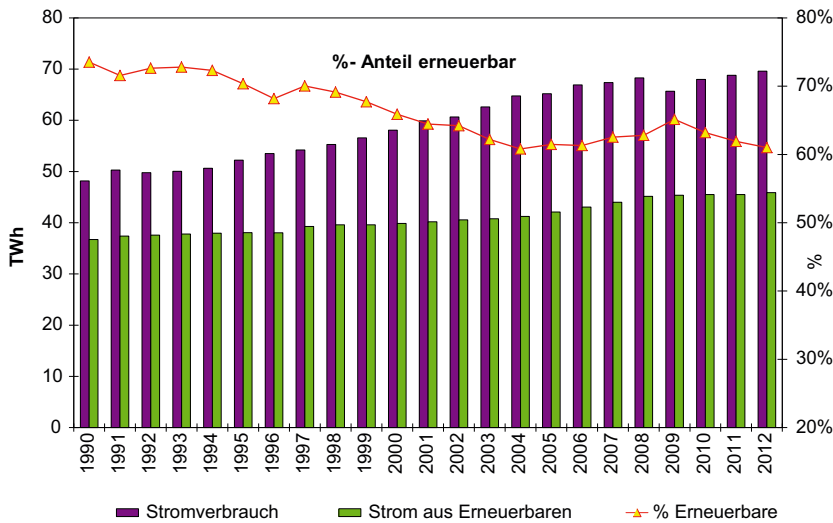
Nach Abzug der Verluste und des nicht energetischen Verbrauchs von Energieträgern ergibt sich der Endenergiebedarf. Dieser wird nach Energieträgern und Wirtschaftssektoren aufgeschlüsselt. Hier ist zu beachten, dass die Energieträger im Endenergiebedarf sowohl primäre Produkte (z. B. Erdgas oder Brennholz zur Bereitstellung von Raumwärme) als auch sekundäre, bereits umgewandelte Energieträger (z. B. Strom oder Fernwärme) darstellen. Für eine ökologische Bewertung ist bei Sekundärprodukten die Betrachtung des Energiemix der Primärträger (z. B. Strom mit einem EET-Anteil von ca. 65 % bzw. Fernwärme mit einem EET-Anteil von 46 %<sup>7</sup>) zur Bereitstellung des Endenergieträgers essentiell.

<sup>7</sup> Die Anteile entsprechen der Berechnung nach EU-Richtlinien. Quelle: Statistik Austria (2013a)

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs von 1970 bis 2011 ist in Abbildung 3.6 dokumentiert. Konsistente Zeitreihen vor 1970 sind hier nicht verfügbar. Der Bedarf stieg von 570 PJ im Jahr 1970 auf 1 090 PJ im Jahr 2011 um 92 % bzw. durchschnittlich 1,6 %/Jahr. Auch hier zeigt sich ein relativ stabiler Verlauf seit dem Jahr 2003. Dies ist einerseits auf den Einsatz effizienterer Technologien im Endanwendungsbereich und andererseits auf die relativ geringen Wachstumsraten in der Güterproduktion in den letzten Jahren zurückzuführen.

Aus Sicht der Energieträger ergeben sich unterschiedliche Trends. Seit 1970 sind die Anteile von Strom und Gas am Endenergiebedarf auf jeweils etwa 20 % gestiegen. In den letzten 20 Jahren waren diese aber nahezu konstant, was einem absoluten Anstieg von 152 PJ auf 217 PJ bei Strom bzw. 114 PJ auf 185 PJ bei Gas seit 1990 entspricht. Der direkte Anteil EET ist vor allem in den letzten sieben Jahren gestiegen und betrug im Jahr 2011 ca. 15 %. Allerdings sind auch in den Energieträgern Strom und Fernwärme Anteile EET inkludiert. Der Anteil von Erdölprodukten zeigt zwar in den letzten Jahren einen leicht rückläufigen Trend, hatte aber im Jahr 2011 mit 39 % noch immer den größten Anteil am gesamten Endenergiebedarf. Die Bedeutung von Kohle als Endenergieträger ist hingegen nur noch marginal.

Die Bedeutung von Strom als Energieträger nahm sowohl absolut (von 73 PJ im Jahr 1970 auf 217 PJ im Jahr 2011) als auch relativ (von 13 % auf 20 %) zu. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 2,7 %. Praktisch alle Sektoren verzeichneten einen Zuwachs wobei vor allem der Verbrauch der Haushalte, des Dienstleistungssektors aber auch des produzierenden Bereichs stark anstieg. Zum Teil ist dieser Zuwachs auf einen Anstieg elektronischer Geräte im



**Abbildung 3.7** Absolute (in TWh) und relative Stromerzeugung (in %) aus erneuerbaren Energieträgern und Stromverbrauchsentwicklung in Österreich 1990 bis 2012. Quelle: www.e-control.at

**Figure 3.7** Absolute and relative electricity generation from renewable energy sources and electricity consumption in Austria 1990 till 2012. Source: www.e-control.at

Haushalts- und Dienstleistungsbereich (z. B. Informationstechnologien) zurückzuführen, zum Teil wurden aber auch im Industriebereich andere Energieträger durch Strom substituiert (z. B. Ersatz von Brennstoffbetriebenen Standmotoren durch Elektromotoren). So wie der Gesamtenergiebedarf stagnierte auch der Strombedarf in allen Sektoren ab dem Jahr 2006.

Die Stromerzeugung aus EET ist seit 1990 ebenfalls gestiegen, die Stromnachfrage allerdings noch stärker (vgl. Abbildung 3.7). Das hat dazu geführt, dass der Anteil der EET von 1970 bis 2004 von 72 % auf 61 % gesunken ist, danach ist er – vor allem aufgrund der Ökostromförderung – wieder auf 64 % bis 2011 angestiegen, wobei hier alleine die Wasserkraft einen Anteil von 55 % an der gesamten Stromerzeugung hat. Seit den 1990er Jahren ist der Anteil der Wasserkraft jedoch nicht mehr nennenswert gestiegen. Zum einen sind die bestehenden Potentiale zum Großteil bereits genützt, zum anderen stoßen neue Wasserkraftprojekte auf teilweise großen Widerstand durch AnrainerInnen bzw. UmweltschützerInnen. Der Anteil von Windstrom (ca. 7 PJ) am gesamten Strombedarf lag 2011 bei ca. 3 %. Strom aus Photovoltaik (0,6 PJ) spielt mit unter 1 % in Österreich eine sehr untergeordnete Rolle; Stromproduktion aus Geothermie ist mit 3,6 TJ Jahreserzeugung praktisch nicht vorhanden. Zu beachten sind hier allerdings die enormen Steigerungsraten dieser Energieträger. So stieg etwa die jährliche Produktion aus Wind und PV seit 2001 von 0,4 PJ auf 7,6 PJ um mehr als das zwanzigfache.

Der Anteil von Fernwärme am Endenergiebedarf ist seit 1970 von praktisch null auf 73 PJ bzw. knapp 7 % des Endenergiebedarfs im Jahr 2011 gestiegen. Das durchschnittliche Wachstum der Fernwärme seit dem Jahr 2000 lag bei ca. 5 %/Jahr, was vor allem auf einen starken Anstieg des Verbrauchs im Bereich der Dienstleistungen und Haushalte

zurück zu führen ist. Der Anteil erneuerbarer Energieträger im Bereich der Fernwärme lag 2011 bei ca. 46 %. Als Energieträger kamen hier hauptsächlich Holzabfälle (31 PJ bzw. 39 % der gesamten Fernwärmeerzeugung) zum Einsatz. Auf Seiten der fossilen Energieträger zur Fernwärmeproduktion dominierte Erdgas mit ca. 38 % der Gesamterzeugung. Kohle und Öl spielten nur eine untergeordnete Rolle bei der Bereitstellung von Fernwärme. Der Großteil der Produktion (mehr als 60 %) stammte aus KWKs.

### Nutzenergie

In diesem Abschnitt wird kurz auf Nutzung von Energie in unterschiedlichen Anwendungskategorien eingegangen. Eine detaillierte Betrachtung der verschiedenen Sektoren und Anwendungen bis hin zur Energiedienstleistung wäre aufgrund der Vielzahl der Anwendungsbereiche zu umfangreich. Zudem sind dazu sehr wenige Daten vorhanden, da meist nur der Energieträgereinsatz, nicht aber die daraus gewonnene Nutzenergie und nur in sehr wenigen Bereichen – z. B. gefahrenen Kilometern – ein Minimum an Information für Dienstleistungen bilanziert wird.

Hier wird nur ein grober Überblick über die Nutzungskategorien und die Anteile der Endenergieträger gegeben. Weiters wird wegen der Datenlage auf die Darstellung der historischen Entwicklung verzichtet und nur der Status quo im Jahr 2011 dargestellt. Die Daten beziehen sich auf die Nutzenergieanalyse der Statistik Austria (2013b).

Abbildung 3.8 zeigt den Endenergiebedarf im Jahr 2011 nach Nutzenergiekategorie. In Österreich werden folgende Verwendungszwecke unterschieden:

- Mechanische Arbeit
- Prozesswärme (Industrie)
- Raumheizung und Warmwasser
- Mobilität (Traktion)
- Beleuchtung und EDV

Mit fast 34 % des Endenergieverbrauchs entfiel hier der größte Anteil auf den Bereich der Traktion (Transport, Individualverkehr, Flugverkehr, Eisenbahn, öffentlicher Verkehr). Gleichzeitig wies dieser Bereich auch den höchsten Anteil fossiler Brennstoffe auf (91 %). Details zu dieser Thematik folgen im Abschnitt 3.2 zu Verkehr.

In der Kategorie Raumheizung und Klimaanlage<sup>8</sup> (ohne Warmwasser) ergab sich ein Endenergiebedarf von 330 PJ, was etwa 30 % des Endenergiebedarfs entspricht. Der Großteil entfiel hier auf Haushalte (189 PJ) und den Dienstleistungsbereich (89 PJ), der Anteil des produzierenden Bereichs war relativ gering (43 PJ). Der bei weitem größte Anteil (>95 %) entfiel auf Wärme, während die Klimatisierung mit Ausnahme von Bürogebäuden eine eher untergeordnete Rolle spielt. Abbildung 3.8 zeigt einen heterogenen Mix an Energieträgern in diesem Bereich. Für eine Substitution fossiler Energieträger steht also eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Verfügung. Tatsächlich zeigt sich ein eindeutiger Trend weg von Kohle (beinahe vollständig) und Heizöl hin zur Fernwärme, Umgebungswärme, Biomasse und Erdgas. Theoretisch wäre hier eine vollständige Verdrängung fossiler Energieträger (auch Erdgas) denkbar, wobei die ökologischen Folgen beim Einsatz von Fernwärme und Wärmepumpen von den vorgelagerten Prozessen zur Wärme- bzw. Stromproduktion abhängen. Hinzu kommt ein großes Potential für die Reduktion des Wärmebedarfs durch Maßnahmen im Gebäudebereich.

Für Prozesswärme wurden im Jahr 2011 ca. 237 PJ aufgewendet. Darunter fallen Anwendungen im produzierenden Bereich (72 %) in Industrieöfen und zur Dampferzeugung sowie der Energiebedarf der Haushalte (16 %) zur Bereitstellung von Warmwasser und zum Kochen sowie im Dienstleistungssektor (10 %) und der Landwirtschaft (2 %).

Im Haushaltsbereich wurden alleine für die Bereitstellung von Warmwasser 30 PJ aufgewendet, wobei etwa 37 % über fossile Energieträger gedeckt wurden. Auch hier gibt es eine Vielzahl von Substitutionsmöglichkeiten. Im Industriebereich dominierte Erdgas (42 %) als Energieträger sowohl bei der Dampferzeugung als auch bei den Industrieöfen. Der verbliebene Anteil von Kohle (7 %) ergab sich aus der Verwendung

<sup>8</sup> Dies betrifft die Raumkühlung von Wohnbereichen bzw. Arbeitsstätten. Die Kühlung von Lebensmitteln und anderen Gütern fällt unter den Bereich Standmotoren.

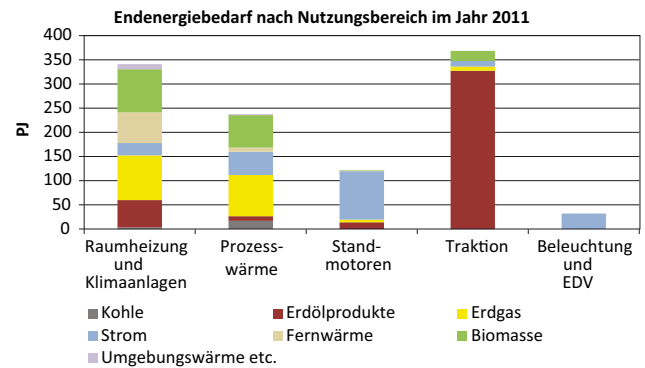


Abbildung 3.8 Endenergiebedarf in Österreich nach Nutzenergiekategorie und Energieträger 2011. Quelle: eigene Darstellung nach Statistik Austria (2013b)

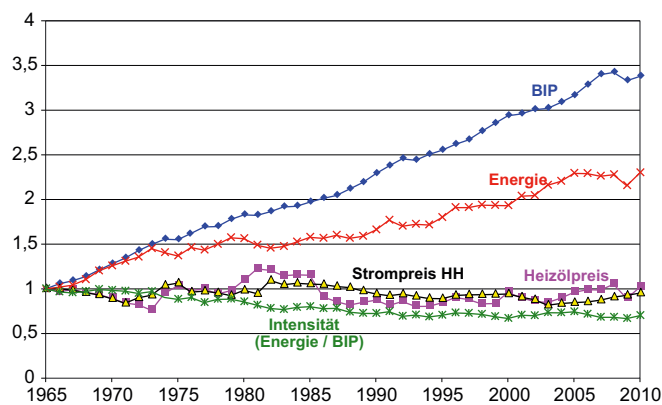
Figure 3.8 Final energy consumption in Austria by end use category and energy carrier 2011. Source: own graph based on Statistik Austria (2013b)

in den Sektoren Eisen- und Stahlerzeugung, bzw. für die Gewinnung von Steinen, Erden und Glas.

Für die Substitution fossiler Energieträger im Bereich der Prozesswärme sind die Möglichkeiten bei Anwendungen, die hohe Temperaturniveaus erfordern, eingeschränkt. So sind etwa Solarthermie, Umgebungswärme und Fernwärme nur für den Einsatz auf niedrigeren Temperaturniveaus geeignet. Mögliche Substitute für Hochtemperaturanwendungen sind feste biogene Brennstoffe bzw. Biogas. Weiters besteht die Möglichkeit einer umfangreichen Nutzung der Abwärme, industriintern bzw. durch die Einspeisung in ein Wärmenetz.

Standmotoren (122 PJ Endenergiebedarf) wurden zu 82 % über Strom betrieben. Dazu zählen Anwendungen wie Kühlung (inkl. Kühlschränke und Gefriertruhen), Maschinen in Produktionslinien, Pumpen, Maschinen im Baubereich etc. 75 % des Endverbrauchs von Standmotoren entfielen auf den produzierenden Bereich. Haushalte wandten für Kühlen und Gefrieren 7,4 PJ und für Großgeräte (Waschmaschine, Geschirrspüler, etc.) 6,3 PJ auf. Während bei vielen Anwendungen auch Effizienzsteigerungen möglich wären, hängen die Auswirkungen auf den Ausstoß von THG vor allem von dem zur Stromerzeugung verwendeten Energieträgermix ab. Der verbleibende Anteil von ca. 12 PJ Erdölprodukten ist zum größten Teil auf den Einsatz von Diesel für Baumaschinen zurück zu führen.

Für Beleuchtung und EDV wurden im Jahr 2011 ca. 32 PJ verwendet, was in etwa 3 % des gesamten Endenergieverbrauchs entspricht. Etwa 20 % entfielen dabei auf den produzierenden Bereich, 42 % auf Dienstleistungen und 36 % auf Haushalte. Der gesamte Bedarf wurde über Elektrizität gedeckt. Ein Umstieg auf alternative Energieträger ist hier na-



**Abbildung 3.9** Entwicklung der Energieintensität in Österreich im Vergleich zu BIP, Endenergie, und Öl- sowie Strompreisen für Haushalte, von 1965 bis 2010. Quelle: eigene Darstellung nach Datenbank Energy Economics Group und Statistik Austria (2013a)

**Figure 3.9** Development of energy intensity in Austria in comparison with GDP, final energy consumption and oil as well as electricity prices for households, 1965 to 2010. Source: own graph based on the database of the Energy Economics Group and Statistik Austria (2013a)

türlich weitgehend nicht möglich bzw. sinnvoll, weshalb die Auswirkungen auf den Ausstoß von THG in diesem Anwendungsbereich neben der Effizienz der Geräte nur vom Energieträgermix zur Stromproduktion abhängen.

### Energiebedarf und wirtschaftliche Entwicklung

Nachdem das BIP eine Maßzahl für die Produktion innerhalb eines Landes ist und jede Produktion (auch die Bereitstellung von Dienstleistungen) mit einem gewissen Energieaufwand verbunden ist, ist die Entwicklung des Energiebedarfs stark von der Entwicklung der Wirtschaftsleistung abhängig. Dies wird bei der Betrachtung des Einbruchs des BIP im Jahr 2009, der sich auch in einem Rückgang des Primärenergiebedarfs widerspiegelte, ersichtlich.

Aus dieser Sichtweise besteht die einzige Möglichkeit, einen sinkenden Energiebedarf zu erreichen und gleichzeitig positives Wirtschaftswachstum zu generieren, in der Steigerung der Effizienz. Als eine Maßzahl für die Energieeffizienz einer Volkswirtschaft gilt die Energieintensität. Sie ist der Quotient aus Energiebedarf pro Zeiteinheit und Bruttoinlandsprodukt.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Auch die Energieintensität ist natürlich nur bedingt eine Kennzahl für die Effizienz. So kommt es etwa durch eine Auslagerung energieintensiver Prozesse ins Ausland zu einer Senkung der Energieintensität. Diese Verlagerung auf andere Wirtschaftssektoren kann aber nicht direkt als Effizienzgewinn angesehen werden, wenn der gleiche Prozess nur geographisch verlagert wurde und eventuell sogar über

Die zeitliche Entwicklung der Energieintensität im Vergleich zu BIP, Endenergie, und Öl- sowie Strompreisen zeigt Abbildung 3.9. Es ist klar zu erkennen, dass seit 1965 das BIP real um mehr als das 3,5-fache gestiegen ist, während Haushaltsstrom- und Benzinpreise als Stellvertreter für die Entwicklung der Energiepreise heute praktisch auf dem gleichen Niveau wie 1965 sind. Aufgrund der gesunkenen Energieintensität ist der gesamte Energieverbrauch nicht so stark gestiegen wie das BIP. Abbildung 3.9 zeigt weiters die Abnahme der Energieintensität von 1965 bis 2010 um ca. 35 %. Mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energieträger und einer zunehmenden Elektrifizierung ist eine Fortführung dieses Trends zu erwarten.

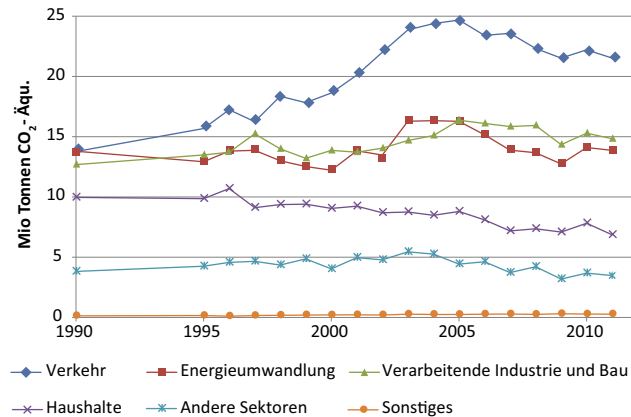
### THG-Emissionen im Energiebereich

Die mit der Energieversorgung verbundenen THG-Emissionen in Österreich von 1990 bis 2011 zeigt Abbildung 3.10. Bilanziert sind hier nur direkte Verbrennungsprozesse in Österreich, ohne Berücksichtigung der Vorketten, wie z. B. des Energieaufwands für Gewinnung und Transport von Erdöl oder Biomasse. Die THG-Emissionen der Biomasse werden hier mit null bilanziert. Dies folgt der Argumentation, dass der emittierte Kohlenstoff zuvor während der Wachstumsphase der Atmosphäre entzogen wurde. In den Emissionen der Biomasse sind also nur Methan und Lachgasemissionen in  $\text{CO}_2$ -Äq. enthalten.

Aus Abbildung 3.10 ist ein Anstieg der Emissionen bis zum Jahr 2005 ersichtlich. Dieser ist vor allem auf einen Anstieg der Verbrennung von Erdölprodukten (Verkehr) und Erdgas zurückzuführen. Seither sanken die Emissionen, hauptsächlich aufgrund von reduzierten Emissionen im Bereich der Erdölprodukte. Hier fällt bei den Haushalten vor allem der Rückgang von Heizöl zur Bereitstellung von Raumwärme ins Gewicht (vgl. Abbildung 3.6).

Die energiebedingten  $\text{CO}_2$ -Äq. Emissionen in Österreich nach Sektoren sind seit 1990 praktisch nur im Bereich des Verkehrs gestiegen. Bis 2005 gab es einen Anstieg auf fast 25 Mio. t  $\text{CO}_2$ -Äq., danach sind sie bis 2011 leicht zurückgegangen (vgl. Abbildung 3.10). Im Sektor Haushalte kam es gegenüber 1990 zu einem Rückgang von ca. 20 %, in allen anderen Bereichen waren die Veränderungen von 1990 bis 2011 nur sehr marginal.

weniger effizientere Energieketten produziert wird. So haben dienstleistungsintensive Volkswirtschaften tendenziell geringere Energieintensitäten weil die Wertschöpfung über weniger energieintensive Sektoren erbracht wird. Damit werden aber wiederum energieintensive Produkte aus dem Ausland importiert. Eine andere Möglichkeit den Ressourcenbedarf zu bewerten bieten konsumbasierte Ansätze.



**Abbildung 3.10** Energiebezogene THG-Emissionen in Österreich nach Sektoren von 1990 bis 2011 Quelle: Umweltbundesamt (2013)

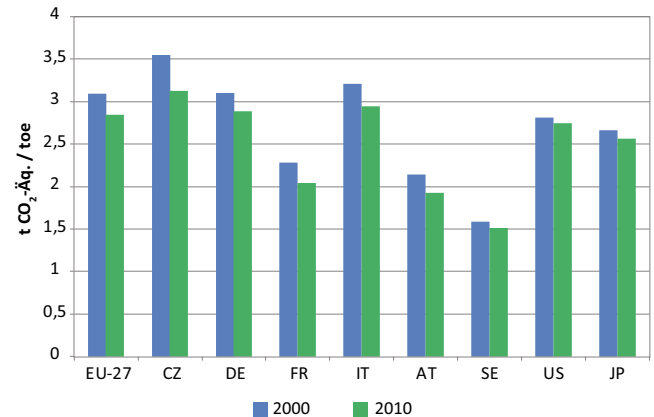
**Figure 3.10** Energy related Greenhouse gas emissions in Austria by sector 1990 till 2011. Source: Umweltbundesamt (2013)

Im Jahr 2011 beruhten 52,5 % der energiebezogenen Emissionen auf der Verbrennung von Erdölprodukten, 28,5 % auf Erdgas und ca. 15 % auf Kohle. Der Rest entfiel auf die Verwertung von Abfällen zur Energiegewinnung und auf die Verbrennung von Biomasse.

### 3.1.3 Indikatoren des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen: Bewertung Österreichs im internationalen Vergleich

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Indikatoren des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen für Österreich im welt- und europaweiten Vergleich dokumentiert und analysiert, um einschätzen zu können wie sich die Situation in Österreich im Vergleich zu anderen Ländern darstellt. Dabei ist vor allem auch die Dynamik der Veränderungen von Interesse. Die wichtigste Literatur zu diesem Abschnitt ist GEA (2012), EUROSTAT (2013) und European Commission (2013).

Die für Österreich relevanten Ziele für die Reduktion der THG-Emissionen werden auf EU-Ebene festgelegt. Darum ist auch für den Energiebereich der Vergleich mit der EU insgesamt sowie mit den anderen EU-Ländern wichtig. In absoluten Werten haben sich EU-weit in den letzten Jahren von den THG-relevanten Energieträgern die absoluten Verbrauchsmengen sowohl bei Kohle als auch bei Erdölprodukten leicht verringert, während der Verbrauch von Erdgas stagnierte.



**Abbildung 3.11** Spezifische THG-Emissionen in t CO<sub>2</sub>-Äq./toe in ausgewählten Ländern 2000 und 2010. Quelle: EUROSTAT (2013)

**Figure 3.11** Specific greenhouse gas emissions in ton CO<sub>2</sub> equivalent per ton oil equivalent in selected countries, 2000 and 2010. Source: EUROSTAT (2013)

### Vergleich der Primärenergieindikatoren

Zunächst vergleichen wir in Bezug auf die Primärenergieindikatoren die spezifischen THG-Emissionen  $f_{\text{THG}}$  und den Anteil EET an der Primärenergie.

In Bezug auf die spezifischen THG-Emissionen  $f_{\text{THG}}$  zeigt Abbildung 3.11, dass Österreich im internationalen Vergleich sehr gut zu bewerten ist. Nur Schweden schneidet in diesem Vergleich besser ab. Auch der Trend ist positiv zu bewerten. Österreich konnte den Wert von 2,13 t CO<sub>2</sub>-Äq./t Öl-Äquivalent (toe) im Jahr 2000 bis zum Jahr 2010 weiter auf 1,93 t reduzieren.

Prozentuell war Österreich in diesem Vergleich gemeinsam mit Frankreich das Land mit den größten Reduktionen (10 % im Vergleich zu 8 % im EU-Durchschnitt).

Der nächste Vergleich bezieht sich auf die Anteile EET. In der derzeitigen Politik der EU spielen erneuerbare Energieträger eine wichtige Rolle. So soll der Anteil an EET am Bruttoendenergieverbrauch<sup>10</sup> in der EU, welcher 2008 bei ca. 12 % lag, laut Grünbuch der EU bis 2020 verdoppelt werden. Die gegenwärtig genutzten ca. 3800 PJ stellen rund 16 % des möglichen technischen Potentials dar. Die Anteile und Poten-

<sup>10</sup> Der Bruttoendenergieverbrauch umfasst Energieprodukte, die der Industrie, dem Verkehrssektor, Haushalten, dem Dienstleistungssektor einschließlich des Sektors der öffentlichen Dienstleistungen sowie der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft zu energetischen Zwecken geliefert werden, einschließlich des durch die Energiewirtschaft für die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung entstehenden Elektrizitäts- und Wärmeverbrauchs und einschließlich der bei der Verteilung und Übertragung auftretenden Elektrizitäts- und Wärmeverluste (Richtlinie 2009/28/EG; EU, 2009).

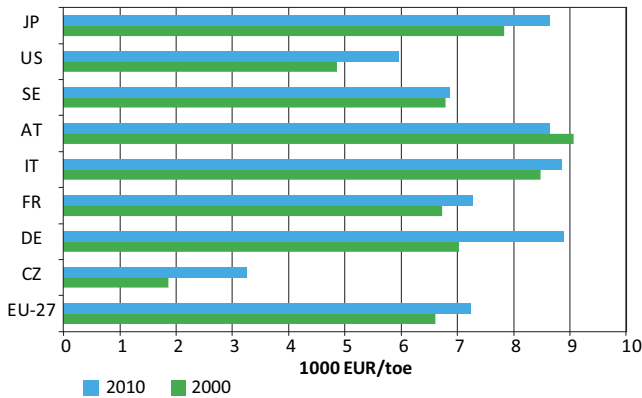


Abbildung 3.12 Serviceintensität in 1000 €/toe in ausgewählten Ländern 2000 und 2010. Quelle: EUROSTAT (2013)

Figure 3.12 Service intensity in 1000 €/ton oil equivalent in selected countries 2000 and 2010. Source: EUROSTAT (2013)

tionale sind in den einzelnen Mitgliedsstaaten sehr unterschiedlich. So resultiert der hohe Anteil erneuerbarer Energieträger an der Stromerzeugung in Österreich und Schweden hauptsächlich aus den hohen Wasserkraft- und Biomasseressourcen. Im Vergleich der einzelnen EU-27-Länder in Bezug auf die Anteile EET am Gesamtenergieverbrauch ist Österreich mit einem Anteil von 28 % im Jahr 2008 an vierter Stelle.<sup>11</sup>

### Vergleich der Energieintensität und der Serviceeffizienz

Bei einem Vergleich der Energieintensität in den einzelnen EU-27-Ländern liegt Österreich mit einem Wert von ca. 0,0140 toe/1000 € an vierter Stelle, ist also unter den effizientesten Ländern.

Auch ein Vergleich der Serviceeffizienz – dem Umkehrwert der Energieintensität – bewertet Österreichs Energiesystem im internationalen Vergleich sehr gut (vgl. Abbildung 3.12). Sehr bedenklich ist allerdings der Trend. So war Österreich im Vergleich mit 9080 €/toe im Jahr 2000 unter den verglichenen Ländern an der Spitze, im Jahr 2010 ist es mit 8630 €/toe hinter DEU, ITA und JPN zurückgefallen. In dieser Darstellung war Österreich überhaupt das einzige Land, das sich im Zeitraum 2000 bis 2010 verschlechtert hat.

<sup>11</sup> 2011 betrug der Anteil erneuerbarer Energieträger am Bruttoenergieverbrauch in Österreich 31 % (Quelle: EC, 2012z).

### 3.1.4 Optionen für den Klimaschutz (zur Verringerung der THG-Emissionen) – Ein Überblick

Das Grundkonzept für den Klimaschutz, das in Abschnitt 3.1.1. dargestellt wurde, besagt, dass es die folgenden drei Ansätze gibt, um die energetischen THG-Emissionen zu verringern:

- Einfluss auf  $f_{\text{THG}}$ : Bereitstellung des gesamten Energie- und Servicebedarfs mit einem THG-ärmeren Mix an Energieträgern, z. B. durch Umstieg auf erneuerbare Energieträger<sup>12</sup>, auf Atomkraft oder durch Carbon Capture and Storage (CCS);
- Einfluss auf  $\eta$ : Effizientere Bereitstellung des gesamten Servicebedarfs, z. B. weniger kWh je m<sup>2</sup> beheizt bei gleichbleibendem Temperaturniveau in Wohnungen, effizientere Elektrogeräte, geringere Kraftstoffintensität von Fahrzeugen bei gleicher Leistung und Serviceniveau;
- Einfluss auf S: Reduktion des gesamten Servicebedarfs, z. B. weniger m<sup>2</sup> beheizt, geringere Temperaturen in Wohnung oder Kühlschrank, weniger Elektrogeräte, weniger gefahrene km.

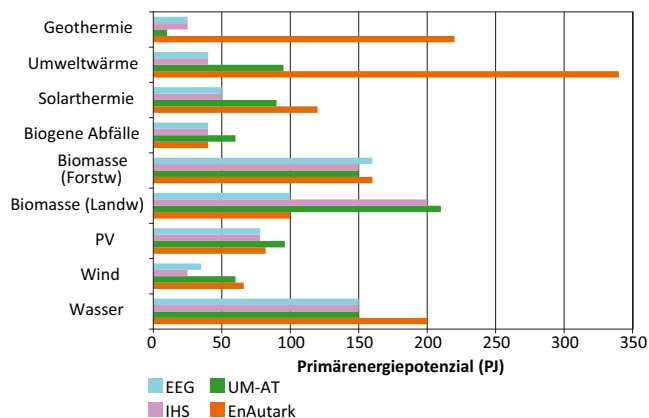
Die möglichen Maßnahmen innerhalb dieser drei Ansätze werden in den folgenden Abschnitten 3.1.5 bis 3.1.7 explizit beschrieben

### 3.1.5 Optionen für den Klimaschutz I (zur Verringerung der THG-Emissionen) – Beeinflussung des THG-Faktors bei der Energieaufbringung

Der Energiesektor ist aufgrund des hohen Anteils an THG-Emissionen vor allem hinsichtlich notwendiger Klimaschutzmaßnahmen von Relevanz. Gleichzeitig ist der Energiesektor auch vom Klimawandel betroffen. Daher bieten sich einige synergetische Maßnahmen an, die eine gleichzeitige Klimaschutz- und Anpassungswirkung erzielen (z. B. passive Maßnahmen zur Reduktion der Kühllast von Gebäuden, Reduktion innerer Lasten, Photovoltaik als Kapazitätsbeitrag im Sommer). Das Verhältnis von Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen wurde ausführlich in Band 3, Kapitel 1 dargestellt und wird daher hier nicht mehr weiter diskutiert.

<sup>12</sup> Dieser Energiemix, der Beitrag erneuerbarer Energieträger, wird je nach Anwendung unterschiedlich sein, z. B. Solarthermie und feste Biomasse im Bereich der Wärme. PV, Wasser- und Windkraft zur Stromerzeugung und Biofuels, H<sub>2</sub> oder Strom aus erneuerbaren Energieträgern im Verkehrsbereich.





**Abbildung 3.13** Erneuerbare Primärenergiepotenziale in Österreich nach Technologie bzw. Energieträger entsprechend verschiedener Studien (bis 2050 erschließbar). Quelle: eigene vergleichende Darstellung

**Figure 3.13** Renewable primary energy potentials in Austria by technology and energy carrier from different studies (until 2050 harvestable). Source: own comparative graph

Um die beschriebenen Folgen des Klimawandels abzuschwächen (Mitigation) bzw. Anpassungen (Adaptation) an diese zu treffen, werden im folgenden die wichtigsten Optionen in den einzelnen Abschnitten der Energiekette dargestellt.

Um die THG-Emissionen bei der Energieaufbringung zu reduzieren, also um den Faktor  $f_{THG}$  zu verringern, bieten sich grundsätzlich folgende Möglichkeiten an:

- Nutzung erneuerbarer Energiequellen
- Einsatz von Carbon Capture & Storage (CCS)-Technologien
- Nutzung der Atomkraft

Da die beiden letztgenannten Optionen weit entfernt von einer Einsatzmöglichkeit sind, wird im Folgenden nur die Option der Nutzung erneuerbarer Energiequellen diskutiert.

### (Dynamische) Potenziale erneuerbarer Energieträger

In diesem Kapitel werden die möglichen gesamten Potenziale erneuerbarer Energieträger zur Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereitstellung in einem dynamischen Kontext bis 2050 diskutiert. Dazu werden Analysen verschiedener AutorInnen und Studien verglichen. Einen Überblick dazu geben Abbildung 3.13 und Abbildung 3.14 sowie Tabelle 3.1.

Einige Erklärungen für die Unterschiede: In den EEG-Studien werden bei forstlicher Biomasse keine Ackerflächen genutzt. Das ergibt einen Unterschied von ca. 80 PJ. In Bezug auf den Begriff „Potential“ gibt es in den verglichenen Studien keinen einheitlichen Begriff. In der Studie „Energie-Autark“ (Streicher et al., 2010) wird bei Wasserkraft, Solarthermie, Wind und Geothermie das gesamte technische Potenzial betrachtet. In den meisten anderen Studien werden Potenziale, die unter verschiedenen Fördersystemen bzw. Marktentwicklungen realisiert werden können, beschrieben.

In Bezug auf die absoluten Potenziale EET sind die wesentlichsten Gründe für unterschiedliche Quantitäten in den Szenarien bis 2050 wie folgt: Bei Biomasse ist der zentrale Grund, ob und in welchem Ausmaß auch Biomasse aus landwirtschaftlicher Nutzung berücksichtigt wird. Bei Geothermie sind die Potenziale davon abhängig, wie vor allem die technische Machbarkeit der Tiefengeothermienutzung eingeschätzt wird. In Bezug auf Windkraft bewirken unterschiedliche Ak-

**Tabelle 3.1** Gesamte Primärenergiepotenziale erneuerbarer Energieträger in Österreich nach verschiedenen Studien (in PJ) bis 2050  
**Table 3.1** Total primary energy potentials of renewables in Austria (in PJ) due to different studies up to 2050

	EnAutark (Streicher et al., 2010)	Christian (Bliem et al., 2011)	IHS	EEG (verschiedene Studien)
Wasser	200	150	150	150
Wind	66	60	25	25
PV	82	96	78	78
Biomasse (Landwirtschaft)	100	210	200	100
Biomasse (Forstwirtschaft)	160	150	150	160
Biogene Abfälle	40	60	40	40
Solarthermie	120	90	50	50
Umweltwärme	340	95	40	40
Geothermie	220	10	25	25

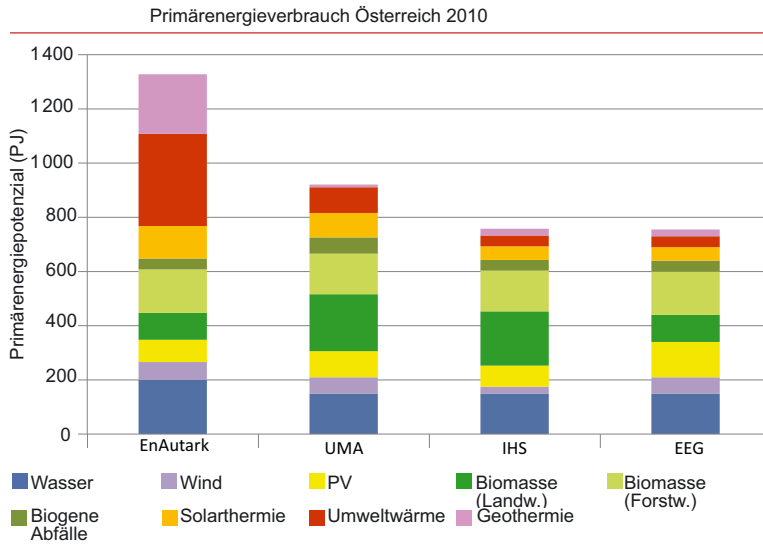


Abbildung 3.14 Primärenergiepotenziale für Österreich nach Technologie bzw. Energieträger aggregiert nach verschiedenen Studien. Quelle: eigene vergleichende Darstellung

Figure 3.14 Primary energy potentials in Austria by technology and energy carrier aggregated from different studies. Source: own comparative graph

zeptanzniveaus für die Errichtung von Windenergieanlagen die wichtigsten Unterschiede in den Potenzialen. Ein zentraler Unterschied bei den Potenzialen der PV ist der Zugang in der Modellierung. In den meisten Studien wird eine grobe Top-Down-Abschätzung mit unterschiedlichen Annahmen in Bezug auf die verfügbaren Flächen durchgeführt und das Ergebnis sind entsprechend unterschiedliche Potenziale. Es gibt nur wenige Ansätze in Österreich, welche die Marktdurchdringung der PV in einem systematischen Kontext setzt, der die Systemintegration berücksichtigt, diese sind in der wissenschaftlich begutachteten („peer-reviewed“) Literatur (noch) nicht dokumentiert.

In Bezug auf die Nutzung EET liegt das minimale Potenzial basierend auf allen verfügbaren erneuerbaren Energieträgern in Österreich bis 2050 bei ca. 750 PJ. Das entspricht in etwa 65 % des österreichischen Endenergieverbrauchs des Jahres 2011, wobei vor allem Biomasse, Wind und Photovoltaik einen deutlich größeren Beitrag als heute liefern können. Das maximale Potenzial, das vor allem auf der Nutzung deutlich größerer Mengen von Umweltwärme und Geothermie beruht, liegt bei ca. 1300 PJ.

### Energetische Biomassenutzung in Österreich: Potenziale und Szenarien

Biomasse nimmt mit einem Anteil von 16 % am Primärenergieverbrauch (2011) eine wichtige Stellung in der österreichischen Energieversorgung ein (Statistik Austria, 2012). Der Großteil davon geht auf Holz-Brennstoffe zurück (über 80 %). Diese werden entweder direkt, in Form von Brennholz oder Waldhackgut, oder indirekt, d. h. als Sägenebenprodukte

(SNP: Sägespäne, Hackgut etc.), Ablauge der Papierindustrie oder Altholz, einer energetischen Nutzung zugeführt. Der übrige Biomasseinsatz setzt sich aus flüssigen und gasförmigen Energieträgern (in erster Linie landwirtschaftlicher Herkunft), sowie sonstigen biogenen Abfällen zusammen.

Biomasse weist aufgrund der Einsatz-B. arkeit in allen drei oben behandelten Sektoren (Strom, Wärme, Verkehr) eine hohe Flexibilität und Sektor-übergreifende Relevanz auf. Um diesen Aspekten Rechnung zu tragen ist der Biomasse hier ein gesonderter Abschnitt gewidmet.

Bei einem Vergleich von Literaturdaten zu Potenzialen erneuerbarer Energieträger muss zunächst zwischen den verschiedenen Arten von Potenzialen, wie „theoretischen“, „technischen“, oder „wirtschaftlichen“ Potenzialen unterschieden werden (siehe z. B. Rettenmaier et al., 2010; Hoefnagels et al., 2011). Für das theoretische Biomassepotenzial sind ausschließlich die physikalisch-biologischen Restriktionen maßgeblich. So erfolgt in Kaltschmitt und Streicher (2009) eine Abschätzung auf Basis der gesamten Landfläche Österreichs (abzüglich Gewässer, Ödland etc.; ca. 68000 km<sup>2</sup>), eines unterstellten durchschnittlichen Trockenmasseertrags von 20 t/ha und der Annahme, dass der gesamte jährliche Zuwachs energetisch genutzt wird, ergibt ein theoretisches Potenzial von 136 Mio. t/Jahr bzw. 2,7 EJ/Jahr. Dieser Wert hat jedoch ausschließlich illustrativen Charakter und keinerlei Aussagekraft hinsichtlich der realistisch energetisch nutz. B. aren Biomasse.

Aussagekräftiger ist das technische Potenzial, das jene Energiemenge darstellt, die unter den jeweiligen technischen Möglichkeiten erschlossen werden kann. In der Definition nach Rettenmaier et al. (2010) sind darüber hinaus folgen-

de Restriktionen maßgeblich: Einschränkungen hinsichtlich der Flächenverfügbarkeit (insbesondere in Anbetracht konkurrierender Flächennutzung für Nahrungsmittel- und Futterproduktion), stoffliche Biomassenutzung (insbesondere im Bereich der Holznutzung), ökologische Restriktionen sowie diverse andere nicht-technische Einschränkungen.

Wird ausschließlich das unter konkreten ökonomischen Rahmenbedingungen nutz. B. are Potenzial betrachtet, spricht man vom wirtschaftlichen Potenzial. Durch Berücksichtigung weiterer Einschränkungen institutioneller, politischer bzw. ökologischer Natur gelangt man zu realisierbaren bzw. nachhaltig realisierbaren Potenzialen (Definition nach: Rettenmaier et al., 2010).

Die Berücksichtigung von konkurrierenden Nutzungsmöglichkeiten erfolgt im Rahmen von Potenzialanalysen in der Regel durch Szenarien. So werden beispielsweise Annahmen hinsichtlich der zukünftigen Gesamtproduktion an SNP und eines für energetische Nutzung zur Verfügung stehenden Anteils, oder hinsichtlich eines Flächenbedarfes für Nahrungs- und Futtermittelproduktion getroffen. Insbesondere bei Potenzialabschätzungen mit längerfristigem Betrachtungszeitraum ist die Ausgestaltung solcher Szenarioannahmen von zentraler Bedeutung. Als überaus unsichere Einflussfaktoren, die jedoch einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse haben, sind Ertragsentwicklungen bzw. Züchtungsfortschritte bei Ackerfrüchten, Auswirkungen des Klimawandels (insbesondere auch hinsichtlich der Häufigkeit von Extremereignissen wie Dürren und Stürmen), technologische Entwicklungen und allgemeine gesellschaftliche Trends wie die Bevölkerungsentwicklung oder Ernährungsgewohnheiten zu nennen. Darüber hinaus beeinträchtigen zum Teil unsichere bzw. unzureichende statistischen Daten die Qualität und Aussagekraft von Potenzialabschätzungen. All diese Unsicherheiten spiegeln sich in den Bandbreiten der Literaturangaben zu technischen Biomassepotenzialen in Österreich wider.

Angaben zum technischen Biomassepotenzial in Österreich liegen in einer Größenordnung von 230 bis 400 PJ, vgl. Abbildung 3.14 und damit bei ca. 100 bis 150 % der primärenergetischen Biomassenutzung im Jahr 2011. Eine der in Zusammenhang mit Biomassepotenzialen in Europa meistzitierten Studien ist EEA (2006). Für Österreich wird darin für 2010 ein umweltverträgliches Biomassepotenzial in der Höhe von ca. 290 PJ ausgewiesen. Etwa 48 % davon gehen auf forstliche Biomasse und SNP zurück, weitere 43 % auf Abfälle und Reststoffe und der Rest auf Energiepflanzen. Für letztere wird ein (Acker-) Flächenpotenzial in der Höhe von ca. 200 000 ha (knapp 15 % der gesamten Ackerfläche Österreichs) angegeben. Bis zum Jahr 2030 kommt es nach EEA (2006) zu einer

Steigerung des Flächenpotenzials um fast 50 % und des gesamten Biomassepotenzials auf ca. 360 PJ.

