

Kurt Kratena, Ina Meyer

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

## Die Rolle von Energieeffizienz und Energieträgersubstitution

Österreich verzeichnete seit dem "Kyoto-Referenzjahr" 1990 einen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen von etwa 62 Mio. t auf fast 80 Mio. t, also um insgesamt 29%. Dem steht das "Kyoto-Ziel" einer Reduktion um 13% im Durchschnitt 2008/2012 gegenüber. Sowohl in der Industrie als auch im Verkehrssektor und den privaten Haushalten wurden Effizienzsteigerungen durch die Zunahme der energieverbrauchenden Kapitalstöcke (z. B. Pkw, Gebäudebestand) und Aktivitäten (Industrieproduktion, Transportleistung) mehr als aufgewogen. Bei entsprechend raschem Wirtschaftswachstum, das mit hoher Transportleistung und steigendem Flächenverbrauch einhergeht, müsste die Entwicklung des fossilen Energieverbrauchs durch technischen Fortschritt wesentlich deutlicher vom Wachstum entkoppelt werden, um eine Emissionsreduktion zu erzielen. Zusätzlich zu technischen Innovationen müsste demnach die Klimapolitik Instrumente einsetzen, die Substitutionseffekte und Strukturwandel anregen, um namhafte Energieeinsparungen zu erzielen.

Begutachtung: Angela Köppl • Wissenschaftliche Assistenz: Alexandra Wegscheider-Pichler • E-Mail-Adressen: [Kurt.Kratena@wifo.ac.at](mailto:Kurt.Kratena@wifo.ac.at), [Ina.Meyer@wifo.ac.at](mailto:Ina.Meyer@wifo.ac.at)

Die Treibhausgasemissionen (neben Kohlendioxid auch Methan, Lachgas, Fluorkohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid) steigen in Österreich kontinuierlich. Damit entfernt sich die Entwicklung der Emissionen immer mehr von der quantitativen Vorgabe des "Kyoto-Ziels", einer Reduktion der Emissionen um 13% im Durchschnitt 2008/2012 gegenüber dem Niveau von 1990 (Abbildung 1). Das könnte als Folge unzureichender Anstrengungen der Klima- und Umweltpolitik gesehen werden. Geplante klimapolitische Maßnahmen der Zukunft (Klima- und Energiefonds) setzen allerdings Schwerpunkte in jenen Bereichen, in denen auch seit 1990 Fortschritte erzielt wurden. Das betrifft in erster Linie technische Innovationen und den technischen Fortschritt zur Steigerung der Energieeffizienz sowie den Ersatz fossiler durch erneuerbare Energieträger.