Ebenfalls in einem dynamischen Kontext wird das Biomassepotenzial in Kranzl et al. (2008) untersucht, wobei durch Variation unsicherer Einflussfaktoren Bandbreiten abgeleitet werden. Zu diesen Einflussparametern zählen die Entwicklung der Holz verarbeitenden Industrie, der Energiepflanzenmix auf Ackerflächen sowie der energetisch nutz. B. are Anteil diverser Reststoffe und Nebenprodukte wie Stroh, Altholz oder Pflanzenreste. Für das Jahr 2010 ergibt sich eine Bandbreite des nachhaltig nutz. B. aren technischen Potenzials von ca. 250 bis 285 PJ. Bis 2030 kommt es zu einer Steigerung auf ca. 320 bis 390 PJ, und bis 2050 zu einer weiteren Steigerung um ca. 40 bis 55 PJ. Hinsichtlich der Ackerflächenpotenziale wurde in Kranzl et al. (2008) auf die Ergebnisse aus EEA (2006) zurückgegriffen.

Zu einer noch stärkeren Diskrepanz zwischen kurz- und langfristigen Biomassepotenzialen kommen Ericsson und Nielsson (2006): Als kurzfristiges Potenzial (kurzfristig wird hier definiert als Zeitraum von 10 bis 20 Jahren) weisen sie einen Wert von ca. 120 PJ aus, wobei Abfälle und Reststoffe mit Ausnahme von SNP und Pflanzenresten aus der Landwirtschaft nicht berücksichtigt sind. Demgegenüber steht ein langfristiges Potenzial (Zeitraum über 40 Jahre) von bis zu ca. 380 PJ. Trotz der Tatsache, dass in Ericsson und Nielsson (2006) nicht alle Biomassefraktionen berücksichtigt sind, zählt diese Potenzialangabe zu den höchsten in der Literatur.

Die in Publikationen der IEE-Projekte EUBIONET II und III für Österreich ausgewiesenen „verfügbaren Ressourcen“ befinden sich im unteren Bereich der oben genannten. Potenziale: In Alakangas et al. (2007) werden sie mit ca. 230 PJ beziffert, und in Junginger et al. (2010) auf ca. 300 PJ nach oben revidiert. In einer europaweiten Studie mit dem Bezugsjahr 2000 (Nikolaou et al., 2003) wurde das verfügbare Potenzial mit ca. 260 PJ ermittelt. Vesterinen und Alkangas. (2001) beziffern die in Österreich verfügbaren Ressourcen mit 270 PJ. Streicher et al. (2010) gehen in der Studie „Energieautarkie für Österreich 2050“ von einem Biomassepotenzial von knapp über 300 PJ aus. Auf einen ähnlichen Wert, nämlich 304 PJ, kommen Rathbauer (2000), bzw. Wörgetter et al. (2001). In einer Publikation des Österreichischen Biomasseverbandes (Jauschnegg und Pfemeter, 2011) wird das Potenzial im Jahr 2020 mit 274 PJ beziffert.

Aus den analysierten Potenzialstudien lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten: Eine weitere Steigerung der Nutzung inländischer Biomasse ist möglich, insbesondere hinsichtlich der längerfristigen Möglichkeiten divergieren die

Aussagen jedoch. Grund dafür ist einerseits die Vielzahl an unsicheren bzw. kaum prognostizierbaren Einflussfaktoren (wie zukünftige Ertragsentwicklungen, tatsächlich mobilisierbare Potenziale diverser biogener Reststoffe etc.) und andererseits die Abhängigkeit der Biomassepotenziale von generellen Wirtschaftsentwicklungen bzw. Entwicklungen in Sektoren wie der Holz verarbeitenden Industrie, gesellschaftlichen Trends u.v.m. Die längerfristig bedeutendsten, derzeit noch nicht erschlossenen Potenziale werden von zahlreichen Studien bei Energiepflanzen gesehen. Aber auch für landwirtschaftliche und industrielle Abfälle und Reststoffe biogener Herkunft werden zum Teil bedeutende Potenziale ausgewiesen. Die Potenziale forstlicher Biomasse in Österreich müssen aufgrund der starken Ausweitung der Holznutzung in den letzten Jahren als weitgehend erschlossen betrachtet werden. Ungenutzter Waldzuwachs ist laut Waldinventur 2007/09 (BFW, 2011) nur mehr im Kleinwald vorhanden und beläuft sich auf 15 % des jährlichen Gesamtzuwachses.

Eine Reihe von Szenarien zur zukünftigen Entwicklung der Biomassenutzung zeigt, dass in den nächsten Jahren und Jahrzehnten auch im Kontext von steigender Energieeffizienz im Gebäudebereich eine weitere Steigerung des Biomasse-Primärenergieeinsatzes als möglich bzw. wahrscheinlich erachtet wird. In einer Vorstudie für einen nationalen Biomasseaktionsplan (Indinger et al., 2006) wird bis 2020 ein Anstieg auf über 250 PJ prognostiziert. Etwas größer ist die Bedeutung von Biomasse zur Erreichung der 2020-Ziele in einem „Balanced Policy Szenario“ nach Resch et al. (2008): Hier steigt der Biomasse-Primärenergieeinsatz auf ca. 280 PJ. Auf eine ähnliche Größenordnung steigt der Biomasseeinsatz in den Syntheszenarien des Umweltbundesamtes (Krutzler et al., 2009): Inklusiv nicht biogener Abfälle wird für das Jahr 2020 ein Wert von 312 PJ ausgewiesen. Unter der Annahme, dass das Aufkommen nicht biogener Abfälle gegenüber dem derzeitigen Niveau (2011: ca. 35 PJ) etwa konstant bleibt, ergibt sich ein Biomassebedarf in der Größenordnung von 275 bis 280 PJ. Dem gegenüber stehen die Szenarien der „Energierategie Österreich“ (BMWFJ/BMLFUW, 2010) bzw. des „Nationalen Aktionsplans für erneuerbare Energie“ (BMWFJ, 2010), in denen der absolute Beitrag von Bioenergie in allen Sektoren von 2010 bis 2020 nur minimal zunimmt.

Bei allen Szenarien der Biomassenutzung bis 2020, bleibt die primärenergetische Biomassenutzung also deutlich unter 300 PJ. Auch in den im Rahmen dieses Assessments zur Verfügung stehenden längerfristigen Literaturszenarien zur Nutzung inländischer Biomasseressourcen bleibt der Primärenergieeinsatz unter 300 PJ. In den „Policy-Szenarien“ nach Kalt et al. (2010a) werden im Jahr 2030 zwischen 194 und 250 PJ an

Biomasse inländischer Herkunft genutzt. Die zur Erreichung der Energieautarkie im Jahr 2050 benötigte Menge an Biomasse beläuft sich laut Streicher et al. (2010) in einem „Konstantenszenario“ auf 244 PJ, in einem Wachstumsszenario auf 293 PJ. In den „Policy-Szenarien“ nach Kranzl et al. (2008) bzw. Kalt et al. (2010b) steigt der Primärenergieeinsatz inländischer Biomasse bis 2020 auf bis zu 225 PJ, und bis 2050 auf bis zu 290 PJ. Einem höheren Biomasseeinsatz stehen einerseits hohe Bereitstellungskosten der Restpotenziale, und andererseits nachfrageseitige Restriktionen hinsichtlich der ökonomisch sinnvollen Einsatzmöglichkeiten von Biomasse entgegen.

## Wasserkraft

Die Wasserkraft deckt in Österreich derzeit – je nach Jahr und Verfügbarkeit – ca. 55–60 % des Bedarfs an elektrischer Energie (E-Control, 2013). Sie wird als nahezu CO<sub>2</sub>-neutral eingestuft und liefert einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung von Klimaschutzziele (z. B. Kyoto-Protokoll), zur Versorgungssicherheit und zu einem nachhaltigen Energiesystem. Wasserkraft wird als historisch gewachsener und technisch weit entwickelter EET angesehen. In Österreich waren bereits vor etwa zehn Jahren knapp 70 % des gesamten verfügbaren Wasserkraftpotenzials von insgesamt 56 TWh/Jahr ausgebaut (Pöyry Energie GmbH, 2008; Jungwirth et al., 2003). Von den verbleibenden 18 TWh/Jahr liegen etwa 5 TWh/Jahr in hochsensiblen Regionen (z. B. Nationalparks, UNESCO-Weltkulturerbe) und können daher energiewirtschaftlich nicht genutzt werden. Es ergibt sich ein reduziertes technisch-wirtschaftliches Restpotenzial von 12,8 TWh/Jahr. Eine österreichweite Betrachtung zeigt jedoch unterschiedliche Potenziale in den Bundesländern. Während im Westen Österreichs noch beträchtliche Potenziale vorhanden sind, ist das Wasserkraftpotenzial in Ober- und Niederösterreich weitgehend ausgeschöpft (Pöyry Energie GmbH, 2008).

Nach aktuellen Erhebungen existieren derzeit 5 240 Wasserkraftwerke in Österreich (Habersack et al., 2012; Wagner et al., 2014), Mit einer Bruttostromerzeugung von 41,6 TWh im Jahr 2010 (E-Control, 2011). Abzüglich der einspeisenden Kraftwerke ergeben sich 2 621 Eigenbedarfsanlagen, die somit etwa die Hälfte der österreichischen Wasserkraftwerksanlagen ausmachen. Anzumerken ist, dass insbesondere die Anzahl der Kleinwasserkraftwerke ( $\leq 10$  MW Engpassleistung) nicht zu vernachlässigenden Schwankungen von ca. 2,5 % in 7 Monaten unterliegen (Habersack et al., 2012). Bei ausschließlicher Betrachtung der einspeisenden Wasserkraftwerke zeigt sich, dass ca. 88 % des gesamten Regelarbeitsvermögens (d. h. der

bei durchschnittlicher Wasserführung erzeugten Strommenge) auf Großwasserkraftwerke entfallen und diese zahlenmäßig nur 6 % aller Wasserkraftwerke in Österreich ausmachen.

Zukünftige Entwicklungen der Wasserkraft in Österreich und ihr Beitrag zur Erreichung von Klimaschutzziele (z. B. Reduktion von Treibhausgasen THG) sind stark von gesetzlichen Rahmenbedingungen und Aktivitäten der Elektrizitätswirtschaft abhängig. Derzeit ist die Rolle der Wasserkraft in Österreich von einer zunehmend politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Diskussion geprägt. Auf gesetzlicher Ebene wurden durch das Inkrafttreten relevanter europäischer Richtlinien und deren Umsetzung auf nationaler Ebene Rahmenbedingungen geschaffen, die zukünftige Maßnahmen in den Bereichen Energie-, Umwelt- und Klimapolitik entscheidend beeinflussen (Habersack et al., 2012). Gemäß der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EU, 2009) soll in der EU bis zum Jahr 2020 der Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch auf 20 % steigen.

Im Regierungsprogramm der Bundesregierung für die XXVI. Gesetzgebungsperiode ist war das Ziel verankert, das Wasserkraftpotenzial künftig noch stärker nutz. B.ar zu machen (Österreichische Bundesregierung, 2008). Die Länder wurden angehalten, Kriterienkataloge zum nachhaltigen Ausbau der Wasserkraft zu erstellen (z. B. Tiroler Landesregierung, 2011) und ein bundesweiter Kriterienkatalog (BMLFUW, 2011) soll zur Transparenz bei der Beurteilung neuer Kraftwerksprojekte beitragen. Die Energiestrategie Österreich sieht durch gegebene energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen und Anreize im Ökostromgesetz eine Ausbaugröße der Klein-, Mittel- und Großwasserkraftwerke von 3,5 TWh/Jahr (12,6 PJ/Jahr) bis 2015 vor. Davon können 0,7 TWh/Jahr durch Effizienzsteigerungen und Revitalisierungen bestehender Standorte nach modernen Standards erreicht werden. Somit wird eine realistische Ausbaugröße von mindestens 2,8 TWh/Jahr angenommen (BMWFJ und BMLFUW, 2010). Von Seiten der Elektrizitätswirtschaft wurde ein Aktionsplan präsentiert, der aktuelle Kraftwerksprojekte darstellt und ein Ausbaziel von 7 TWh/Jahr bis 2020 verfolgt (Oesterreichs Energie, 2012). Fast zeitgleich mit der Energiestrategie Österreich wurde der Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, (2000/60/EG: EU, 2000) veröffentlicht (BMLFUW, 2010). Ein weiterer Ausbau der Wasserkraft könnte ökologische und flussmorphologische Auswirkungen, wie zum Beispiel eine Beeinträchtigung der Gewässerstrukturen und der Habitatqualität oder einen negativen Einfluss auf die Fischpassierbarkeit und Feststoffdurchgängigkeit haben. Dies würde jedoch im Widerspruch zu den Vorgaben der EU-WRRL (Verschlechte-

rungsverbot bzw. Verbesserungsgebot) und des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans stehen (Habersack et al., 2012).

Damit die Wasserkraft auch in Zukunft im Hinblick auf THG-Mitigation einen wesentlichen Beitrag leisten kann und gleichzeitig energiewirtschaftliche, ökologische und gesellschaftliche Zielsetzungen erfüllt werden können, ist eine integrative, österreichweite Strategie erforderlich (Habersack et al., 2011).

### Strategien zur Forcierung EET

In Bezug auf die Nutzung EET liegt das auf allen verfügbaren erneuerbaren Energieträgern basierende Potenzial in Österreich bis 2050 bei ca. 170 TWh bzw. 610 PJ. Das entspricht in etwa 56 % des österreichischen Endenergieverbrauchs des Jahres 2011, wobei vor allem Biomasse, Wind und Photovoltaik einen deutlich größeren Beitrag als heute liefern können.

Die wichtigsten Maßnahmen, um das Potenzial EET in Österreich bis 2050 optimal zu erschließen, sind:

1. Einführung einer CO<sub>2</sub>-basierten Steuer: Diese Maßnahme stellt sicher, dass die Markteinführung zusätzlicher EET in Abhängigkeit von deren ökologischer Performance stattfindet
2. Eine rigorose Verschärfung der Standards bezüglich der CO<sub>2</sub> Emissionen der verschiedenen EET
3. Ein fokussiertes Forschungs- und Entwicklungsprogramm für „2<sup>nd</sup> generation biofuels“ und für Brennstoffzellen mit begleitender energetischer und ökologischer Evaluierung.
4. Finanzielle Förderung für EET, solange es keine Steuern gibt, die alle Externalitäten berücksichtigen. Diese Förderung ist in einem dynamischen Kontext anzupassen, wobei Technologisches Lernen und CO<sub>2</sub>-Bilanzen (z. B. bei Biofuels) zu berücksichtigen sind (Haas et al., 2011).
5. Zur Realisierung verbleibender Potentiale bei Wasserkraft und Wind ist eine integrative Österreichweite Strategie erforderlich.

Nur wenn dieser Mix von Maßnahmen sorgfältig aufeinander abgestimmte eingeführt wird, ist es möglich, das Potenzial EET in Österreich bis 2050 aus gesellschaftlicher Sicht optimal zu erschließen.

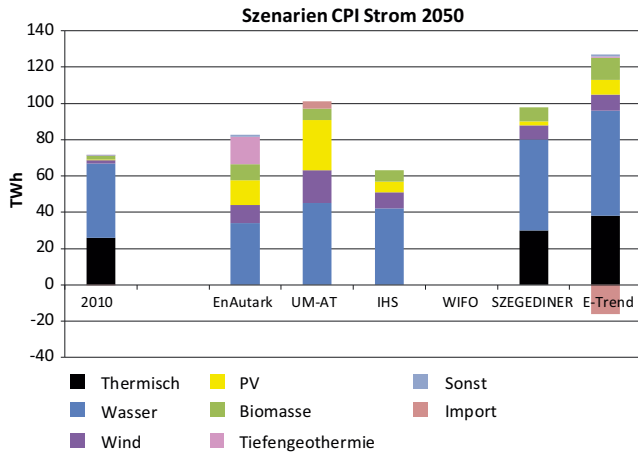


Abbildung 3.15 Entwicklung der Stromaufbringung bis 2050 im Vergleich zu 2010 in verschiedenen Studien in CPI-Szenarien. Quelle: eigene vergleichende Darstellung

Figure 3.15 Development of electricity supply in different studies until 2050 in comparison to 2010 in Current Policy Initiatives (CPI) scenarios. Source: own comparative graph

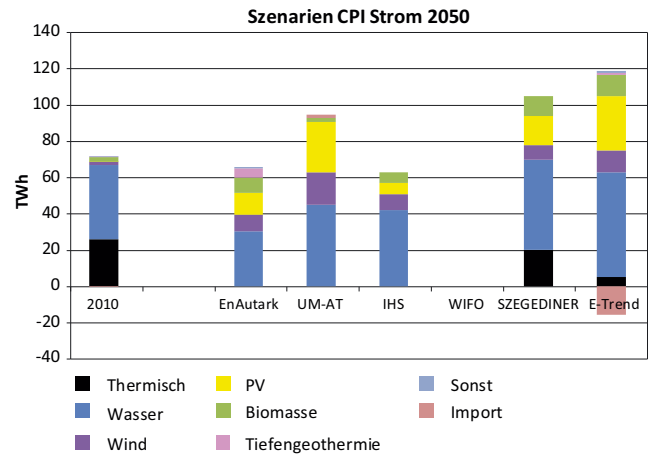


Abbildung 3.16 Entwicklung der Stromaufbringung bis 2050 im Vergleich zu 2010 in verschiedenen Studien in NPI-Szenarien. Quelle: eigene vergleichende Darstellung

Figure 3.16 Development of electricity supply in different studies until 2050 in comparison to 2010 in New Policy Initiatives (NPI) scenarios. Source: own comparative graph

### 3.1.6 Optionen für den Klimaschutz II – Perspektiven für technische Effizienzsteigerungen bei der Energieumwandlung

Dieser Abschnitt analysiert die möglichen Potenziale und Kosten sowie die Perspektiven für technische Effizienzsteigerungen konventioneller Technologien im Bereich der Aufbringung, der Umwandlung in Strom sowie für die Nutzenergiekategorien Raumwärme, Kühlung und WW und stromspezifische Anwendungen.

Diejenige Energie, die den VerbraucherInnen nach der letzten technischen Umwandlung zur Verfügung steht, ist die Nutzenergie. Diese letzte Umwandlung bei den VerbraucherInnen ist von beträchtlichen Verlusten gekennzeichnet. So betrug der Endenergieverbrauch im Jahr 2008 952 PJ, während als Nutzenergie den VerbraucherInnen nur 580 PJ zur Verfügung standen. Diese Verluste sind jedoch von Verwendungszweck zu Verwendungszweck unterschiedlich. Der Verwendungszweck mit den (prozentuell) größten Endenergieverlusten ist der Bereich EDV und Beleuchtung. Hier betragen die Endenergieverluste ca. 95 %. Auch im Bereich Mobilität betragen die Endenergieverluste mehr als 67 %. Die geringsten Endenergieverluste fielen in den Bereichen mechanische Arbeit (ca. 23 %), Prozesswärme (24,7 %) sowie Raumheizung und Warmwasser (28,4 %) an.

### Stromaufbringung, nach Energieträgern zur Erzeugung Stromerzeugung

Im Folgenden wird die Zukunft der Erzeugung elektrischer Energie diskutiert, wobei der Energieträgermix bzw. die absoluten Anteile einzelner Energieträger im Fokus stehen. Die in der Literatur ersichtliche künftige Entwicklung der heimischen Stromaufbringung bei Fortführung bestehender Politiken (CPI-Szenarien) zeigt Abbildung 3.15, im Detail wird hierbei ein Vergleich des gemäß betrachteter Studien erwarteten Energieträgermixes 2050 mit heute (2010) dargestellt. Es lassen sich zweierlei Effekte erkennen: Analog zur Nachfrageseite wird eine breite Palette möglicher Entwicklungen skizziert, so resultiert für 2050 eine große Bandbreite mit Werten zwischen 63 und 127 TWh. Des Weiteren weisen die Studien einen sehr unterschiedlichen Energieträgermix aus. Der Einsatz fossiler Energieträger liegt demnach in der Größenordnung zwischen 0 und ca. 35 TWh und, schenkt man den Studien Glauben, so kann ohne Berücksichtigung der Wasserkraft der künftige Anteil erneuerbarer Energieträger im Bereich zwischen 20 bis 50 TWh liegen. Lediglich für den Beitrag der Wasserkraft im Jahr 2050 zeigt sich mit Werten zwischen 40 und 55 TWh ein relativ harmonisches Bild.

Der erwartete Einfluss neu zu implementierender energiepolitischer Maßnahmen auf die Aufbringungsseite wird nachfolgend veranschaulicht: Abbildung 3.16 zeigt einen Vergleich der künftigen Stromaufbringung im Jahr 2050 sowie den Status Quo (2010) gemäß verschiedener Studien für

NPI-Szenarien, also bei Einführung alternativer energiepolitischer Lenkungsmaßnahmen. Analog zu zuvor zeigen sich auch hier zweierlei Effekte: Einerseits lässt sich eine große Bandbreite bei der erwarteten Erzeugung für 2050 erkennen. Es wird je nach Studie eine heimische Stromerzeugung von 63 bis 119 TWh ausgewiesen, welche den Bandbreiten der CPI-Szenarien stark ähnelt. Weiters wird ein sehr unterschiedlicher Energieträgermix ausgewiesen, bei dem die fossilen Energieträger zwischen 0 und ca. 20 TWh liegen und der Anteil erneuerbarer Energieträger ohne Wasserkraft im Bereich zwischen 20 und 60 TWh liegt. Der Beitrag der Wasserkraft ist mit Werten zwischen 40 und 55 TWh gleich wie in den CPI-Szenarien. Lediglich die Stromerzeugung aus PV wird für das Jahr 2050 in den Szenarien sehr unterschiedlich prognostiziert.

In einigen laufenden und abgeschlossenen Arbeiten wird bzw. wurde auch der Einfluss des Klimawandels auf die Stromproduktion, sowohl aus thermischen Kraftwerken als auch aus Wasserkraftwerken analysiert (vgl. z. B. Felberbauer et al. (2010), Kranzl et al. (2010), sowie die laufenden ACRP-Projekte EL.ADAPT, PRESENCE). Thermische Kraftwerke sind aufgrund höherer Temperaturen durchaus vom Klimawandel betroffen. In Österreich können diese im Wesentlichen allerdings durch Ansaugluftkühler in der Gasturbine bzw. Ablaufkühltürmen für Kühlwässer aus dem Kondensator deutlich reduziert werden. Die Wasserkraftproduktion ist durch eine Abnahme des Abflusses beeinträchtigt. In Kranzl et al. (2010) wird dieser Abnahme-Effekt bis zur Mitte des Jahrhunderts mit ca. 1–5 TWh (elektrisch) gegenüber dem nicht klimasensitiven Fall bewertet. Darüber hinaus weisen alle Studien eine gewisse saisonale Verschiebung (d. h. höhere Abflüsse im Winter, geringere im Sommer) aus.

### Der Einsatz erneuerbarer Energieträger bei der Stromaufbringung

Im Bereich der Stromerzeugung liegen die wichtigsten Potenziale bis 2050 bei folgenden Technologien bzw. Energieträgern:

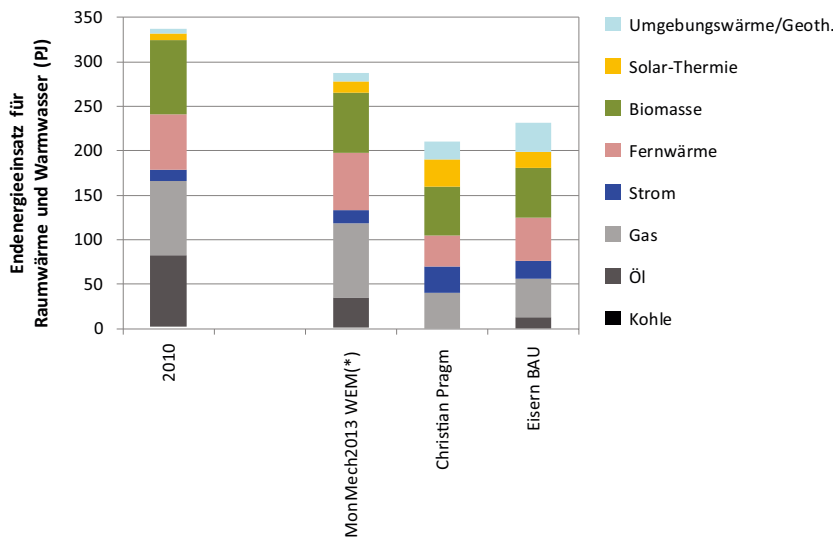
- Wasserkraft
- Wind
- Photovoltaik (PV)
- Tiefen-Geothermie
- Biomasse-Verstromung, vor allem bei Nutzung in Anlagen auf Basis von Kraft-Wärme Kopplung (KWK)
- Strom der Biogasnutzung aus KWK

Alle aufgelisteten Energieträger sind als erneuerbar zu klassifizieren. Die Vorrangstellung EET in Österreich zeigte sich bereits im vorigen Abschnitt und soll nachfolgend eingehender betrachtet werden. Im Gegensatz zu den Wärmeszenarien sind hier die Prioritäten für Technologien sehr ähnlich und die Bandbreiten viel geringer. Lediglich der hohe Anteil an Tiefengeothermie in den EnergieAutark-Szenarien (Streicher et al., 2010) erscheint außergewöhnlich. Generell weisen die betrachteten Studien einen unterschiedlichen Mix an EET aus, dennoch erweisen sich Photovoltaik, Wind und Biomasse als Schlüsseloptionen, was den künftigen Ausbau betrifft. Die Vorrangstellung der Wasserkraft bleibt wohl auch bis 2050 erhalten, jedoch ist hier nur von einer vergleichsweise geringfügigeren Ausweitung der Produktionskapazitäten auszugehen. Nebst der zuvor erwähnten Tiefen-Geothermie zeigen sich Unterschiede bei den untersuchten Studien insbesondere bei der Photovoltaik, dennoch kann diese Form der Stromerzeugung wohl als wesentliche Zukunftsoption für Österreich angesehen werden.

Folgender Effekt ist im Vergleich zwischen den CPI und NPI-Szenarien des Weiteren hervorzuheben: In der Studie „EnAutark“ (Streicher et al., 2010) ist die Stromproduktion aus EET im NPI-Szenario geringer als im CPI-Szenario. Im Gegensatz hierzu weisen die Studien Re-Shaping (vgl. Ragwitz et al., 2012) und E-Trend einen gegenläufigen Trend aus – hier ist von einer verstärkten Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern bei Einführung alternativer (zusätzlicher) energiepolitischer Maßnahmen auszugehen. Ein Szenarienmerkmal, das die wohl übliche Erwartungshaltung gut widerspiegelt. Der Grund für die konzeptionelle Abweichung ist, dass bei Streicher et al. (2010) bereits im CPI-Szenario 100 % des Stroms aus EET erzeugt wird, im NPI-Szenario darüber hinaus weniger Strom verbraucht wird.

In Bezug auf die Infrastruktur sind die deutlichsten Veränderungen im Strombereich notwendig, wobei hierbei nahezu alle Subbereiche (Erzeugung, Netz, Speicherung und Verbrauch) betroffen sind. Der steigende Anteil EET im Erzeugungsbereich, Smart Grids vor allem auf Verteilnetzebene, neue Stromspeichertechnologien und -kapazitäten sowie Smart Meters bei den Verbrauchern werden die bestehenden Strukturen signifikant verändern und eine weitgehend THG-arme Stromversorgung ermöglichen.

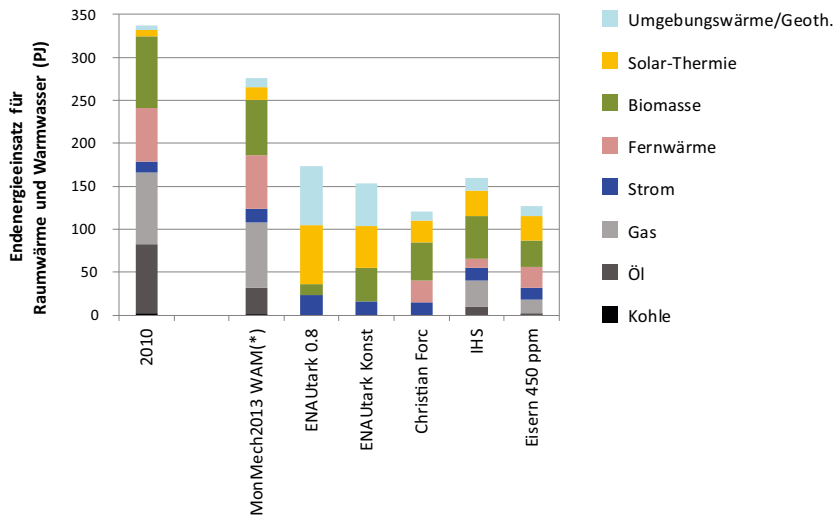
Die bedeutendste Veränderung, die im Bereich der Stromversorgung derzeit stattfindet, ist der Markteintritt der Photovoltaik in Deutschland. Diese wird in den nächsten Jahren das gesamte Marktsystem – auch in Österreich – fundamental verändern, da temporär sehr große Strommengen aus diesen Anlagen produziert werden, die Eigenverbrauchsanteile erhöht



**Abbildung 3.17** Current Policy Initiatives (CPI)-Szenarien der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser aus verschiedenen Energieträgern in Österreich bis 2030/2050 im Vergleich zu 2010 in verschiedenen Studien. Quelle: eigene vergleichende Darstellung

**Figure 3.17** Current Policy Initiatives (CPI) scenarios for space and water heating from different energy carriers in Austria until 2030/2050 in comparison to 2010 in different studies. Source: own comparative graph

(\*) Die Ergebnisse zum Szenario MonMech20130 WEM repräsentieren das Jahr 2030, die anderen Szenarien das Jahr 2050.



**Abbildung 3.18** New Policy Initiatives (NPI)-Szenarien der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser aus verschiedenen Energieträgern in Österreich bis 2030/2050 im Vergleich zu 2010 in verschiedenen Studien. Quelle: eigene vergleichende Darstellung

**Figure 3.18** New Policy Initiatives (NPI) scenarios for space and water heating from different energy carriers in Austria until 2030/2050 in comparison to 2010 in different studies. Source: own comparative graph

(\*) Die Ergebnisse zum Szenario MonMech20130 WEM repräsentieren das Jahr 2030, die anderen Szenarien das Jahr 2050.

werden und Stromspeicher sowie Smart Grids eine wesentlich bedeutendere Rolle im Stromsystem spielen werden als derzeit (Haas, 2013).

### Der Einsatz erneuerbarer Energieträger für die Wärmeversorgung

Im Bereich der Wärmeversorgung liegen die wichtigsten erneuerbaren Potenziale bei folgenden Technologien und Energieträgern:

- Feste Biomasse
- Solar-thermische Kollektoren
- Umweltwärme
- Geothermie
- Biomassenutzung aus KWK

Die Entwicklung der Wärmeerzeugung in Szenarien in verschiedenen Studien im Vergleich zu 2010 sind in Abbildung 3.17 und Abbildung 3.18 vergleichend dargestellt. Es zeigen sich zwei Effekte: Eine große Bandbreite zwischen 120 und 220 PJ bis 2050 und ein sehr unterschiedlicher Mix, bei dem die fossilen zwischen 0 PJ und ca. 50 PJ liegen.

Die Szenarien wurden in die Gruppen „Current Policy Initiatives“ (CPI) sowie „New Policy Initiatives“ (NPI) gruppiert. Der Anteil der fossilen Energieträger (ohne fossile Energie in Fernwärme und Strom) sinkt in den CPI-Szenarien von derzeit (2010) etwa 50 % bis 2050 auf ca. 20–25 % und der Anteil erneuerbarer Wärme (ohne erneuerbaren Anteil in Fernwärme und Strom) steigt von derzeit (2010) etwa 25 % auf 45–50 %. Hingegen liegt der Anteil fossiler Energie in den NPI-Szenarien 2050 zwischen 0 % und 25 % und der Anteil erneuerbarer zwischen 55 % und 90 %.



Der Anteil EET liegt relativ eng zwischen 120 und 155 PJ. Allerdings sind die Aufteilungen nach Technologien äußerst unterschiedlich. Während bei „EnergieAutark“ Solarthermie und Wärmepumpen überwiegen, ist in den meisten anderen Szenarien die Biomasse dominierend. Der Technologie- und Energieträgermix ist wesentlich durch die Fragen bestimmt, in welchem Ausmaß Biomasse nach wie vor für Wärmezwecke eingesetzt werden soll oder für andere Zwecke (Industrielle energetische Anwendungen, stofflicher Einsatz, Verkehr) benötigt wird, bzw. wie stark die erneuerbare Stromproduktion wächst und in welchem Ausmaß der Einsatz von Strom in Form von Wärmepumpen daher auch im Wärmesektor Sinn macht. Allerdings ist auch anzumerken, dass in allen betrachteten Szenarien der absolute Beitrag von Biomasse zur Wärmebereitstellung bis 2050 sinkt, wenn auch mit steigenden relativen Marktanteilen.

Darüber hinaus ist das Ausmaß des solarthermischen Beitrags wesentlich auch durch die technologische Entwicklung im Bereich der Wärmespeicher, Kostenreduktionen bei Systempreisen sowie die Marktdurchdringung von Niedertemperatur-Heizsystemen auch im Gebäudebestand geprägt. Sowohl Solarthermie als auch Umgebungswärme könnten bei geeigneter Systemintegration durch eine verstärkte und ambitionierte umfassende Strategie zur Gebäudesanierung deutlich höhere Marktanteile an der Bereitstellung von Raumwärme erhalten. Dies ist im Wesentlichen durch die geringere benötigte Vorlauftemperatur erklärbar und damit durch den effizienteren Betrieb von Wärmepumpen einerseits und die bessere Nutzbarkeit solar bereitstellbarer Temperaturniveaus auch während der Heizsaison andererseits. Für Biomasse-Heizsysteme stellen sich andererseits wieder spezifische technologische Herausforderungen, wenn es um die Bereitstellung von Raumwärme im kleinen und kleinsten Leistungsbereich geht.

### 3.1.7 Optionen für den Klimaschutz III (zur Verringerung der THG-Emissionen) – bei der Energienutzung: Szenarien des Energieverbrauchs

In diesem Kapitel werden Szenarien des Energieverbrauchs verglichen, die zeigen, welche Entwicklungen in Abhängigkeit von verschiedenen implementierten Portfolios von Politiken möglich sind.

Dabei werden jeweils BAU-Szenarien und ambitionierte POLICY-Szenarien vergleichend gegenüber gestellt, die schließlich den gesamten möglichen Handlungsspielraum für energiepolitische Instrumente aufspannen und die Bandbreite der möglichen Entwicklungen aufzeigen.

Für die folgenden Kategorien werden diese Szenarien dargestellt:

- Strom nach Sektoren und Anwendungen
- Strom nach Energieträgern zur Erzeugung
- Wärme nach Sektoren und Anwendungen
- Wärme nach Energieträgern zur Erzeugung

### Ein Überblick zu Energieszenarien für Österreich

Im Folgenden werden die wichtigsten Studien mit Szenarien des Österreichischen Energieverbrauchs bis 2020 bzw. 2050 kurz beschrieben.

In Streicher et al. (2010) werden für das gesamte österreichische Energiesystem Optionen analysiert, um das österreichische Energiesystem bis 2050 autark zu machen. Es wird dabei das Wirtschaftswachstum als einziger Treiber berücksichtigt und zwei Szenarien mit 0,0 % und 0,8 % Wachstum untersucht. Insgesamt verringert sich der Endenergiebedarf 2050 gegenüber 2008 um über 50 % auf knapp 500 PJ (Konstant-Szenario) bzw. knapp 40 % auf 640 PJ (Wachstums-Szenario). Durch zusätzliche Effizienzmaßnahmen könnte er noch weiter verringert werden. Der PEV wird zu 100 % durch EET gedeckt.

Interessant ist weiters, dass im Szenario ohne Wachstum der Stromverbrauch auf 58 TWh sinkt (von 68 TWh im Jahr 2008) und im 0,8 %-Wachstumsszenario auf 76 TWh steigt.

In dieser Studie wurden allerdings keine ökonomischen Kriterien berücksichtigt und teilweise einige sehr teure Technologien wie Tiefengeothermie eingesetzt. Auch sind in dieser Studie zwar technische Strukturänderungen – z. B. der Modi im Verkehr – berücksichtigt, es sind allerdings keine wirtschaftlichen Maßnahmen präzisiert, die zu diesen Veränderungen führen.

In Umweltmanagement Austria (2011) wird für alle Sektoren der Energiebedarf nach Anwendungen bis 2050 analysiert. Es werden effiziente Technologien bis 2050 eingeführt und schließlich kommen die Autoren für den Endenergiebedarf 2050 zu ähnlichen Werten wie Streicher et al. (2010): auf knapp 500 PJ (Forciertes Szenario) bzw. ca. 720 PJ (Pragmatisches Szenario).

Bliem et al. (2011) analysieren eine „Energy [R]evolution 2050“. Dieses Projekt stellt eine mögliche Energiezukunft für Österreich dar. Konkret wird aufgezeigt, wie sich der Energieverbrauch der einzelnen Sektoren ändern muss, um im Jahr 2050 über 80 % des energetischen Endverbrauchs mittels erneuerbaren Energieträgern zu decken und gleichzeitig mehr als 90 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Jahr 2008

einzusparen. Die Studie zeigt, dass das vorhandene Potenzial an erneuerbaren Energieträgern in Österreich ausreicht, um das Energiesystem nachhaltig zu gestalten. Allerdings wird auch deutlich, dass ein Umstieg auf EET drastische Einsparungen beim Endenergieverbrauch bedingt und Strukturbrüche und Veränderungen unausweichlich sein werden. Bliem et al. (2011) zeigen weiters, welche Maßnahmen und Weichenstellungen heute notwendig sind, um bis zum Jahr 2050 den Großteil des Endenergieverbrauchs mittels erneuerbarer Energien zu decken und gleichzeitig die CO<sub>2</sub>-Emissionen um mehr als 90 % senken zu können.

Im NREAP-AT (BMWFJ, 2010) werden Referenz- und Effizienz-Szenarien gegenübergestellt. Entsprechend den Vorgaben der Energiestrategie Österreich gelten für 2020 folgende Zielgrößen für das Effizienz-Szenario:

- Der Endenergieverbrauch wird mit 1 100 PJ limitiert
- Unter Berücksichtigung von Eigenverbrauch und Transportverlusten ergibt sich somit ein Brutto-Energieverbrauch bei Endenergie von 1 135 PJ

Die Werte des NREAP-AT werden in der Literatur auch kritisch diskutiert. Die umfassendste Analyse in Bezug auf Optionen für den Wärmesektor in Österreich dokumentiert Kranzl et al. (2013b). Das Ziel der Arbeit ist es, die möglichen zukünftigen Potenziale an EET in Abhängigkeit von verschiedenen Effizienzentwicklungen im Gebäudebestand dynamisch bis 2030 zu untersuchen. Dabei werden auch mögliche Politiken wie Subventionen mitberücksichtigt. Die wichtigste Schlussfolgerung aus diesen Analysen ist, dass die im österreichischen NREAP enthaltenen Ziele für EET im Bereich der Wärme sehr moderat sind und eigentlich schon in einer BAU-Entwicklung übertroffen werden.

Stocker et al. (2011) analysieren die möglichen Effekte eines deutlichen Anstiegs EET basierend auf Ausgangsdaten des Jahres 2005 basierend auf Stakeholder- und Expertendiskussionen. Die wichtigste Schlussfolgerung aus diesen Analysen ist, dass die Steigerung der Energieproduktion aus EET in Österreich unzureichend ist, um ein nachhaltiges Energiesystem zu realisieren. Stocker et al. (2010) stellen schließlich fest: „A substantial increase in energy efficiency and a reduction of residential energy consumption also form important cornerstones of a sustainable energy policy.“

Köppl et al. (2011) diskutieren in „Energy Transition 2012\2020\2050“ Strategien für eine nachhaltige Restrukturierung des Energiesystems. In der Studie werden Optionen zur Erreichung der österreichischen 2020-Ziele aus dem EU-Energie- und Klimapakete in einem interdisziplinären Ansatz

analysiert. Insgesamt werden 25 Storylines und Technologieoptionen („technology wedges“) entwickelt und in einem Bottom-up-Ansatz ausgehend von den Energiedienstleistungen analysiert. Die Technologieoptionen werden bezüglich ihrer Wirkung im Energiesystem sowie hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Energieflüsse und Emissionen diskutiert. Die Analyse von Veränderungen im Energiesystem wird durch eine ökonomische Analyse ergänzt, wobei einerseits im Rahmen einer Input-Output-Analyse Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte in der Investitionsphase und andererseits Veränderungen der Betriebskosten ermittelt werden.

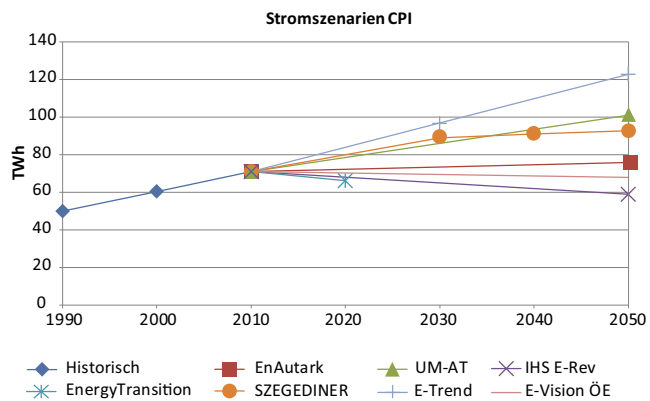
Das Ziel des Projekts AWEEMSS (Reichl et al., 2010) ist die Evaluierung möglicher Strategien zur Verbesserung der Endenergieeffizienz im Rahmen der Richtlinie 2006/32/EG (EU, 2006) des Europäischen Parlaments und des Rates über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen bis zum Jahr 2016. AWEEMSS untersucht im Detail fünf Energieeffizienz-Strategien die aus Kombinationen von Mindeststandards und intensiven monetären Förderungen bestehen. Das Ergebnis ist, dass in der Maximalvariante Einsparungen von ca. 27 TWh/Jahr realisiert werden können. Dazu ist allerdings ein öffentlicher Förderaufwand von 14 Mrd. € erforderlich.

In Schleicher und Köppl (2014) werden Energieperspektiven für Österreich – Strukturen und Strategien von 2020 bis 2050 diskutiert. Dieser Untersuchung zufolge sinkt der PEV bis 2050 – unter der Voraussetzung, dass die 2020-Ziele der EU erreicht werden – auf 638 PJ. Details zu den energiepolitischen Maßnahmen, auf denen diese Entwicklung basiert, waren bei Redaktionsschluss dieses Reports noch nicht verfügbar.

### Szenarien der Stromnachfrage

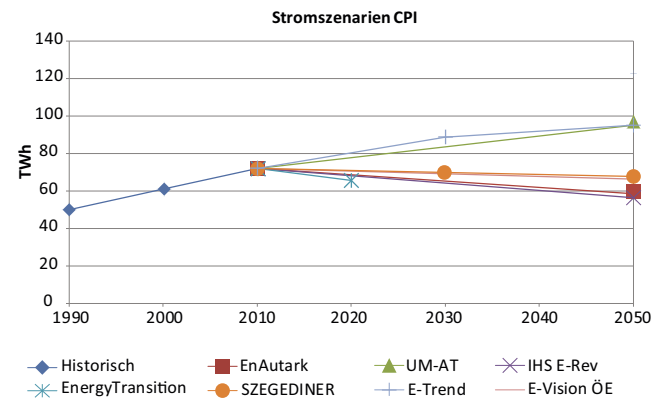
Dieser Abschnitt bietet einen Überblick über die mögliche künftige Entwicklung der Nachfrage nach elektrischer Energie in Österreich, wobei auf diverse in der Literatur diskutierte Szenarien und Prognosen zurückgegriffen wird. Komplementär hierzu werden nachfolgend mögliche Entwicklungen aufbringungsseitig diskutiert. Verschiedene Szenarien sollen Auskunft über zu erwartende technologische Trends und den Energieträgermix geben. Aufgrund der österreichischen Spezifika und des im Rahmen dieses Berichts untersuchten thematischen Kontexts wird hierbei ein Schwerpunkt auf die Analyse des möglichen Einsatzes erneuerbarer Energieträger gelegt.

Die Literaturrecherche lieferte eine umfassende Palette an Szenarien und Studien, welche für die stromseitigen Betrachtungen verwendet wurden. Konkret sei hierbei angemerkt,



**Abbildung 3.19** Entwicklung der Stromnachfrage bis 2050 in verschiedenen Studien im Vergleich zu 2010 in Current Policy Initiatives (CPI-Szenarien). Quelle: eigene vergleichende Darstellung

**Figure 3.19** Development of electricity demand until 2050 in different studies in comparison to 2010 in Current Policy Initiatives (CPI) scenarios. Source: own comparative graph



**Abbildung 3.20** Entwicklung der Stromnachfrage bis 2050 in verschiedenen Studien im Vergleich zu 2010 in NPI-Szenarien. Quelle: eigene vergleichende Darstellung

**Figure 3.20** Development of electricity demand in different studies until 2050 in comparison to 2010 in New Policy Initiatives (NPI) scenarios. Source: own comparative graph

dass lediglich Szenarien, die im aktuellen Konnex stehen bzw. die in der jüngeren Vergangenheit erstellt wurden, Berücksichtigung fanden. Weiters sei angemerkt, dass nachfolgend eine Zweigliederung der Szenarien erfolgte: Um den im Rahmen der Studien ermittelten Einfluss der Energiepolitik zu verdeutlichen, wurde hierbei eine Unterteilung der untersuchten Fälle in die Gruppen „Current Policy Initiatives“ (CPI) sowie „New Policy Initiatives“ (NPI) vorgenommen.

Die betrachteten CPI-Szenarien sind:

- EnAutark 0.8: Szenario zur Erreichung eines energieautarken Zustands in Österreich 2050 unter Annahme eines Wirtschaftswachstums in der Höhe von 0,8 % pro Jahr aus Streicher et al. (2010)
- UMA Pragm.: Szenario mit geringer politischen Ambition und keinen verstärkten Klimaschutzanstrengungen aus Umweltmanagement Austria (2011)
- IHS: Referenzszenario aus dem Projekt „Energie [R]evolution Österreich 2050“ (Bliem et al., 2011)
- EnergyTransition: Referenzszenario (Köppl et al., 2011)
- Szegediner: Referenzszenario aus Haas et al. (2009)
- Energy-Trend: Referenzszenario aus Auer (2010)
- E-Vision ÖE: Business-as-usual Szenario gemäß Renner et al. (2010)

Die Liste an ausgewählten alternativen Szenarien, welche den Einfluss neu zu implementierender energiepolitischer Maßnahmen unterstellen, umfasst folgende Quellen:

- EnAutark 0.0: Szenario zur Erreichung eines energieautarken Zustands in Österreich 2050 unter Annahme eines gleich bleibenden BIPs aus Streicher et al. (2010)
- UMA ambit: Szenario mit hoher politischen Ambition und großen Klimaschutzanstrengungen aus Umweltmanagement Austria (2011)
- IHS: Alternatives Szenario aus dem Projekt „Energie [R]evolution Österreich 2050“ (Bliem et al., 2011)
- EnergyTransition: Effizienzzenario (Köppl et al., 2011)
- Szegediner: Alternatives Szenario aus Haas et al. (2009)
- Energy-Trend: Alternatives Szenario aus Auer (2010)
- E-Vision ÖE: Alternatives Szenario gemäß Renner et al. (2010)

Es sei weiters angemerkt, dass alle aufgelisteten Studien Aussagen zum Strombedarf liefern, welche nachfolgend vergleichend dargestellt werden. Der zu erwartende aufbringungsseitige Energieträgermix im Fokusjahr 2050 ist aber nicht in allen Studien erkennbar, weshalb hierbei nur auf eine begrenzte Auswahl zurückgegriffen werden kann.

Die Entwicklung der Stromnachfrage in Szenarien in verschiedenen Studien im Vergleich zu 2010 ist in den nachfolgenden Abbildungen vergleichend dargestellt. Bei Fortführung bereits derzeit implementierter Lenkungsmaßnahmen, also der in Abbildung 3.19 veranschaulichten CPI-Szenarien, zeigt sich gemäß Literatur eine große Bandbreite bei der sich langfristig ergebenden Nachfrage: Ein Strombedarf zwischen 60 und 120 TWh ist folglich für das Jahr 2050 zu erwarten. Die Bandbreite wird deutlich enger (d.h. für 2050

wird eine Nachfrage in Höhe von 60 bis rund 90 TWh prognostiziert), wenn alternative energiepolitische Instrumente in Betracht gezogen werden (vgl. Abbildung 3.20 zu NPI-Szenarien). Hier zeigt sich der klare Einfluss von zusätzlichen energiepolitischen Maßnahmen zur Steigerung der nachfrage-seitigen Energieeffizienz bzw. zur Minderung des Energieverbrauchswachstums im Allgemeinen.

Generell ist bemerkenswert, dass in nahezu allen betrachteten Szenarien von einem Anstieg des Stromverbrauchs ausgegangen wird. Dies lässt darauf schließen, dass strombasierte Energiedienstleistungen in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden – sei es nun durch eine Ausweitung der Elektromobilität oder aufgrund von Substitutionen bei industriellen Prozessen oder durch andere Effekte.

### Maßnahmen im Bereich der Stromnachfrage

Im Bereich strombasierter Energiedienstleistungen existiert in Österreich ein beträchtliches Energieeinsparpotenzial. Allerdings bedarf es großer Anstrengungen dieses zu heben. Dabei existiert kein singular anwendbares Instrument sondern es ist ein – sich über die Zeit ändernder – Instrumentenmix zu implementieren.

Die umfassendsten Darstellungen in Bezug auf effizientere Stromnutzung und Stromsparmaßnahmen finden sich in POTETA (Haas et al., 2011b) und in AWEEMSS (Reichl et al., 2010). AWEEMSS dokumentiert umfassend für praktisch alle strombetriebenen Geräte großer bis mittlerer Leistung von Beleuchtung, Weißware, Pumpen bis zu Fernsehgeräten, Computern – von Betriebs- bis zu Stand-by-Aspekten – umfassend die Details verschiedener Geräteklassen und auch die entsprechenden Einsparpotenziale und Kosten.

Diesen Studien folgend kann das Einsparpotenzial langfristig nur dann umfassend und nachhaltig mobilisiert werden, wenn die folgenden zentralen Bedingungen erfüllt werden:

- Höheres Strompreisniveau gemessen am verfügbaren Budget (Haushaltseinkommen bzw. Wertschöpfung der Unternehmen): Ein höherer Strompreis kann durch CO<sub>2</sub>-Besteuerung, eine Energiesteuer oder einfach durch Stromknappheit auf dem Markt bewirkt werden. Dabei würden die beiden ersten Varianten einen gesellschaftlichen Nutzen bringen, die Variante höherer Strompreise durch Knappheit würde vor allem den Unternehmen nützen.
- Eine technologische Effizienzrevolution ist nur durch eine Kombination von intensiver Forschung und

Entwicklung mit legislativen Maßnahmen zu realisieren. Strenge dynamische Höchstverbrauchsstandards für alle Geräte, sowie das Verbot schlechter Geräte sind vorrangig. Darüber hinaus werden diese vor allem auch von einer Abkopplung der Stromverbraucher von der Steckdose begleitet werden, vor allem um den Rebound-Effekt, der eine Steigerung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen dadurch bewirken würde, dass diese billiger werden würden.

- Übergang vor allem bei Großverbrauchern auf „Contracting“: Die professionelle Bereitstellung von Energiedienstleistungen durch entsprechende Unternehmen führt dazu, dass eben die Bereitstellung des gesamten Services kostenminimiert wird und nicht nur Strom und Technologie separat.

Ergänzend dazu tragen Anreiz- und Informations-Systeme (z. B. Labelingsysteme) dazu bei, dass schon in den nächsten Jahren die schlechtesten Geräte aus dem Bestand eliminiert werden und somit der Übergang auf ein nachhaltiges System beschleunigt wird.

Insgesamt ist im Bereich der Wohngebäude ein hoher Bedarf an Auditing und Monitoringaktivitäten gegeben, um sukzessive Schwachstellen aufzuspüren und zu beseitigen. Kontinuierlich könnte das vor allem durch entsprechende öffentliche Energiebeauftragte, z. B. umgeschulte RauchfangkehrerInnen realisiert werden.

### Szenarien der Nachfrage im Bereich Raumwärme, Klimatisierung und Warmwasserbereitstellung

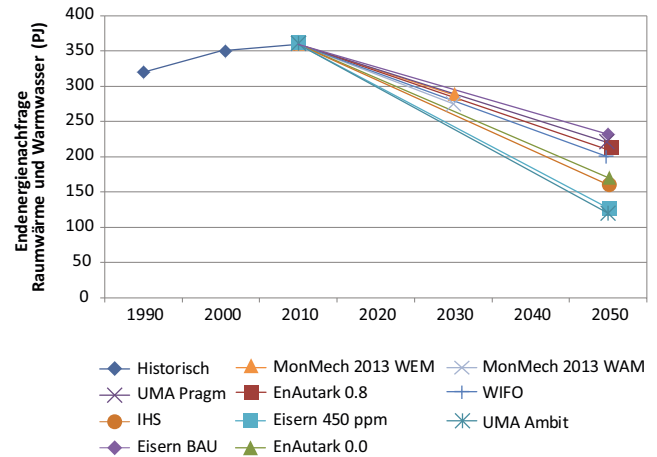
Im Folgenden sind für Raumwärme und Warmwasser die Nachfrage sowie der eingesetzte Energieträgermix in verschiedenen Szenarien gegenübergestellt und diskutiert. Prozesswärme wird hier nicht diskutiert, da dieser Teilbereich im Abschnitt Industrie dargestellt ist.

In den letzten Jahren wurde eine relevante Anzahl an Szenarien zum Raumwärmesektor erstellt. Die Verfügbarkeit wissenschaftlich begutachteter („peer-reviewed“) Literatur ist allerdings beschränkt (z. B. Stocker et al., 2011; Kranzl et al., 2012). Wir fokussieren daher im Folgenden auf die Gegenüberstellung grauer Literatur (im Wesentlichen Projektberichte). Aus der breiten Palette an Studien wurden jene ausgewählt, die einen längeren Betrachtungszeitraum bis 2030 bzw. 2050 aufweisen und die Bandbreite der Szenarien in der Literatur gut abdecken. Konkret werden die folgenden Szenarien der historischen Entwicklung 1990 bis 2010 gegenübergestellt:

- EnAutark 0.8: Szenario zur Erreichung eines energieautarken Zustands in Österreich 2050 unter Annahme von Wirtschaftswachstum und dadurch induzierten Wachstums in der Höhe von 0,8 % pro Jahr aus Streicher et al. (2010)
- EnAutark 0.0: Szenario zur Erreichung eines energieautarken Zustands in Österreich 2050 unter Annahme konstanten BIPs (Streicher et al., 2010)
- EnergyTransition: Referenzszenario (Köppl et al., 2011)
- IHS: Szenario aus dem Projekt „Energie [R]evolution Österreich 2050“ (Bliem et al., 2011)
- MonMech2013 WEM: Szenario „with existing measures“ basierend auf den mit Stand 2011 implementierten politischen Instrumenten aus Müller und Kranzl (2013); dieses Szenario wurde bis 2030 gerechnet
- MonMech2013 WAM: Szenario „with additional measures“ unter Berücksichtigung der im Jahr 2011 in konkreter politischer Diskussion bzw. Umsetzung begriffenen Maßnahmen aus Müller und Kranzl (2013); dieses Szenario wurde bis 2030 gerechnet
- UMA Pragm: Szenario mit geringer politischen Ambition und keinen verstärkten Klimaschutzanstrengungen aus Umweltmanagement Austria (2011)
- UMA Ambit: Szenario mit hoher politischen Ambition und großen Klimaschutzanstrengungen aus Umweltmanagement Austria (2011)
- Eisern BAU: Business-as-usual Szenario aus Müller et al. (2013)
- Eisern 450 ppm: Szenario unter Erreichung eines ambitionierten Klimaschutzzieles 2050 (konsistent mit der Erreichung eines globalen 450 ppm Ziels) aus Müller et al. (2013)

Die Entwicklung der Wärmenachfrage in Szenarien verschiedener Studien im Vergleich zu 2010 ist in Abbildung 3.21 vergleichend dargestellt. In allen Studien zeigen sich zwei Effekte: Eine deutliche Reduktion und eine große Bandbreite zwischen 120 und 220 PJ im Jahr 2050. Offensichtlich zeigt sich in allen Studien die Erwartung, dass die Energiedienstleistung „behaglich Wohnen“ in Zukunft wesentlich effizienter bereitgestellt wird. Dies gründet sich auf die großen Energieeffizienzpotenziale, die sich durch Gebäudesanierung erreichen lassen. Der Umfang der erzielbaren Einsparungen variiert in durchaus relevantem Ausmaß. Ursachen für diese Abweichungen sind im Wesentlichen:

- Unterschiedliche Grundannahmen hinsichtlich des Ausmaßes klimapolitischer Anstrengungen und der implementierten politischen Zielsetzungen und Maßnahmen



**Abbildung 3.21** Entwicklung der Energienachfrage für Raumwärme und Warmwasser bis 2050 in verschiedenen Studien und Szenarien. Quelle: eigene vergleichende Darstellung

**Figure 3.21** Development of energy demand for space and water heating until 2050 in different studies and scenarios. Source: own comparative graph

- Unterschiedliche Beurteilung der Effektivität von Maßnahmen; insbesondere die Auswirkung von Rebound-Effekten wird – auch je nach Methodik – unterschiedlich bewertet. Allerdings hat es sich in den vergangenen Jahren durchaus etabliert, in der Bewertung der realen Auswirkung von Energieeffizienzmaßnahmen auf erzielbare Energieeinsparungen auch Rebound-Effekte zu berücksichtigen
- Unterschiedliche Annahmen zur Entwicklung der zu konditionierenden klimatisierenden Gebäudenutzflächen
- Unterschiedliche methodische Ansätze und Datengrundlagen; insbesondere im Sektor Nicht-Wohngebäude existieren nach wie vor erhebliche Datenlücken
- Nicht zuletzt sind auch die realen Ausgangswerte für den Ausgangszustand durchaus unterschiedlich aufgrund unterschiedlicher Basisjahre und leicht abweichender methodischer Aspekte (z. B. hinsichtlich Klimakorrektur etc.)

Einige Projekte befassen bzw. befassten sich auch mit der Auswirkung des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf (z. B. Pretenthaler und Gobiet, 2008; Kranzl et al., 2010). Aktuell laufende Projekte dazu sind z. B. die ACRP-Projekte ELADAPT, CLEOS sowie PRESENCE. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass je nach Klimaszenario der Heizenergiebedarf bis 2050 um etwa 3–8 % gegenüber den nicht-klimasensitiven Referenz-Läufen absinken könnte sowie bis 2080 um etwa 7–13 %. Hinsichtlich des Kühlenergiebedarfs liegt die größte offene Frage und Unsicherheit darin, inwiefern es

aufgrund des Klimawandels zu einer – im Vergleich zur nicht klimasensitiven Referenz – zu höherer Diffusion von Klimageräten und konditionierten Flächen kommt. Je nach Klimaszenario und Annahme zur Diffusion von Klimageräten ergibt sich dadurch bis 2050 eine große Bandbreite von 2–12 TWh elektrischer Endenergienachfrage zur Raumkühlung. Durch entsprechende gebäudeseitige Effizienzmaßnahmen lässt sich allerdings die Kühlnachfrage deutlich reduzieren. Absolut gesehen liegt damit der Kühlenergiebedarf auch bis 2050 deutlich unter der Nachfrage nach Raumwärme und Warmwasser. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass jener praktisch ausschließlich mit Elektrizität gedeckt wird und außerdem ohne entsprechende Anpassungsmaßnahmen hohe Lastspitzen resultieren können.

### Maßnahmen im Bereich Raumwärme, Klimatisierung und Warmwasserbereitstellung

Im Haushalts- und Dienstleistungssektor sowie im Wärmebereich sind folgende Maßnahmen vorrangig:

- Umfassende thermische Sanierung der bestehenden Gebäudesubstanz.
- Realisierung von thermischen Standards für Neubauten, die Plusenergiehäusern entsprechen.
- stärkere Marktdurchdringung erneuerbarer Heiz- und Warmwassersysteme.

Wichtige offene Fragen hinsichtlich zukünftiger Klimaschutzmaßnahmen im Gebäudesektor, die in den aktuellen Studien kontroversiell gesehen bzw. noch nicht eindeutig beantwortet wurden, sind unter anderem:

- Welche innovativen politischen, wie regulativen Instrumente müssen zur Erreichung eines weitestgehend CO<sub>2</sub>-neutralen Gebäudebestands 2050 umgesetzt werden, insbesondere um Anreizwirkungen zur umfassenden Gebäudesanierung zu erzielen?
- Einige Studien deuten darauf hin, dass die Qualität und Tiefe der thermischen Sanierungsmaßnahmen, die jetzt und in den kommenden Jahren gesetzt werden, essentiell für einen hohen Gebäudestandard im Bestand des Jahres 2050 sein wird. Eine Forcierung der Sanierungsrate ohne entsprechende umfassende Qualitätskriterien zu setzen, könnte sich daher für eine ambitionierte Zielsetzung Richtung 2050 als abträglich erweisen. Der richtige Mix von Sanierungsqualität und Quantität ist daher als offene Frage einzustufen.

- Welche Rolle spielen Wärmenetze in einem zukünftigen Low-Carbon-Energiesystem? Insbesondere in ländlichen Regionen weisen Wärmenetze nach thermischer Sanierung der versorgten Gebäude eine sehr geringe Wärmedichte, damit hohe Wärmeverluste und schwierige ökonomische Rahmenbedingungen auf. Gleichzeitig bergen Wärmenetze v. a. in urbanen Räumen das Potenzial, den Übergang zu erneuerbarer Wärmeversorgung zu gewährleisten und eine optimale Integration mit der Fluktuation volatiler Stromerzeugung zu ermöglichen.
- Bei der optimalen Integration und Abstimmung verschiedener erneuerbarer Optionen existiert keine klare Antwort. Dieser Frage ist für unterschiedliche Gebäudetypen und Anwendungsbereiche weiterhin Aufmerksamkeit zu widmen.

Als synergetische Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen werden im Energiesektor vor allem folgende Maßnahmen genannt (siehe auch Band 3, Kapitel 1):

- Durch passive Maßnahmen zur Reduktion der Kühllast von Gebäuden kann das Behaglichkeitsniveau v. a. in Wohngebäuden auch bei hinkünftig heißerem Klima ohne aktives Kühlsystem gewährleistet werden.
- Die Reduktion innerer Lasten reduziert einerseits den Strombedarf durch effizientere elektrische Geräte und andererseits den Wärmeeintrag, der andernfalls durch ein aktives Kühlsystem v. a. unter hinkünftig heißerem Klima weggekühlt werden müsste.
- Photovoltaik weist eine sehr gute zeitliche Deckung mit Kühllasten auf und bietet daher als Kapazitätsbeitrag im Sommer eine wichtige Maßnahme zur Reduktion von Stromlastspitzen.

### 3.1.8 Optionen für Adaptation (Anpassung an den Klimawandel)

Der Energiesektor ist aufgrund des hohen Anteils an THG-Emissionen vor allem hinsichtlich notwendiger Klimaschutzmaßnahmen von Relevanz. Gleichzeitig ist der Energiesektor auch vom Klimawandel betroffen.

Die Sensitivität des Energiesektors gegenüber dem Klimawandel fokussiert vor allem auf der Stromerzeugung aus EET und der Energienachfrage aus verändertem Heiz- und Kühlbedarf. Aufgrund der großen Bedeutung der Wasserkraft im österreichischen Erzeugungsmix spielen potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf Grund veränderter Niederschlagsmengen und -muster (jahreszeitliche Verschiebung,

Veränderung von Starkregenereignissen) sowie veränderten Abflussmengen durch erhöhte Verdunstung eine besondere Rolle. Aber auch Windkraftwerke sowie Photovoltaikanlagen und Solarthermiekraftwerke können über veränderte Windverfügbarkeit und globale Einstrahlung betroffen sein. Konventionelle Kraftwerke sind indirekt über die Verfügbarkeit von Kühlwasser betroffen sowie über potenzielle Auswirkungen von Extremereignissen. Auch bei Biogas- und Biomasseanlagen ergeben sich potenzielle Auswirkungen über die durch den Klimawandel veränderte Verfügbarkeit von biogenen Rohstoffen. Weitere Auswirkungen, v. a. von Extremereignissen ergeben sich auch für die Infrastruktur, wie Netze und Kraftwerke.

### Auswirkungen auf Erzeugung und Nachfrage

Im Detail wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf Erzeugung und Nachfrage in den folgend beschriebenen Studien analysiert. Im Projekt EL.ADAPT (Bachner et al., 2013) wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Elektrizitätswirtschaft für Kontinentaleuropa modellbasiert untersucht, wobei nur die Auswirkungen auf Wasserkraft, Wind, Solar und konventionelle Kraftwerke sowie auf die Nachfrage berücksichtigt wurden. Für Österreich ergab sich, je nach zu Grunde liegendem Klimaszenario, eine Veränderung des Regelarbeitsvermögens zwischen +1,14 TWh und -2,58 TWh in der Periode 2031 bis 2050 relativ zu einer Entwicklung ohne Klimawandel. Diese Effekte sind v. a. auf Veränderungen für Laufwasserkraftwerke ( $\pm 1$  TWh) sowie Speicherkraftwerke (+0,5/-1,5 TWh) zurückzuführen. In allen untersuchten Szenarien nimmt der Heiz.B.edarf in Österreich gegenüber heute deutlich ab und bei konservativen Annahmen betreffend die Anschaffung von zusätzlichen Klimaanlagen kehrt der zusätzliche Strombedarf für Kühlung diesen Effekt für die Periode 2031 bis 2050 auch nicht um, sodass sich geringfügige Einsparungen für die Periode 2031 bis 2050 gegenüber heute im Ausmaß von ca. -1 % ergeben könnten.

Das Projekt KlimAdapt (Kranzl et al., 2010) untersuchte Auswirkungen des Klimawandels auf die Nachfrage nach Heizen und Kühlen, sowie auf das Angebot von Wasserkraft und forstlicher Biomasse in Österreich. Die Ergebnisse zeigten bis Mitte des Jahrhunderts eine Abnahme der Wasserkraftproduktion um 1,1–4,8 TWh<sub>d</sub> sowie eine Verschiebung der Wasserkraftproduktion vom Sommer- in das Winterhalbjahr. Im Sektor forstlicher Biomasse-Nutzung konnten regional gegenläufige Tendenzen gezeigt werden, die sich einerseits durch die Trockenheit in nieder gelegenen Regionen und andererseits durch einen erhöhten Zuwachs in höher gelegenen Regionen

ergeben. Die Energie-Nachfrage nach Heizen reduziert sich aufgrund des Klimasignals im Bereich von 3–6 %. Dem steht ein Anstieg der Kühlenergie-Nachfrage gegenüber, deren Einfluss vor allem aufgrund der unsicheren zukünftigen Diffusion von Klimaanlagen im Gebäudebestand in einer großen Bandbreite von etwa 1,5–10 TWh<sub>d</sub> im Extremfall eines heißen Klimaszenarios und hoher Diffusion von Klimaanlagen liegen könnte.

Eine Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte dieser Veränderungen von Erzeugung und Nachfrage unter Berücksichtigung internationaler Feedbackeffekte zeigt, dass die Effekte auf andere Sektoren den Effekt auf den Elektrizitätssektor selbst verstärken oder kompensieren können. Ob andere Sektoren durch die Klimawandelfolgen im Elektrizitätssektor positiv oder negativ betroffen sind, hängt im Wesentlichen davon ab, wie Zu- oder Abnahmen des Regelarbeitsvermögens von EET mit steigender oder sinkender Elektrizitätsnachfrage zusammenwirken. Ist die Verfügbarkeit von Elektrizität aus EET niedrig, die Nachfrage aber hoch, muss die Nachfrage durch fossile Energieträger (v. a. Gaskraftwerke) gedeckt werden, was den CO<sub>2</sub>-Preis erhöht und auch zu steigenden Elektrizitätspreisen führt. Diese vergleichsweise höheren Preise wirken sich wiederum negativ auf v. a. energieintensive Sektoren aus, weshalb es in diesem Fall zu negativen Auswirkungen auf andere Sektoren kommt (Bachner et al., 2013). Weiters zeigt sich in den Modellrechnungen, dass für die Periode 2031 bis 2050 die Auswirkungen der europäischen Klimapolitik auf die Produktion der energieintensiven und energieextensiven Sektoren deutlich stärker sind als die Auswirkungen der Klimaveränderungen (Bachner et al., 2013).

### Anpassung an den Klimawandel

Im Bereich Wasserkraft ergeben sich v. a. veränderte Abflüsse sowie Zunahmen in der Variabilität der Abflüsse. Diesen Entwicklungen könnte mit Anpassungsmaßnahmen wie etwa Veränderungen an Turbinen oder an Staubecken begegnet werden, um entweder die energetischen Erträge zu sichern oder gar zu erhöhen (vgl. Bachner et al., 2013 basierend auf Spindler, 2013).

Während Wasserkraftwerke mit steigendem Abfluss durch Überlauf umgehen können, können manche Windturbinen bei Starkwindereignissen nicht betrieben werden. Diesem Problem kann durch Klimawandelanpassung in Form von eines Turbineneinsatzes mit vertikalen anstelle von horizontalen Achsen begegnet werden (vgl. Bachner et al., 2013 basierend auf Spindler, 2013).

Im Bereich Solarenergie, insbesondere Photovoltaik, ergeben sich laufende Effizienzverbesserungen, die es auch erlau-

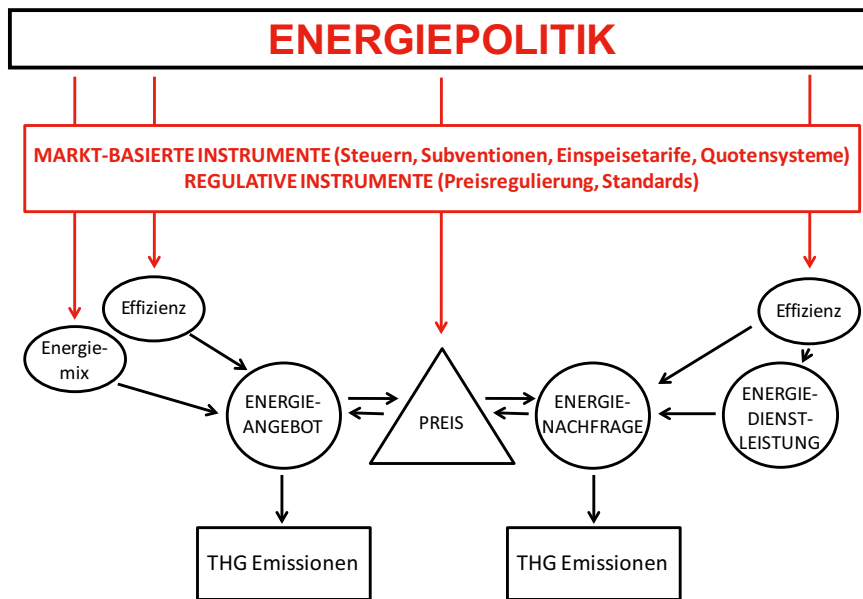


Abbildung 3.22 Zusammenhänge zwischen Energiesystem und energiepolitischen Instrumenten. Quelle: Adaptiert von Nakicenovic et al. (2012)

Figure 3.22 Relation between the energy system and energy policy instruments. Source: Adapted from Nakicenovic et al. (2012)

ben, mit veränderten Einstrahlungen umzugehen. In diesem Bereich sind daher keine gesonderten Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Anders sieht es jedoch mit höherer Temperatur aus, die für Photovoltaikpaneele ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Hier sind insbesondere Technologien zur Kühlung sowie zur Ummantelung denkbar (vgl. Bachner et al., 2013 basierend auf Spindler, 2013).

Eine Zunahme des Kühlbedarfs in Wohn- und Bürogebäuden kann zu Fehlanpassung führen, wenn diese mit den derzeit üblichen strombetriebenen Kühlgeräten erfolgt. Gebäudeseitige Effizienzmaßnahmen wie Abschattung oder auch Maßnahmen wie Nachtkühlung können die Kühllasten erheblich reduzieren. Auch die Erhöhung der Effizienz von elektrisch betriebenen Geräten in Gebäuden führt aufgrund der reduzierten inneren Einträge deutlich zur Verringerung der erforderlichen Kühlenergie. Insbesondere muss bei der thermischen Gebäudesanierung verstärkt auf Sommertauglichkeit geachtet werden, da sonst die Gefahr besteht, dass die Wärmedämmung zwar zu deutlich reduziertem Heizenergiebedarf, allerdings unter Umständen zu erhöhtem Kühlenergiebedarf führt. Dies kann durch die oben genannten Maßnahmen verhindert werden. Neben der vorrangigen Reduktion des Kühlenergiebedarfs existieren auch versorgungsseitige klimaneutralere Alternativen. Preisler (2012) nennt z. B. Verwendung von Systemen zur solaren Kühlung. Auch stellt PV eine geeignete Anpassungsmaßnahme dar. Aufgrund der nicht exakten Gleichzeitigkeit (Kühllastspitzen treten etwas verzögert gegenüber der PV-Spitze ein) sind allerdings auch mit hohen PV-Anteilen entsprechende Speicher- bzw. Spitzenlastkraftwerke

zur Abdeckung der Kühllastspitzen erforderlich (Kranzl et al., 2013b).

### Synergien zwischen Klimaschutz und Anpassung

Während manche Anpassungsmaßnahmen wie verstärktes Kühlen negative Auswirkungen für den Klimaschutz aufweisen, bieten sich einige synergetische Maßnahmen an, die eine gleichzeitige Klimaschutz- und Anpassungswirkung erzielen (z. B. passive Maßnahmen zur Reduktion der Kühllast von Gebäuden, Reduktion innerer Lasten, Photovoltaik als Kapazitätsbeitrag im Sommer). Das Verhältnis von Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen wurde ausführlich in Band 3, Kapitel 1 dargestellt und wird daher hier nicht mehr weiter diskutiert.

#### 3.1.9 Energiepolitische Instrumente

Die Begrenzung des Klimawandels erfordert eine grundlegende Restrukturierung bestehender Energiesysteme. In diesem Kapitel wird beschrieben, welche energiepolitischen Instrumente es gibt, um die beschriebenen Klimaschutzmaßnahmen umzusetzen.

Ausgangspunkt für die Diskussion energiepolitischer Instrumente ist ein gewisses Marktversagen. Die ideale Vorstellung eines Marktes, ist, dass dieser das gesellschaftliche optimale Gleichgewicht aus Angebot und Nachfrage herbeiführt und dass der Preis für die Energiedienstleistungen, den die EndverbraucherInnen bezahlen, letztendlich auch den gesellschaftlichen Grenzkosten entspricht.



Ist dies nicht der Fall, weil z. B. negative Umwelteffekte nicht hinreichend berücksichtigt werden, so ist dies ein Argument für Markteingriffe. Abbildung 3.22 gibt einen Überblick über mögliche energiepolitische Instrumente um in den oben beschriebenen Kategorien (Energiedienstleistung, Energienachfrage und Energieaufbringung) die Einflussfaktoren zu verändern.

Für die Reduktion von THG-Emissionen im Energiebereich ist nach Abschnitt 3.1.1 der Einsatz energiepolitischer Instrumente in den folgenden Bereichen erforderlich:

- Reduktion der nachgefragten Energiedienstleistungen  $S$  (z. B. der Wegstrecken)
- Steigerung der Energieeffizienz  $\eta$
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer, emissionsarmer Primärenergieträger  $\rightarrow$  Reduktion von  $f_{\text{THG}}$

Die Kosten erneuerbarer Energiebereitstellung und hocheffizienter Energiebereitstellungstechnologien liegen derzeit noch oftmals über jenen konventioneller Technologien. Zudem bestehen z. T. im Bereich erneuerbarer Energien nicht-monetäre Barrieren (z. B. Informationsdefizite), die einer breiten Diffusion entgegenstehen. Daher besteht das Erfordernis, diese Technologien in der Investitions- und Betriebsphase zu fördern, um Investitionen anzureizen. Bei der Gestaltung der entsprechenden Fördersysteme gilt es, verschiedene Ziele zu erreichen bzw. in Ausgleich zu bringen. Eines dieser Ziele betrifft die Effektivität der Instrumente, d. h. ihre Wirksamkeit in Bezug auf die Steigerung der Energieeffizienz bzw. auf die Steigerung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger. Ein weiteres Ziel ist es, die Instrumente ökonomisch effizient zu gestalten, also die volkswirtschaftlichen Kosten für die Erreichung der energiepolitischen Ziele zu minimieren.

Die ökonomische Theorie schlägt die Nutzung marktbasierter Instrumente als effektiv und ökonomisch effizient vor, um eine Transformation in Richtung eines nachhaltigen Energiesystems einzuleiten (d. h. um THG-Emissionen zu begrenzen sowie den Anteil erneuerbarer Energien und die Energieeffizienz zu erhöhen). Zu den marktbasierten Instrumenten zählen einerseits preisbasierte Instrumente, wie Steuern oder Einspeisetarife und andererseits mengenbasierte Instrumente wie z. B. Emissionshandel oder Tendering-Systeme.

Preisbasierte Instrumente fixieren den Preis für THG-Emissionen und erneuerbare Energien, während der Anteil erneuerbarer Energien oder die realisierte Emissionsminderung durch den Markt bestimmt wird. Im Gegensatz dazu legen mengenbasierte Instrumente das Emissionsniveau oder den Anteil erneuerbarer Energie fest, während der Preis am Markt gebildet wird (siehe z. B. De Jonghe et al., 2009).

Nach der ökonomischen Theorie würden die Ergebnisse der beiden Instrumente identisch sein als Resultat der Annahme einer Welt ohne externe Effekte und Unsicherheit, d. h. einer Welt mit perfekter Information, rationalen AkteurInnen und ohne Marktversagen (siehe z. B. McKibbin und Wilcoxon, 2002; Hepburn, 2006).

Unter realen Bedingungen herrschen jedoch zahlreiche Unsicherheiten, wie z. B. Unsicherheit in Bezug auf das optimale Emissionsreduktionsziel, Unsicherheit und/oder asymmetrische Informationen bezüglich technologischer Optionen oder Unsicherheit über die künftige Entwicklung von Energiepreisen, Innovation und Wirtschaftswachstum (z. B. Kettner et al., 2011). Politische EntscheidungsträgerInnen müssen daher zwischen Unsicherheit bezüglich quantitativer Ziele und Unsicherheit bezüglich des Preisniveaus wählen (siehe Murray et al., 2009).

Im Folgenden werden die zentralen energiepolitischen Zielsetzungen auf EU-Ebene zusammenfassend beschrieben, da diese den Rahmen für die österreichische Politik vorgeben. Danach werden die wichtigsten Instrumente zur Förderung erneuerbarer Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz in Österreich diskutiert.

### Europäische Rahmenbedingungen

Die EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen („RES-Richtlinie“, 2009/28/EC: EU, 2009) sieht für 2020 europaweit einen Anteil von 20 % erneuerbarer Energie am Bruttoendenergieverbrauch vor. Es handelt sich somit um ein relatives Ziel, das durch einen Ausbau erneuerbarer Energien (in den Bereichen Wärme/Kälte, Elektrizität, Transport) sowie durch Energieeinsparungen erreicht werden kann. Für die einzelnen EU-Mitgliedsstaaten wurden innerhalb einer EU-internen Lastenverteilung nationale Ziele festgelegt, die jedoch nicht auf den Potentialen für den kosteneffizienten Ausbau EE basierten. In der RES-Richtlinie vorgesehene Kooperationsmechanismen (Box 3.2) sollen daher einen Ausbau EE dort ermöglichen, wo sie am billigsten sind. Durch die Nutzung der Kooperationsmechanismen wird eine Anrechnung von in anderen Staaten produzierter EE für nationale EE („RES“)-Ziele ermöglicht. Österreich hat innerhalb der EU-internen Lastenverteilung einem Ziel von 34 % erneuerbarer Energie am Bruttoendenergieverbrauch zugestimmt. Ein weiteres EU-Ziel besteht in der Beseitigung von Barrieren für eine rasche Diffusion EET etwa durch die Vereinfachung administrativer Verfahren oder durch eine Verbesserung des Netzzugangs.

Richtlinie 2009/28 stellt es den Mitgliedsstaaten frei, welche EET sie forcieren bzw. welche energiepolitischen Instrumente

**Box 3.2: RES-Kooperationsmechanismen****Box 3.2: RES cooperation mechanism**

Die RES-Richtlinie sieht folgende Kooperationsmechanismen vor (Tuerk et al., 2012):

1. Statistischer Transfer (engl. „Statistical Transfer“): Der statistische (nicht physische) Transfer von erneuerbaren („RES“-) Anteilen zwischen Mitgliedsstaaten zur Zielerreichung des Käuferlandes.
2. Gemeinsame Projekte (engl. „Joint Projects“): Projekte zweier oder mehrerer EU-Mitgliedstaaten, bzw. auch mit Drittstaaten, wobei mit finanzieller Unterstützung des Käuferlandes im Verkäuferland erneuerbare Energieprojekte umgesetzt werden.
3. Gemeinsame Förderregelungen (engl. „Joint Support Schemes“): Die Errichtung gemeinsamer RES-Förderregime zwischen EU-Mitgliedsstaaten.

Für Österreich ist derzeit keine Nutzung der Kooperationsmechanismen vorgesehen (BMLFUW, 2010). Dennoch könnte Österreich im Fall einer Zielübererreichung RES-Anteile an andere EU-Staaten mit Hilfe des Statistischen Transfers verkaufen. Ebenso könnte die Republik Investitionen anderer Länder in Österreich im Rahmen von Gemeinsamen Projekten zulassen. Dies würde zwar keinen unmittelbaren Vorteil für Österreich bis 2020 bedeuten (abgesehen von eventuell positiven heimischen Wertschöpfungseffekten), könnte jedoch die Startposition Österreichs für ein RES-Ziel nach 2020 durch den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien frühzeitig verbessern. Während statistische Transfers den Vorteil der kurzfristigeren Nutzbarkeit aufweisen, würden gemeinsame Projekte eine längerfristige Verpflichtung zum Transfer von RES-Anteilen mit sich bringen. Gemeinsame Projekte sollten daher nur in Erwägung gezogen werden, wenn sich eine klare Übererreichung über den Zeitraum des Transfers abzeichnet bzw. wenn die Kosteneffizienz eines weiteren Ausbaus für die österreichische Zielerreichung nicht gefährdet wird (Tuerk et al., 2012).

sie dafür einsetzen. Im Bereich der Förderung von Elektrizität aus EET sind beispielsweise Einspeistarife, Einspeisprämien und Quotenverpflichtungssysteme mit handelbaren grünen Zertifikaten (sowie Kombinationen davon) die am häufigsten angewandten Förderinstrumente in der EU (Ragwitz et al., 2011; Kettner et al., 2009). Einspeistarife für erneuerbare Elektrizität werden in Österreich, Bulgarien, Zypern, Frankreich, Griechenland, Ungarn, Irland, Lettland, Litauen, Portugal und der Slowakei eingesetzt (Ragwitz et al., 2011). In Dänemark und den Niederlanden werden Einspeisprämien verwendet. Die Tschechische Republik, Estland, Slowenien und Spanien setzen auf eine Kombination von Einspeisstarifen und Einspeisprämien. Belgien, Italien, Polen, Rumänien, Schweden und das Vereinigte Königreich fördern erneuerbare Elektrizitätserzeugung durch Quotenverpflichtungssysteme (Ragwitz et al., 2011). Quotenverpflichtungssysteme werden häufig mit Einspeisstarifen für bestimmte Technologien kombiniert. Tendarverfahren, steuerliche Anreize und Investitionszuschüsse sind von eher untergeordneter Bedeutung.

Neben einer Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger hat sich die EU das Ziel gesetzt, die Energieeffizienz

bis zum Jahr 2020 um 20 % im Vergleich zu einem Referenzszenario zu steigern (EU, 2012) zur Energieeffizienz enthält zahlreiche Energieeffizienzaktivitäten, die von den Mitgliedsstaaten umgesetzt werden sollen bzw. müssen. Zur Erreichung der vorgegebenen Effizienzziele können Mitgliedsstaaten so genannte „Energieeffizienzverpflichtungen“ einführen. Energieversorgungsunternehmen oder Energieverteilungsunternehmen können darin verpflichtet werden, dafür zu sorgen, dass in der Periode 2014 bis 2020 jährlich mindestens 1,5 % ihres durchschnittlichen jährlichen Endenergieabsatzes eingespart wird. Zudem sieht die Energieeffizienzrichtlinie vor, dass Politiken und Strategien zum Ausbau effizienter Kraft-Wärme-Kopplung sowie Wärme- und Kälteversorgung entwickelt und umgesetzt werden. Auch ein Einspeisvorrang von KWK-Strom kann festgelegt werden, solange dieser die vorrangige Einspeisung von Strom aus EE nicht negativ beeinflusst.

Auch das seit 2005 bestehende europäische Emissionshandelssystem beeinflusst die Rahmenbedingungen für die Erzeugung von Elektrizität und Fernwärme maßgeblich. Anlagen für die Bereitstellung von Elektrizität und Fernwärme do-

minieren das EU-EHS; in den ersten beiden Handelsphasen entfielen rund 60 % der EU-weiten Allokation auf diesen Sektor (Kettner, 2012). Sowohl in der Pilotphase (2005/2007) als auch in der zweiten Handelsphase wies alleine der Sektor Elektrizität und Fernwärme ein bindendes Emissionscap auf, d. h. nur in diesem Sektor überstiegen die Emissionen im Durchschnitt die Allokation. In der ersten Handelsphase überstiegen die Emissionen aus der Bereitstellung von Elektrizität und Fernwärme die sektorale Allokation um 4,9 %, in den ersten vier Jahren der zweiten Handelsperiode lagen die Emissionen 18,5 % über der Allokation. Für die anderen Emissionshandelssektoren lag die Allokation in beiden Handelsperioden jeweils deutlich über den Emissionen (Kettner, 2012).

Unterschiede zwischen der Zuteilung von Zertifikaten an die einzelnen Sektoren sind vorwiegend durch Wettbewerbsüberlegungen motiviert (siehe z. B. Kolshus und Torvanger, 2005; Ellerman et al., 2007): Sektoren, die nicht dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt sind (z. B. Elektrizität und Fernwärme), erhalten generell eine geringere Zuteilung als Sektoren, die im internationalen Wettbewerb stehen (z. B. Eisen- und Stahlindustrie, Zellstoff- und Papierindustrie). Für die Elektrizitätserzeugung spielten auch die relativ hohen Emissionsreduktionspotentiale bei der stringenteren Allokation eine Rolle.

Diese Überlegungen flossen in die aktuelle Emissionshandels-Richtlinie ein (Richtlinie 2009/29/EG), in der unterschiedliche Allokationsverfahren für durch „Carbon Leakage“ unterschiedlich betroffene Sektoren definiert werden. Für den Elektrizitätssektor gelten demnach ab der dritten Emissionshandelsphase striktere Allokationsregeln, d. h. die meisten Anlagen aus diesem Sektor können Emissionszertifikate ausschließlich im Rahmen von Auktionen erwerben (mit Ausnahme von hocheffizienten KWK sowie Kraftwerken in manchen neuen EU-Mitgliedsstaaten), während in anderen Sektoren Zertifikate gratis auf Basis von EU-weiten Benchmarks zugeteilt werden.

### Energiepolitische Instrumente in Österreich

In diesem Abschnitt werden die zentralen energiepolitischen Instrumente im Bereich der Elektrizitätsbereitstellung sowie allgemeine Instrumente zur von Wärme und Kälte aus erneuerbaren Energieträgern beschrieben. Instrumente, die einzelne andere Sektoren betreffen (z. B. Wohnbauförderung im Gebäudebereich), finden sich in den jeweiligen Kapiteln.

### Elektrizität

Im Folgenden werden die zentralen Förderinstrumente zur Förderung der Erhöhung des Anteils EET sowie zur Verbesserung der Energieeffizienz in der Elektrizitätsbereitstellung dargestellt: Einspeistarife und Investitionszuschüsse im Rahmen des Ökostromgesetzes, die Förderung von KWK-Technologien im Rahmen des KWK-Gesetzes sowie der privilegierte Netzzugang von Elektrizität aus EET und KWK im Rahmen des Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz.

### Forcierung erneuerbarer Energieträger

Seit 2002 wird die Förderung der Stromerzeugung aus EET im Ökostromgesetz (ÖSG) und den entsprechenden Novellen geregelt<sup>13</sup>. Im Rahmen des ÖSG können folgende Technologien durch Einspeistarife gefördert werden (ÖSG, 2012):

- Windkraftanlagen
- Photovoltaikanlagen (sofern deren Leistung  $5 \text{ kW}_{\text{peak}}$ , nicht aber  $500 \text{ kW}_{\text{peak}}$  übersteigt)
- Kleinwasserkraftanlagen mit einer Engpassleistung von bis zu 2 MW
- Geothermieanlagen (sofern sie einen Gesamtwirkungsgrad von mindestens 60 % erreichen)
- Anlagen auf Basis von Biomasse und Biogas (sofern sie einen Gesamtwirkungsgrad von mindestens 60 % erreichen)<sup>14</sup>

In der Ökostromverordnung (ÖSVO) werden die Einspeistarife für EET festgelegt, wobei sowohl zwischen Energieträgern als auch zwischen Anlagengrößen differenziert wird. Für ressourcenabhängige Technologien (feste und flüssige Biomasse, Biogas) werden die Einspeistarife für eine Periode von 15 Jahren gewährt<sup>15</sup>, für die übrigen Technologien beträgt die Förderdauer 13 Jahre (ÖSG, 2012; ÖSVO, 2012). Wenn der Marktpreis für Strom höher als die Einspeiservergütung ist, können die Betreiber von Ökostromanlagen die Elektrizität zu Marktpreisen einspeisen (ÖSG, 2012).

<sup>13</sup> Mit dem Ökostromgesetz 2002 wurden die Rahmenbedingungen für die Förderung von Ökostromanlagen in Österreich vereinheitlicht; zuvor wurde die Förderung der Stromerzeugung aus EET auf Länderebene geregelt.

<sup>14</sup> Bei Hybrid- und Mischfeuerungsanlagen kann eine Förderung für den Anteil der eingesetzten EET gewährt werden. Anlagen auf Basis von Biomasse und Biogas erhalten zudem einen „KWK-Bonus“, wenn sie bestimmte Effizienzkriterien erfüllen (ÖSG, 2012).

<sup>15</sup> Gemäß ÖSG (2012) erhalten Anlagen, die auf Biomasse oder Biogas basieren, nach Ablauf der Einspeistarife für fünf weitere Jahre einen geförderten Abnahmepreis, der jedoch unter den Einspeistarifen liegt.

Zur Förderung von Anlagen auf Basis von Ablage sowie für Wasserkraft (von 2-10 MW) sieht das ÖSG Investitionszuschüsse anstelle von Einspeistarifen vor; Kleinwasserkraftanlagen mit einer Engpassleistung unter 2 MW können zwischen dem Einspeistarif und einer Investitionsförderung wählen. PV-Anlagen mit einer Leistung von bis zu 5 kW<sub>peak</sub> können eine Investitionsförderung vom österreichischen Klima- und Energiefonds erhalten.

Bei der Ökostromförderung handelt es sich um keine klassische öffentliche Förderung; die Förderung wird von den KonsumentInnen aufgebracht. Die Rahmenbedingungen für die Förderung von Ökostrom waren insbesondere in den letzten Jahren zahlreichen Änderungen unterworfen. So gab es seit 2002 sieben unterschiedliche Ökostromverordnungen<sup>16</sup> und zahlreiche Novellen des Ökostromgesetzes.

Im Rahmen der zahlreichen Förderungsnovellen kam es zwischen 2006 und 2008 durch die Verkürzung der Tariffaufzeiten sowie durch die Deckelung des Förderbudgets im Rahmen des ÖSG 2006<sup>17</sup> zu einem Ausbaustopp von Ökostromanlagen (Umweltbundesamt, 2013). Durch den unrentablen Einspeistarif für Windenergieanlagen stagnierte insbesondere der Ausbau von Windenergie in Österreich in der Periode von 2006 bis 2009.

Einspeistarife zeigen in der Praxis generell eine höhere Effektivität als andere Förderinstrumente (z. B. Haas et al., 2011b). Für Österreich folgern Kettner et al. (2009) jedoch, dass eine Überprüfung der Tarife zu bestimmten Zeitpunkten die Sicherheit über die regulatorischen Rahmenbedingungen erhöhen bzw. deren allfällige Änderungen für Neuanlagen ermöglichen und somit auch zur Stabilität und Kontinuität beitragen würde. Neben der Möglichkeit, damit auf exogene Faktoren und Entwicklungen reagieren zu können, würde dies auch die Möglichkeit einer regelmäßigen Evaluierung des Systems bieten.

<sup>16</sup> BGBl. II Nr. 508/2002, BGBl. II Nr. 401/2006, BGBl. II Nr. 59/2008, BGBl. II Nr. 53/2009, BGBl. II Nr. 42/2010, BGBl. II Nr. 25/2011, BGBl. II Nr. 471/2011, BGBl. II Nr. 307/2012.

<sup>17</sup> Die Ökostromgesetznovelle 2006 (BGBl. I Nr. 105/2006) legte ein maximales zusätzliches jährliches Unterstützungsvolumen von 17 Mio. € fest, das wie folgt auf die unterschiedlichen Energieträger aufgeteilt wurde: 30 % für Ökostromanlagen auf Basis von fester Biomasse oder Abfall mit hohem biogenen Anteil, 30 % für Anlagen auf Basis von Biogas, 30 % für Windkraftanlagen und 10 % für PV-Anlagen und weitere Ökostromanlagen. Mit der zweiten Ökostromgesetznovelle 2008 (BGBl. I Nr. 114/2008) wurden das Unterstützungsvolumen auf 21 Mio. €/Jahr erhöht und die technologiespezifische Differenzierung des Unterstützungsvolumen vereinfacht: Für PV wurde eine Obergrenze von 2,1 Mio. € festgelegt, für die übrigen Technologien entfiel die Differenzierung. Im Rahmen des Ökostromgesetzes 2012 wurde das zusätzliche jährliche Unterstützungsvolumen auf 50 Mio. € erhöht und es erfolgte erneut eine stärkere technologiespezifische Differenzierung.

## Erhöhung der Energieeffizienz

Im Rahmen des KWK-Gesetzes wird die Förderung von bestehenden und revitalisierten sowie neuen KWK-Anlagen durch Unterstützungstarife bzw. Investitionszuschüsse geregelt. Voraussetzung für die Förderung von KWK-Anlagen ist, dass im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Elektrizität und Fernwärme eine signifikante Reduktion des Primärenergieeinsatzes sowie der CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielt wird. Revitalisierte KWK-Anlagen müssen zudem der öffentlichen Fernwärmeversorgung dienen.

Für Neuanlagen, deren Antrag bis zum 30. September 2012 eingebracht wurde und die bis Ende 2014 in Betrieb gehen, erfolgt die Förderung in Form von Investitionszuschüssen, wobei maximal 10 % des unmittelbar für die Errichtung der KWK-Anlage erforderlichen Investitionsvolumens gefördert werden und der spezifische Investitionszuschuss je kW mit der Größe der Anlage abnimmt.

Die Unterstützung bestehender KWK-Anlagen endete mit dem 31. Dezember 2008; die Unterstützung modernisierter KWK-Anlagen endete mit dem 31. Dezember 2010.

Das geplante Energieeffizienzgesetz hat umfassende Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zum Ziel, u. a. die Unterstützung von Energieeffizienzmaßnahmen in Unternehmen sowie die Anforderung an Energielieferanten, Energieeffizienzmaßnahmen bei sich oder ihren EndkundInnen zu erreichen.

Beim Ausbau von KWK gilt es, das Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage zu betrachten; in diesem Zusammenhang können sich kleine Strukturen als vorteilhaft erweisen, um die erzeugte Wärme möglichst effizient zu nutzen.

## Privilegierter Netzzugang von Elektrizität aus EET und KWK

Das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (ElWOG) definiert den vorrangigen Netzzugang von Elektrizität aus EET und KWK-Anlagen in Fällen von Engpässen bei den vorhandenen Leitungskapazitäten. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Instrumenten handelt es sich hierbei um ein regulatorisches Instrument.

## Wärme

### Umweltförderung Inland (UFI)

Grundlage der in Österreich gewährten Umweltförderungen ist das im Jahr 1993 in Kraft getretene Umweltförderungsgesetz. In Österreich stellt die Umweltförderung im Inland ein zentrales Instrument der Umweltpolitik dar, mit dem Anreize für die Umsetzung umwelt- und klimafreundlicher Techno-

logien im betrieblichen Bereich gesetzt werden (Kletzing-Slamanig und Steininger 2010). Es wird von der Kommunalkredit Public Consulting GmbH abgewickelt. Mittels der Förderung sollen Kostennachteile umwelt- und klimafreundlicher Technologien im Vergleich zu konventionellen Technologien ausgeglichen werden. Im Laufe der 1990er Jahre zeigte sich eine zunehmende Fokussierung der Förderung auf klimarelevante Maßnahmen (Kletzing-Slamanig und Steininger, 2010). Dazu gehören insbesondere die Nutzung erneuerbarer Energien bzw. Energiesparmaßnahmen. Im Bereich CO<sub>2</sub>-armer Energieträger werden derzeit die folgenden Technologien gefördert: Holzheizungen zur Eigenversorgung; Nahwärmeversorgung auf Basis von EET; Fernwärmeanschluss; Wärmepumpen; thermische Solaranlagen; solare Großanlagen; Stromerzeugung in Insellage auf Basis von EET; Herstellung biogener Brenn- und Treibstoffe; energetische Nutzung biogener Roh- und Reststoffe; Erdgas-Kraft-Wärme-Kopplung für Betriebe; landwirtschaftliche Biomasse.

Im Bereich Energiesparen fördert die UFI neben thermischer Gebäudesanierung unter anderem die Klimatisierung und Kühlung von Betrieben mit Energie aus Abwärme/EET, bzw. in Form von Energienutzung aus Produktionsprozessen. Die Förderung erfolgt in Form von nicht rückzahlbaren Investitionszuschüssen in Höhe von ca. 20–30 % der umweltrelevanten Investitionskosten. Die im Jahr 2011 genehmigten Förderungsanträge mit einem Förderungsbarwert von 350,5 Mio. € lösten ein umweltrelevantes Investitionsvolumen von 1992 Mio. € aus (BMLFUW, 2012). Im Jahr 2011 wurden die meisten Projekte bei den Förderschwerpunkten Biomasse (21 %), Solaranlagen (15 %) sowie bei den betrieblichen Energiesparmaßnahmen (13 %) bewilligt (BMLFUW, 2012).

Die Zahl der eingereichten Projekte überstieg in den letzten Jahren das Fördervolumen, der Rückstau beträgt schon jetzt ein Jahresbudget des Jahres 2011. Gleichzeitig würde der zugesagte Rahmen der Umweltförderung im Inland für das Jahr 2013 um ca. 25 Mio. € gekürzt (Bundesfinanzgesetz, 2013), was angesichts der zu erreichenden Energie- und Klimaziele für das Jahr 2020 als sehr kritisch zu sehen ist.

### Förderungen des Klima und Energiefonds

Der Klima- und Energiefonds wurde 2007 durch die Bundesregierung ins Leben gerufen, um die Umsetzung ihrer Klimastrategie zu unterstützen – kurz, mittel- und langfristig. Eigentümer ist die Republik Österreich, vertreten durch das Lebensministerium und das Infrastrukturministerium. Die Strategien der österreichischen Bundesregierung in den Bereichen Forschung und Technologie, Klimaschutz sowie Energie liefern die wesentlichen Grundlagen, die in den Pro-

grammen des Klima- und Energiefonds ihren Niederschlag finden.

Das Jahresbudget für 2013 beträgt 140,6 Mio. € (Jahresprogramm 2013 des Klima und Energiefonds). Genauso wie bei der UFI wurde das Budget für den Klima- und Energiefonds im Vergleich zu 2012 gekürzt (Bundesfinanzgesetz, 2013). Im Bereich erneuerbarer Wärme fördert der Klima- und Energiefonds die Installation von Wärmeerzeugungsanlagen, die EET nutzen, mit einem Budget von 7 Mio. € im Jahr 2013.

### Einführung von THG-spezifischen Steuern:

Die Einführung von Energiesteuern, die jährlich kontinuierlich steigen, wird in den meisten POLICY-Szenarien als zentrales Instrument eingestuft. Das effektivste Instrument zur Reduktion der THG-Emissionen ist eine Steuer auf CO<sub>2</sub>-Äq. Sie stellt gleichzeitig für die Forcierung aller drei Handlungskategorien – Umstieg auf THG-arme Energieträger, Steigerung der Energieeffizienz und Reduktion des Energiedienstleistungsbedarfs – entsprechende Anreize bereit:

- Zunächst werden in einem Wettbewerb von Energieträgern CO<sub>2</sub>-Äq.-ärmere, z. B. jene, die auf EET basieren, relativ kostengünstiger. Eine Steuer auf CO<sub>2</sub>-Äq. führt beispielsweise dazu, dass es nicht mehr notwendig ist, z. B. Biofuels, Wasserstoff oder Strom für E-Fahrzeuge zu subventionieren sondern die (möglichen) Umweltvorteile dieser Kraftstoffe resultieren aus der niedrigeren Besteuerung
- Mittelfristig ist dies natürlich auch ein Anreiz in energieeffizientere Geräte, Autos, Gebäude und Industrieanlagen zu investieren
- Wenn die Energiepreise durch eine Steuer steigen, ist dies weiters ein direkter Anreiz, den Energieverbrauch und bei gleich bleibendem Wirkungsgrad auch den Energiedienstleistungsbedarf zu senken. Vor allem würden z. B. auch Stand-by-Verluste durch Verhaltensänderungen sinken.

### 3.1.10 Kernaussagen

Die wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Bewertung der energiepolitischen Situation Österreichs lauten:

Die in Europa für 2020 festgesetzten energie- und klimapolitischen Zielsetzungen und noch mehr die für 2050 artikulierten Ansprüche und Erfordernisse, um eine globale Temperatursteigerung um 2 °C nicht zu überschreiten, können sicher nicht alleine durch Substitution von Energieträgern bzw. dem

Einsatz von singulären Effizienztechnologien erreicht werden. Vielmehr ist dafür ein grundlegender gesellschaftlicher Wandel erforderlich, im Rahmen dessen auch das Energiesystem mittelfristig umzugestalten ist. Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus dieser Bewertung der energiepolitischen Situation Österreichs lauten:

### Österreich im internationalen Vergleich

Im internationalen Vergleich ist das Energiesystems Österreichs wie folgt einzuschätzen:

- In Bezug auf den Anteil EET ist Österreich sowohl bei der PE als auch bei der Stromerzeugung positiv einzuschätzen
- Auch in Bezug auf die spezifischen THG-Emissionen ist Österreich im internationalen Vergleich sehr gut zu bewerten. Auch der Trend ist positiv zu bewerten. Österreich konnte den Wert von 2,13 t CO<sub>2</sub>-Äq./toe im Jahr 2000 bis 2010 auf 1,93 weiter reduzieren.
- Eher negativ ist Österreichs Energiesystem im Vergleich der Serviceeffizienz – Wirtschaftsleistung pro Einheit Energieverbrauch – einzustufen. Zwar liegt Österreich im internationalen Vergleich absolut bewertet sehr gut (vgl. Abbildung 3.12) der Trend ist allerdings sehr bedenklich. So war Österreich im Vergleich mit 9080 €/toe im Jahr 2000 unter den verglichenen Ländern an der Spitze, im Jahr 2010 ist es mit 8630€/toe hinter DEU, ITA und JPN zurückgefallen. In dieser Darstellung war Österreich überhaupt das einzige Land, das sich im Zeitraum von 2000 bis 2010 verschlechtert hat.

### Energiemix der Primärenergieaufbringung: Optionen erneuerbare Energiequellen

- Das bis 2050 erschließbare Potenzial an EET in Österreich beträgt den verschiedenen Studien zufolge zwischen 750 und 1300 PJ.
- Biomasse nimmt unter den EET eine spezifische Stellung ein und wird auch in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Substitution fossiler Energieträger spielen müssen. Die primärenergetischen Potenziale sind in Österreich sind allerdings bereits weitgehend erschlossen. Zukünftige Maßnahmen sollten darauf abzielen, die hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Kriterien effizientesten Nutzungspfade zu forcieren.
- Beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung ist der Flächen- bzw. Rohstoffbedarf für Nahrungsmittelproduktion und stoffliche Biomassenutzung zu berücksichtigen (zumal eine Substitution fossiler Rohstoffe

auch bei stofflichen Produkten erforderlich ist und beispielsweise der forcierte Einsatz biogener Baustoffe mitunter mit signifikanten THG-Einsparungen verbunden ist).

### Optionen im Bereich der Stromerzeugung

- Im Bereich der Stromaufbringung kann – je nach Szenario – bis 2050 bis zu 100 % Deckung durch EET erreicht werden. Allerdings erscheint aus heutiger Sicht aus Praktikabilitäts-/Kostengründen die Beibehaltung eines Restanteils von 5 bis 10 % Erdgas sinnvoll.
- In Bezug auf Infrastruktur sind die deutlichsten Veränderungen im Strombereich notwendig, wobei hierbei nahezu alle Subbereiche (Erzeugung, Netz, Speicherung und Verbrauch) betroffen sind. Diese Strukturanpassungen erscheinen aber auch bei maßvoller Weiterentwicklung der energiepolitischen Rahmenbedingungen durchaus erreichbar. Der steigende Anteil EET im Erzeugungsbereich, Smart Grids vor allem auf Verteilnetzebene, neue Stromspeichertechnologien und -kapazitäten sowie Smart Meters bei den VerbraucherInnen werden die bestehenden Strukturen signifikant verändern und eine weitgehend CO<sub>2</sub>-arme Stromversorgung ermöglichen.
- Die bedeutendste Veränderung, die im Bereich der Stromversorgung derzeit stattfindet, ist der Markteintritt der Photovoltaik in Deutschland. Diese wird – in den nächsten Monaten und Jahren – das gesamte Marktsystem – auch in Österreich – fundamental verändern, da temporär sehr große Strommengen aus diesen Anlagen produziert werden, die Eigenverbrauchsanteile erhöht werden und Stromspeicher sowie Smart Grids eine wesentlich bedeutendere Rolle im Stromsystem spielen werden als derzeit (Haas, 2013).

### Option Reduktion Heizenergiebedarf

- Im Bereich der Heizenergieversorgung von Wohngebäuden könnten mit weiter ambitionierten Politiken die THG-Emissionen bis 2050 am drastischsten gesenkt werden. Am wichtigsten sind hierfür eine qualitativ hochwertige thermische Sanierung des Bestands und die optimale Einbindung der Nutzung EET.
- Bei Neubauten wurde in den letzten Jahren ein beträchtlicher technologischer Fortschritt realisiert. In den nächsten Jahren sollte dieser Trend weiter forciert werden bzw. die erreichten Kennwerte jener Gebäude mit dem geringsten Energiebedarf bzw. THG-Emissionen sollten der Festlegung von Standards für künftige Neubauten dienen. Im

Sinne des mit der europäischen Gebäuderichtlinie (Neufassung) eingeschlagenen Weges ist eine sehr ambitionierte Festlegung von Neubaustandards erforderlich, um langfristige Klimaschutzziele zu erreichen.

- Unter diesen Rahmenbedingungen kann bis 2050 auf Basis von EET eine Abdeckung von etwa 70 % des Wärmebedarfs erreicht werden, wobei hier ein breites Portfolio aus Biomasse, Solarthermie, Geothermie und der Nutzung von Umgebungswärme zum Einsatz käme.

### Optionen im Bereich des Stromverbrauchs

- Der Stromverbrauch wird ohne gravierende politische Eingriffe weiter deutlich ansteigen. Zwar wird es durch effizientere Technologien bei bestehenden Anwendungen und der Beleuchtung zu Einsparungen kommen, vor allem durch die weitere Verbreitung neuer stromkonsumierender Anwendungsbereiche bei gleichbleibend niedrigen (realen) Niveaus der Strompreise wird der Gesamtstromverbrauch zumindest moderat weiter steigen. Das ist das Ergebnis praktisch aller berücksichtigten Szenarien, ausgenommen jener, die eine Reduktion des Stromverbrauchs explizit vorgegeben haben.

### Optionen im Bereich der Mobilität

- Im Verkehrsbereich kann nur ein umfassendes Portfolio aus Maßnahmen in den Kernbereichen dringend notwendige Veränderungen einleiten: A) Fiskalische Instrumente; B) Raumplanung und gesetzliche Maßnahmen; C) Technologische Innovationen bei konventionellen und alternativen Antrieben; D) Soft tools (Details zu verkehrspolitischen Maßnahmen siehe „Verkehr“ Abschnitt 3.2).

### Wichtigste energiepolitische Instrumente

Insgesamt sind die wichtigsten energiepolitischen Instrumente zur Reduktion der THG-Emissionen: CO<sub>2</sub>-basierte Steuern, Verschärfung der thermischen Gebäudestandards, verschärfte Standards für Elektrogeräte und effiziente weitere (fiskalische) Förderung EET. Von zentraler Bedeutung sind hier Anreize für die Marktintegration, sowohl bei Strom als auch bei Wärme und Mobilität.

## 3.2 Verkehr

### 3.2 Transport

In diesem Kapitel analysieren wir die wichtigsten, für Österreich relevanten, internationalen und nationalen THG-spezifischen Entwicklungen im Verkehrsbereich und leiten davon notwendige verkehrs- und energiepolitische Maßnahmen ab, um letztendlich die mögliche Bandbreite der Entwicklungen aufzuzeigen, in dem wir ein BAU- und ein ambitioniertes POLICY-Szenario vergleichen. Das Kapitel ist wie folgt aufgebaut:

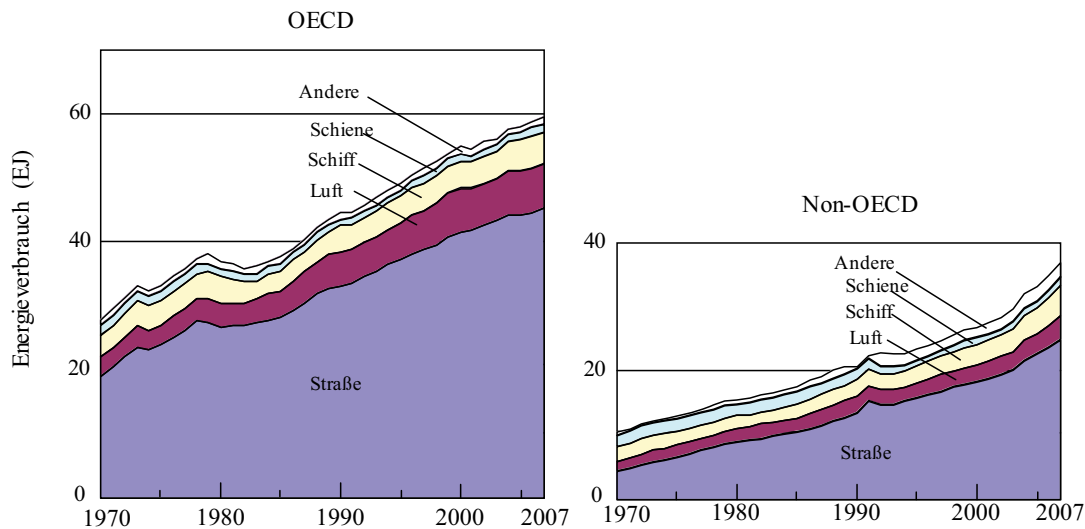
Nach einer kurzen Beschreibung der Motivation in Abschnitt 3.2.1 und der wichtigsten grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Verkehr, Energie und THG-Emissionen in Abschnitt 3.2.2 werden in Abschnitt 3.2.3. die wichtigsten Fakten in Bezug auf derzeitige Trends des Energieverbrauchs und Transportvolumens beschrieben. Um die österreichspezifischen Entwicklungen in einem entsprechenden internationalen Kontext präsentieren zu können, werden dazu zunächst die internationalen, welt- bzw. europaweiten Perspektiven erörtert und dann jene für Österreich. Abschnitt 3.2.4 gibt einen Überblick über verschiedene mögliche Einflussparameter bzw. Treiber (Einflussparameter wie BIP, Preise oder technische Effizienz), die als Gründe für diese Entwicklungen angesehen werden können. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 3.2.5 die wichtigsten Indikatoren dokumentiert. Abschnitt 3.2.6 gibt darauf aufbauend einen Überblick zu möglichen Ansätzen zu Adaptation und Mitigation. Politischen Maßnahmen welche in den folgenden Unterkapiteln detaillierter erörtert werden.

#### 3.2.1 Welt- und europaweite Fakten zu Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs

In diesem Kapitel dokumentieren wir die wichtigsten Merkmale und Indikatoren der historischen Entwicklung des Verkehrs aus nachfrage- und energieseitiger Sicht weltweit und in Europa. Nachfrageseitig werden Personen- und Güterverkehr getrennt analysiert.

#### Welt

In den letzten Dekaden ist der Energieverbrauch im Verkehr sowohl in den OECD- als auch in den Nicht-OECD-Ländern substanziell gestiegen (vgl. Abbildung 3.23). Ältere Datenreihen zeigen, dass der Energieverbrauch und damit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr seit 1850 kontinuierlich zuge-



**Abbildung 3.23** Energieverbrauch im Verkehr in OECD- und Nicht-OECD-Ländern nach Verkehrsmittel (in „Andere“ sind Pipelines und nicht weiter spezifizierter Verkehrsmittel zusammen gefasst). Quelle: GEA (2012)

**Figure 3.23** Energy consumption in transport in OECD and non-OECD countries decomposed in transport modes (“others” resumes pipelines and non specified transport modes). Source: GEA (2012)

nommen haben (GEA, 2012; Molitor et al., 1997). In den Entwicklungs- und Schwellenländern wurde dieser Anstieg in den letzten Jahren durch die rapide Urbanisierung und Motorisierung vor allem durch die Entwicklung in China beschleunigt.

Eine einzige fossile Ressource – Erdöl – stellt am Ende des ersten Jahrzehnts unseres Jahrhunderts 95 % der gesamten im Verkehrsbereich genutzten Energie bereit. Diese Abhängigkeit bewirkt zwei globale Probleme: die langfristige Versorgungssicherheit und die dramatisch anwachsenden THG-Emissionen (vgl. Stern, 2007).

Im Jahr 2007 hat der globale Verkehrssektor 6.6 Gt CO<sub>2</sub>-Emissionen produziert, das entspricht 23 % der weltweiten THG-Emissionen. 73 % davon hat der Straßenverkehr (SNF, LNF und PKW zusammen<sup>18</sup>) verursacht (vgl. Abbildung 3.24).

Steigende Fahrleistungen (Fahrzeug-Kilometer), sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr, sind die am stärksten treibende Kraft in Bezug auf Anstieg des weltweiten Ölverbrauchs und der THG-Emissionen in den OECD-Ländern (IEA, 2010).

## Europa

Der Verkehr verursacht in der EU bereits ein Viertel der THG-Emissionen und ist somit der einzige Sektor mit deutlich stei-

<sup>18</sup> SNF: Schwere Nutzfahrzeuge (Lkw > 3,5t Gesamtmasse), LNF: Leichte Nutzfahrzeuge (Fahrzeuge zum Gütertransport/Lieferverkehr, < 3,5t Gesamtmasse), Pkw: Personenkraftwagen

gendem Trend (vgl. Abbildung 3.25). Allein der motorisierte Straßenverkehr (Personen- und Güterverkehr, PKW, LNF und SNF) verursacht 24 % der THG-Emissionen in der EU (vgl. Abbildung 3.26).

Die Treiber („driver“) im Energieverbrauch im Verkehr sind die Zunahme der Fahrleistungen im Straßenverkehr und die technologischen Verbesserungen durch effizientere Antriebe im motorisierten Verkehr generell. Die Wachstumsraten der Fahrleistungen sind bisher höher gewesen als die Steigerung der Effizienz, wodurch der Energieverbrauch zugenommen hat.

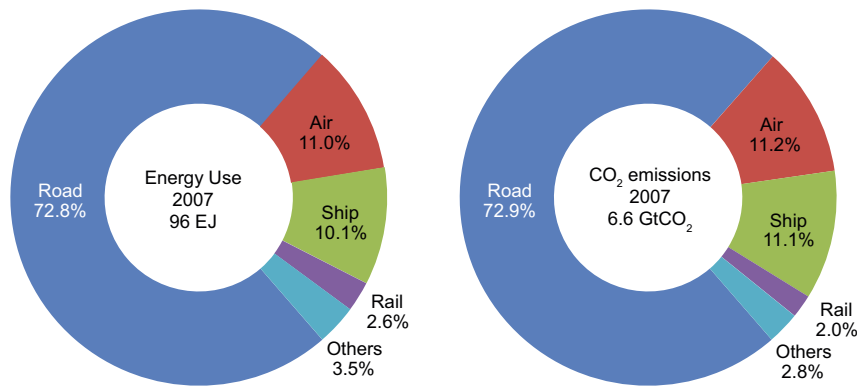
## Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs in Österreich

In diesem Abschnitt werden die Entwicklung der Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr sowie des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich über die letzten Dekaden kurz umrissen.

### Personenverkehr

Bei der Darstellung des Personenverkehrs wird in der Regel nach zurückgelegten Wegen pro Zeiteinheit (üblicherweise Wege pro Werktag) und nach Verkehrsleistung in Personenkilometer (dem Produkt aus Weg und Distanz) unterschieden. Die Zahl der zurückgelegten Wege liegt in Österreich im Durchschnitt bei 3,7 Wegen/Werktag (Herry et al., 2007)





**Abbildung 3.24** Anteil der einzelnen Verkehrsmittel am globalen Energieverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrsbereich 2007. Quelle: GEA (2012)

**Figure 3.24** Share of the global energy consumption and CO<sub>2</sub>-emissions of the different transport modes in the sector transport in 2007 Source: GEA (2012)

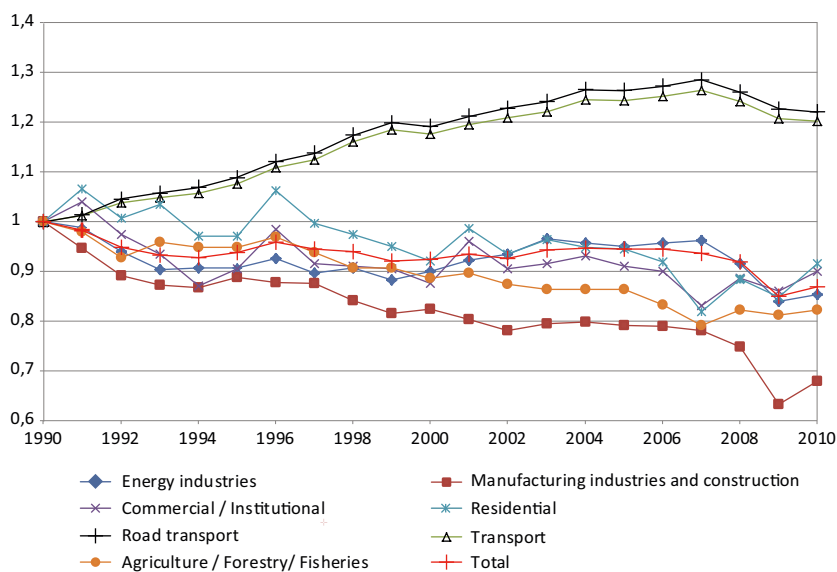
und variiert je nach Untersuchungsgebiet und Erhebungsjahr zwischen 3,4 und 3,9 Wegen/Werktag (Herry et al., 2007).

Für eine energetische Betrachtung, ist jedoch die Darstellung der Verkehrsleistung von größerer Relevanz. Die Darstellung der Verkehrsleistung ist territorial, d. h. die Verkehrsleistung ist auf die Strecken(-anteile) innerhalb von Österreich bezogen. Bei Fahrten über die Staatsgrenze werden nur die Distanzen vom Ausgangs- oder Endpunkt in Österreich bis zur Grenze bzw. bei Transitfahrten zwischen den beiden Grenzübergangspunkten berücksichtigt.

Zwischen 1990 und 2010 steigt die jährliche Verkehrsleistung in Personenkilometer (Pkm) von 79 Mrd. Pkm (ohne Flugverkehr) auf insgesamt 101 Mrd. Pkm pro Jahr (ohne Flugverkehr). Der Großteil des Wachstums ist dem motorisierten Verkehr (IV und ÖV) zuzurechnen. Der nicht motorisierte Verkehr (NMV = FußgängerInnen- und Radverkehr) nimmt hingegen sowohl bei der Zahl der Wege als auch in den Personenkilometern etwas ab. Bei den Personenkilometern hinge-

gen spielt der NMV naturgemäß eine geringe Rolle; der Anteil des NMV ist systembedingt niedrig (vgl. Abbildung 3.27). Mit der Zunahme der Verkehrsleistung einhergehend ist, neben der Zunahme der EinwohnerInnen in Österreich, auch eine Zunahme der „Systemgeschwindigkeit“, d. h. der Durchschnittsgeschwindigkeit aller Verkehrsmittel fest zu stellen. Daher ist auch nur eine unwesentliche Veränderung der durchschnittlichen werktäglichen Mobilitätszeit in der historischen Entwicklung zu beobachten. Jüngst kann jedoch eine tendenziell geringe Zunahme der durchschnittlichen, werktäglichen Mobilitätszeit beobachtet werden (Sammer und Herry, 1998; Herry et al., 2007; Herry et al., 2011). Diese Entwicklung ist auch in anderen Ländern und Regionen weltweit zu beobachten (Zumkeller et al., 2011; Millard-Ball und Schipper, 2010). Insofern wird auch bereits über einen „peak travel“ berichtet (Millard-Ball und Schipper, 2010).

Wichtige Treiber („driver“) der Verkehrsentwicklung sind neben der Anzahl an EinwohnerInnen, die Bereitstellung der



**Abbildung 3.25** Entwicklung der THG-Emissionen in EU-27 in verschiedenen Sektoren. Quelle: EU (2013)

**Figure 3.25** Development of the GHG-emissions in EU-27 decomposed in the different sectors. Source: EU (2013)

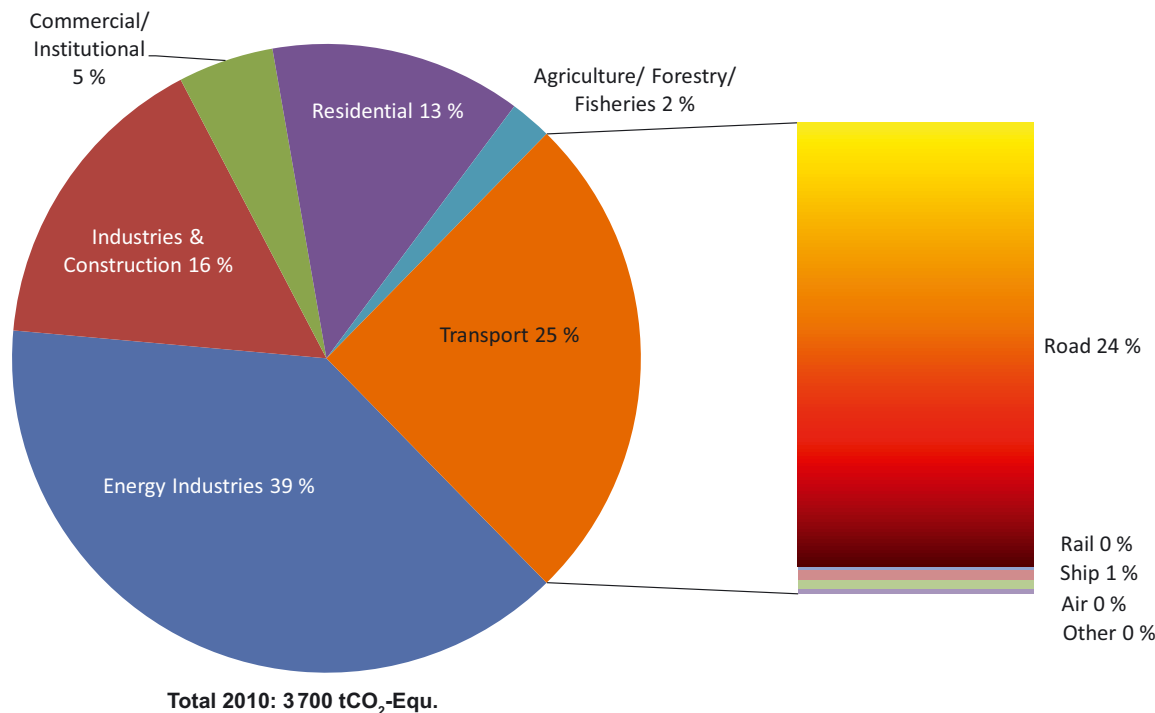


Abbildung 3.26 Anteile an THG-Emissionen in den EU-27 nach Sektor im Jahr 2010 sowie Anteile am Verkehr (nur Inlandsverkehr); Bei Eisenbahn nur direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Dieseltraktion; ihr Anteil liegt unter 0,5 %. Quelle: EU (2013)

Figure 3.26 Share of the GHG emissions in EU-27 divided into the sectors and in transport modes (only inland); Only direct CO<sub>2</sub> emissions in rail considered, the share of rail is below 0,5 %. Source: EU (2013)

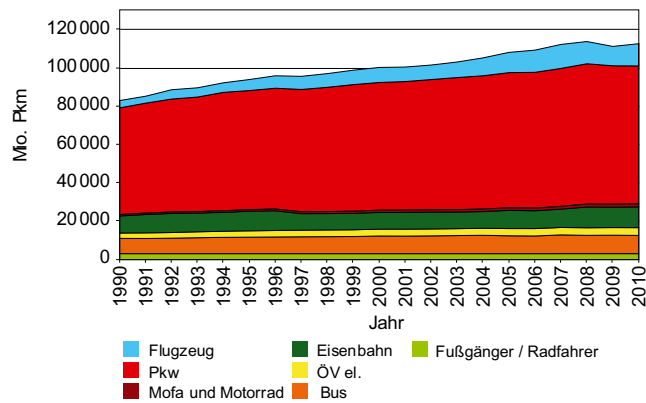
Infrastruktur (hochrangiges Straßen- und Schienennetz, letzteres mit einem entsprechendem Zugangebot) und die Zahl der PKW (Motorisierungsrate). Entsprechend der Entwicklung des hochrangigen Straßennetzes (Autobahn-, Schnellstraßen- und Bundesstraßennetz) und der Anzahl an gemeldeten PKW in Österreich, wächst auch die Verkehrsleistung im Autoverkehr und damit verbunden der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Maßnahmen im ÖV (zusätzliche Zugangebote, bzw. Reduktion derselben) oder gravierende Preisänderungen der Kraftstoffe führen zu Verlagerungen zwischen den Verkehrsmitteln. Zwei Beispiele zeigen dies etwa beim 1996 beobachteten Rückgang des ÖV durch eine signifikante Reduktion des Angebots im Eisenbahnverkehr (Reduktion der Zugkilometer nach Einführung des sogenannten NAT 91 („Neuer Austrotakt“, mit dem eine durchgehende Vertaktung des Zugangebotes auf Basis eines Stundentaktes am gesamten Bahnnetz der ÖBB erfolgte) und bei den 2007/2008 beobachteten Zunahme im ÖV durch die kurzfristig deutliche Preissteigerung des Kraftstoffes in Form steigender Benzin- und Dieselpreise (siehe Abschnitt 3.2.2.).

### Güterverkehr

Ebenso wie beim Personenverkehr wird im Güterverkehr nach Aufkommen, ausgedrückt in transportierter Masse in Tonnen, und der Verkehrsleistung nach Tonnenkilometer, dem Produkt aus Masse und Distanz, unterschieden.

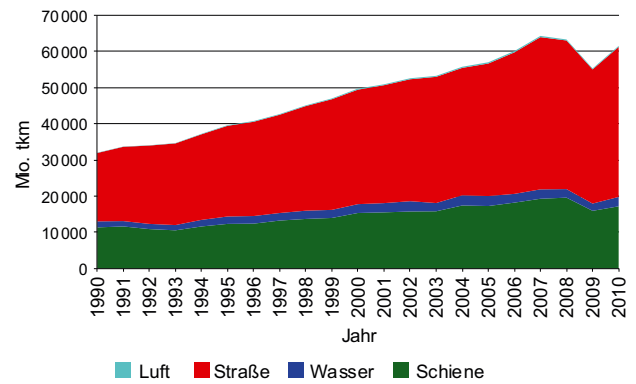
Die transportierte Masse weist ein weniger starkes Wachstum auf als die Verkehrsleistung, d.h. die Güter werden zunehmend über größere Distanzen transportiert. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass knapp die Hälfte der Güter der Gütergruppe der Baustoffe/Baumaterialien zuzuordnen ist (Statistik Austria, 2012), die in der Regel nur über kurze Distanzen transportiert werden.

Zwischen 1990 und 2010 steigt die jährliche Verkehrsleistung von 32 Mrd. tkm auf insgesamt 61 Mrd. tkm pro Jahr an (vgl. Abbildung 3.28); damit ist diese deutlich stärker ausgeprägt als das Wachstum des Personenverkehrs im gleichen Zeitraum. Ein wesentlicher Treiber im Güterverkehr ist die wirtschaftliche Entwicklung (ausgedrückt im BIP); die Verkehrsleistung im Güterverkehr entwickelt sich nahezu parallel zum BIP, wobei der Güterverkehr in den vergangenen Jahrzehnten selbst im Vergleich zum BIP überproportional zugenommen hat. (European Commission, 2012; vgl. auch Abbildung 3.28).



**Abbildung 3.27** Historische Entwicklung der Verkehrsleistung (in Personenkilometer) nach Verkehrsmittel 1990 bis 2010 in Österreich. Quelle: Umweltbundesamt (2011b)

**Figure 3.27** Historical development of the transport performance (in passenger kilometres) divided into transport modes from 1990 to 2010 in Austria. Source: Umweltbundesamt (2011b)



**Abbildung 3.28** Historische Entwicklung der Verkehrsleistung (Tonnenkilometer) nach Verkehrsmittel 1950 bis 2010 in Österreich. Quelle: Umweltbundesamt (2011b)

**Figure 3.28** Historical development of the transport performance (in ton kilometres) divided into transport modes from 1990 to 2010 in Austria. Source: Umweltbundesamt (2011b)

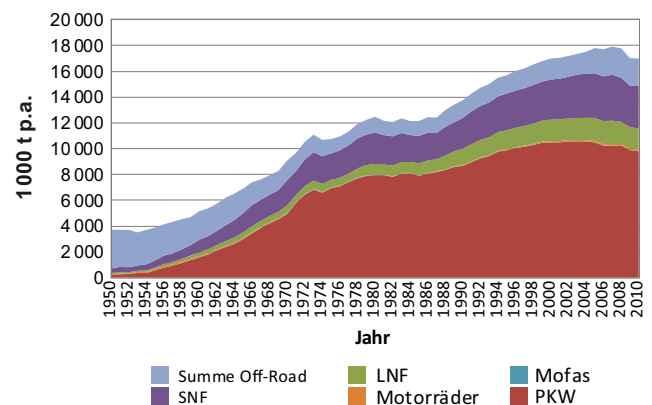
## Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Der Energieverbrauch und direkt damit verbunden die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr hängen direkt mit der Fahrleistung (in Fahrzeugkilometer) zusammen. Interessant ist die korrespondierende Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs in Österreich nach den einzelnen Nutzergruppen. Der Löwenanteil entfällt auf den Straßenverkehr: nur ein kleiner Anteil entfällt auf die Eisenbahn und die Schifffahrt, die mit anderen Verbrauchern wie landwirtschaftliche Fahrzeuge, unter der Nutzergruppe „Off road“ zusammengefasst sind. Abbildung 3.29 (vgl. Kernaussagen) zeigt die korrespondierende Entwicklung der THG-Emissionen im Verkehr in Österreich von 1970 bis 2010 nach Energieträgern.

Der mit der Verkehrsentwicklung korrespondierende Energieverbrauch in Österreich zeigt innerhalb von 40 Jahren nahezu eine Vervielfachung von ca. 100 PJ 1970 auf ca. 380 PJ 2010. Ebenso wie bei der Analyse der historischen Daten für Europa bzw. weltweit basiert der Energieverbrauch im Verkehr in Österreich im Wesentlichen auf Erdöl; der Anteil des Erdöls liegt je nach Jahr zwischen 90 und 95 %.

## Fahrzeugbestand, Größe der Fahrzeuge und Kraftstoffintensität in Österreich

Beeindruckend ist in der Entwicklung des österreichischen Fahrzeugbestands der kontinuierliche Anstieg – auch im Jahr der Wirtschaftskrise 2009 – sowie nach Kraftstoffkategorien unterschieden, der markante Wechsel zu Dieselfahrzeugen. Die steuerliche Begünstigung des Diesels in Österreich hat



**Abbildung 3.29**<sup>3</sup> Historische Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr von 1950 bis 2010 in Österreich. Quelle: Hausberger und Schwingshackl (2011)

**Figure 3.29** Historical development of CO<sub>2</sub>-emissions in transport from 1950 to 2010 in Austria. Source: Hausberger und Schwingshackl (2011)

<sup>3</sup> LNF: Leichte Nutzfahrzeuge (Lieferwagen und Lkw <3,5 t Gesamtmasse); SNF: Schwere Nutzfahrzeuge (Lkw >3,5 t Gesamtmasse und Busse); Off-Road: Baumaschinen, Landwirtschaftliche Maschinen, Rasenmäher etc.

dazu geführt, dass der Anteil der Dieselfahrzeugen an der Pkw-Flotte signifikant stieg. Erst 2007/2008 konnte aufgrund der Angleichung der Preise zwischen Diesel und Benzin eine Trendumkehr beobachtet werden. Der Anteil der Dieselfahrzeuge hat abgenommen, da der Preisunterschied zu Benzin nur mehr marginal war und der höhere Anschaffungspreis eines Diesel-PKW, insbesondere bei PKWs mit Motoren mit kleinem Hubraum, durch die nunmehr ange-

glicheneren Betriebskosten nicht mehr aufgefangen werden kann.

### 3.2.2 Wirkungsmechanismen im Personenverkehr

#### Entwicklung der Kraftstoffintensität von Pkw

Seit 1980 sinkt die durchschnittliche Kraftstoffintensität des Autobestands in allen Ländern kontinuierlich (Ajanovic und Haas, 2012d). Am stärksten gesunken ist die Kraftstoffintensität in der Zeit hoher Ölpreise zwischen 1980 und 1990, vor allem in den USA, wo in dieser Periode auch eine Reihe von „fuel economy improvement programs“ implementiert wurden, z. B. CAFE in Kalifornien. Aber nach dem Verfall der Ölpreise 1986 hat sich mit einiger Verzögerung ab ca. 1990, die Effizienzsteigerung in den meisten Ländern deutlich verlangsamt.

Im Jahr 2010 hatten die PKW-Flotten der Europäischen Länder eine „in-use“ Kraftstoffintensität, die zwischen 6,0–9,3 l/100 km lag, jene Japans und der USA lagen zwischen 10,5–11,4 l/100 km.

Der Effizienzgewinn im Kraftstoffverbrauch neuer PKW lag Tests zufolge in Europa zwischen 1980 und 2010 in einer Bandbreite von 18–30 %. Diese Verbesserungen waren im Wesentlichen eine Folge von freiwilligen Vereinbarungen der Fahrzeugindustrie, die Kraftstoffintensität der Fahrzeuge zu verringern. Derzeitige Ziele der EU und Japans sind jedoch wesentlich schärfer und weisen eine größere Verbindlichkeit auf. Ab 2012 gelten in der EU für PKWs Grenzwerte für CO<sub>2</sub>-Emissionen von 130 g CO<sub>2</sub>/100 km, wobei eine Einführungsphase bis 2015 vereinbart wurde: 2012 müssen 65 % der PKW-Flotte diese Grenzwerte erreichen, ab 2015 100 % (EC, 2011c). Bis zum Jahr 2020 soll dieser Wert auf 95 g CO<sub>2</sub>/100 km sinken.<sup>19</sup> Japan hat als Grenzwert für PKWs einen CO<sub>2</sub> Grenzwert von 125 g CO<sub>2</sub>/100 km festgesetzt.

Zusammengefasst ist festzustellen, dass in den letzten Dekaden deutliche Verbesserungen in der Effizienz beim Kraftstoffverbrauch neuer Fahrzeuge erreicht wurden. Allerdings wurden diese zu einem großen Anteil durch größere, leistungsstärkere und schwerere Fahrzeuge kompensiert.

Seit etwa 1990 ist die durchschnittliche Kraftstoffintensität von Dieselfahrzeugen um ca. 20 % niedriger als jene von Benzinfahrzeugen. Nach einer Phase der Stagnation in der Kraft-

stoffintensität während der Dekade 1990 bis 2000, die auch durch eine Zunahme der durchschnittlichen Motorenleistung wie auch der Masse der Fahrzeuge charakterisiert ist (vgl. Abschnitt 3.2.2), nimmt die Kraftstoffintensität seit 2000 kontinuierlich ab (Hausberger und Schwingshackl, 2011).

#### Entwicklung der Kraftstoff- und Servicepreise

Kraftstoffpreise können einen signifikanten Einfluss auf die Fahrleistung und die Kraftstoffintensität haben. Die Entwicklung des Preises der Energiedienstleistung Mobilität für PKWs im individuellen Straßenverkehr (Kraftstoffpreis mal Kraftstoffintensität bzw. Kosten für eine Strecke von 100 km dargestellt im Verhältnis 2000 \$ PPP/100 km). Die Bandbreite der Preise für individuelle Mobilität variiert beträchtlich zwischen den einzelnen Ländern. Im Jahr 2010 war der Preis für 100 km Fahrleistung in den USA am niedrigsten und in Schweden am höchsten.

Zwischen 1985 und 1998 sind sowohl die Kraftstoff- als auch die Mobilitätspreise real leicht gesunken. Nach 1998 sind die Kraftstoffpreise real in vielen Ländern deutlich gestiegen, vor allem aufgrund der gestiegenen Rohölpreise und der Erhöhung der Kraftstoffsteuern, wie etwa in vielen europäischen Ländern z. B. in Deutschland oder UK. In den letzten Jahren stellen wir eine hohe Volatilität mit deutlich niedrigeren Preisen im Jahr der Wirtschaftskrise 2009 fest.

#### Der Einfluss gesteigerter Fahrleistung im Personenverkehr

Die Mobilität im motorisierten Individualverkehr ist in praktisch allen Ländern in den letzten Jahren gestiegen. Allerdings gibt es in Bezug auf die Fahrleistung pro Kopf in einzelnen OECD-Ländern eine beträchtliche Bandbreite zwischen 4 500 und 13 500 km pro Kopf. Zwischen 1980 und 2010 gab es die größten Zuwächse bei der Fahrleistung in Italien mit 127 % und in Japan mit 101 %. Diese Steigerungen sind analog zum Motorisierungsgrad (PKW/1 000 EinwohnerInnen). Zusätzlich spielt die räumliche Struktur im jeweils betrachteten Land eine wichtige Rolle, sowie die daraus resultierende „Zwangsmobilität“. Im Zusammenspiel mit einem hohen Motorisierungsgrad führt dies wie etwa am Beispiel USA zu einer hohen Fahrleistung pro Kopf.

#### Der Einfluss größerer Fahrzeuge (PKW)

Ein zentraler Grund dafür, dass sich die theoretische Effizienzsteigerung nicht in einer entsprechenden Reduktion der Kraft-

<sup>19</sup> Der Grenzwert von 95 g CO<sub>2</sub>/100 km, der von 100 % der PKW-Flotte eingehalten werden muss, wurde später auf 2021 verschoben.

stoffintensität widerspiegelt, sind die beträchtlichen Zuwächse in der Leistung und in der Masse neuer Fahrzeuge speziell seit Mitte der 1990er Jahre. In praktisch allen Europäischen Ländern ist bis 2007 ein kontinuierlicher Anstieg zu erkennen, wobei in Schweden, Deutschland und Großbritannien die größten Fahrzeuge (in Leistung kW ausgedrückt) gekauft wurden. Die kleinsten Autos gibt es historisch in Portugal, Italien und Frankreich. Nach 2007 ist die durchschnittliche Leistung neuer Fahrzeuge in praktisch allen Ländern gesunken oder stagnierte (als Folge des raschen Anstiegs der Kraftstoffpreise 2007 bis 2008). Interessant ist auch, dass der absolute Anstieg in fast allen Ländern (mit Ausnahme Schwedens) mit ca. 30 kW zwischen 1990 und 2010 gleich war (vgl. Ajanovic et al., 2012b).

### 3.2.3 Trends und Entwicklungen im Verkehr bis 2030 und danach

Basierend auf den in den vorigen Kapiteln beschriebenen Lösungsansätzen und dem in Abschnitt 3.2.7 ausgewählten Portfolio an Politiken werden in diesem Kapitel Szenarien verglichen, die zeigen, welche Entwicklungen in Abhängigkeit von verschiedenen Portfolios politischer Maßnahmen möglich sind.

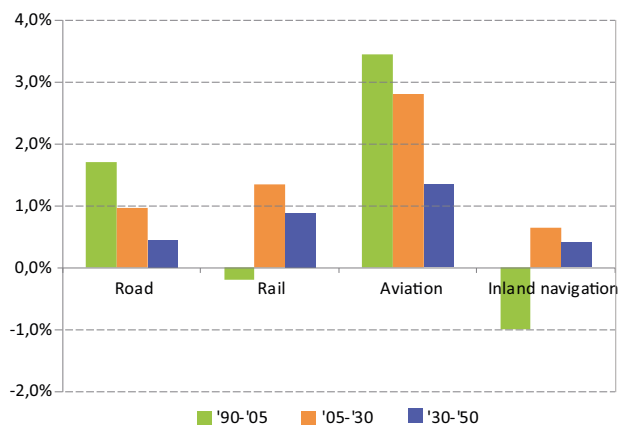
Der Ausblick auf die Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs bildet eine grundlegende Eingangsgröße für die Berechnungen des Energieverbrauchs und der Emissionen.

#### Verkehrsprognosen der Europäischen Kommission

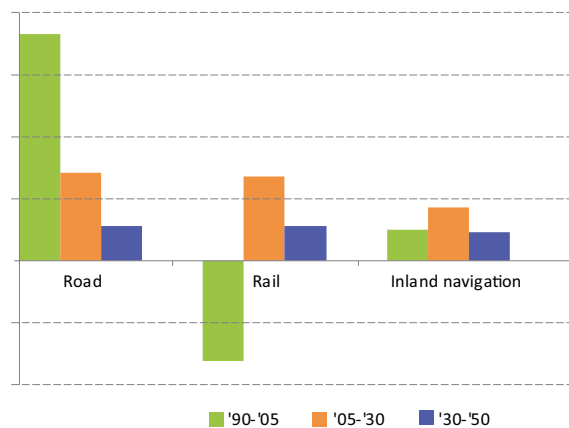
Die Verkehrsprognosen der Europäischen Kommission geben von 2005 bis 2030 ein Wachstum der Verkehrsleistung im Personenverkehr von 34 % an. Im Güterverkehr wird von 2005 bis 2030 von einem Wachstum der Verkehrsleistung (tkm) von 40 % ausgegangen. Bis 2050 wird im Personenverkehr mit einem Zuwachs der Verkehrsleistung um 51 % gerechnet, im Güterverkehr mit einem solchen um 80 % (vgl. Abbildung 3.30) (EC, 2011c). Im Personenverkehr liegen die Prognosen über jenen der OECD (High Car Ownership – High GDP), im Güterverkehr sind sie niedriger als jene der OECD und unterliegen dem „Baseline“-Szenario (OECD/ITF, 2012).

Die Europäische Kommission geht von einer zunehmenden multi-modalen Mobilitäts- bzw. Transportkette aus; dennoch zeigen die Ergebnisse zwischen 1990 und 2050 nur eine geringe Veränderung im Modal Split (bezogen auf die Verkehrsleistung). Es kommt daher nicht zu einem Paradigmenwechsel: 2030 werden mit dem PKW nach wie vor 79 % der Personenverkehrsleistung abgewickelt; 2050 noch 76%. Der

Passenger Transport



Freight Transport



© European Union, <http://eur-lex.europa.eu/>, 1998–2014

Abbildung 3.30 Durchschnittliche jährliche Wachstumsraten im Personen- und Güterverkehr (nach 2010 Prognosen; EU 27). Quelle: EC (2011a).

Figure 3.30 Average yearly growth rates in passenger- and freight transport (after 2010 forecast; EU 27). Source: EC (2011a)

Luftverkehr wird stark steigen und einen Anteil von 15 % an der Verkehrsleistung in 2050 erreichen. Hingegen wird für die Schiene nur ein moderater Anstieg um 8 % für 2030 und 2050 prognostiziert Analog zum Personenverkehr nimmt die Bedeutung des Straßengüterverkehrs nur marginal ab; der Anteil des Straßengüterverkehrs im Jahr 2030 liegt bei 73 % und verbleibt bis 2050 auf demselben Niveau (ohne Berücksichtigung der Seeschifffahrt; EC, 2011c).

#### Szenarien zur Verkehrsentwicklung in Österreich

Die Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr Österreichs folgt dem bisherigen Trend und wird nach der vorliegenden Prognose in den nächsten 25 Jahren nochmals

deutlich steigen. Nachdem es sich bei der Verkehrsprognose 2025+ vom BMVIT derzeit um die aktuellste und fundierteste Prognose für Österreich handelt, wird nur diese herangezogen. Die Verkehrsprognose basiert auf der regionalisierten Bevölkerungsprognose der ÖROK und des regionalen Input Output Modell Österreich zur Modellierung des bilateralen Güterverkehrs sowie des Binnengüterverkehrs von WIFO und Joanneum Research (BMVIT, 2011a).

### Personenverkehr

Die Verkehrsleistung im Personenverkehr steigt in Summe von 101 Mrd. Pkm in 2010 auf 137 Mrd. Pkm in 2030 (jeweils ohne Flugverkehr) – das entspricht einem Wachstum von 36 % im Vergleich zu 2010. Im gleichen Zeitraum steigen die Fahrzeugkilometer der Pkw (Fzg-km) um 48 % auf 90 Mrd. Fzg-km in 2030; dies ist eine Folge des sinkenden Besetzungsgrades der Pkw und des steigenden Motorisierungsgrades. Im ÖV wird für den Zeitraum von 2010 bis 2030 dagegen mit einer Zunahme der Verkehrsleistung (pkm) um 31 % gerechnet. Der nicht motorisierte Verkehr stagniert. Deutliche Zuwächse werden für den Luftverkehr erwartet: die Passagierzahl an den österreichischen Flughäfen wird sich gegenüber 2010 bis 2030 mehr als verdoppeln, die Verkehrsleistung wird um ca. 130 % steigen (BMVIT, 2011b).

Nachfragestrukturen im Verkehr werden wesentlich durch sozio-ökonomische Faktoren wie Bevölkerungsentwicklung, Raumentwicklung, Ausstattung der Haushalte mit Fahrzeugen, Wirtschaftswachstum oder Preise für Energie bestimmt. Für die Berechnung der zukünftigen Verkehrsleistung in Österreich bilden Prognosen zur Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung daher eine wichtige Basis.

Für Österreich prognostiziert die ÖROK bis zum Jahr 2030 einen Anstieg der Bevölkerungszahl auf rund 9,0 Mio. EinwohnerInnen. Auch die Wirtschaftsleistung erfährt trendgemäß eine Steigerung: Gegenüber dem langfristigen historischen Durchschnitt des Wirtschaftswachstums (1977 bis 2003: 2,6 %/Jahr) wird im Prognosezeitraum bis 2030 von einer etwas geringeren Rate von ca. 2 %/Jahr ausgegangen (ÖROK, 2010).

Der Motorisierungsgrad in Österreich wird für 2030 auf 675 PKW/1000 EinwohnerInnen laut den Ergebnissen der Verkehrsprognose 2025+ anwachsen. Dies sind etwa 150 Fahrzeuge pro 1000 EinwohnerInnen mehr als heute (BMVIT, 2011b).

Für 2050 geht das Umweltbundesamt von einer Zunahme der Fahrleistung von 61 Mrd. Fzg-km in 2005 (BMVIT, 2011b) auf 86,5 Mrd. Fzg-km in 2050 aus (vgl. Umweltbundesamt, 2010). Es wurden nur die Fahrleistungen prognos-

tiziert (als Basis für die Schätzung der Anteile von Elektrofahrzeugen im Personenverkehr in 2050).

### Güterverkehr

Die Verkehrsleistung im Güterverkehr wird bis 2030 um 42 % gegenüber 2010 auf 87 Mrd. tkm zunehmen und bleibt auch in Zukunft eng an die Wirtschaftsentwicklung gekoppelt. Für die zur Berechnung der Emissionen relevanten Fahrleistungen der LNF und SNF werden Steigerungsraten von 33 % bzw. 40 % erwartet (Umweltbundesamt, 2011b).

Aufgrund der zunehmenden internationalen Verflechtungen im Güterverkehr werden künftig allerdings unterschiedliche Entwicklungstendenzen bei den Verkehrsarten festzustellen sein. Während der Anteil des Binnenverkehrs an der Verkehrsleistung trotz Wachstum bei allen Verkehrsträgern im Straßengüterverkehr von 43 % auf 38 %, im Schienengüterverkehr von 23 % auf 18 % sinkt, steigt der Anteil des Ziel/Quellverkehrs im Schienengüterverkehr von 52 % auf 56 %. Im Straßengüterverkehr bleibt dieser Anteil in etwa konstant, während der Anteil des Transitverkehrs an der Gesamt-Verkehrsleistung von 28 % in 2006 auf 33 % in 2030 wächst (BMVIT, 2011c).

Die Verkehrsleistung bei der Binnenschifffahrt steigt parallel zum Wirtschaftswachstum jährlich um ca. 2 % von derzeit ca. 2,4 Mrd. tkm im Jahr 1990 auf ca. 3,9 Mrd. tkm im Jahr 2030. Ihr Marktanteil über alle Verkehrsarten steigt leicht von 4,3 % auf 4,8 % an.

### 3.2.4 Trends und Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 und danach

#### CO<sub>2</sub>-Emissionen – Prognose der Europäischen Kommission

In der Wirkungsabschätzung zum Weißbuch Verkehr wird bei der „Policy Option 1“, dem Basisszenario, das ausschließlich auf bereits beschlossenen Maßnahmen basiert, bis 2020 von einer Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 31 % gegenüber 1990 ausgegangen. Bis 2030 wird angenommen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen leicht zurück gehen (–7 % bezogen auf 2020; +24 % bezogen auf 1990); von 2030 bis 2050 ergaben die Modellberechnung eine Stagnation der CO<sub>2</sub>-Emissionen (vgl. Tabelle 3.2). Die angegebenen Modellergebnisse beinhalten den Flugverkehr, jedoch nicht die internationale Seeschifffahrt (EC, 2011c). Für die Szenarien wurden strengere Regulierungen der Kraftstoffintensität (spezifische Verbräuche von Fahrzeugen), insbesondere von PKWs, der Einsatz von

**Tabelle 3.2** Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor bis 2050; Prozentuelle Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen auf das Basisjahr 1990; Quelle: European Commission SEC, EC (2011b)

**Table 3.2** Development of the CO<sub>2</sub> emissions in transport until 2050: growth rates of CO<sub>2</sub> emissions based on 1990. Source: European Commission SEC, EC (2011b)

Politische Maßnahmen	Errechnete CO <sub>2</sub> -Emissionen 2030					
	2020		2030		2050	
Verglichen zu	1990	Politische Maßnahmen, 1	1990	Politische Maßnahmen, 1	1990	Politische Maßnahmen, 1
Politische Maßnahmen, 1	30,8%	0,0%	24,2%	0,0%	24,2%	0,0%

© European Union, <http://eur-lex.europa.eu/>, 1998–2014: Anmerkung: Berechnungen basieren auf PRIMES-TREMOVE

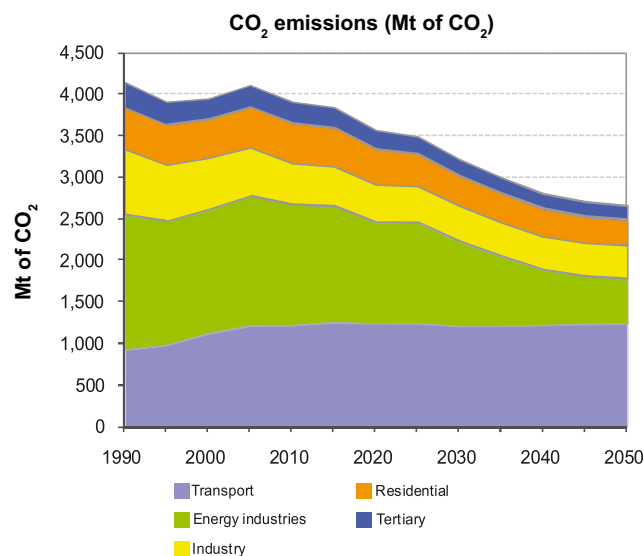
biogenen Kraftstoffen und eine weitere Elektrifizierung der Eisenbahn in Europa angenommen.

Alles in allem führen diese Annahmen zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Personenverkehr und zu einer Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Güterverkehr (vor allem durch den Straßengüterverkehr verursacht) und insgesamt zu einer annähernden Stagnation der CO<sub>2</sub>-Emissionen ab 2030 (vgl. Abbildung 3.31).

Die Treiber („driver“) der Emissionsentwicklung sind die Zunahme der Verkehrsleistung, das energieintensive Transportsystem und der hohe Anteil an fossiler Energie im Verkehr. Die Ergebnisse des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen der verschiedenen Szenarien werden im Wesentlichen von der angenommenen Verbesserung des Wirkungsgrads, der Erhöhung des Biotreibstoffanteils im Straßenverkehr und der zusätzlichen Elektrifizierung von Bahnstrecken beeinflusst. Bis 2020 wird im Verkehr ein Anteil der EET von 10 % unterstellt, bis 2050 wird eine Zunahme auf 13 % angenommen. Der Vorschlag der Europäischen Kommission, den Anteil von Biokraftstoffen erster Generation auf maximal 5 % zu begrenzen, kann sich auf die Erreichung des „10 %-Ziels“ auswirken (EK, 2013). Möglicherweise können andere Technologien (E-Mobilität, Biomethan, Biotreibstoffe zweiter Generation, Wasserstoff usw.) nicht ausreichend zur Zielerreichung im Jahr 2020 beitragen. In Bezug auf Österreich könnte dies von geringerer Bedeutung sein, da ein dominierender Anteil der elektrischen Energie im Verkehr (Eisenbahn, städtischer ÖV) aus erneuerbaren Quellen stammt.

Bis 2030 werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs – inklusive Flugverkehr und Seeschifffahrt – knapp 40 % und bis 2050 etwa die Hälfte der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen betragen. Im Vergleich zu 2005 sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Personenverkehrs bis 2050 um ca. 8 %, im Güterverkehr steigen sie um etwa 18 % (European Commission SEC, 2011b).

Während das Reduktionsziel der THG-Emissionen in der EU über alle Sektoren hinweg mit 80 % bis 2050 bezogen auf das Ausgangsjahr 1990 formuliert wurde, sind die Re-



© European Union, <http://eur-lex.europa.eu/>, 1998–2014

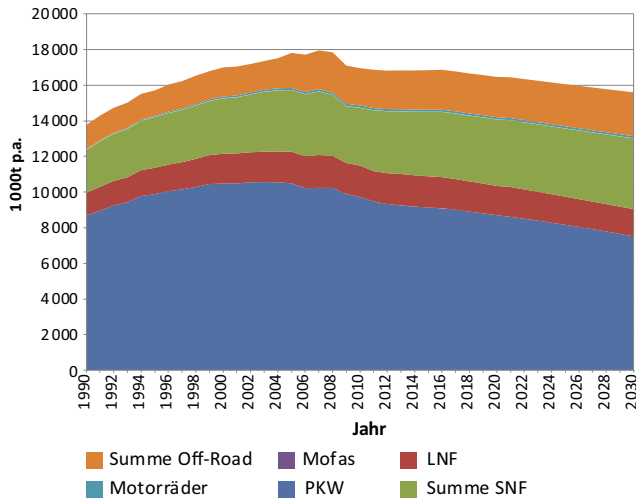
**Abbildung 3.31** Entwicklung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Sektoren bis 2050 (EU27) (Quelle: European Commission, EC (2011b))

**Figure 3.31** Development of the direct CO<sub>2</sub> emissions all sectors until 2050 (EU-27). Source: European Commission, EC (2011)

duktionsziele heruntergebrochen auf die einzelnen Sektoren unterschiedlich: Im Verkehr wurde ein Reduktionsziel der THG-Emissionen in der EU bis 2050 von 60 % festgelegt. Die Szenarien zeigen eine andere Tendenz; im Vergleich zu 1990 würden die THG Emissionen im Verkehr bis 2050 noch etwas zunehmen.

### CO<sub>2</sub>-Emissionen – Prognosen für Österreich

In Österreich wurden mehrere Prognosen zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Horizonten erstellt. Einerseits wurden Prognosen mit dem Horizont 2020 und 2030 erstellt mit dem Ziel der Überprüfung der bereits beschlossenen Maßnahmen („with existing measures“ – WEM) sowie zusätzlicher Maßnahmen („with



**Abbildung 3.32** Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs in Österreich von 1990 bis 2030 (WEM-Szenario), ohne Kraftstoffexport im Tank („Tanktourismus“). Quelle: Umweltbundesamt (2011b)

**Figure 3.32** Development of CO<sub>2</sub>-emissions in transport in Austria from 1990 to 2030 (WEM scenario), without export of fuel. Source: Umweltbundesamt (2011b)

additional measures“ – WAM) im Rahmen der Klimastrategie und des „2020-Ziels“ auf Europäischer Ebene, andererseits Prognosen bis 2050 mit dem Ziel der Überprüfung einer Energieautarkie in Österreich. In der Folge werden die Ergebnisse dieser Prognosen kurz dargelegt.

Grundlage für die CO<sub>2</sub>-Emissionsszenarien in Österreich sind die Entwicklung des BIP, der Bevölkerung, der Kraftstoffpreise, der Inlandsnachfrage in Personen-km und in Tonnen-km sowie der Kraftstoffexport im Tank. Aufbauend auf den prognostizierten Verkehrsmengen und den Fahrleistungen nach Fahrzeugkategorie werden der Energieverbrauch und die Emissionen von CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMHC und PM<sub>10</sub> modelliert und dargestellt (Umweltbundesamt, 2011b).

Entsprechend der Zunahme der Verkehrs- und damit der Fahrleistung (Fzg-km) steigen der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den nächsten Jahren weiter an. Entsprechend der Prognosen stellt sich ein Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen erst ab ca. 2015, weshalb das „20-20-2020-Ziel“ nicht erreicht werden kann; die zu erwartenden Einsparungen gegenüber 2008 betragen ca. 4 %.

Bis 2030 ist unter Beibehaltung der geltenden Bestimmungen gegenüber 2010 mit einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 10 % auszugehen, gegenüber 1990 von einer Zunahme um ca. 12 %. Im Jahr 2030 werden ca. 45 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs von PKWs und etwa 35 % im Straßengüterverkehr emittiert (vgl. Umweltbundesamt, 2011b; alle Werte ohne Berücksichtigung des Flugverkehrs).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs werden ebenfalls aufgrund des verstärkten Einsatzes von Kraftstoffen aus regenerativen Quellen („Biokraftstoffe“) bis 2020 bzw. 2050 in der Summe nicht mehr im gleichen Ausmaß wie in der Vergangenheit ansteigen (EC, 2011e).<sup>20</sup> Die Szenarien basieren auf den implementierten Maßnahmen („WEM-Szenario“) und beinhalten alle bereits beschlossenen Maßnahmen (Umweltbundesamt, 2011b, vgl. Abbildung 3.32):

- Biokraftstoffverordnung zur Umsetzung der Biokraftstoffrichtlinie (2003/30/EG)<sup>21</sup>
- Ökologisierung der Normverbrauchsabgabe (Nova)
- Mobilitätsmanagement – Beratungs- und Förderprogramme
- Spritsparinitiative
- Telematik – Erhöhung der Schifffahrtsleistung
- Reduktion der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von PKW bei Neuzulassung<sup>22</sup>

Im „WEM Szenario“ wird angenommen, dass die Kraftstoffintensität der PKW ab 2015 in Folge der strikten CO<sub>2</sub>-Zielwerte der EU abnimmt. Inwieweit diese Vorgaben unter realen Betriebsbedingungen in vollem Umfang eintreffen ist derzeit noch offen.

Die wesentlichen Erkenntnisse sind: Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen leicht bzw. stagnieren bis 2030 während die Verkehrsleistung (tkm und pkm) kontinuierlich steigen. Der Anteil der „Biokraftstoffe“ wird durch die Beimischungsverordnung erhöht. Der Stromverbrauch im Verkehr nimmt infolge angenommener steigender Flottenanteile von E- und Plug-In PKW bis 2030 ebenfalls zu (vgl. Abbildung 3.33).

### Klimastrategie 2020

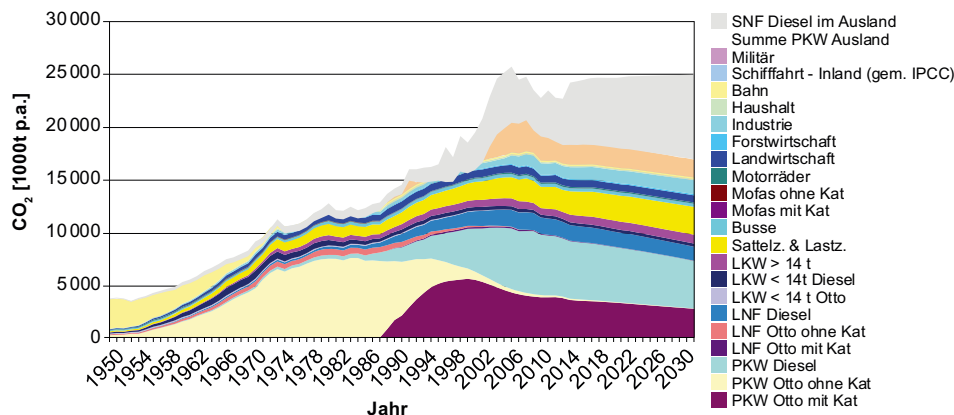
Die Ergebnisse der Szenarien für die Klimastrategie 2020 Österreichs im Rahmen der EU-Klimastrategie 20-20-20

<sup>20</sup> siehe Maßnahmen zum Einsatz von erneuerbaren Energiequellen zur Zielerreichung des „20-20 bis 2020-Ziels“.

<sup>21</sup> Es sei darauf hingewiesen, dass eine Herabsetzung der Beimischungsziele von Kraftstoffen aus regenerativen Quellen („Biokraftstoffe“) momentan (2013) auf europäischer Ebene in Diskussion ist. Eine Bewertung oder ein Ausblick der Entwicklung kann noch nicht durchgeführt werden.

<sup>22</sup> Die Vorgaben auf europäischer Ebene sehen vor, dass für Neuwagen 130 g CO<sub>2</sub>/km als Grenzwert gilt. Die Einführung gilt ab 2012 (65 % der Neuwagenflotte muss diesen Grenzwert erreichen) bis 2015 (100 % der Neuwagenflotte muss diesen Grenzwert erreichen). In Diskussion ist ein strengerer Grenzwert von 95 g CO<sub>2</sub>/km für 2020 (2013); die laufenden Diskussionen tendieren zu einer Verschiebung der Einführung.





**Abbildung 3.33** Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gesamt Straßenverkehr (+ öffentl. Verkehr) in Österreich 1950 bis 2030 im BAU-Szenario. Quelle: Hausberger und Schwingshackl (2011)

**Figure 3.33** Development of CO<sub>2</sub> emissions in road traffic and public transport in Austria 1950 to 2030, BAU scenario. Source: Hausberger und Schwingshackl (2011)

(„WAM-Szenario“; bedeutet zusätzlich zu den im „WEM-Szenario“ dargelegten bestehenden Maßnahmen) ergaben ein Reduktionspotenzial der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs bis 2030 gegenüber 1990 um ca. 20 % reduziert werden (Umweltbundesamt, 2011b). Bis 2020 wird im Vergleich zu 2005 eine Einsparung von 16 % prognostiziert, womit das „20-20 bis 2020-Ziel“ nicht erreicht wird. Um eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 60 % bis 2050 erreichen zu können, werden zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein (Umweltbundesamt, 2011b) (vgl. Abbildung 3.34).

Im Szenario WAM („With Additional Measures“) werden die Effekte nicht beschlossener, aber mit hoher Wahrscheinlichkeit umsetzbarer zusätzlicher Maßnahmen abgeschätzt (Hausberger, Schwingshackl, 2011):

- Erhöhung der Mineralölsteuer (2,5 Cent/Liter).
- Verkehrsverlagerung im Personenverkehr: Die Maßnahmen umfassen den Ausbau und die Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs und multimodaler Verkehrssysteme; Mobilitätsmanagement gemäß klima:aktiv Programm; Förderung des Radverkehrs; Raumplanung zur Optimierung der Erreichbarkeit von ÖV-Anschlüssen.
- Anschlussbahnförderung im Güterverkehr: Auf Basis des WEM-Szenarios wurde eine Verlagerung der Verkehrsleistung (Tonnenkilometer) von 2 % bis 2014 und 3,6 % bis 2030 von der Straße auf die Schiene angenommen.
- Effiziente Kfz-Nutzung: Die angenommenen Maßnahmen umfassen eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 110 km/h auf Autobahnen (sofern keine niedrigere Geschwindigkeitsbeschränkung auf einzelnen Abschnitten bereits existiert) und ein höherer Anteil an alternativen Kraftstoffen und an Elektrofahrzeugen.

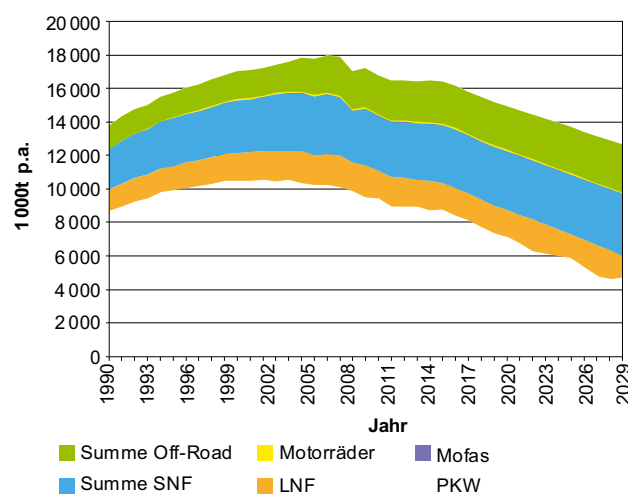
Zusätzlich wurde ein weiterführendes Szenario berechnet. Die wesentlichen Erkenntnisse sind, dass Energieverbrauch

und CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 deutlich sinken, während die Verkehrsleistung im Güterverkehr (tkm) stagniert und die Verkehrsleistung im Personenverkehr (pkm) leicht sinkt. Hier ist zu erkennen, dass die größten Preiseffekte im Kraftstoffexport im Tank auftreten. Dieser reagiert auf Änderungen von Preisdifferenzen zum Ausland und damit sensibler auf Inlandspreisanstiege als die Inlandsnachfrage.

In Österreich wurde kürzlich eine Reihe von Studien erstellt, die sich mit dem Thema Energie/CO<sub>2</sub>-Emissionen und Verkehr in langfristigen Perspektiven auseinander gesetzt haben.

### Energieautarkie Österreich 2050

Die Frage, ob Österreich in Zukunft seine Energieversorgung weitgehend aus eigenen erneuerbaren Energiequellen bestreiten kann, wurde in vier Studien untersucht (Streicher et al.,



**Abbildung 3.34** Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs in Österreich von 1990 bis 2030 (WAM-Szenario), ohne Kraftstoffexport im Tank („Tanktourismus“). Quelle: Umweltbundesamt (2011b)

**Figure 3.34** Development of CO<sub>2</sub>-emissions in transport in Austria from 1990 to 2030 (WAM scenario), without export of fuel. Source: Umweltbundesamt (2011b)

**Tabelle 3.3** Vergleichstabelle Studien zur Energieautarkie: Verkehrsleistung im Personenverkehr innerhalb von Österreich (nur Landverkehr) 2050. Quellen: Streicher et al. (2010); Umweltmanagement Austria (2011); Bliem et al. (2011)

**Table 3.3** Comparative table studies „energy self-sufficient“: transport performance in passenger transport in Austria (only land transport) 2050. Sources: Streicher et al. (2010); Umweltmanagement Austria (2011); Bliem et al. (2011)

2050 [Mrd. pkm]	MIV	ÖV	NMV	$\Sigma$	Index zum Basisjahr
Bliem et al., 2011	42,7	35,0	7,5	85,2	84
Streicher et al., 2010 Sz. Konstant (1)	57,5	48,5	6,8	112,8	110
Streicher et al., 2010 Sz. BAU opt. (3)	79,4	46,0	7,6	133,0	130
Umweltmanagement Austria (2011) Sz. Pragm.	54,9	32,7	6,1	93,7	101
Umweltmanagement Austria (2011) Sz. Forciert	12,4	28,6	5,2	46,2	50

2010; Umweltmanagement Austria, 2011; Bliem et al., 2011; Energieinstitut der Wirtschaft, 2012). Diese Vorgabe impliziert im Prinzip einen Ausstieg aus der Energieversorgung mit fossilen Energieträgern. Auf den Verkehrssektor bezogen ist dies nur unter der Prämisse einer fundamentalen Veränderung im Modal Split und bei den Antriebstechnologien bzw. bei der Energieart der Fahrzeuge möglich.

Allen drei erstgenannten Studien gemeinsam ist, dass der Energiebedarf Österreichs bis 2050 in etwa halbiert und der Energiebedarf des Sektors Mobilität um etwa zwei Drittel gesenkt werden muss. Innerhalb der Studien unterscheidet sich die Aufteilung auf die einzelnen Energiearten deutlich: In der Studie „Energie[R]evolution“ wird schwerpunktmäßig auf Elektromobilität gesetzt, in den beiden anderen Studien wird vor allem auf Biomasse (einmal stärker in flüssiger Form, einmal stärker gasförmig) gesetzt. Allen gemein ist aber auch eine zum Teil signifikante Reduktion der Verkehrsleistung sowie eine deutliche Modal Split-Verschiebung zugunsten des Umweltverbundes. Die Bewertung der Umsetzbarkeit der Szenarien wurde nicht behandelt; Ziel dieser Studien war, prinzipiell zu überprüfen ob und wie Energieautarkie im Sektor Mobilität umsetzbar wäre.

Im Personenverkehr wird in der Studie „Energieautarkie Österreich 2050“ (Streicher et al., 2010) das Ziel über eine Verlagerung vom Autoverkehr auf den Öffentlichen und nicht motorisierten Verkehr (50 % bzw. 60 % der Verkehrsleistung [Pkm] je nach Szenario) und für den verbleibenden Autoverkehr eine Verlagerung auf elektrisch angetriebene PKW (Hybrid- und E-Fahrzeuge) erreicht. Im Szenario „BAU optimiert“ wird hingegen noch von einem (geringen) Wachstum der Verkehrsleistung bis 2050 ausgegangen (vgl. Tabelle 3.3).

In der Studie „Energie [R]evolution“ wird ebenso von einer Reduktion der Verkehrsleistung und einer Verlagerung auf den ÖV und den NMV ausgegangen. Zum Erreichen der Zielsetzung wird der Fokus auf eine „Elektrifizierung“ der Mobilität gelegt. Für den Flugverkehr wird angenommen, dass der Ener-

giebedarf bis 2050 zur Gänze aus Biotreibstoffen abgedeckt wird (vgl. Tabelle 3.3), (Bliem et al., 2011)<sup>23</sup>.

Der Energiebedarf im Sektor Mobilität kann somit um 70 % bezogen auf 2008 reduziert werden (Streicher et al., 2010). In der Studie „Energieautarkie für Österreich?“ wird dies ebenfalls mit einer Verlagerung von rund 60 % der Verkehrsleistung auf den Öffentlichen Verkehr und den nicht motorisierten Verkehr erreicht; ebenso wird von einem deutlichen Rückgang der Verkehrsleistung ausgegangen. Je nach Szenario liegt dieser zwischen 12 % und 56 % für 2050 bezogen auf die Verkehrsleistung inkl. Flugverkehr von 2005 (Umweltmanagement Austria, 2011), (vgl. Tabelle 3.3).

Im Güterverkehr wird in der Studie „Energieautarkie Österreich 2050“ (Streicher et al., 2010) von einer deutlichen Verlagerung des Straßengüterverkehrs auf die Eisenbahn und das Schiff bei gleichzeitig Wachstum von bis zu 60 % innerhalb von 45 Jahren ausgegangen. Das Ziel wird durch eine fast vollständige Verlagerung des Straßengüterfernverkehrs auf Schiene und Wasser und eine Reduktion des Flottenverbrauchs erreicht (Streicher et al., 2010; vgl. Tabelle 3.4).

Im Güterverkehr wird in der Studie „Energieautarkie für Österreich?“ (Umweltmanagement Austria, 2011) ebenfalls auf eine deutliche Verlagerung des Güterverkehrs auf Schiene und Wasser ausgegangen, wobei die Verkehrsleistung insgesamt quasi konstant bleiben soll (vgl. Tabelle 3.4).

Nur in der Studie Energie [R]evolution wird von einem Rückgang der Verkehrsleistung im Güterverkehr ausgegangen; die Verlagerung auf die Schiene und das Wasser sind in einer vergleichbaren Größenordnung wie in den beiden anderen Studien (vgl. Tabelle 3.4).

<sup>23</sup> Eine Bewertung der Realisierbarkeit war nicht Gegenstand der zitierten Studie. Ob diese Annahmen bis 2050 realisierbar sind, kann demzufolge auch nicht angegeben werden.

**Tabelle 3.4** Vergleichstabelle Studien zur Energieautarkie: Verkehrsleistung im Güterverkehr innerhalb von Österreich 2050. Quellen: Streicher et al. (2010); Umweltmanagement Austria (2011); Bliem et al. (2011)

**Table 3.4** Comparative table studies „energy self-sufficient“: transport performance in freight transport in Austria 2050. Sources: Streicher et al. (2010); Umweltmanagement Austria (2011); Bliem et al. (2011)

2050 [Mrd. tkm]	Straße	Schiene	Wasser	$\Sigma$	Index zum Basisjahr
Bliem et al., 2011	16,5	27,0	2,5	46,0	84
Streicher et al., 2010 Sz. Konstant (1)	19,5	38,4	5,0	63,0	100
Streicher et al., 2010 Sz. BAU opt. (3)	36,1	44,9	7,0	88,0	160
Umweltmanagement Austria (2011) Sz. Pragm.	20,6	35,9	3,4	59,9	107
Umweltmanagement Austria (2011) Sz. Forciert	16,2	38,2	3,2	57,6	103

### 3.2.5 Adaptation und Mitigation: Lösungsansätze und politische Maßnahmen

Das Ziel, das derzeitige Verkehrssystem in ein nachhaltiges<sup>24</sup> überzuführen, ist ein äußerst ambitioniertes. Es impliziert nicht mehr und nicht weniger als einen nachhaltigen Systemwechsel (GEA, 2012).

Die Politik-Szenarien, die in Abschnitt 3.2.8 beschrieben werden, beschreiben alternative Pfade einer progressiven Transformation des österreichischen Verkehrssektors in Richtung Nachhaltigkeit. Es sei allerdings deutlich darauf hingewiesen, dass diese Transformation innerhalb der nächsten 50 bis 100 Jahre nur in einem globalen Kontext stattfinden können wird (vgl. GEA, 2012). Weiters ist in diesem Kontext hervorzuheben (vgl. ebenfalls GEA, 2012), dass diese globale Transition mit sozial ausgewogenen, ökologisch nachhaltigen und wirtschaftlich realisierbaren Entwicklungszielen gekoppelt sein muss.

Der erwähnte nachhaltige Systemwechsel impliziert grundsätzlich allerdings auch, dass die Verbrennung von fossiler Energie im Verkehr durch die Verschiebungen der zurückgelegten Wege zu nicht-motorisierten Verkehrsarten (weniger Fahrzeugkilometer) einerseits und einen möglichst effizienten Energieeinsatz im motorisierten Verkehr (weniger fossile Energie pro Fahrzeugkilometer) andererseits auch erreicht wird. Weiters muss eine integrierte Landnutzungs- und Verkehrsplanung vorgenommen werden, welche bei der Identifizierung geeigneter Politiken zur Realisierung der gewünschten Transition neben technologischen Entwicklungen einen Schwerpunkt darstellen (GEA, 2012).

<sup>24</sup> Wenngleich der zentrale Fokus auf den THG-Emissionen und den daraus erforderlichen Maßnahmen zu Adaption und Mitigation des Klimawandels liegt, ist doch das übergeordnete Ziel, das Verkehrssystem unter Berücksichtigung ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte in ein nachhaltiges zu transformieren. Eine detailliertere Diskussion von Nachhaltigkeitskriterien an dieser Stelle würde allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

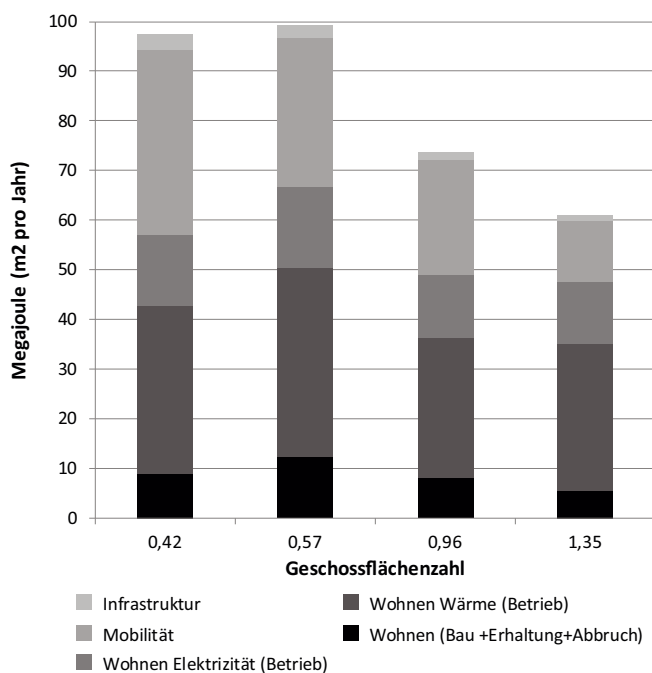
In diesem Abschnitt beschreiben wir, welche Politiken und Maßnahmen prinzipiell existieren, um letztendlich – in geeigneten Portfolios implementiert – Übergänge zu nachhaltigen Verkehrssystemen zu ermöglichen.

### Ein Überblick zu verkehrspolitischen Strategien

Die Realisierung eines nachhaltigen Verkehrssystems kann nur mit einem breiten Portfolio verschiedener Politiken, Maßnahmen und Aktionen umgesetzt werden. Diese Grundprinzipien sind in verschiedenen Arbeiten herausgefiltert (z. B. Ajanovic et al., 2011) – und können unter dem Überbegriff „Avoid, Shift, Improve“ zusammengefasst werden. Darunter können dann die wichtigsten Kategorien politischer Instrumente – Planung & Regulierung, ökonomische Anreize, soft tools und technologische Verbesserungen – subsummiert werden.

Basierend auf diesen Überlegungen können die zu implementierende Politiken in die folgenden vier Kategorien eingeordnet werden (vgl. GEA, 2012):

- Regulierung und Verkehrsplanung (inkl. gesetzliche Maßnahmen: z. B. Rad- und Busspuren, emissionsfreie Zonen, Parkraumbewirtschaftung etc.
- Technische Maßnahmen: z. B. Hybrid-Busse, Autos mit Batterie oder Wasserstoffantrieb etc.
- „Soft measures“: z. B. Information, Bildung/Erziehung, Eco-Drive Systeme für öff. Busse etc.
- Ökonomische Anreize und fiskalische Maßnahmen: z. B. Straßenbenutzungsgebühren, Tarife des ÖV, Parkgebühren, green-city Steuern etc.



**Abbildung 3.35** Primärenergieverbrauch verschiedener Siedlungstypen pro m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche (BGF) und Jahr. Quelle: Ott (2008)

**Figure 3.35** Primary energy consumption of different types of settlements per m<sup>2</sup> gross floor area and year. Source: Ott (2008)

### Maßnahmenblock A: Möglichkeiten im Bereich Stadt- und Raumplanung zur Reduktion der THG-Emissionen in Österreich

In diesem Kapitel werden die wichtigsten möglichen und bereits umgesetzten bzw. in Umsetzung befindlichen Maßnahmen im Bereich Stadt-/Raumplanung zur Reduktion der THG-Emissionen sowie zur Anpassung an den Klimawandel dokumentiert.

Die Forschung zu Raumordnungs- und Verkehrsaspekten ist in ihrer Analyse politischer Instrumente de facto zweigeteilt: einerseits werden Raumordnungsinstrumente auf ihre Wirkung auf Nutzungsveränderungen untersucht, andererseits verkehrspolitische Instrumente auf ihre Beeinflussung von verkehrlichen Strömen. In der realen Welt interagieren beide Bereiche und vor allem auch „Unvollkommenheiten“ in beiden Bereichen: zu billige Verkehrskosten (nicht internalisierte Umweltkosten des Straßenverkehrs) führen zu Zersiedelung, nicht verursachergerechte Aufschließungskosten (die Aufschließung peripherer Grundstücke wird durch jene zentraler subventioniert) führen zu Siedlungsstrukturen, die übermäßig viel Verkehrsbewegungen in Form von PKW-Verkehr verursachen.

### Zusammenhang zwischen Primärenergieverbrauch und Siedlungsstruktur

Nachhaltige Raumordnung und -entwicklung stellt eine (langfristige) Schlüsselgröße zur Reduktion des Energieverbrauchs dar. Die Entwicklungen im Siedlungswesen haben einen maßgeblichen Einfluss auf den steigenden Energiebedarf. Die Siedlungsentwicklung in Österreich der letzten Jahrzehnte ist durch eine hohe Flächeninanspruchnahme, eine hohe Energieintensität, hohe Schadstoffemissionen und einen hohen Materialeinsatz gekennzeichnet. Die Wohnungsentwicklung hat sich weitgehend von der Bevölkerungsentwicklung abgekoppelt; d. h. die Zahl der Wohnungen wuchs in den letzten Jahren weitaus stärker an als die Bevölkerung. Die verstärkte Wohnraumschaffung – insbesondere im Stadnumland – führte ebenso wie die Ansiedlung von Betrieben, zu einer Ausweitung der Pendlerströme, die verkehrspolitische Implikationen sowie energie- und umweltrelevante Folgen mit sich bringen (Abbildung 3.35).

Sowohl in der „Klimastrategie – Anpassung 2007“ (BM-LFUW, 2007) als auch in der „Energiestrategie Österreich“ (BMWFJ, 2010) werden bereits Maßnahmen zur Raumplanung angeführt. Aspekte wie Neuorientierung bei Verkehrs- und Raumplanung oder Erstellung eines Mobilitätskonzeptes des Bundes und der Länder wurden auch in der „Energiestrategie Österreich 2010“ übernommen. Am umfassendsten wurde das Thema im Österreichischen Raumentwicklungskonzept behandelt.

### Österreichisches Raumentwicklungskonzept

Klimaschutz bzw. Klimawandelanpassung sind in den Raumordnungsgesetzen der österreichischen Bundesländer noch selten explizit erwähnt. Jedoch finden sich klimarelevante Raumordnungsziele wie die Sicherung und sorgsame Verwendung der natürlichen Lebensgrundlagen, sparsamer Flächenverbrauch und die Vermeidung der Zersiedelung der Landschaft in allen Raumordnungsgesetzen. In jüngeren Novellen wird zudem die Zielsetzungen einer energiesparenden Siedlungsentwicklung und die Verwendung von EET konkret angesprochen. Die Raumplanungsinstrumente (Flächenwidmungs- und Bebauungspläne, Regional- und Landesentwicklungspläne) haben diesen Zielen zu entsprechen, kurz gesagt: Ziele und Instrumente sind vorhanden, es fehlt an der konsequenten Anwendung. Allerdings zeigen aktuelle Landesentwicklungsprogramme bzw. auch Stadt- und Regionalentwicklungspläne sowie örtliche Entwicklungskonzepte meist eine Bewusstheit der raumplanerischen Mitverantwortung für

Klimaschutz und Klimawandelanpassung. Dementsprechend formulieren sie mittlerweile auch entsprechende Grundsätze und Maßnahmen. Unter dem Titel der Energieraumplanung steht Gemeinden und StandortentwicklerInnen zudem bereits eine Reihe von Planungstools zur Verfügung. Ein im Rahmen der ÖREK-Umsetzungspartnerschaft „Energieraumplanung“ erstellter Bericht analysiert 20 von insgesamt 160 dieser Tools (Stöglehner, 2013). Auf gesamtösterreichischer Ebene definiert das 2011 von der Österreichischen Raumordnungskonferenz beschlossene und damit von Bund, Ländern sowie Gemeinden abgestimmte Grundsatzdokument „Klimawandel, Anpassung und Ressourceneffizienz“ als eine der vier zentralen Säulen für eine wettbewerbsfähige, solidarische und nachhaltige Raumentwicklung (ÖROK, 2011).

Folgende allgemeinen Zielsetzungen sind dort festgehalten: „Um sowohl den Energiebedarf als auch die Klimaschutzpolitik nachhaltig zu gestalten, soll/sollen:

- [...] eine nachhaltige Siedlungs- und Verkehrsentwicklung realisiert werden, um die weitere Flächenversiegelung zu limitieren und Ressourceneffizienz sicherzustellen;
- [...] eine Reduktion der THG-Emissionen erfolgen, um dem Klimawandel ursächlich zu begegnen (Mitigation), sowie eine Verringerung des Energiebedarfs und eine Verlagerung von nicht erneuerbaren hin zu erneuerbaren Rohstoffen im räumlichen Verbund angestrebt werden;
- [...] raumordnerische Maßnahmen eingesetzt werden, um bei der Bewältigung der Folgen des Klimawandels zu helfen (Adaption) und die Gefährdungen von Siedlungen und Gesellschaft zu begrenzen (Klimawandelanpassung; vgl. auch Policy Paper „Auf dem Weg zu einer nationalen Anpassungsstrategie“, 2010);
- [...] eine verstärkte Ressourceneffizienz mögliche negative Effekte einer Ressourcenverknappung;
- [...] oder Verteuerung auf Wirtschaftswachstum und sozioökonomischen Wohlstand wieder ausgleichen
- [...] entsprechende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten umgesetzt werden.“ (ÖROK, 2011)

Als relevante Aufgabenbereiche und Handlungsmöglichkeiten sind u. a. konkretisiert (vgl. ÖROK, 2011):

- Raumordnung zur Verbesserung der Energieeffizienz einsetzen.
- Flächen für EET ausweisen.
- Integrierte Raum- und Energiekonzepte erstellen.

- Freihalten von Retentionsräumen („solidarische Retentionsräume“) und Regelung von Nutzungsbeschränkungen.
- Verstärkte Kooperation und verbesserte Abstimmung zwischen den Oberlieger- und Unterlieger-Gemeinden.
- Berücksichtigung von Hochwasserrückhalte- und Hochwasserabflussflächen in der Flächenwidmung sowie der in den Waldentwicklungsplänen vorgesehenen schutzfunktionalen Waldarealen.
- Verstärkte Koppelung zwischen Flächenwidmung und Gefahrenzonenplanung.
- Nachhaltige Siedlungs- und Freiraumentwicklung.
- Flächensparen und Flächenmanagement: Verstärkte Koppelung von Flächenwidmung, Bebauungsplanung und aktiver Bodenpolitik.
- Festlegung von Energieeffizienzkriterien in der Flächenwidmung (Beispiel „Energieausweis für Siedlungen“), Erstellung integrierter Raum- und Energiekonzepte unter Berücksichtigung des Mobilitätsmanagements; kriteriengeleitete Ausweisung von Vorranggebieten für bestimmte Arten der Energieversorgung.
- Nachhaltige Mobilität.

### Effizienzaspekte und Raumordnung

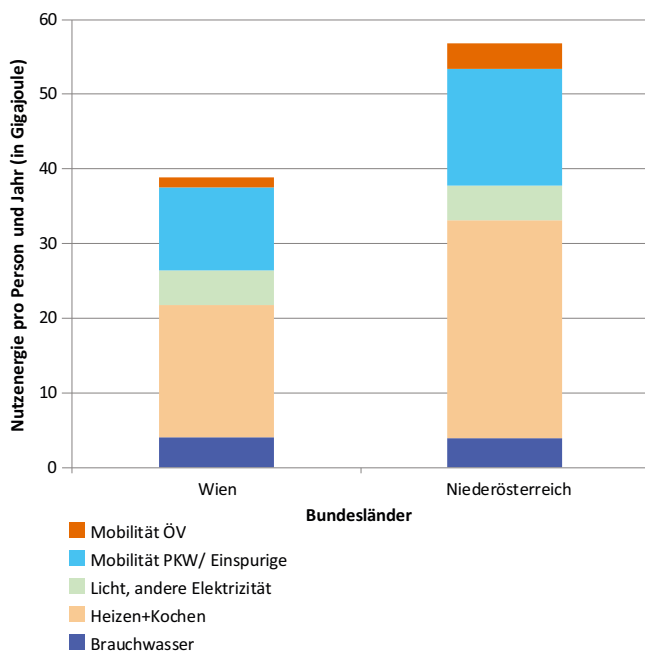
Fragen der Effizienz, wie Ressourcenverbrauch oder bebaute Fläche stehen in Verbindung mit der Raumplanung. Diese lassen sich anhand folgender Kategorien darstellen.

**Ressourcenintensität:** Etwa 70 % bis 80 % des Energie- und Materialeinsatzes werden durch die Bereiche Siedlungswesen und Verkehr – also durch räumliche Bedingungen – in Anspruch genommen. Potenziale zur Reduktion des Energiekonsums sind dementsprechend im Zusammenhang mit der Raumentwicklung zu analysieren.

**Finanzmittelintensität:** Die Bereitstellung von technischer und sozialer Infrastruktur in einer Region ist mit hohen Kosten verbunden. Durch eine effiziente Raumorganisation, welche der Zersiedelung entgegenwirkt, können erhebliche Einsparungen im Infrastrukturbereich erzielt werden.

**Flächenintensität:** Der Flächenverbrauch für Gebäude aller Art und Straßen nimmt kontinuierlich zu. Trotz eingeschränktem Dauersiedlungsraum auf Grund des hohen Gebirgs- und Waldanteils in Österreich, ist der Trend zur Zersiedelung sowie zu flächenintensiven Ein- und Zweifamilienhäusern ungebrochen. Die für Siedlungsraum verbrauchten Flächen stehen nicht für den Anbau von Energiepflanzen bzw. die Speicherung von CO<sub>2</sub> in Form von Biomasse zur Verfügung.

**Verkehrsintensität:** Durch Trends wie die wachsende Suburbanisierung, ein verändertes Freizeitverhalten und die Zu-



**Abbildung 3.36** Deutliche Unterschiede bezüglich Energie-Aufwendungen in verschiedenen Siedlungsstrukturen. Quelle: VCÖ (2012)

**Figure 3.36** Significant differences in energy consumption in different types of settlements. Source: VCÖ (2012)

nahme der interregionalen und internationalen Arbeitsteilung u. a. m. wird ein erhöhtes Verkehrsaufkommen bzw. ein wachsender Energieverbrauch mit den bekannten negativen Folgen für Mensch und Umwelt verursacht. Haushalte in Gebieten mit geringerer Siedlungsdichte verursachen vermehrt CO<sub>2</sub>-Emissionen, weil diese durchschnittlich mit mehr PKWs ausgestattet sind und längere Wege (z. B. zum Arbeitsplatz oder zum Einkaufen) zurücklegen müssen. Innovative Gebäudekonzepte (z. B. Passivhäuser) ermöglichen am Einzelgebäude zwar einen niedrigeren Energieverbrauch, können jedoch nicht den steigenden Energieverbrauch des Verkehrs auf Grund zunehmender Zersiedelung verhindern. Daher werden langfristige und zukunftsorientierte Raumordnungsstrategien benötigt, deren primäres Ziel eine Verhinderung energieintensiver Raumstrukturen sein muss (vgl. Abbildung 3.36).

### Raumplanung und Vermeidungsstrategien

Die Leitbilder, Instrumente und Methoden der Raumplanung umfassen wesentliche Ansatzpunkte von Vermeidungsstrategien wie ressourcenschonende Siedlungsstrukturen und die Flächenvorsorge für erneuerbare Energien:

Stadt/Region der kurzen Wege durch eine verkehrssparende Organisation der Funktionen (Wohnen, Arbeiten, Versorgen, Erholen) im Raum sicherstellen. Dies erfordert Koopera-

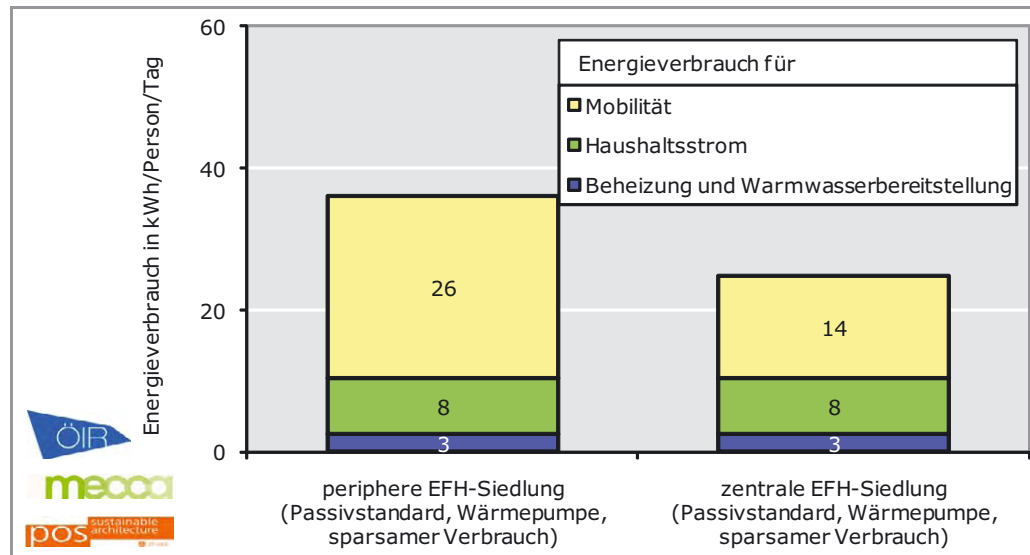
tion auf verschiedenen Ebenen (lokal, regional, überregional) und eine abgestimmte, Gemeindegrenzen überschreitende Entwicklungsstrategie. Durch eine „dezentrale Konzentration“ (kompakte und durchmischte Siedlungsentwicklung, Stärkung von Ortskernen) können KFZ-Verkehr vermieden und klimawirksame Emissionen reduziert werden. Insbesondere in den Agglomerationsräumen besteht hohes Verdichtungspotential (hoher Einfamilienhausanteil in den Speckgürteln).

Eine Stadt/Region der kurzen Wege „entspricht dem Leitbild der sanften Mobilität und somit der nachhaltigen Stadtentwicklung und bedeutet im engeren Sinn die Schaffung kompakter, ressourceneffizienter Siedlungsstrukturen, eine strukturell ausgewogene Durchmischung miteinander verträglicher Nutzungen und die gute Erreichbarkeit von Einrichtungen der Nahversorgung und Orten der Naherholung in fußläufiger Entfernung bzw. ergänzend mit öffentlichen Verkehrsmitteln.“ (Voigt et al., 2008).

Eine Siedlungsstruktur der kurzen Wege gemeinsam mit einer entsprechenden Funktionsmischung ermöglicht den VerkehrsteilnehmerInnen mehr Wege mit dem ÖV, dem Rad oder zu Fuß zurückzulegen weil deren – durch Körperenergieaufwand gegebenen – Einsatzgrenzen nicht überschritten werden.

Es ergeben sich erhebliche empirische Unterschiede auf Basis der KONTIV-Erhebungen (= theoretische Potentiale) zwischen Ballungsräumen und ländlichen Siedlungsgebieten insbesondere in Bezug auf Motorisierungsgrade (–20 % in städtischen Bereichen), Wegeweiten (–40 %), oder Verkehrsleistungen (–55 %) (Ott, 2008, Hesse und Trostorf, 2000). Wie Haushaltsbefragungen zu den diversen Verkehrskonzepten zeigen, machen insbesondere in Gemeinden mit weniger als 20 000 EinwohnerInnen externe Wege den größten Anteil an den zurückgelegten Distanzen aus. Die genannten Potentiale sind daher in hohem Ausmaß auf externe (außerhalb der Heimatgemeinde) zurückgelegte Wege zurückzuführen. Die Berücksichtigung der externen Wege und damit der Lage im Raum (in Bezug zu den nächstgrößeren Zentren – Zentrale Orte Prinzip) ist daher wesentlich (vgl. Hesse and Trostorf, 2000)

Zahlreiche Projekte zum Zusammenhang von Energie und Siedlungsentwicklung wurden in den letzten Jahren durchgeführt und es stehen mittlerweile Energierechner für Siedlungsstrukturen zur Verfügung. Das aus dem Klima- und Energiefonds geförderte Projekt EFES (Energieeffiziente Siedlungen) kommt im Endbericht zu folgendem Schluss: „Generell kann aus dem Energy Rating das Missverhältnis zwischen den Fortschritten im Gebäudebereich und den bisher geringen Anstrengungen im Mobilitätsbereich und im Bereich des Nutzerverhaltens sehr gut abgelesen werden. Im Bereich der Mobilität



**Abbildung 3.37** Vergleich des Energieverbrauches einer zentrale gelegenen mit einer peripheren Passivhausiedlung. Quelle: Dallhammer et al. (2010)

**Figure 3.37** Comparison in energy consumption between a central and peripheral located passive house settlements. Source: Dallhammer et al. (2010)

kann bemerkt werden, dass ein Wohngebiet mit sehr schlechter ÖV-Erschließung um 80 % mehr Primärenergie verbraucht als ein Wohngebiet in sehr gut erschlossener Lage. Außerdem lassen die unterschiedlichen Szenarien erkennen, dass die Variation der Anzahl der Stellplätze einen erheblich stärkeren Effekt auf den Primärenergiebedarf für Mobilität hat, als die Variation bei der ÖV-Versorgung. Im folgenden Beispiel kann dieser Unterschied der Versorgungslage noch etwas deutlicher dargestellt werden: Die beiden verglichenen Siedlungen sind beide im Passivhausstandard erbaut, werden mit Wärmepumpe beheizt und ihre BewohnerInnen kennzeichnen sich durch sparsames Verbrauchsverhalten aus. Allerdings liegt Siedlung 1 in peripherer Lage, ist somit sehr schlecht versorgt, die zweite Siedlung ist zentral gelegen und umgeben von zahlreichen Versorgungseinrichtungen und mit öffentlichem Verkehr sehr gut erschlossen. Hierbei ist erkennbar, dass Siedlung 1 im Mobilitätsbereich um 80 % mehr Primärenergie benötigt als die vergleichbare, im Zentrum gelegene Siedlung.“ (Dallhammer et al., 2010, vgl. Abbildung 3.37)

Es existiert eine Mindestgröße und -dichte von Siedlungen um eine effiziente Erschließung mit öffentlichem Verkehr gewährleisten zu können. Erschließungskosten, Flächenverbrauch und Emissionen steigen mit abnehmender Bebauungsdichte und zunehmender Zersiedlung stark an. Die räumliche Verteilung der Aktivitäten soll eine gute Erreichbarkeit mit einem kostenmäßig vertretbaren Aufwand mit öffentlichen Verkehrsmitteln ermöglichen.

Mit der zunehmenden Individualisierung der Gesellschaft, der arbeitsteiligen Organisation, der steigenden Ansprüche und Bedürfnisse, ist das Ziel einer verkehrssparsamen Siedlungsstruktur nur mit einem Mindestmaß an Größe und Dichte der Siedlungen zu erreichen. Dies erfordert allerdings eine Entwicklungspolitik die Klein- und Mittelstädte fördert und nicht weiter auf die Erhaltung von dezentralen dörflichen Strukturen mit schlechter Versorgung mit öffentlichem Verkehr und langen Wegen zu den Arbeitsplatzzentren setzt. Folgende Maßnahmen könnten zur dezentralen Konzentration beitragen (sie betreffen allerdings nicht nur die Raumplanung, sondern auch die relevanten sektoralen Politiken): Finanzausgleich, Wohnbauförderung bzw. Eigenheimzulage, Steuerung des Zweitwohnungsbaus oder auch die Erhöhung der Kostenwahrheit und Umsetzung des Verursacherprinzips bei der Versorgung mit verkehrlicher und technischer Infrastruktur. „Hier eröffnet sich ein zentraler raumpolitischer Zielkonflikt: die Aufrechterhaltung der ländlichen dörflichen Strukturen, die Vermeidung von Abwanderung, Entsedelung und Entleerung steht im Widerspruch zu klimapolitischen Zielen, solange der Kfz-Verkehr einer der Hauptverursacher des Klimawandels ist und eine ausreichende flächendeckende Erschließung mit öffentlichem Verkehr fehlt.“ (CIPRA, 2010)

Innenentwicklung statt Zersiedlung kann durch die Förderung verdichteter Bauformen und Mischnutzung forciert werden. Bauland darf nur noch dort gewidmet werden, wo eine adäquate Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln

gegeben ist. Dies erfordert eine Kopplung der Wohnbauförderung an raumplanerische Kriterien und Instrumente. Die Wohnbauförderung wird im Allgemeinen undifferenziert, d. h. unabhängig von raumplanerischen Kriterien (Lage, Erreichbarkeit, Umfeld) gewährt, was den Prozess der Zersiedelung verstärkt und für die räumliche Entwicklung sowie den Klimaschutz als kontraproduktiv bezeichnet werden muss. Das Niedrigstenergiehaus draußen auf der grünen Wiese, von dem man – zwangsmobil – mit dem Auto in die Stadt fährt, verbraucht deutlich mehr Energie als eingespart wurde. Die Novellen der Wohnbauförderungsrichtlinien der Länder haben in den letzten Jahren durchwegs wichtige Schritte in Richtung Ökologisierung und Klimaschutz gesetzt, indem unterschiedliche Fördersätze nach dem Grad der Energieeinsparung eingeführt wurden. Auch wenn in Fragen der Bauausführung (Isolierung, Heizungssystem) bereits beachtliche Erfolge erzielt werden konnten, finden sich in der Wohnbauförderung noch kaum Ansätze für eine raum- und verkehrsparende Steuerung der Siedlungsentwicklung. Ein weiteres Ungleichgewicht zwischen den Verkehrsträgern zu Ungunsten des Umweltverbundes verursacht zudem die Förderung von Garagen bzw. Garagenabstellplätzen.

Die Innenentwicklung von Städten und Siedlungen stellt an die kommunalen Verwaltungen komplexe Herausforderungen (Baulandmobilisierung, Flächensicherung, Flächenrecycling, Kooperation auf verschiedenen Ebenen). Die Städte und Gemeinden müssen einerseits bestmögliche Rahmenbedingungen für private InvestorInnen schaffen, andererseits aber dabei auch die öffentlichen Interessen der Allgemeinheit vertreten. Das Kräftespiel zwischen öffentlichen und privaten Interessen benötigt auf beiden Seiten bewegliche Verhandlungsformen und die angepasste Planungsprozesse sowie -instrumente.

Integrative Standortpolitik fördern, um die Erreichbarkeit für KundInnen und MitarbeiterInnen mit öffentlichen Verkehrsmitteln zu gewährleisten sowie Standorte mit Schienenanschluss zu begünstigen. Regionale Wirtschaftskreisläufe fördern um lange Transportwege zu vermeiden.

Die Intensität des Standortwettbewerbs hat sich angesichts veränderter Rahmenbedingungen in den letzten Jahren deutlich verschärft (vgl. CIPRA, 2010). Die traditionellen Instrumente der Wirtschaftsförderung und Standortpolitik scheinen nur noch bedingt in der Lage zu sein, den gestiegenen Herausforderungen gerecht zu werden. Einerseits konkurrieren die Gemeinden um Betriebe, was zu Betriebsstandorten führt, die nur mit dem PKW erreichbar sind oder abseits eines Bahnanschlusses liegen. Andererseits gibt es aber auch Instrumente der interkommunalen Zusammenar-

beit in Gemeindeverbänden und Formen eines horizontalen Finanzausgleichs, z. B. Entschädigung von Gemeinden für die Erhaltung von Erholungsflächen. Im Fall von öffentlichen Infrastrukturinvestitionen oder Förderungen kann die Standortentwicklung an eine nachhaltige Mobilitätsorganisation gekoppelt werden.

Besonders klimarelevant ist die Integration in das Siedlungsgebiet und die Erschließungsmöglichkeit im Umweltverbund bei Handelsstandorten sowie publikumsintensiven Versorgungs- und Freizeiteinrichtungen. Aufgrund von Novellierungen der Raumordnungsgesetze können in den meisten Bundesländern Handelseinrichtungen ohne Größenbeschränkung nur mehr in „Zentrumszonen“, also integriert in die Siedlungsstruktur genehmigt werden. Die Vermeidung von Agglomeration kleinerer Handelseinrichtungen an den Betriebsgebieten der Ortsrändern (z. B. Diskonter am Kreisverkehr) lässt sich jedoch noch nicht befriedigend steuern. Umgekehrt finden wir mittlerweile aber in zahlreichen Marktgemeinden und Kleinstädten wieder lebendige Ortskerne vor wie z. B. in Ottensheim, Lauterach oder Waidhofen/Ybbs, die über eine aktive Raumplanung verfügen und in denen Maßnahmen der Stadt-/Dorferneuerung umgesetzt wurden (vgl. LandLuft, 2012).

Konsequent ressourcensparendes Bauen fördern und Abstimmung der Siedlungsstrukturentwicklung mit bestehenden Infrastrukturnetzen (z. B. Fernwärme- und Fernkältenetzen, öffentlicher Verkehr).

Dazu ist es erforderlich, für Siedlungsgebiete und Bauvorhaben auch Anschlusspflichten bzw. Anreize z. B. zum Anschluss an das Fernwärmenetz zu definieren, wofür erst in einigen Bundesländern die gesetzlichen Voraussetzungen gegeben sind und generell wenig Praxiserfahrung vorliegt. Wesentliche Aufgaben wie in räumlichen Sachprogrammen Energie zusammengeführt werden sollte sind vor allem (vgl. Stadtland, 2010):

- Darstellung der (vorhandenen) Energieversorgung (Kraftwerke, KWK-Anlagen, Heizwerke, Müllverbrennungsanlagen etc.).
- Festlegung der Prioritäten der verschiedenen Energieträger sowie Darstellung des räumlichen Bezugs.
- Darstellung von nutz. B. aren Energieversorgungs- und Abwärmepotenzialen (Industrie, Abwasser, Oberflächengewässer, Geothermie, Biomasse, Müllverbrennungsanlagen, Umgebungswärme).
- Darstellung von (vorhandenen) Großabnehmern (Industrie, Gewerbe, ev. dichte Siedlungsgebiete) für Strom, Wärme und Kälte.



- Ausweisung von Eignungszonen sowie Ausschließungsgebiete für Windenergieerzeugungsanlagen, Photovoltaik / Solarthermie, Geothermie / Erdwärmesonden.
- Umgang mit bestehenden konventionellen Anlagen sowie mit Wasserkraft.
- Ausweisung von Eignungsgebieten (Vorranggebiete) für leitungsgebundene Energieträger (Fernwärme, Erdgas, Fernkälte).
- Festlegungen zur Energieeffizienz von Siedlungskörpern und des Verkehrssystems.

Flächenvorsorge für EET (Windräder, Photovoltaik, Wasserkraft, Biomasseproduktion) ist aktiv zu betreiben und mögliche Konflikte zwischen der Nutzung erneuerbarer Energien (Wasser, Wind, Biomasse), dem Naturschutz und anderen Nutzungen (Forst, Tourismus, Jagd, Energiewirtschaft, etc.) zu vermeiden.

Unterschiedliche Maßnahmen im Bereich der Raumplanung können aktiv zur einer regionalisierten Energieversorgung mit erneuerbaren Energien beitragen: Verankerung von Klimaschutz und Energiesicherheit in den Raumordnungszielen, Neugestaltung der Bauordnungen zur optimalen Nutzung von Solarenergie im Neubau und bei der Bestandsanierung oder auch die räumliche Festlegung von Standorten für Energieproduktionsanlagen. Insbesondere durch die Mitwirkung/Koordination bei der Erstellung von regionalen/lokalen Energiekonzepten und Energieleitbildern kann die ressourcenschonende Raumentwicklung forciert und auf eventuelle Nutzungskonflikte vorausschauend reagiert werden. (vgl. CIPRA, 2010).

In mehreren Bundesländern sind Zonen bzw. Kriterien für die Nutzung EET definiert, insbesondere Windkraftanlagen. Ein international beachtetes best-practice-Beispiel ist das Regionale Rahmenkonzept für Windkraftanlagen im Nordburgenland (Stanzer, 2010).

### Erklärungsansatz zu den Wirkungsmechanismen der Interaktion von Raumordnung und Verkehr

In einer Kopplung eines Wohnortwahlmodells mit einem Verkehrsmodell (Verkehrsprognose Österreich 2025+) untersuchen Kulmer et al. (2012) für eine österreichische Region (Landeshauptstadt und Umfeld) erstmals auch die wechselseitige Wirkung der Instrumente (zur Methode: Bednar-Friedl et al., 2011). Für ökonomische verkehrliche Instrumente (gezeigt am Beispiel der Erhöhung der variablen PKW-Kosten pro Kilometer, wie einer Erhöhung der Mineralölsteuer oder PKW-Road Pricing) stellt sich heraus, dass diese nur bei einer Höhe, wie sie politisch nicht akkordierbar wäre, merkbar zu einer

veränderten Siedlungsstruktur führen würde (d. h. die Zersiedlung einbremsen würde). Im Kern sind die Unterschiede in den Grundstückspreisen zwischen Stadt und Umland so groß, dass sie alle verkehrlichen Kostenüberlegungen der Haushalte dominieren. Die Zersiedlung kann somit durch Erhöhung der Verkehrskosten nicht realistisch unterbunden werden.

Umgekehrt hingegen wirken raumplanerische Instrumente zwar primär auf die Siedlungsstruktur, diese aber merkbar auf die sich durch diese Siedlungsstruktur einstellenden Verkehrsströme (sowohl in Umfang wie auch in Modal Split). Dies zeigt unter Verwendung des aktuellsten österreichischen Verkehrsprognoseinstruments (Verkehrsprognose 2025+), dass der Ansatz der Raumplanung und seiner Instrumente auch quantitativ die Verringerung des PKW-Verkehrs durch kürzere Wege und Verlagerung auf andere Verkehrsmittel effektiv vorantreiben könnte. Sehr eindeutig wird in dieser Arbeit auch gezeigt, dass die Raumplanung eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung für eine effektive Verlagerung ist: die simultane Förderung des Öffentlichen Verkehrs (Taktverdichtung, Qualitätssteigerung) kann die Verlagerungswirkung wesentlich erhöhen.

Diese Schlussfolgerung wird auch durch Steininger (2008) unterstützt, einer Untersuchung der quantitativen verkehrlichen Auswirkungen einer haushälterischen Standortentwicklung für den Zentralraum Salzburg. Für den Zeithorizont 2025 zeigt diese Studie, dass der Anstieg der THG-Emissionen aus dem Verkehr von 13,5 % im Trendszenario auf 3 % eingebremst werden kann, wenn das Sachprogramm einer haushälterischen Standortentwicklung in diesem Zentralraum umgesetzt wird.

### Raumplanung und Anpassungsstrategien

Elemente und Instrumente raumplanerische Anpassungsstrategien an den Klimawandel österreichweit (Österreichisches Raumentwicklungskonzept) bzw. auf Ebene der Länder, Regionen und Gemeinden wurden bereits zu Beginn dieses Kapitels angesprochen. Auf transnationaler Ebene liegt für den Alpenraum die „Transnational Strategy for Climate Proof Spatial Planning“ (Stadtland, 2011) vor. Der Alpenraum ist hinsichtlich des Klimawandels besonders gefährdet (hohe vulnerability, geringe Resilienz). Die Anpassungsstrategie soll EntscheidungsträgerInnen und Verantwortlichen der Raumplanung und anderer raumrelevanter Fachplanungen als Orientierungs- und Entscheidungshilfe zur Entwicklung geeigneter Anpassungsstrategien und -maßnahmen an den Klimawandel dienen. In sektorübergreifenden Aktionsfeldern wurden jene Maßnahmen und Handlungsoptionen gebündelt, die aus

Sicht der Raumplanung die größten Anpassungserfolge für den Alpenraum erwarten lassen.

Generelle Handlungsfelder:

- Weiterentwicklung der Planungsinstrumente
- Ländergrenzen und Sektoren übergreifende Zusammenarbeit
- Wissensbasis und Wissenstransfer
- Bewusstseinsbildung
- Awareness-raising
- Spezifische Handlungsfelder
- Resiliente Siedlungs- und Infrastruktur
- Schutz vor Naturgefahren
- Integriertes Wasser- und Ressourcenmanagement
- Landschaftsentwicklung und Freiraumsicherung
- Neuorientierung im Tourismus

Als Schwerpunktaufgaben in der Raumplanungspraxis sind folgende Aspekte zu nennen:

Der Umgang mit neuen und / oder verschärften klimabezogenen Naturgefahren erfordert die Veränderung der Gefahrenzonenplänen / Gefahrenkarte. Deshalb sind Maßnahmen wie die Rückwidmung von Bauland in neuen Gefährdungszonen, die Flächensicherung für zusätzliche Schutzmaßnahmen (Ausweitung von Wasserrückhalteflächen, Hochwasserdämme, Lawinenschutz- und Wildbachverbauungen) oder die Präzisierung von Regelungen in Bebauungsplänen zur Gefahrenabwehr (z. B. Dachneigung, Dachlast, Verbotszonen für Gefahrenstofflagerung und Nutzung in Keller- und Erdgeschoss) notwendig.

Vorbeugende Schutzmaßnahmen (z. B. Retentionsflächen zur Wasserrückhaltung) müssen in Gebieten bzw. Gemeinden vorgenommen werden, die von diesen Maßnahmen nicht profitieren, sondern Nachteile haben (Nutzungseinschränkungen, Kosten). Es braucht also regionale, gemeindeübergreifende Konzepte, die einen Ausgleich zwischen Kosten und Nutzen erfordern. Dafür liegen noch keine verallgemeinerbaren Modelle vor, doch zeigen unzählige good-practice Beispiele den Nutzen sowie Lösungsansätze auf.

Horizontale und vertikale Kooperation auf allen Ebenen (Bund, Land und Gemeinden) zur integrierten Siedlungsentwicklung und im Bereich Katastrophenvorsorge und -schutz. Koordination verschiedener Förderungen und Politiken (z. B. Verkehrs-, Finanz-, Wirtschafts-, Wohnungspolitik) auf allen Ebenen.

Zur Vermeidung von Wärmeinseln in dicht bebauten Kernstädten trägt der Schutz und Ausweitung innerstädtischer (z. B. Dach- und Hofbegrünung, Bepflanzung von Fassaden

und Straßenräumen) Grün- und Freiflächen bei. Zur Sicherung von Frischluftschneisen und grünen Kühlräumen im Rahmen der Regional-, Stadt- und Gemeindeplanung gibt es noch wenig Praxiserfahrung.

Umgang mit Unsicherheit: Generell lassen die Klimamodelle derzeit noch keine regionalen und kleinräumigen Aussagen über die Wirkungen des Klimawandels zu, was die Argumentationskraft und die rechtlich stichhaltige Restriktion im Rahmen der Regionalplanung sowie Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung erschwert.

### Maßnahmenblock B: Technische Lösungsansätze alternativer Antriebstechnologien, alternativer Energieträger und Effizienzsteigerungen konventioneller „Fahrzeuge“

In diesem Kapitel wird der derzeitigen Stand und die Zukunftsperspektive für Technologien und alternative Energieträger im Verkehrsbereich bis 2050 dokumentiert.

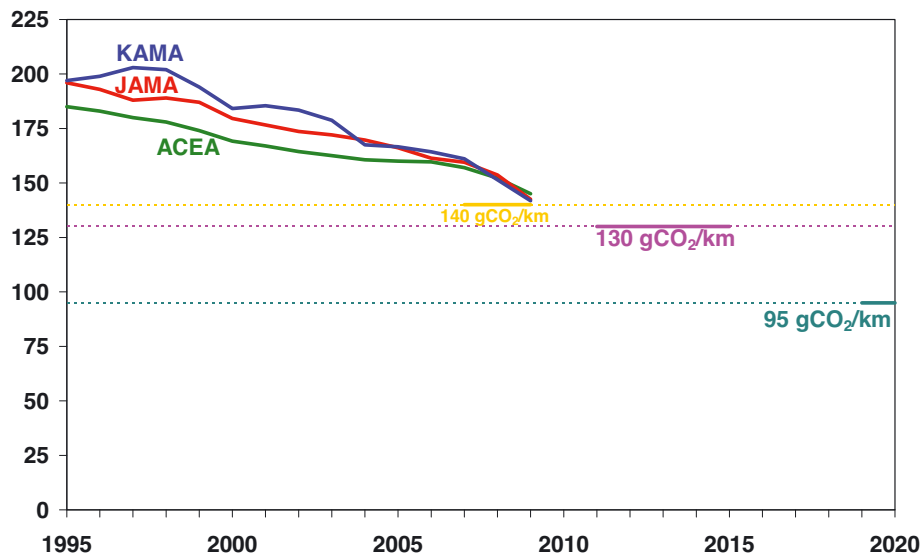
Mögliche technische Lösungsansätze beziehen sich auf die folgenden zentralen Schwerpunkte:

- Verbesserung der derzeit genutzten Technologien, was vor allem im Bereich des motorisierten Individualverkehrs von vorrangiger Bedeutung ist.
- Forcierung neuer emissionsarmer Antriebskonzepte: Hier stehen vor allem Fahrzeuge mit Elektroantrieben und Brennstoffzellen im Mittelpunkt.
- Nutzung alternativer Energieträger: Biofuels, Wasserstoff, CNG, Biomethan etc.

Um diese Probleme zu lösen, sind die Steigerung der Effizienz der Fahrzeuge und die Reduktion der Effizienz ausgedrückt in  $\text{g CO}_2 / \text{km}$  wichtige Strategien in Europa, den USA, Japan und anderen Ländern (vgl. EC, 2010; JAMA, 2008). Z. B. hat die EC im Jahr 2007 als Ziel festgelegt für 2012 eine Reduktion von ca. 25 % der Werte von 2006 anzustreben, ein Wert von  $120 \text{ g CO}_2 / \text{km}$  bis 2012. Wie allerdings Abbildung 3.38 zeigt war schon 2010 absehbar, dass dieses Ziel nicht erreicht werden würde. Ein Grund dafür waren die weiter steigenden Leistungen der Fahrzeuge und darüber hinaus die Fahrleistungen.

### Verbesserungspotenziale bei derzeit genutzten Technologien:

Zunächst analysieren wir Möglichkeiten, die Effizienz der derzeit genutzten Antriebstechnologien zu verbessern. In Benzinfahrzeugen gehen mehr als 60 % der Kraftstoffenergie im



© European Union, <http://eur-lex.europa.eu/>, 1998-2014

**Abbildung 3.38** CO<sub>2</sub>-Emissionen von neu zugelassenen PKWs unterschieden nach Automobilherstellerverbänden aus Europa (ACEA), Japan (JAMA) und Korea (KAMA), adaptiert nach den Veränderungen in den Testzyklen. Quelle: EC (2010)

**Figure 3.38** CO<sub>2</sub>-emissions from new passenger cars by the European (ACEA), Japanese (JAMA) and Korean (KAMA) car manufacturer associations (adjusted for changes in test cycle procedure). Source: EC (2010)

Verbrennungsmotor verloren. Dieselfahrzeuge sind hier um ca. 15–25 % effizienter.

Obwohl der Verbrennungsmotor eine ausgereifte Technologie darstellt, gibt es noch eine Vielzahl an Verbesserungspotenzialen (siehe z. B. Toro et al., 2010). Tabelle 3.5 gibt einen Überblick zu möglichen Maßnahmen, die Effizienz von Fahrzeugen durch Verbesserung der Motor- und Übertragungstechnologien zu steigern.

Tabelle 3.6 fasst Projektionen von Effizienzsteigerungen an Fahrzeugen im Vergleich zu einem Benzinfahrzeug (in %) für verschiedene Antriebssysteme aus verschiedenen Studien zusammen. Wie diese Tabelle zeigt, kann bei Benzin- und Die-

selfahrzeugen bis 2050 eine kontinuierliche Verbesserung realisiert werden, und insgesamt mit verbesserten Technologien fast 50 % Effizienzsteigerung erreicht werden. Aber auch bei den elektrischen Antrieben und der Brennstoffzelle sind weitere Effizienzsteigerungen zu erwarten (vgl. Tabelle 3.6).

### Vergleichende ökonomische und ökologische Bewertung

Wie bereits gezeigt, haben die analysierten Technologien bereits heute eine deutlich höhere Effizienz und geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen als konventionelle Fahrzeuge. Das grundsätzliche

**Tabelle 3.5** Mögliche Maßnahmen, die Effizienz von Fahrzeugen durch Verbesserung der Motor- und Übertragungstechnologien zu steigern. Quelle: Kobayashi et al. (2009)

**Table 3.5** Potential measures to enhance the efficiency of engine and transmission technologies. Source: Kobayashi et al. (2009)

	2010	2020	2030–2035	2050
Gasoline (G)	6–15	29	37–53	28–45
Diesel (D)	15–29	48	46–60	32–47
Hybrid-G	17–57	57	64–69	40–52
Hybrid-D	36–59	63	72	40–55
Fuel cell	53–58	71–74	63	
Fuel cell-hybrid	52–73	76–78		
Electric vehicle	82	80		

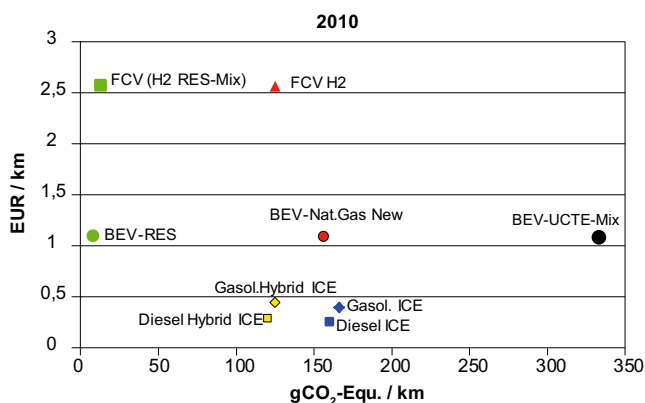
Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Springer Science+Business Media: Energy Efficiency; Energy efficiency technologies for road vehicles; Band 2(2); 2009; S.134; Kobayashi, S., Plotkin, S., Kahn Ribeiro, S., Tab.1 [Source data EPA HP ([www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml](http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml)); Duleep 2008; HM Treasury 2007; IEA 2008]

**Tabelle 3.6** Projektionen von Effizienzsteigerungen an Fahrzeugen im Vergleich zu einem Benzinfahrzeug (in %). Quelle: Kobayashi et al. (2009)

**Table 3.6** Forecast in increasing the efficiency of vehicles compared to a gasoline vehicle (in%). Source: Kobayashi et al. (2009)

	2010	2020	2030–2035	2050
Gasoline (G)	6–15	29	37–53	28–45
Diesel (D)	15–29	48	46–60	32–47
Hybrid-G	17–57	57	64–69	40–52
Hybrid-D	36–59	63	72	40–55
Fuel cell	53–58	71–74	63	
Fuel cell-hybrid	52–73	76–78		
Electric vehicle	82	80		

Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Springer Science+Business Media: Energy Efficiency; Energy efficiency technologies for road vehicles; Band 2(2); 2009; S.135; Kobayashi, S., Plotkin, S., Kahn Ribeiro, S., Tab.2 [GM/LBST 2002; GM/ANL 2005; EUCAR/CONCAWE/JRC 2006, JHFC 2006; Heywood and Weiss 2003; Ceah et al. 2007; Kromer and Heywood 2008; IEA 2008]



**Abbildung 3.39** Vergleich der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro km gefahren und der Mobilitätskosten pro gefahrenem km konventioneller Autos mit Hybrid, Elektro- (BEV) und Brennstoffzellenfahrzeugen im Jahr 2010

**Figure 3.39** Comparison of the specific CO<sub>2</sub>-emissions per km driven and the costs per km driven of conventional cars with hybrid, electro and fuel cell cars in 2010

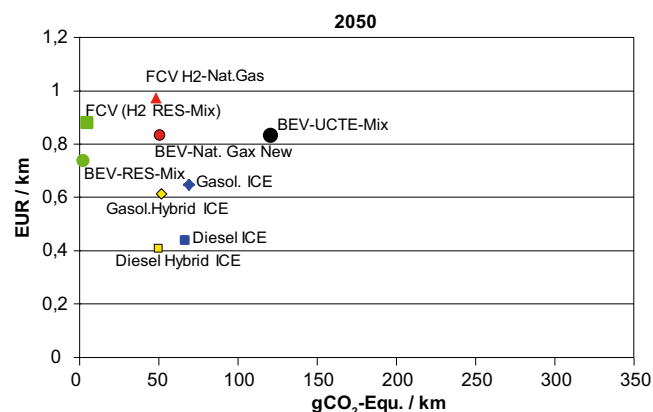
Hindernis für eine weitere Verbreitung sind allerdings die wesentlich höheren Kosten, vor allem bei den Investitionen.

Ein Vergleich zwischen konventionellen Pkw mit Antrieb basierend Hybrid, Elektro- (BEV) oder Brennstoffzelle bezüglich der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro km und der Mobilitätskosten pro km ist in Abbildung 3.39 dargestellt. Fahrten mit konventionellen Pkw ist am billigsten, weist aber die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen per km auf. Hybridautos und Erdgasautos haben geringfügig höhere Kosten aber erkennbar niedrigere Emissionen. Diese Fahrzeugtypen können als Überbrückungstechnologien eingestuft werden. In Bezug auf Emissionen sind Elektro- (BEV) und Brennstoffzellenfahrzeuge basierend auf Strom oder Wasserstoff von erneuerbarer Energieträgern die absolut günstigste Option. Allerdings sind diese derzeit bezüglich der Kosten noch nicht wettbewerbsfähig.

Abbildung 3.40 zeigt den korrespondierenden Vergleich für 2050. Die wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Abbildung sind dass, wenn die entsprechenden Lernprozesse realisiert werden und eine CO<sub>2</sub>-Steuer für Kraftstoffe eingeführt wird, Elektro- (BEV) und Brennstoffzellenfahrzeugen im Jahr 2050 wirtschaftlich mit konventionellen konkurrieren könnten.

### Bewertung der Potenziale neuer Technologien

Aus den verschiedenen Studien lassen sich für Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge die folgenden Erkenntnisse ableiten: Bis 2020 wird keine dieser Technologien quantitativ eine Rolle spielen und reine Elektro- bzw. Brennstoffzellenfahrzeu-



**Abbildung 3.40** Vergleich der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro gefahrenem km und der Mobilitätskosten pro km gefahren konventioneller Autos mit Hybrid, Elektro- (BEV) und Brennstoffzellenfahrzeugen im Jahr 2050

**Figure 3.40** Comparison of the specific CO<sub>2</sub> emissions per km driven and the costs per km driven of conventional cars with hybrid, electro and fuel cell cars in 2050

ge werden in Summe bis 2020 einen Anteil von ca. 1 % der Fahrzeugflotte erreichen. Lediglich für Hybridfahrzeuge wird der Marktanteil höher sein. Allerdings ist es wichtig, in Bezug auf die Infrastruktur für die Zeit nach 2020 diese Fahrzeuge schon heute zumindest prinzipiell bei der Planung miteinzubeziehen.

### Bewertung der Potenziale erneuerbarer Energieträger

Das dynamische Potenzial alternativer Energieträger in Österreich bis 2050 basierend auf nichtkonventionellen biogenen Rohstoffen wurde in dem Projekt ALTETRA (Ajanovic et al., 2012a) analysiert. Demzufolge existiert für EET basierend auf nichtkonventionellen biogenen Rohstoffen ein merkliches aber auch deutlich beschränktes zusätzliches Potenzial, das maximal beim Vierfachen des heute genutzten liegt (vgl. Abbildung 3.41).

Um dieses zusätzliche Potenzial aus gesellschaftlicher Sicht optimal zu erschließen, ist die Einführung einer CO<sub>2</sub>-spezifischen Steuer auf alle Energieträger, welche die heutige MÖSt ersetzt, eine elegante und effiziente Lösung (vgl. auch Abschnitt 3.2.7).

Es ist deutlich zu sehen, dass nach ca. 2020 Biofuels der 2. Generation – sofern entsprechende Lerneffekte bezüglich der Kosten erzielt werden und die Technologien technische Reife erreicht haben – zu einer deutlichen Steigerung der Nutzung dieser vor allem auf Lignozellulose basierenden Rohstoffe führen können. Dies wird allerdings nur dann re-

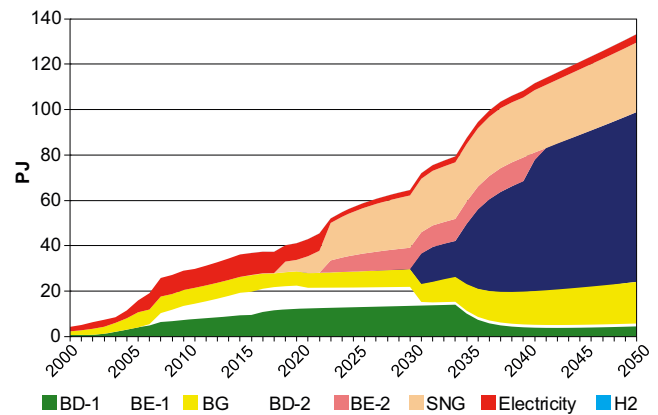
alisiert, wenn die beschriebene CO<sub>2</sub>-spezifische Steuer auf alle Energieträger implementiert wird. Damit – vor allem mit Biodiesel auf FT-Basis – können die biogenen Rohstoffe auch effizienter genutzt und höhere CO<sub>2</sub>-Einsparungen realisiert werden.

### Maßnahmen C: Verkehrsplanung/ „Soft tools im Verkehr“ zur Reduktion der THG-Emissionen in Österreich

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten möglichen Maßnahmen im Bereich „Soft tools im Verkehr“ zur Reduktion der THG-Emissionen dokumentiert.

#### Physische Mobilität von Menschen

Externe Mobilität ist ein intrinsisches Mittel zur Erfüllung von menschlichen Bedürfnissen, die nicht zu Hause erfüllt werden können. In unserer modernen Gesellschaft sind dies Ausbildung, Arbeit, Geschäftstätigkeit und Freizeit (soziale Kontakte, Erholung, Erlebnis, Sport und Bewegung etc.). Forschungsergebnisse der letzten etwa 30 Jahre legen u. a. den Schluss nahe, dass menschliche Wege von einer Stabilität der durchschnittlichen Reisezeitbudgets in der Gesellschaft dominiert werden (Zahavi und Talvitie, 1980; Hupkes, 1982; Schäfer, 2000; Metz, 2008). Aus der Erkenntnis der großteils stabil bleibenden Reisezeiten folgt die Erkenntnis, dass durch Erhöhung der Reisegeschwindigkeit keine Verkürzung von Wegedauern sondern eine Verlängerung der zurückgelegten Entfernungen erreicht wird. Im Zuge der Motorisierung führte dies zu höherem Einsatz von fossiler Energie. Die Wahl des Verkehrsmittels ist unter anderem stark geprägt durch die Erreichbarkeit der Verkehrsmittel, die Leichtigkeit eines gehenden Zu- und Abganges, der Zuteilung von Raum und Prioritäten für das Verkehrsmittel sowie weiterer Faktoren. Die Resultate von Peperna (1982) haben dem Gehen an sich und als Zu-/Abgangsmodus besondere Bedeutung zuerkannt. Sie legen nahe, dass die Fußgeherattraktivität von Straßenräumen und Stadtoberflächen ein wichtiger Stellparameter für das Verkehrssystem ist. Eine qualitativ hochwertige, Fußwege favorisierende Gestaltung der urbanen Verkehrsflächen stellt daher eine wichtige Vorbedingung umweltschonender Transportregime dar. Generell kann festgehalten werden, dass eine höhere Siedlungsdichte die Versorgung mit Alltagsbedürfnissen in Gehentfernung leichter ermöglicht.



**Abbildung 3.41** Das dynamische Potenzial alternativer Energieträger in Österreich bis 2050 basierend auf nichtkonventionellen biogenen Rohstoffen. Quelle: ALTETRÄ, Ajanovic et al., (2012a)

**Figure 3.41** The dynamic potential of alternative energy sources in Austria until 2050 based on non conventional biogene raw materials. Source: ALTETRÄ, Ajanovic et al. (2012a)

#### Möglichkeiten zukünftigen Mobilitätsmanagements

Die gesetzlichen, finanziellen und städtebauerischen Rahmenbedingungen der Vergangenheit und auch der Gegenwart haben stark automobilabhängige Mobilitätsformen stimuliert. Sie reflektieren auch die große Trägheit des kombinierten Verkehrs-Siedlungssystems gegenüber großen Veränderungen. Dabei sind viele Initiativen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit im Verkehr bereits wirksam oder im Entstehen begriffen.

Mobilitätsmanagement ist so ein Zugang, dort wo die Spielräume der bestehenden Gesetze ausgenutzt werden können, um den Personenverkehr ein Stück weit ökologischer zu gestalten. Mobilitätsmanagement kann dabei auf individueller Ebene bereits bei der Beratung zur Wohnstandortwahl einsetzen, in Bereich von biographischen Brüchen, die zu einer Neuordnung der Gewohnheiten führen (Umzug, Schuleintritt etc.) ansetzen. Mobilitätsmanagement kann auch bei Betrieben, der öffentlichen Verwaltung und Bildungseinrichtungen eingesetzt werden, wo eine bedeutsame Anzahl von Menschen auf einer regelmäßigen Basis angesprochen werden kann. In den letzten zwei Jahrzehnten ist Mobilitätsmanagement zuerst in Pilotprojekten erprobt worden. Nach erfolgreicher Evaluation wurden vom Umweltministerium Förderprogramme ins Leben gerufen, um die Zugangsschwelle zum betrieblichen Mobilitätsmanagement für interessierte Unternehmen und Behörden zu senken sowie um ihnen Unterstützung zu bieten. Zusätzlich wurden Programme für die Verbesserung von kommunaler und regionaler Mobilität initiiert. Die betrieblichen

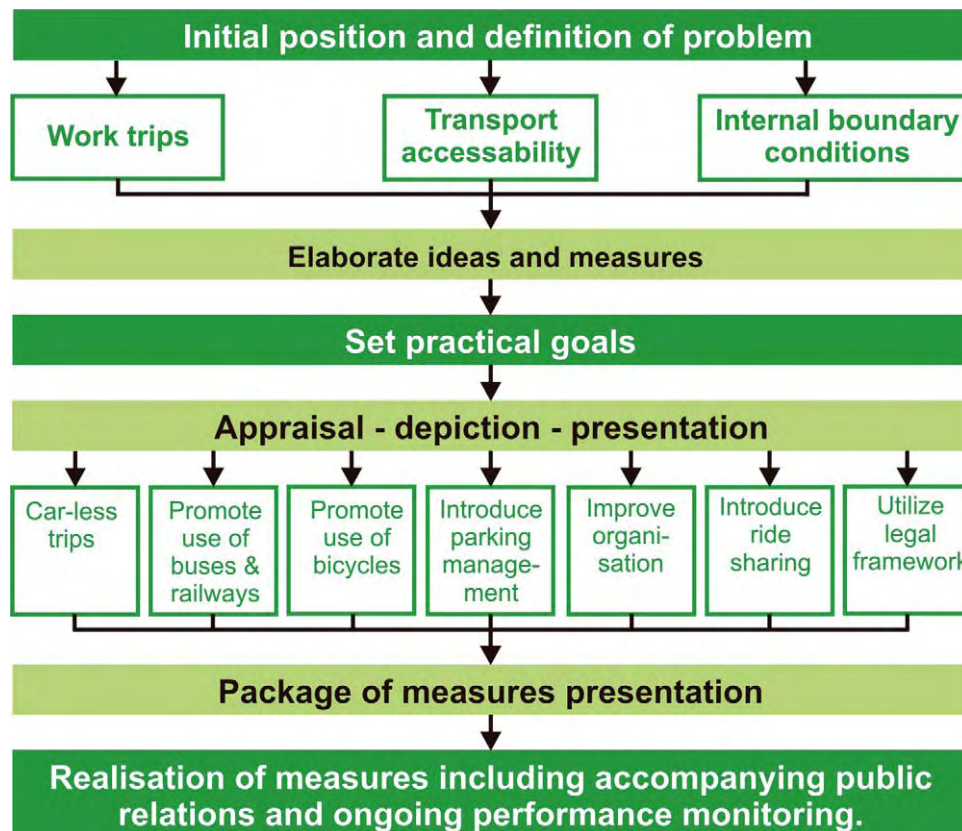


Abbildung 3.42 Bestandteile des Mobilitätsmanagementprozesses. Quelle: Modifiziert nach VCÖ: Rauh et al. (2004)  
 Figure 3.42 Parts of mobility management processes. Source: Modified from VCÖ: Rauh et al. (2004).

Programme des Mobilitätsmanagements haben sich dabei als sehr erfolgreich erwiesen.

Warum entscheiden sich Betriebe, Mobilitätsmanagement zu machen? Weil sie ihr ökologisches Außenbild verbessern wollen; weil sie sich ökologisch zertifizieren lassen wollen; weil abgestellte Autos den Zugang für KundInnen und LieferantInnen einschränken; weil die automobilfokussierte Mobilitätssituation zu Belegschaftsunmut führt; weil die Bereithaltung kostenlos angebotener Stellplätze zu teuer kommt; weil sich AnrainerInnen über die Verkehrsbelastung beschweren; weil steigende Mobilitätskosten die Gehaltserhöhungen wettmachen sowie aus weiteren Gründen (vgl. Herry et al., 2000).

Mögliche Maßnahmen des Mobilitätsmanagements sind: Stellplatz. B.ewirtschaftung, Car-Pooling, verbesserte und maßgeschneiderte ÖV-Verbindungen und Takte, Verringerung des Stellplatzangebots in Zusammenhang mit Anreizen andere Verkehrsmittel zu benutzen, betriebsinterne Wettbewerbe und anderes mehr. Abbildung 3.42 zeigt schematisch den Prozess zur Umsetzung von Mobilitätsmanagement.

### Logistik im Güterverkehr

Gemäß der Güterverkehrsstatistik der Statistik Austria (Statistik Austria, 2011) sind 40 % der Fahrten von Güterverkehrsfahrzeugen Leerfahrten. Die hohe Intensität des Straßengüterverkehrs und das hohe Potential für Beladungsverbesserungen legen die Umsetzung von Güterverkehrspolitik zur Reduktion der spezifischen Emissionen sowie die Verlagerung auf andere Verkehrsträger nahe. Um die CO<sub>2</sub>-Intensität zu reduzieren ist es gemäß Leonardi et al. (2004) notwendig den Indikator der Fahrzeugeffizienz Tonnen-km (tkm) pro Massen-km (mkm) zu verbessern. Massen-km setzen sich aus transportiertem Gut und Fahrzeug zusammen.

Die Fahrzeugeffizienz liegt im Schnitt bei 0,36 tkm/mkm mit einer Spannweite von 0,28 tkm/mkm (Lkw <40 t) bis 0,40 tkm/mkm (Lkw >40 t). Leonardi et al. (2004) schätzen auch, dass ein Anstieg der Effizienz von 0,36 auf 0,50 tkm/mkm zu einer Emissionsreduktion um 20 % führt.

Zanni et al. (2010) führen einige Beispiele von Straßenverkehrsmaßnahmen und deren Reduktionspotential an.

Fahrertrainings und die Umsetzung von sogenannten „Urban Consolidation Centres“ versprechen eine Reduktion des Treibstoffverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 10 %. Wenn verbessertes computergesteuertes Routing, Scheduling und Tracking von Gütertransporten eingeführt wird, ist ein Potential von –10 % abrufbar. Werden Reifendruck und Fahrzeugaerodynamik optimiert, sind 30 % Reduktion drinnen. Low-Emission Fahrzeuge und Effizienzmaßnahmen werden mit einem Reduktionspotential von 25 bis 50 % beziffert. Nachdem bei Umsetzung all dieser Maßnahme von keiner linearen Aufsummierung der Einsparpotentiale auszugehen ist, geben die Autoren eine maximale Reduktion von 60 % an.

### Maßnahmen D: Möglichkeiten im fiskalischen Bereich (Steuern und Subventionen) zur Reduktion der THG-Emissionen in Österreich

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten möglichen Maßnahmen im fiskalischen Bereich (vor allem Steuern und andere Abgaben aber auch Förderungen) zur Reduktion der THG-Emissionen dokumentiert.

Dazu sei festgestellt, dass Steuern – vor allem auf Kraftstoffe – zwar die dominierende Maßnahme in dieser Kategorie darstellen, darüber hinaus aber eine Fülle weiterer Optionen für ökonomische Maßnahmen und fiskale Steuerungselemente existiert: Ökosteuern, Fahrzeugkosten (Versicherung), Subventionsabbau, Pendlerpauschalen, Mautgebühren, LKW-Road Pricing, Radverkehrsförderungen usw.

Bevor Verteuerungen (z. B. Erhöhungen von Abgaben) diskutiert werden, ist auf das hohe Ausmaß an kontraproduktiven Subventionen hinzuweisen. Für Österreich werden diese für den Straßenverkehr mit jährlich 5 % des BIP quantifiziert (!) (Steinger und Pretenthaler, 2003; Köppl und Steinger, 2004). In dieser Größenordnung trägt die Allgemeinheit Kosten, die nicht den StraßenverkehrsnutzerInnen direkt weitergegeben werden. Es handelt sich um Subventionen (entweder explizit fiskalisch, oder durch ordnungsrechtliche Regelungen implizit), die aus anderen Gründen eingerichtet wurden und nunmehr verkehrspolitisch kontraproduktiv wirken. Etwa erfordern die Bau- bzw. Garagenordnungen der Länder die Errichtung von PKW-Abstellplätzen bei Neuerrichtung von Wohngebäuden und Firmenanlagen und zwar unabhängig vom tatsächlichen Bedarf oder der Anbindung an öffentliche Verkehrsmittel. Somit wird auch aus Mitteln der Wohnbauförderung die Garagenerrichtung getragen, diese Kosten werden den PKW-NutzerInnen nicht angelastet, wodurch eine de facto Subventionierung des PKW-Verkehrs durch Nicht-NutzerInnen erfolgt. Das verkehrlich kontraproduktive För-

dervolumen macht österreichweit 145 bis 175 Mio. €/Jahr aus. Im Zuge der Errichtung der autofreien Mustersiedlung in Wien war dieses Bundesland das erste, das die begründete Aufhebung dieser Bindung nunmehr zulässt. Auch der Ansatz des pauschalierten Kilometergeldes sowohl für Dienstreisen öffentlich Bediensteter als auch als Berechnungsgrundlage für die steuerliche Abschreibung ist insofern als kontraproduktive Förderung zu werten, weil die Höhe des Kilometergeldes explizit nicht nur die variablen (zusätzlichen) Kosten abgilt, sondern auch anteilig die Fixkosten des für berufliche Zwecke genutzten privat-PKW's, und somit die Verkehrsmittelwahl deutlich in Richtung Mehr-Nutzung des PKW's verzerrt wird. (Fördervolumen 110 Mio €/Jahr). Die weiteren kontraproduktiven Förderschienen speisen sich aus der Wohnbauförderung und der Raumordnung (sofern diese auf keine verkehrlichen Charakteristiken abstellen; dieses Förderelement macht gesamt bis zu 270 Mio €/Jahr aus), der Pendlerpauschale, der Straßeninfrastruktur, der Übernahme der medizinischen Behandlungskosten nach Unfällen durch die allgemeine Sozialversicherung (und nicht die KFZ-Haftpflicht), sowie die Grundsteuerbefreiung von Verkehrsflächen (Förderelement gesamt bis zu 9,7 Mrd. €/Jahr).

Gebetsroither et al. (2007) stellen die Wirksamkeit der zehn wichtigsten denkbaren verkehrspolitischen Ansätze (ordnungs- und fiskalpolitisch) gegenüber, und kommen vor allem zum Schluss, dass bei der Quantifizierung der Wirkung einer Erhöhung der Mineralölsteuer zwischen einem Effekt der Verkehrsverlagerung, der dadurch im inländischen Verkehr erreicht wird und einem Effekt der über die Veränderung des Treibstoffexports im Tank erreicht wird (Haupteffekt).

Für eine fahrleistungsabhängige Kilometerabgabe (PKW-Road Pricing) im Personenverkehr spricht die Erfassung aller Fahrzeuge in Österreich, im Vergleich zu einer MSt-Erhöhung das nicht-Auslösen von Ausweichreaktionen im Tankverhalten ins Ausland, sowie die zeit- und damit belastungsabhängige Gestaltbarkeit (je nach technischer Umsetzung). Die Wirksamkeit wurde in mehreren Simulationsstudien klar gezeigt (Kalinowska und Steinger, 2009; Steinger et al., 2007a), wobei vor allem auch herausgearbeitet wurde, dass die Verteilungswirkungen zwar allgemein durchaus progressiv sind (also die reicheren Haushalte einen überproportional großen Anteil der Last tragen und nicht die ärmeren wie vielfach argumentiert), dass es aber „Gefangene“ in allen Einkommensklassen gibt, die durch – nicht verkehrsbezogene (!) – Transfers bei der Verfolgung einer solchen Politik zu berücksichtigen sind. (Steinger et al., 2005; Steinger et al., 2007a).

Auch der Übergang auf Dienstleistungskonzepte anstelle des Besitzes von Fahrzeugen (Car-Sharing Konzepte) hat in

**Tabelle 3.7** Einfluss verschiedener Arten von fiskalpolitischen Instrumenten auf unterschiedliche Komponenten von Mobilitätsbedarf. Quelle: Ajanovic et al. (2012a); VTPI (2010)

**Table 3.7** Influence of different types of fiscal political instruments on the components of mobility supply. Source: Ajanovic et al. (2012a); VTPI (2010)

Type of Impacts	Vehicle Fees	Fuel Price	Fixed Toll	Congestion Pricing	Parking Fee	Transit Fares
Vehicle ownership. Consumers change the number of vehicles they own.	X	X			X	X
Vehicle type. Motorist chooses different vehicle (more fuel efficient, alternative fuel, etc.)	X	X				
Route Change. Traveler shifts travel route.			X	X	X	
Time Change. Motorist shifts trip to off-peak periods.				X	X	
Mode Shift. Traveler shifts to another mode.		X	X	X	X	X
Destination Change. Motorist shifts trip to alternative destination.		X	X	X	X	
Trip Generation. People take fewer total trips (including consolidating trips).		X	X	X	X	X
Land use changes. Changes in location decisions, such as where to live and work.			X		X	X

Österreich bereits eine lange Tradition. Aus den Anfängen als privater Verein (AutoTeilen) übernahm später der größte Fahrzeugimporteur (DenzelDrive) den Vertrieb dieses Konzepts, welcher 2012 durch den Weltmarktführer (ZipCar) aufgekauft wurde. Zu hinterfragen ist bei diesen Konzepten (wie auch bei ähnlichen ohne fixen Standplätze aber größerer Fahrzeugzahl, etwa Car2Go) die Nettowirkung aus (a) verringerter PKW-Nutzung (verglichen mit dem Besitz eines eigenen PKW) und (b) vermehrter Nutzung (durch Personen, die ohne solch ein Konzept gar kein Fahrzeug zur Verfügung hätten). Steininger et al (1996) und Steininger und Novy (1997) belegen in der Auswertung eines Feldversuchs, dass der erste Effekt deutlich überwiegt. Prettenhaler und Steininger (1999) argumentieren, dass das Potenzial in Österreich noch deutlich ausweitbar erscheint.

Für den Güterverkehr wird für Österreich innerhalb einer Kooperation mit der OECD („Environmentally Sustainable Transport“) gezeigt, dass auch eine substantielle THG-Emissionsreduktion (–80 % im 40-Jahr-Zeithorizont) ökonomisch durchaus bewältigbar ist, wenn nachfrageseitige und technologische Pfade simultan aktiviert werden (Friedl und Steininger, 2002).

Als ein Instrument wird auch die Ausweitung der LKW-Maut flächendeckend diskutiert. Diese Ausweitung diskutieren Steininger et al. (2012) in den politisch denkbaren Varianten und kommen zum Schluss, dass die Inflationwirkung mit unter 0,15 % vernachlässigbar wäre, die Fahrleistungs- und somit die Emissionsreduktion) bei 2 % liegen würde, dieses

Instrument aus Gerechtigkeitsaspekten jedoch simultan mit regionalen Transfers einzurichten wäre, wenn periphere Regionen dadurch nicht schlechter gestellt werden sollen (die sonst eine überproportionale Last zu tragen hätten).

In Bezug auf die Vielzahl von möglichen pricing schemes und fiskalpolitischen Instrumenten auf unterschiedliche Komponenten des Mobilitätsbedarfs gibt Tabelle 3.7 einen Überblick. Dazu sei festgestellt, dass die Effekte dieser verschiedenen Politiken auf den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch nicht voll untersucht wurden, bisherige Erfahrungen aber zumindest ausreichende Erkenntnisse für die groben Effekte erlauben.

Ökonomische Anreize und fiskalische Instrumente im Verkehr können unterschiedliche Effekte bewirken. Fiskalische Instrumente können in erster Linie als Benutzerabgaben zur Abdeckung der Investitionen in die Infrastruktur gesehen werden und in zweiter Linie zur Internalisierung der hohen externen sozialen Kosten des Verkehrs herangezogen werden (z. B. EEA, 2008b). Drittens haben fiskalische Instrumente einen Steuerungseffekt und können zu Verhaltensänderungen oder zu einer Reduktion der Nachfrage von jenen Verhaltensmuster führen, die hohe externe soziale Kosten verursachen. In der ökonomischen Theorie wird postuliert, dass fiskalische Instrumente, die die sozialen Kosten nachvollziehbar abbilden, immun gegen „Rebound-Effekte“ sind. Allerdings, wenn nur eine Kategorie der externen Kosten durch fiskalische Instrumente abgedeckt wird (z. B. THG Emissionen) muss das nicht zwangsläufig auch andere externe Kosten verbessern



(z. B. Staus oder Raumbedarf des motorisierten Verkehrs in Innenstädten).

### Kraftstoffsteuern und Carbon Pricing

In Bezug auf Kraftstoffsteuern wird oft argumentiert, diese seien unwirksam, weil die AutofahrerInnen nicht auf Preisänderungen reagieren würden. Gegen dieses Argument und für die Wirksamkeit von Kraftstoffsteuern sprechen die folgenden Argumente:

Der Kraftstoffverbrauch in Europa (wo Kraftstoff praktisch in jedem Land merklich besteuert ist) ist deutlich geringer als in den USA (wo Kraftstoff praktisch nicht besteuert ist); Kraftstoffsteuern in Europa waren ein Grund warum sowohl der Kraftstoffverbrauch als auch die CO<sub>2</sub> Emissionen der PKWs in Europa geringer waren als in den USA (Ajanovic et al., 2011).

Analysen verschiedener Autoren in der Literatur (z. B. Sterner, 2007; Dahl und Sterner, 1991; Dahl, 2012) zeigen, dass langfristige Preiselastizitäten in Größenordnungen zwischen -0.3 und -0.6 liegen und damit zu Energieeinsparungen von 30 % bis 60 % durch die Einführung von Kraftstoffsteuern führen.

Schließlich haben die weltweiten Rückgänge im Erdölverbrauch zu Zeiten hoher Ölpreise vor allem von 1979 bis 1985 auch im Transportsektor gezeigt, dass es eine eindeutige Preiselastizität gibt.

Wir denken, dass diese Argumente ausreichend sind, um die Einführung höherer Kraftstoffsteuern, die im Sinne einer effektiven CO<sub>2</sub>-Reduktion Carbon-spezifisch sein sollten, ausreichen.

### Fahrzeugbesteuerung und Subventionen

Fahrzeugbesteuerung kann für die Regulierung des Fahrzeugbesitzes herangezogen werden. Nachdem die meisten Infrastruktur- und Sozialkosten durch die Fahrzeugbenutzung verursacht werden, nicht durch den Fahrzeugbesitz, wird die Fahrzeugbesteuerung als suboptimales Steuerungsinstrument angesehen. Eine entsprechend gestaltete Fahrzeugbesteuerung kann jedoch nicht verfügbare „first-best-pricing“ Instrumente erfolgreich abbilden. Eine hohe Fahrzeugbesteuerung limitiert die Fahrdurchdringung. In Dänemark zum Beispiel ist die Fahrzeugbesteuerung höher und der Fahrzeugbesitz niedriger als in den USA. Ein weiteres Beispiel sind Städte und Ballungsräume hoher Dichte, wie etwa Singapur oder Shanghai, die den Fahrzeugbesitz über die Versteigerung von Zulassungen regulieren (GEA, 2012).

### Straßenbenutzungsabgaben

Straßenbenutzungsabgaben oder „road pricing“ basieren darauf, dass für die Benützung der Straße die tatsächlich anfallenden Kosten abgedeckt werden, etwa höhere Kosten bei Stau oder niedrigere bei wenig Verkehr. Die Einrichtung von Staugebühren ist eine Form des Mobilitätsmanagement mit dem Ziel den Kraftfahrzeugverkehr zu reduzieren oder auf umweltverträglichere Verkehrsmittel zu verlagern, in Spitzenzeiten im Personen- und Güterverkehr den Stau zu reduzieren, die Fahrzeiten zu verkürzen und Emissionen zu. Bei einer City-Maut würden die Straßenbenutzungsabgaben nicht eine Reduktion der Staus bewirken, sondern wären auch eine effiziente Maßnahme um andere externe Effekte, unter Einbeziehung der Luftverschmutzung, der Lärmbelastung, der Unfälle und der THG-Emissionen zu internalisieren. Die besten Wirkungen können Straßenbenutzungsabgaben in Verbindung mit anderen Maßnahmen wie Verbesserungen im Öffentlichen Verkehr, Bereitstellung von Infrastruktur für den Rad- und Fußgängerverkehr, erreicht werden, um eine modale Verlagerung zu unterstützen. Technisch gesehen führt die kombinierte Anwendung von „push“ Maßnahmen (road pricing) und „pull“ Maßnahmen (Investitionen in ÖV und nicht motorisierten Verkehr) zu Synergien über eine Reduktion der Nachfrageelastizitäten führen, zu reduzierten Opportunitätskosten bei der Benützung von PKWs und zur Steigerung der allgemeinen Wohlfahrt beitragen. Eine aktive Kommunikation und die Einbeziehung der EntscheidungsträgerInnen sind für den Erfolg von Straßenbenutzungsabgaben entscheidend und muss wirksam angewendet werden um Unterstützung zu bekommen und die Bewusstseinsbildung zu fördern (GEA, 2012). Weitere umfassende Analysen sind in Steininger et al. (2005), Kalinowska und Steininger (2009)) dokumentiert.

Sowohl Gestaltungs- als auch Verteilungseffekte spielen eine wichtige Rolle im politischen Erfolg von road pricing und City-Maut. In Hong Kong wurde die Idee einer City-Maut aufgegeben, da die Bevölkerung unter anderem befürchtete, dass ihre Bewegungen aufgezeichnet werden könnten. Die City-Maut erfährt wahrscheinlich eine höhere Akzeptanz, wenn die Einnahmen für alternative Verkehrsmittel wie Öffentlicher Verkehr oder nicht motorisierter Verkehr verwendet werden und damit die Opportunitätskosten der VerkehrsteilnehmerInnen reduziert werden. Im Gegensatz zu Stockholm wurde eine City-Maut in Edinburgh abgelehnt. AutofahrerInnen waren vehement gegen eine City-Maut und betonten die hohen Kosten der City-Maut während weder AutofahrerInnen noch BenutzerInnen des Öffentlichen Verkehrs die Maßnahme aufgrund der zukünftigen Vorteile befürworteten (Verlustaversi-

on). In diesem Fall fehlte eine solide Kommunikationsstrategie mit klaren Zielen. Andere entscheidende Erfolgskriterien beinhalten die Einrichtung einer Umsetzungsagentur und die Einbeziehung von (lokalen) Testimonials in den Prozess. Die Gestaltung sollte Rücksicht auf den räumlichen Anwendungsbereich und die WählerInnen nehmen. Beides, Beratung und Gestaltung sind für den Prozess notwendig und, dementsprechend, sollte das Projekt einfach gehalten sein (GEA, 2012).

### 3.2.6 Zentrale Maßnahmen für Adaptation und Mitigation

Der Verkehrssektor war in Österreich und in der EU insgesamt in den letzten Jahren der Sektor mit der ungünstigsten Entwicklung der THG-Emissionen. Verschiedene Maßnahmen, insbesondere regulative Instrumente wie Standards für CO<sub>2</sub>-Emissionen von PKW, Beimischung von Bio-Kraftstoffen, aber auch Maßnahmen im Rahmen von Mobilitätsmanagement (klima:aktiv mobil, www.klimaaktiv.at) haben zu einer leichten Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich seit 2005 geführt, die aber bei weitem nicht ausreichend sind, um mittel- und langfristige Ziele zu erreichen. 2010 war wiederum ein leichter Anstieg um 3 % im Vergleich zu 2009 fest zu stellen (BMLFUW, 2012).

Eine substantielle Reduktion der THG-Emissionen des Verkehrs bis 2050 wird nur durch ein optimiertes Politikportfolio ermöglicht. Dieses hat als zentrales Ziel – neben der Verkehrsvermeidung (Reduktion der zurückgelegten Distanz) – den Umstieg auf effiziente Verkehrsträger (öffentlichen Verkehr) sowie den Einsatz von „Zero-Emission-Fahrzeugen“ und regenerativer Energie. Ein zentraler Aspekt dieses Portfolios sind geeignete ökonomische Rahmenbedingungen. Neue Preis- (für den motorisierten Individualverkehr) und Tarifsysteme (für den öffentlichen Verkehr) sind notwendig, um Anreizsysteme für einen Umstieg vom motorisierten Individualverkehr auf den öffentlichen Verkehr und auf Zero-Emission-Fahrzeuge zu fördern.

Mehrere Arbeiten befassen sich mit den unterschiedlichen Maßnahmen und (politischen) Instrumenten (u. a. Hausberger und Schwingshackl, 2011; Streicher et al., 2010; Ajanovic et al., 2011).

Als eine wichtige Gruppe an Maßnahmen und Instrumenten werden Maßnahmenbündel aus fiskalischen Instrumenten angeführt. In Bezug auf neue Preissysteme für den motorisierten Individualverkehr kommen alle untersuchten Studien zu ähnlichen Prioritäten.

- Vorrangig eine höhere bzw. über die nächsten Jahrzehnte kontinuierlich ansteigende Kraftstoffsteuer. In diesem Kontext ist anzumerken, dass Österreich diesbezüglich – mit geringeren Steuern (Mineralölsteuer – MöSt) im Vergleich zu den Nachbarländern – ohnehin einen Nachholbedarf hat. Angedacht wird auch die Umstellung der MöSt auf eine CO<sub>2</sub>-basierte Abgabe.
- Eine Ergänzung der MöSt durch eine verbrauchsabhängige Zulassungssteuer, die den Trend zu größeren Fahrzeugen aufgrund besserer Effizienz mindern soll, sowie eine Ergänzung durch „Road-Pricing“ in den großen Städten.
- In Bezug auf Vergünstigungen ist die bevorzugte Behandlungen von Dienstfahrzeugen rigoros zu beseitigen. Jedenfalls soll hier der steuerliche Anreiz deutlich zugunsten kleinerer Fahrzeuge und des öffentlichen Verkehrs verschoben werden (siehe auch: Mobilitätsmanagement).
- Die Pendlerpauschale, die in der derzeitigen Form mitunter ein Motor der Ausdehnung der Siedlungsräume rund um die Ballungsräume ist, ist zu streichen, bzw. aufkommensneutral mit Steuerbegünstigungen für niedrige Einkommensklassen sowie mit Anreizen für die ÖV-Nutzung umzugestalten.
- Entwicklung neuer Konzepte und Intensivierung der Parkraumbewirtschaftung.
- Vereinfachung der Tarife im öffentlichen Verkehr sowie systematischer Ausbau der Anreizsysteme für Zeitkarten.

Ein Großteil der Arbeiten geht von einer deutlichen Wirkung der Preissignale aus, die bei einer Verteuerung der energie- und THG-intensiven Mobilitätsformen zu einer Reduktion der Fahrleistung (zurückgelegt Kilometer) und/oder zur Verlagerung auf andere Verkehrsmittel (nicht motorisierter Verkehr, Öffentlicher Verkehr) führen wird. Unsicher ist jedoch die Auswirkung bei der Änderung der Preissignale in der Zeitachse: Führt eine rasche Änderung nicht zur Armutsgefahr bestimmter Bevölkerungsgruppen und/oder zum Ausschluss an der Teilnahme bestimmter Aktivitäten für diese Bevölkerungsgruppen? Führt eine langsame Änderung der Preissignale nicht zu einer Gewöhnung an hohe Preise für bestimmte Mobilitätsformen und somit zu einem geringeren Effekt als erwünscht und/oder angenommen – zumindest bei ausgewählten Bevölkerungsgruppen? Diese Fragen werden nur ansatzweise diskutiert; hier besteht noch Klärungs- bzw. Forschungsbedarf.

Als weitere bedeutende Gruppe an Maßnahmen und Instrumenten wird ein Maßnahmenbündel zur Verkehrsverlagerung im Personenverkehr angeführt:

In Bezug auf raumplanerische und regulierende Maßnahmen sind generelle flächensparende und Siedlungsdichten

erhöhende Maßnahmen sowie Maßnahmen der Funktionsmischung umzusetzen. Bauland darf nur noch dort gewidmet werden, wo eine adäquate Erreichbarkeit mit dem öffentlichen Verkehr gegeben ist. Herstellung der Chancengleichheit des öffentlichen Verkehrs durch Siedlungsstrukturen der kurzen Wege, niedrige Geschwindigkeiten und Funktionsmischung sowie adäquate Finanzierung.

Weitere wichtige Maßnahmen sind:

- Ausbau und Attraktivierung des ÖV.
- Ausbau multimodaler Verkehrssysteme und -knoten, (vgl. Steininger et al., 2007b).
- Mobilitätsmanagement in Betrieben.
- Förderung des Radverkehrs (Bau neuer Strecken bzw. Lückenschlüsse in den Radverkehrsnetzen, Fahrradabstellplätze).
- Informationssysteme
- Öffentlichkeitsarbeit

Die relativ allgemeine Maßnahme „Ausbau und Attraktivierung des Öffentlichen Verkehrs“ setzt, insbesondere auch im suburbanen und ländlichen Raum, eine Festlegung von festgelegten Ausbau- oder Qualitätskriterien voraus. Daraus wäre auch eine „Mobilitätsgarantie ohne eigenem PKW“ ableitbar, die bestimmte Qualitätskriterien je nach räumlicher Situation enthalten könnte (bis hin zu kommunalen PKWs). Hierzu gibt es derzeit kaum fundierte Arbeiten, ein entsprechender Forschungs- und Klärungsbedarf zur Vertiefung dieser Frage ist gegeben.

Als weitere bedeutende Gruppe an Maßnahmen und Instrumenten wird ein Maßnahmenbündel zur Verkehrsverlagerung im Güterverkehr angeführt:

- Maßnahmen zur Verbesserung der Logistik, speziell der intermodalen Transportmittelnutzung.
- Erhöhung der Auslastung der Transportmittel (gewicht- und volumsmäßig).
- Attraktivierung der Nutzung von Bahn und Binnenschiff (Donau) durch Ausbau der Bahn- (auch von Anschlussbahnförderungen) und Schifffahrtinfrastruktur (Hafen).

Eine effizientere KFZ Nutzung als Maßnahmenpaket sieht vor:

- Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 100/110 km/h am hochrangigen Netz (mit derzeitiger gültiger Geschwindigkeitsbeschränkung von 130 km/h bzw. die höher als 110 km/h ist).

- Kontinuierliche Steigerung der Effizienz von Fahrzeugen, so dass das EU-Ziel für die Flottenemissionen von 87 g/km in 2020 von der österreichischen PKW-Flotte unterboten wird.

Fahrzeuge mit neuen Emissionsstufen und besonders verbrauchsgünstige Nutzfahrzeuge sollen bei Maut oder anderen Abgaben bevorzugt werden. Eine dazu nötige Normierung der Verbrauchsangaben für Nutzfahrzeuge ist auf EU-Ebene aktiv zu unterstützen.

Der letzte große Block an Maßnahmen umfasst den Bereich „effizientere Technologie“:

- Erhöhte Anwendung alternativer Kraftstoffe und steigender Anteil von elektrisch betriebenen PKWs und LNF.
- Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der „Bio-Kraftstoffe“ sollen in der gesamten WTT-Erzeugungskette soweit reduziert werden, dass sie bis 2020 70 % weniger als fossile Kraftstoffe emittieren; Nachhaltigkeitskriterien für Bio-Kraftstoffe sind anzuwenden.
- Die Relevanz alternativer Kraftstoffe – vor allem von Bio-Kraftstoffen, Wasserstoff und Erdgas – wird ebenso wie jene alternativer Antriebssysteme – vor allem reiner E-Fahrzeuge und Brennstoffzellenantriebe – zumindest bis 2030 in moderatem Rahmen bleiben. Daher sind die davor beschriebenen Maßnahmen kurz- und mittelfristig die wesentlichen Instrumente zur Senkung des Energieverbrauches und der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor.
- Da eine Elektrifizierung im Straßengüterverkehr derzeit nicht sinnvoll darstellbar ist, stellen Biokraftstoffe in diesem Sektor, sowie bei mobilen Maschinen, derzeit die wesentliche Alternative dar.

---

### 3.3 Anforderungen an Forschung und Entwicklung

#### 3.3 Further research needs

---

Forschung, Technologieentwicklung und Innovation wird eine zentrale Rolle bei den notwendigen Veränderungsprozessen in allen Aktionskategorien spielen. Verbesserte bzw. oftmals völlig neue Technologien sind gefragt. Aber auch ein tieferes Verständnis der Ursachen und Folgen, Grundlagen für neue oder verbesserte Zukunftsstrategien, sowie begleitende Forschung zu Veränderungsprozessen sind wichtige Beiträge der Forschung.

Das wurde in Österreich sowohl in der Strategie der Bundesregierung für Forschung, Technologie und Innovation

verankert als auch vom Rat für Forschung und Technologieentwicklung so gesehen, der in seiner publizierten Energieforschungsstrategie den Anspruch für die Energieforschung hoch ansetzt: „Making the Zero Carbon Society Possible“. In dieser Strategie werden auch prioritäre Technologiebereiche genannt, die für eine zukunftsfähige Energieentwicklung erforderlich sind:

- Steigerung der Energieeffizienz (Gebäude, Endverbrauch, Industrie)
- Nachhaltige Mobilitätssysteme
- Erneuerbare Energieträger
- Verbesserte Energieverteilung und -speicherung (Smart Grids)
- Smart Cities, als Beispiel der verbraucherseitigen Systemintegration

Für eine wirklich erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse sind alle Phasen des komplexen Innovationsprozesses im Auge zu behalten. Zum einem sind für riskante „emerging technologies“ ausreichend Grundlagenforschung zur Verfügung zu stellen. Andererseits ist oft mit einem erfolgreichen Pilotprojekt noch kein Marktantritt gewährleistet. Es droht nach erfolgreicher Entwicklung und vor der Markterschließung die kritische Phase des „Tal des Todes“, die mit entsprechenden Maßnahmen überbrückt werden muss. Entsprechende Sicherheiten bei weiteren Investitionen, geeignete Rahmenbedingungen sowie Impulse durch die öffentliche Hand als Beschaffer (precommercial public procurement) können hier eine entscheidende Rolle spielen. Aber auch begleitende Forschung in Einführungsphasen in Form von sogenannten „Living Labs“ kann eine sichere Markteinführung gewährleisten.

Doch nur Technologiefelder zu entwickeln ist zu wenig. Ein umfassender Wandel erfordert auch die Umgestaltung des Gesamtsystems. Das heißt, die unterschiedlichen Sektoren und Technologiesysteme sind so in ein Gesamtsystem zu integrieren und zu vernetzen, dass ein Gesamtoptimum im Sinne der Zielsetzungen erreicht wird. Besonders im Zusammenhang mit der Volatilität von erneuerbaren Energieträgern, aber auch die zeitlich sehr unterschiedlichen Bedarfsverläufe erfordern Flexibilität und Speicherfähigkeit des Gesamtenergiesystems. Die erforderliche „Smartness“ der Systeme wird durch verstärkte Integration von IKT-Lösungen gewährleistet. Daraus resultieren Forschungsfragestellungen im Bereich der Elektrizität wie z. B. Smart Grids, Building to Grids oder auch die Verbindung zu anderen Energieträgern, wie bei Power to Gas.

Systemische Veränderungen benötigen technologische Entwicklungen, soziale Veränderungen und partizipative Prozesse,

die durch FTI-Maßnahmen maßgeblich unterstützt werden können. Um entsprechende Effekte zu erzielen erscheint eine deutliche Erweiterung der Forschungsaktivitäten um insbesondere integrativ und fachübergreifend durchgeführte, längerfristige Forschungs- und Technologieschwerpunkte sinnvoll und geboten. Sie wären im günstigen Fall von mehreren Ministerien bzw. der Bundesregierung zu tragen.

Die Klima-, Energie- und Ressourcenfrage ist eine gesellschaftliche Herausforderung, die uns sicher über mehrere Jahrzehnte beschäftigen wird. Daher ist besonders im FTI-Bereich auf langfristige Strategien und kontinuierliche Budgetierungen zu achten. Insbesondere beim Aufbau von wissenschaftlichen Humanressourcen und Technologieführerschaften ist dies von Bedeutung.

Neben thematischen Forschungs- und Technologieprogrammen sind auch Förderungen von Forschungsinfrastruktur, Unterstützung der internationalen Zusammenarbeit sowie neue Schwerpunkte in der Grundlagenforschung erforderlich. Auf ein ausgewogenes Verhältnis von Grundlagenforschung, technologischer Forschung und systemorientierter Transitionsforschung ist Bedacht zu nehmen.

Zur effektiven Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse ist auf einen effizienten Wissenstransfer (unter Anwendung des Open Access Approach), auf Verbesserungen im Ausbildungsbereich sowie geeignete innovationsfördernde Rahmenbedingungen zu achten.

Wichtige Fragestellungen können nur in europäischer Zusammenarbeit gelöst werden. Dies erfordert verstärkte internationale Zusammenarbeit, nicht nur auf Projektbasis sondern auch im Sinne eines gemeinsamen Forschungsraums auf Ebene der Programme und Fördereinrichtungen

Von Seiten der Förderstruktur war der 2007 geschaffenen Energie- und Klimafonds, der interministeriell und Innovationsphasen übergreifend arbeitet, eine international positiv bewertete Maßnahme, die eine deutliche Beschleunigung der Innovationen im Bereich der Energie- und Mobilitätstechnologien bewirken kann. Österreich hat in einigen Bereichen bereits eine international anerkannte Vorreiterrolle erlangt, die eine gute Basis für wirkungsvolle Umsetzungen und dem weiteren Erschließen globaler Märkte ist.

### 3.4 Literaturverzeichnis

### 3.4 References

- Ajanovic, A., Haas, R., Bunzeck, I., van Bree, B., Furlan, S., Toro, F., et al., 2011. Alter-motive: final report.
- Ajanovic, A., Dahl, C., Schipper, L., 2012a. Modeling transport (energy) demand and policies – an introduction. *Energy Policy* 41, 3–16.
- Ajanovic, A., Schipper, L., Haas, R., 2012b. The impact of more efficient but larger new passenger cars on energy consumption in EU-15 countries. *Energy* 48, 346–355. doi:10.1016/j.energy.2012.05.039
- Ajanovic, A., Haas, R., Beermann, M., Jungmeier, G., Zeiss, C., 2012c. ALTETRÄ-Perspectives for Alternative Energy Carriers in Austria up to 2050.
- Ajanovic, A., Haas, R., 2012d. Effective CO2 Reduction Policies for Passenger Car Transport based on Evidence from Selected OECD Countries, IAEE International Conference, Perth, Australia, 24–27 June.
- Auer, H., 2010. Energy-Trend, Im Auftrag der APG, EEG Wien.
- Alakangas, E., Heikkinen, A., Lensu, T., Vesterinen, P., 2007. Biomass fuel trade in Europe Summary Report (EUBIONET II project No. VTT-R-03508-07). VTT Technical Research Centre of Finland, Jyväskylä, Finland.
- Bachner, G., Bednar-Friedl, B., Birk, S., Feichtinger, G., Gobiet, A., Gutschi, C., Heinrich, G., Kulmer, V., Leuprecht, A., Prettenthaler, F., Rogler, N., Schinko, T., Schüppel, A., Stigler, H., Themeßl, M., Töglhofer, C., Wagner, T., 2013. Impacts of Climate Change and Adaptation in the Electricity Sector - The Case of Austria in a Continental European Context (EL.ADAPT) (Wegener Center Scientific Report No. 51-2013). Wegener Center Verlag, Graz.
- Bednar-Friedl, B., Koland, O., Steininger, K. W., 2011. Urban sprawl and policy responses: a general equilibrium analysis of residential choice. *Journal of Environmental Planning and Management* 54, 145–168. doi:10.1080/09640568.2010.502766
- Bundesfinanzgesetz, 2012. Bundesgesetz über die Bewilligung des Bundesvoranschlags für das Jahr 2013 (Bundesfinanzgesetz 2013 - BFG 2013) samt Anlagen.
- BFW (Ed.), 2011. Waldinventur 2007/2009, BFW Praxisinformation. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Wien.
- BgBl, 2003. II Nr. 508/2002: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen festgesetzt werden.
- BgBl, 2006. I Nr. 105/2006: Bundesgesetz, mit dem das Ökostromgesetz, das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz und das Energie-Regulierungsbehördengesetz geändert werden (Ökostromgesetz-Novelle 2006).
- BgBl, 2006. II Nr. 401/2006: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle in den Kalenderjahren 2006 und 2007 verpflichtet ist (Ökostromverordnung 2006).
- BgBl, 2008. II Nr. 59/2008: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle im Kalenderjahr 2008 verpflichtet ist (Ökostromverordnung 2008).
- BgBl, 2008. I Nr. 114/2008: Bundesgesetz, mit dem das Ökostromgesetz geändert wird (2. Ökostromgesetz-Novelle 2008).
- BgBl, 2009. II Nr. 53/2009: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle im Kalenderjahr 2009 verpflichtet ist (Ökostromverordnung 2009).
- BgBl, 2010. II Nr. 42/2010: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle bis Ende des Jahres 2010 verpflichtet ist (Ökostromverordnung 2010 - ÖSVO 2010).
- BgBl, 2011. II Nr. 25/2011: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle im Jahr 2011 verpflichtet ist (Ökostromverordnung 2011 - ÖSVO 2011).
- BgBl, 2011. II Nr. 471/2011: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle im Jahr 2012 verpflichtet ist (Ökostromverordnung 2012 - ÖSVO 2012).
- BgBl, 2012. I Nr. 103/2012: Bundesgesetz über die Bewilligung des Bundesvoranschlags für das Jahr 2013 (Bundesfinanzgesetz 2013 - BFG 2013) samt Anlagen.
- BgBl, 2012. II Nr. 307/2012: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der die Einspeisetarife für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle ab 1. Juli 2012 bis Ende des Jahres 2013 verpflichtet ist (Ökostrom-Einspeisetarifverordnung 2012 – ÖSET-VO 2012).
- Bliem, M., Friedl, B., Balabanov, T., Zielinska, I., 2011. Energie [R] evolution Österreich 2050 (Projektbericht; Studie im Auftrag von EVN, Greenpeace Zentral- und Osteuropa und Gewerkschaft vida). Institut für Höhere Studien (IHS), Wien.
- BMLFUW, 2007. Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2012. Vorlage zur Annahme im Ministerrat am 21. März 2007. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, 2010a. Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009 (BMLFUW-UW.4.1.2/0011-I/4/2010). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, 2010b. Auf dem Weg zu einer nationalen Anpassungsstrategie (Arbeitspapier, 2. Entwurf, Stand Oktober 2010). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, 2011. Kriterienkatalog Wasserkraft (Entwurf, Stand 11.4.2011). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, 2012. Fortschrittsbericht nach §6 des Klimaschutzgesetzes, Wien.
- BMVIT, 2011. Ausbauplan Bundesverkehrsinfrastruktur 2011–2016. Wien.
- BMVIT, 2011a. Ausbauplan Bundesverkehrsinfrastruktur 2011–2016, Wien: Käfer, A., Steininger, K., Axhausen, K., Burian, E.,

- Clees, L., Fritz, O., Fürst, B., Gebetsreuther, B., Grubits, C., Huber, P., Kurzmann, R., Molitor, R., Ortis, G., Palme, G., Peherstorfer, N., Pfeiler, D., Schönfelder, S., Siller, K., Streicher, G., Thaller, O., Wiederin, S., Zakarias, G., 2009. Verkehrsprognose Österreich 2025+, Teil 2, Demographie und Wirtschaft (Endbericht), Wien.
- BMVIT, 2011b. Ausbauplan Bundesverkehrsinfrastruktur 2011-2016, Wien: Käfer, A., Steininger, K., Axhausen, K., Burian, E., Clees, L., Fritz, O., Fürst, B., Gebetsreuther, B., Grubits, C., Huber, P., Kurzmann, R., Molitor, R., Ortis, G., Palme, G., Peherstorfer, N., Pfeiler, D., Schönfelder, S., Siller, K., Streicher, G., Thaller, O., Wiederin, S., Zakarias, G., 2009. Verkehrsprognose Österreich 2025+, Teil 4, Ergebnisse Personenverkehr (Endbericht), Wien.
- BMVIT, 2011c. Ausbauplan Bundesverkehrsinfrastruktur 2011-2016, Wien: Käfer, A., Steininger, K., Axhausen, K., Burian, E., Clees, L., Fritz, O., Fürst, B., Gebetsreuther, B., Grubits, C., Huber, P., Kurzmann, R., Molitor, R., Ortis, G., Palme, G., Peherstorfer, N., Pfeiler, D., Schönfelder, S., Siller, K., Streicher, G., Thaller, O., Wiederin, S., Zakarias, G., 2009. Verkehrsprognose Österreich 2025+, Teil 5, Ergebnisse Güterverkehr (Endbericht), Wien.
- BMWfJ, 2010. Nationaler Aktionsplan für Erneuerbare Energie. Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Wien.
- CIPRA International, 2010. Raumplanung im Klimawandel (ein Hintergrundbericht der CIPRA, compact Nr. 02/2010). CIPRA International, Schaan.
- Dahl, C., Sterner, T., 1991. Analysing gasoline demand elasticities: a survey. *Energy economics* 13, 203–210. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0140-9883\(91\)90021-Q](http://dx.doi.org/10.1016/0140-9883(91)90021-Q)
- Dahl, C.A., 2012. Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities. *Energy Policy* 41, 2–13.
- Dallhammer, E., Neugebauer, W., Novak, S., Schuh, B., Essig, S., Plha, S., Dumke, H., Schaffer, H., Schneider, U., Örtl, F., 2010. Energieeffiziente Entwicklung von Siedlungen – planerische Steuerungsinstrumente und praxisorientierte Bewertungstools (Endbericht). Österreichisches Institut für Raumplanung, mecca consulting – Unternehmensberatung, technisches Büro für Raum- und Landschaftsplanung, pos-architekten ZT KEG, Wien.
- De Jonghe, C., Delarue, E., Belmans, R., William, D., 2009. Interactions between measures for the support of electricity from renewable energy sources and CO<sub>2</sub> mitigation. *Energy Policy* 37, 4743–4752.
- EC, 2007a. Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament. An energy policy for Europe (COM(2007) 1 final). European Commission, Brussels.
- EC, 2007b. Communication from the European Commission to the Council and the European Parliament. Results of the review of the Community Strategy to reduce CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars and light-commercial vehicles (COM(2007) 19 final). European Commission, Brussels.
- EC, 2010. Report from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee. Progress report on implementation of the Community's integrated approach to reduce CO<sub>2</sub> emissions from light-duty vehicles (COM(2010) 656 final). European Commission, Brussels.
- EC, 2011a. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 (COM(2011) 112 final). European Commission, Brussels.
- EC, 2011b. Commission Staff Working Paper. Impact Assessment. (Accompanying document to the WHITE PAPER Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. SEC(2011) 358/2 final). European Commission, Brussels.
- EC, 2011c. Commission Staff Working Document (Accompanying the White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system No. SEC(2011) 391 final). European Commission, Brussels.
- EC, 2012. EU Energy in Figures - Statistical Pocketbook 2012 [WWW Document]. URL <http://setis.ec.europa.eu/newsroom-items-folder/eu-energy-figures-statistical-pocketbook-2012-now-available> (accessed 9.8.13).
- EC, Directorate-General for Energy and Transport, 2010. EU energy and transport in figures. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- E-Control, 2010. Betriebsstatistik und Herkunftsnachweisdatenbank 2009 der Energie-Control Austria. [WWW Document]. URL <http://www.e-control.at> (accessed 12.21.10).
- E-Control, 2011. Ökostrombericht 2011. Bericht der Energie-Control Austria gemäß § 25 Abs. 1 Ökostromgesetz. E-Control Austria, Wien.
- E-Control, 2013. Wasserkraft [WWW Document]. URL <http://www.e-control.at/de/konsumenten/oeko-energie/basiswissen/oekostrom-arten/wasserkraft> (accessed 7.14.14).
- EEA, OPOCE, 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? (EEA Report No 7/2006). European Environment Agency, Office for Official Publications of the European Communities.
- EK, 2013. Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses zu dem Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren und zur Änderung der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, in COM (2012) 595 final - 2012/0288 (COD).
- Ellerman, A.D., Buchner, B., Carraro, C. (Eds.), 2007. Allocation in the European Emissions Trading Scheme: rights, rents and fairness. Cambridge University Press, Cambridge.
- Energieinstitut der Wirtschaft (Ed.), 2012. Eine kurze Vergleichsanalyse in: Energieinstitut der Wirtschaft, ERGO 01/2012, Österreich: Energieautarkie 2050? Wien.
- Erdmann, G., Zweifel, P., 2008. Energieökonomik: Theorie und Anwendungen. Springer Deutschland.
- Ericsson, K., Nilsson, L.J., 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy* 30, 1–15. doi:10.1016/j.biombioe.2005.09.001
- EU, 2000. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, L 327.
- EU, 2003. Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor, L 123/42.
- EU, 2006. Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates, L 114.
- EU, 2009. Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerba-

- ren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, L 140/16.
- EU, 2009. Richtlinie 2009/29/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten, L 140/63.
- EU, 2012. Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/E/EG, L 315/1.
- EU, 2013. EU Energy in Figures, Statistical Pocketbook. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Commission DG TREN (Ed.), 2012. Transport in Figures 2011. Brussels.
- Felberbauer, K., Muster, M., Schloffer, M., Theißnig, M., Tragner, M., Wanek, M., Zisler, M., 2010. NEUE ENERGIEN 2020. Kraftwerke im Klimawandel – Auswirkungen auf die Erzeugung von Elektrizität (KRAKE) (Endbericht). Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie Neue Energien 2020 1. Ausschreibung Programmsteuerung: Klima- und Energiefonds Programmbwicklung: Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), Kapfenberg.
- Friedl, B., Steining, K.W., 2002. Environmentally sustainable transport: definition and long-term economic impacts for Austria. *Empirica* 29, 163–180. doi:10.1023/A:1015600911243
- GEA, 2012. Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Gebetsroither, B., Getzner, M., Steining, K.W., 2007. Quantitative Evaluierung klimarelevanter verkehrspolitischer Maßnahmen in Österreich. *WIFO-Monatsberichte* 4, 389–399.
- Haas, R., Nakicenovic, N., Ajanovic, A., Faber, T., Kranzl, L., Müller, A., Resch, G., 2008. Towards sustainability of energy systems: A primer on how to apply the concept of energy services to identify necessary trends and policies. *Energy Policy* 36, 4012–4021. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.06.028
- Haas, R., Redl, C., Müller, A., Erdmann, G., Ehlers, N., Barthel, C., 2009. Langfristige Szenarien der gesellschaftlich optimalen Stromversorgung der Zukunft (Projektnummer 812784). Technische Universität Wien, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Energy Economics Group, Wien.
- Haas, R., Resch, G., Panzer, C., Busch, S., Ragwitz, M., Held, A., 2011a. Efficiency and effectiveness of promotion systems for electricity generation from renewable energy sources—Lessons from EU countries. *Energy* 36, 2186–2193. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.028
- Haas, R., Hummel, M., Müller, A., Redl, C., Sagbauer, N., Suna, D., Barthel, C., Thomas, S., Bogner, T., 2011b. Strategie zur Mobilisierung des Stromsparpotenzials in Österreich (Endbericht FFG Projektnummer 817646), Energie der Zukunft. Wien.
- Haas, R., Lettner, G., Auer, H., Duic, N., 2013. The looming revolution: How photovoltaics will change electricity markets in Europe fundamentally. *Energy* 57, 38–43. doi:10.1016/j.energy.2013.04.034
- Habersack, H., Wagner, B., Hauer, C., Jäger, E., Krapesch, G., Stralhofer, L., Volleritsch, M., Holzappel, P., Schmutz, S., Schinegger, R., Pletterbauer, F., Formayer, H., Gerersdorfer, T., Pospichal, B., Pretenthaler, F., Steiner, D., Köberl, J., Rogler, N., 2011. DSS\_KLIM:EN, Entwicklung eines Decision Support Systems zur Beurteilung der Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Energie aus Wasserkraft und Ökologie. (Endbericht, Studie im Auftrag der Kommunalkredit Austria AG, gefördert vom Klima- und Energiefonds), Wien.
- Habersack, H., Wagner, B., Hauer, C., Jäger, E., 2012. Wasserkraft in Österreich – aktueller Bestand und Decision Support System (DSS WASSERKRAFT). *OEAW* 64, 336–343. doi:10.1007/s00506-012-0405-z
- Hausberger, S., Schwingshackl, M., 2011. Update der Emissionsprognose Verkehr Österreich bis 2030 (Studie erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds No. Inst-03/11/ Haus Em 09/10-679). Technische Universität, Graz.
- Hausberger, S., Kies, A., Rexeis, M., 2011a. Testverfahren für CO<sub>2</sub>-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge (Test procedure for CO<sub>2</sub> emissions from heavy duty vehicles). Presented at the VDA – 12. Technischer Kongress, Ludwigsburg.
- Hausberger, S., Rexeis, M., Blassnegger, J., Silberholz, G., 2011b. Evaluation of fuel efficiency improvements in the Heavy-Duty Vehicle (HDV) sector from improved trailer and tire designs by application of a new test procedure. Carried out under contract of The International Council on Clean Transportation and Verband der Automobilindustrie (Report No. I - 24 /2011 Hb - Em 18/11/679). Institute for International Combustion Engines and Thermodynamics, Technische Universität, Graz.
- Hepburn, C., 2006. Regulation by Prices, Quantities, or Both: A Review of Instrument Choice. *Oxf Rev Econ Policy* 22, 226–247. doi:10.1093/oxrep/grj014
- Herry M., Sammer G., 1998. Mobilitätserhebung österreichischer Haushalte, Arbeitspaket A3-H2 im Rahmen des Österreichischen Bundesverkehrswegeplan im Auftrag des BMWV
- Herry, M., Schuster, M., Thaler, R., 2000. Betriebliches Mobilitätsmanagement - Erfolgreiche Wege für Umwelt und Wirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Herry, M., Sedlacek, N., Steinacher, I., 2007. Verkehr in Zahlen Österreich Ausgabe 2011. Herry Consult GmbH, im Auftrag vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- Hesse, M., Trostorf, B., 2000. Raumstrukturen, Siedlungsentwicklung und Verkehr – Interaktionen und Integrationsmöglichkeiten; draft (Diskussionspapier No. 2). Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung, Erkner. <http://www.irs-net.de/publikationen/working-papers/>
- Hoefnagels, R., Junginger, M., Panzer, C., Resch, G., Held, A., 2011. D10 Report: Long Term Potentials and Costs of RES. Part I: Potentials, Diffusion and Technological learning (A report compiled within the European research project RE-Shaping, work package 5). Copernicus Institute, Utrecht University; EEG, TU Wien; Fraunhofer ISI.
- Howarth, R.B., Schipper, L., 1991. Manufacturing Energy Use in Eight OECD Countries: Trends through 1988. *The Energy Journal* 12, 15–40.
- Hupkes, G., 1982. The law of constant travel time and trip-rates. *Futures* 14, 38–46. doi:10.1016/0016-3287(82)90070-2
- IEA, OECD, 2009. World energy outlook 2009. International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Indinger, A., Leutgöb, K., Lutter, E., Mader, S., Nemestothy, K., Peherstorfer, N., Proidl, H., Sattler, M., Tretter, H., Veigl, A., 2006. Vorstudie für einen nationalen Biomasseaktionsplan für

- Österreich (Endbericht). Austrian Energy Agency, im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
- JAMA, 2008. Reducing CO<sub>2</sub> emissions in the global road transport sector. Japan automobile manufacturers association, Inc, Tokyo.
- Jauschnegg, H., Pfemeter, C., 2011. Wärme, Strom, Treibstoffe. Bioenergie 2020. Österreichischer Biomasse-Verband, Wien.
- Junginger, H.M., van Dam, J.M.C., Alakangas, E., Virkkunen, M., Vesterinen, P., Veijonen, K., 2010. Solutions to overcome barriers in bioenergy markets in Europe – D2.2, Resources, use and market analysis (EUBIONET III No. IEE/07/777/SI2.499477).
- Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz, S., 2003. Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas Universitätsverlag, Wien.
- Kalinowska, D., Steininger, K.W., 2009. Distributional impacts of car road pricing: Settlement structures determine divergence across countries. *Ecological Economics* 68, 2890–2896. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.07.004
- Kalt, G., Kranzl, L., Adensam, H., Zawichowski, M., Stürmer, B., Schmid, E., 2010a. Strategien für eine nachhaltige Aktivierung landwirtschaftlicher Bioenergie-Potenziale (ALPot) (ENERGIE DER ZUKUNFT Endbericht). Austrian Energy Agency, Reinberg und Partner OEG - im-plan-tat, Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Kalt, G., Kranzl, L., Haas, R., 2010b. Long-term strategies for an efficient use of domestic biomass resources in Austria. *Biomass and Bioenergy* 34, 449–466. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.12.009
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., 2009. Regenerative Energien in Österreich: Grundlagen, Systemtechnik, Umwelaspekte, Kostenanalysen, Potenziale, Nutzung. Vieweg+Teubner.
- Kettner, C., Kletzan-Slamanig, D., Schleicher, S., 2009. Instrumente für die Umsetzung von Maßnahmen zur Erreichung der Ziele für erneuerbare Energien. Studie im Auftrag des Verbandes der Elektrizitätsunternehmen BMLFUW. oesterreichs energie akademie, Wien.
- Kettner, C., Kletzan-Slamanig, D., Köppl, A., Schinko, T., Türk, A., 2011. ETCLIP – The Challenge of the European Carbon Market: Emission Trading, Carbon Leakage and Instruments to Stabilise the CO<sub>2</sub> Price Price Volatility in Carbon Markets: Why it Matters and How it Can be Managed. WIFO Working Papers 409/2011.
- Kettner, C., 2012. Der EU-Emissionshandel – Allokationsmuster und Handelsflüsse. WIFO-Monatsberichte 2012, 737–750.
- Kletzan-Slamanig, D., Steininger, K.W., 2010. Gesamtwirtschaftliche Effekte der klimarelevanten Maßnahmen im Rahmen der Umweltförderung im Inland 2009, Monographien. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Karl Franzens Universität Graz im Auftrag der Kommunalkredit Public Consulting, Wien.
- klima:aktiv mobil, n.d. Mobilität [WWW Document]. URL http://www.klimaaktiv.at/mobilitaet.html (accessed 7.14.14).
- Kobayashi, S., Plotkin, S., Ribeiro, S.K., 2009. Energy efficiency technologies for road vehicles. *Energy Efficiency* 2, 125–137.
- Kolshus, H., Torvanger, A., 2005. Analysis of EU Member States' National Allocation Plans (CICERO Working Paper 2005:2). Center for International Climate and Environmental Research (CICERO), Oslo.
- Köppl, A., Steininger, K.W. (Eds.), 2004. Reform umweltkontraproduktiver Förderungen in Österreich: Energie und Verkehr, Schriftenreihe des Institutes für Technologie- und Regionalpolitik der Joanneum Research. Leykam, Graz.
- Köppl, A., Kettner, C., Kletzan-Slamanig, D., Schnitzer, H., Titz, M., Damm, A., Steininger, K., Wolking, B., Artner, H., Karner, A., 2011. Energy Transition 2012\2020\2050: Strategies for the Transition to Low Energy and Low Emission Structures. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien.
- Kranzl, L., Haas, R., Kalt, G., Diesenreiter, F., Eltrop, L., König, A., 2008. Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotenziale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen (Endbericht Projekt Nummer 811260). Energy Economics Group, TU Wien, Wien.
- Kranzl, L., Haas, R., Kalt, G., Müller, A., Nakicenovic, N., Redl, C., Formayer, H., Haas, P., Lexer, M.-J., Seidl, R., Schörghuber, S., Nachtnebel, H.-P., Stanzel, P., 2010. KlimAdapt. Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel (ENERGIE DER ZUKUNFT Endbericht). Energy Economics Group, TU Wien; Inst. für Meteorologie, Inst. für Waldbau, IWHW, Univ. für Bodenkultur, Wien.
- Kranzl, L., Müller, A., Hummel, M., Haas, R., 2011. Energieszenarien bis 2030: Wärmebedarf der Kleinverbraucher (Endbericht Ausarbeitung im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH, Wien). Energy Economics Group, TU Wien, Wien.
- Kranzl, L., Kalt, G., Müller, A., Hummel, M., Egger, C., Öhlinger, C., Dell, G., 2013a. Renewable energy in the heating sector in Austria with particular reference to the region of Upper Austria. *Energy Policy* 59, 17–31. doi:10.1016/j.enpol.2012.08.067
- Kranzl, L., Matzenberger, J., Totschnig, G., Toleikyte, A., Schicker, I., Formayer, H., Gorgas, T., Stanzel, P., Nachtnebel, H.P., Bednar, T., Gladt, M., Neusser, M., 2013b. Modelling climate change impact on energy systems. Working Paper for the Second Review-Workshop in the project PRESENCE.
- Krutzler, T., Böhmer, S., Gössl, M., Schindler, I., Storch, A., Wiesenberger, H., 2009. Energiewirtschaftliche Inputdaten und Szenarien als Grundlage zur Erfüllung der Berichtspflichten des Monitoring Mechanisms. Synthesebericht. Umweltbundesamt, Wien.
- Kulmer, V., Koland, O., Steininger, K.W., Fürst, B., Käfer, A., 2014. The interaction of spatial planning and transport policy: A regional perspective on sprawl. *Journal of Transport and Land Use* 7, 57–77. doi:10.5198/jtlu.v7i1.374
- LandLuft, 2012. Baukurgemeinde-Preis 2012, Baukultur machen Menschen wie du und ich!, Waldviertel.
- Léonardi, J., Baumgartner, M., 2004. CO<sub>2</sub> efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. Transportation Research Part D: Transport and Environment 9, 451–464. doi:10.1016/j.trd.2004.08.004
- Mayer, J.R., 1845. Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel. The Organic Movement in Connection with the Metabolism.
- McKibbin, W.J., Wilcoxon, P.J., 2002. The Role of Economics in Climate Change Policy. *Journal of Economic Perspectives* 16, 107–129. doi:10.1257/0895330027283
- Metz, D., 2008. The Myth of Travel Time Saving. *Transport Reviews* 28, 321–336. doi:10.1080/01441640701642348
- Millard-Ball, A., Schipper, L., 2010. Are we reaching peak travel? Trends in passenger transport in eight industrialized countries. *Transport Reviews* 31, 357–378. doi:10.1080/01441647.2010.518291
- Molitor, R., Steininger, K.W., 2005. Vision, Analysis, and Future Pathways in Transport Research, in: Böhringer, C., Lange, A. (Eds.), Applied Research in Environmental Economics, ZEW Economic Studies. Physica-Verlag, Heidelberg, pp. 115–132.



- Molitor, R., Burian, E., Heim, A., Kaefer, A., Keller, M., Aebi, C., Pischinger, R., Hausberger, S., Thaler, R., 1997. Umweltbilanz Verkehr. Oesterreich 1950-1996. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien
- Murray, B.C., Newell, R.G., Pizer, W.A., 2009. Balancing Cost and Emissions Certainty: An Allowance Reserve for Cap-and-Trade. *Rev Environ Econ Policy* 3, 84–103. doi:10.1093/reep/ren016
- Müller, A., Redl, C., Haas, R., Türk, A., Liebmann, L., Steininger, K.W., Brezina, T., Mayerthaler, A., Schopf, J., Werner, A., Kreuzer, D., Steiner, A., Mollay, U., Neugebauer, W., 2012. Strategien für Energie-Technologie-Investitionen und langfristige Anforderung zur Emissionsreduktion (EISERN) (Projektendbericht). klima + energiefonds, Wien.
- Nakićenović, N., 1996. Energy Primer, in: *Impacts, Adaptions and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 75–92.
- Nakićenović, N., Haas, R., Hartner, M., 2012. Skriptum Energieökonomie. Technische Universität, Wien.
- Nikolaou, A., Remrova, M., Jeliakova, I., 2003. Biomass availability in Europe. Centre for Renewable Energy Sources, BTG Czech Republic s.r.o, ESD Bulgaria Ltd.
- ODYSSEE-MURE, 2014. Energy Efficiency Trends & Policies [WWW Document]. URL <http://www.odyssee-mure.eu/> (accessed 6.30.14).
- OECD/ITF, 2012. Transport Outlook 2012: Seamless Transport für Greener Growth. Paris.
- ÖROK, 2010. Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2010-2030 mit Ausblick bis 2050, Teil 1, Endbericht zur Bevölkerungsprognose. Wien.
- ÖSG, 2012. Bundesgesetz über die Förderung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern (Ökostromgesetz 2012 – ÖSG 2012) StF: BGBl. I Nr. 75/2011 (NR: GP XXIV RV 1223 AB 1302 S. 113. BR: 8521 AB 8532 S. 799.).
- Österreichische Bundesregierung, 2008. Regierungsprogramm 2008-2013, (Masterplan Wasserkraft umsetzen). Österreichische Bundesregierung, Wien.
- Österreichs Energie, 2012. Zeit zum Handeln. Der Aktionsplan von Österreichs Energie. Österreichs Energie, Wien.
- ÖSVO, 2012. 471. Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend, mit der Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen auf Grund von Verträgen festgesetzt werden, zu deren Abschluss die Ökostromabwicklungsstelle im Jahr 2012 verpflichtet ist (Ökostromverordnung 2012 - ÖSVO 2012).
- Ott, W., Arend, M., Philippen, D., Gilgen, K., Beaujean, K., Schneider, S., 2008. Energieaspekte städtischer Quartiere und ländlicher Siedlungen (Schlussbericht. BFE-Projekt Nummer 101592). Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden, Bern.
- Peperna, O., 1982. Die Einzugsbereiche von Haltestellen öffentlicher Nahverkehrsmittel im Straßenbahn- und Busverkehr (Masterarbeit). Fakultät für Bauingenieurwesen, TU Wien, Wien.
- Pöyry Energie GmbH, 2008. Wasserkraftpotenzialstudie Österreich. Pöyry Energie GmbH, im Auftrag des Verbandes der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ), Wien.
- Presler, A., Thür, A., Neyer, D., Focke, H., 2012. SolarCooling Monitor, in: *Berichte Aus Energie- Und Umweltforschung* 28/2012. Wien.
- Pretenthaler, F., Gobiet, A. (Eds.), 2008. Heizen und Kühlen im Klimawandel - Teil 1. Erste Ergebnisse zu den künftigen Änderungen des Energiebedarfs für die Gebäudetemperierung Studien zum Klimawandel in Österreich. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- Pretenthaler, F.E., Steininger, K.W., 1999. From ownership to service use lifestyle: the potential of car sharing. *Ecological Economics* 28, 443–453. doi:10.1016/S0921-8009(98)00109-8
- Ragwitz, M., Held, A., Breitschopf, B., Rathmann, M., Klessmann, C., Resch, G., Panzer, C., Busch, S., Neuhoff, K., Junginger, M., 2011. Review report on support schemes for renewable electricity and heating in Europe (D8 Report) (Review report on support schemes for renewable electricity and heating in EuropeA; report compiled within the European research project RE-Shaping (work package 3) Contract No. EIE/08/517/SI2.529243). Fraunhofer ISI, ECOFYS, EEG/TU Wien, DIW/CPI Berlin, University of Utrecht, Bocconi University, KEMA; Lithuanian Energy Institute, ENERGO Banking.
- Rathbauer, J., 2000. Biomassepotentialabschätzung für Österreich im Jahr 2010. *Nachwachsende Rohstoffe* 17, 9–11.
- Rauh, W., Bleckmann, C., 2004. Mobilitätsmanagement - Nutzen für alle, VCÖ Schriftenreihe: Mobilität mit Zukunft. basierend auf VCÖ-Mobilitätsberater-Handbuch 1996, Wien.
- Reichl, J., Kollmann, A., Tichler, R., Pakhomova, N., Moser, S., Görs, S., Lindhofer, J., Greibl, E., Fazeni, K., Haas, R., Müller, A., Sagbauer, N., Kloess, M., 2010. Analyse der Wirkungsmechanismen von Endenergieeffizienz-Maßnahmen und Entwicklung geeigneter Strategien für die Selektion ökonomisch-effizienter Maßnahmenpakete - AWEEMSS (Endbericht). Energieinstitut, Johannes Kepler Universität Linz, Energy Economics Group; finanziert aus den Mitteln des Klima- und Energiefonds.
- Renner, S., Baumann, M., Jamek, A., Lang, B., Pfaffenbichler, P., 2010. Visionen 2050. Identifikation von existierenden und möglichen zukünftigen Treibern des Stromverbrauchs und von strukturellen Veränderungen bei der Stromnachfrage in Österreich bis 2050. Austrian Energy Agency, im Auftrag von Österreichs Energie (VEÖ), Wien.
- Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F., Haas, R., 2008. Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy Policy* 36, 4048–4056. doi:10.1016/j.enpol.2008.06.029
- Rettenmaier, N., Schorb, A., Köppen, S., Berndes, G., 2010. Status of biomass resource assessments. Version 3 (No. Deliverable No. D3.6). Biomass Energy Europe. IFEU, Heidelberg.
- Schaefer, A., 2000. Regularities in Travel Demand: An International Perspective. *Journal of Transportation and Statistics* 3, 1–31.
- Schipper, L., Haas, R., 1997. The political relevance of energy and CO<sub>2</sub> indicators-An introduction. *Energy Policy* 25, 639–649.
- Schleicher, Stefan und Angela Köppl (2014). Energieperspektiven für Österreich bis 2050. Wien, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Spindler, K., 2013. Anpassungsmaßnahmen der Elektrizitätswirtschaft an den Klimawandel (Masterarbeit). Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation, Technische Universität Graz.
- Stanzer, G., 2010. Regionales Rahmenkonzept für Windkraftanlagen im Nordburgenland und im Zentralraum um Eisenstadt – Aktualisierung der Fachgebiete Raumordnung, Landschaft/ Weltkulturerbe (Endbericht), Studie im Auftrag des Amtes der burgenländischen Landesregierung, Wien.
- stadtland Dipl.-Ing. Sibylla Zech GmbH, 2011, Transnational Strategy for Climate Proof Spatial Planning, European Territorial Cooperation 2007-2013 Alpine Space Programme, Project CLISP Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space – WP 7, June 2011, Wien

- Statistik Austria, 2011. Verkehrsmittel, Transportaufkommen und -leistung österreichischer Straßengüterverkehrsunternehmen nach Verkehrsbereichen im Jahr 2010. Statistik Austria, Wien.
- Statistik Austria, 2013a. Energiebilanzen 1970-2011 [WWW Document]. URL [http://www.statistik.gv.at/web\\_de/statistiken/energie\\_und\\_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html](http://www.statistik.gv.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html) (accessed 7.14.14).
- Statistik Austria, 2013b. Nutzenergieanalyse für Österreich 1993-2011 [WWW Document]. URL [http://www.statistik.gv.at/web\\_de/statistiken/energie\\_und\\_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html](http://www.statistik.gv.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/nutzenergieanalyse/index.html) (accessed 7.14.14).
- Steininger, K.W., 2008. Die Rolle der Raumordnung in der Klimaschutzdebatte, Raum Band 71, Heft September
- Steininger, K.W., Novy, P., 1997. Die Fahrleistungswirkung von Car-Sharing Organisationen: Ein kontrolliertes Experiment. *Internationales Verkehrswesen* 49, 116–119.
- Steininger, K.W., Vogl, C., Zettl, R., 1996. Car-sharing organizations: The size of the market segment and revealed change in mobility behavior. *Transport Policy* 3, 177–185.
- Steininger, K.W., Pretenthaler, F.E., 2003. Umweltkontraproduktive direkte und indirekte Subventionen im Verkehrsbereich in Österreich, in: Greisberger, H. (Ed.), *Zuckerbrot Und Peitsche. Umweltpolitische Steuerungsinstrumente von Ökoaudit Bis Ökosteuern. Überblick, Tatbestände, Kritische Reflexion, Politische Umsetzung, Wissenschaft & Umwelt Interdisziplinär*. Forum Österreichischer Wissenschaftler für Umweltschutz, Wien, pp. 35–45.
- Steininger, K.W., Gobiet, W., Binder, C., Friedl, B., Gebetsroither, B., Kribernegg, G., Niederl, A., Omann, I., Seebauer, S., 2005. Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich (Wissenschaftlicher Bericht No. 1-2005). Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel Karl-Franzens-Universität Graz, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Technische Universität Graz, Graz.
- Steininger, K.W., Friedl, B., Koland, O., 2006a. Driving Forces in Urban Sprawl and Policy Options: A Spatial Computable General Equilibrium Analysis (Report No. 13-2006), Spatial Dynamic Development and Environmental Sustainability. Wegener Center for Climate and Global Change, Universität Graz.
- Steininger, K.W., Friedl, B., Schmid, C., 2006b. Circular Causality in Spatial Environmental Quality and Commuting (Report No. 13-2006), Spatial Dynamic Development and Environmental Sustainability. Wegener Center for Climate and Global Change, Universität Graz.
- Steininger, K.W., Koland, O., Gebetsroither, B., Schmid, C., Zakarias, G., 2006c. New Primary Road Transport Infrastructure and the Development of Spatial Distribution of Growth: A Spatial CGE Analysis for Eastern Austrian Border Region (Report No. 13-2006), Spatial Dynamic Development and Environmental Sustainability. Wegener Center for Climate and Global Change, Universität Graz.
- Steininger, K.W., Friedl, B., Gebetsroither, B., 2007a. Sustainability impacts of car road pricing: A computable general equilibrium analysis for Austria. *Ecological Economics* 63, 59–69. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.09.021>
- Steininger, K.W., S. Berdnik, B. Gebetsroither, M. Getzner, S. Hausberger und J. Hochwald (2007b). Klimaschutz, Infrastruktur und Verkehr, Studie im Auftrag der Bundesarbeiterkammer. Wissenschaftlicher Bericht Nr. 15-2007, Wegener Center Verlag Graz, ISBN-13 978-3-9502308-1-9, August 2007
- Steininger, K.W., Schmid, C., Tobin, A., 2012. Regional and environmental impacts of expanding the heavy duty vehicle charge to the secondary road network in Austria. *Empirica* 39, 261–278. doi:10.1007/s10663-012-9184-9
- Stern, N., 2007. The economics of climate change: the Stern review. Cambridge University press.
- Sterner, T., 2007. Fuel taxes: An important instrument for climate policy. *Energy Policy* 35, 3194–3202. doi:10.1016/j.enpol.2006.10.025
- Stocker, A., Großmann, A., Madlener, R., Wolter, M.I., 2011. Sustainable energy development in Austria until 2020: Insights from applying the integrated model “e3. at”. *Energy policy* 39, 6082–6099.
- Stöglehner G., Erkner S., Neugebauer G., 2013, Tools für Energie-raumplanung. Ein Handbuch für deren Auswahl und Anwendung im Planungsprozess, BMLFUW (Eds.), Wien.
- Streicher, W., Haas, R., Hausberger, S., Oblasser, S., Schnitzer, H., Steininger, K.W., Tatz, B. er, F., Titz, M., Heimrath, R., Kalt, G., Damm, A., Wetz, I., 2010. Energieautarkie für Österreich 2050 (Feasibility Study, Endbericht No. B068644, abgewickelt über den Klima- und Energiefonds.). im Auftrag des österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium), Wien.
- Tiroler Landesregierung, 2011. Wasserkraft in Tirol – Kriterienkatalog. Kriterien für die weitere Nutzung der Wasserkraft in Tirol, Version 3.0. Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- Toro, F., Jain, S., Reitze, F., Ajanovic, A., Haas, R., Furlan, S., Wilde, H., 2010. ALTER-MOTIVE. State of the art for alternative fuels and alternative automotive technologies (A report compiled within the European research project deriving effective least cost policy strategies for alternative automotive concepts and alternative fuels. Contract no: IEE/07/807/SI2.499569 WP3 Deliverable 8). Vienna University of Technology Energy Economics Group, ECN, ECU, IREES, WI, AEOLIKI, BSREC, RAEE, CRES, KISE, CUT, FGM-AMOR, CREETA-ECO, ECO-Council.
- Türk, A., Steiner, D., Frieden, D., Pretenthaler, F., Resch, G., Müller, A., Liebmann, L., Steininger, K., Sommer, M., 2012. Die Rolle der Kooperationsmechanismen für die Erreichung des Österreichischen 2020-Ziels für erneuerbare Energie (Endergebnisse des vom Klima- und Energiefonds geförderten Projektes „ReFlex“). Johanneum Research, EEG, Wegener Center.
- Umweltbundesamt, 2011a. Austria's national inventory, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol (REP-0308). Umweltbundesamt, Wien.
- Umweltbundesamt, 2011b. GHG Projections and Assessment of public policies and measures in Austria (REP-331). Umweltbundesamt, Wien.
- Umweltbundesamt, 2011c. Klimaschutz. Bericht 2011 (REP-0334). Umweltbundesamt, Wien.
- Umweltbundesamt, 2013. Zehnter Umweltkontrollbericht. Umweltsituation in Österreich (REP-410). Umweltbundesamt, Wien.
- Umweltmanagement Austria, 2011. Energieautarkie für Österreich? Kompaktfassung des Endberichts des Projekts. St. Pölten.
- VCÖ (Ed.), 2012. Mehr Lebensqualität in Städten durch nachhaltige Mobilität, Schriftenreihe “Mobilität mit Zukunft”. Verkehrsclub Österreich, Wien.
- Vesterinen, P., Alakangas, E., 2001. Import and Export possibilities and fuel prices of biomass in 20 European countries (AFB-Net - Part 1). VTT Technical Research Centre of Finland, Jyväskylä.

- VTPI, 2010. Transportation elasticities – how prices and other factors affect travel behavior. TDM Encyclopedia.
- Voigt A., 2008. Stadt der kurzen Wege aus ökosozialer Sicht Nahversorgung und Naherholung in Wien vor dem Hintergrund der Alterung, Forschungsbericht, Ökosoziales Forum,, Wien.
- Wagner, B., Hauer, C., Jäger, E., Pelikan, B., Habersack, H., in prep. A review of hydropower in Austria: Past, present and future development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014.
- WIFO, 2009. Energiestrukturen für 2020. Technisches Basisdokument für die österreichische Energiestrategie (2009/229/S/WIFO-Projekt Nummer: 5409).
- Wörgetter, M., Rathbauer, J., Lasselsberger, L., Dissemond, H., Kopez, H., Plank, J., Rakos, C., 2001. Bioenergy in Austria. Potential, Strategies, Success Stories. Production of Bioenergy – a Comparison of Framework Conditions. BLT Wieselburg, ÖVAF, Austrian Energy Agency, Wieselburg.
- Zahavi, Y., Talvitie, A., 1980. Regularities in Travel Time and Money Expenditures. Transportation Research Record.
- Zanni, A.M., Bristow, A.L., 2010. Emissions of CO<sub>2</sub> from road freight transport in London: Trends and policies for long run reductions. Energy Policy 38, 1774–1786. doi:10.1016/j.enpol.2009.11.053
- Zumkeller, D., Kagerbauer, M., Streit, T., Voritsch, P., Chlond, B., Wirtz, M., 2011. Deutsches Mobilitätspanel (MOP), wissenschaftliche Begleitung und erste Auswertungen (Alltagsmobilität & Tankbuch , FE Projektnr.: 70.0864/2011). Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe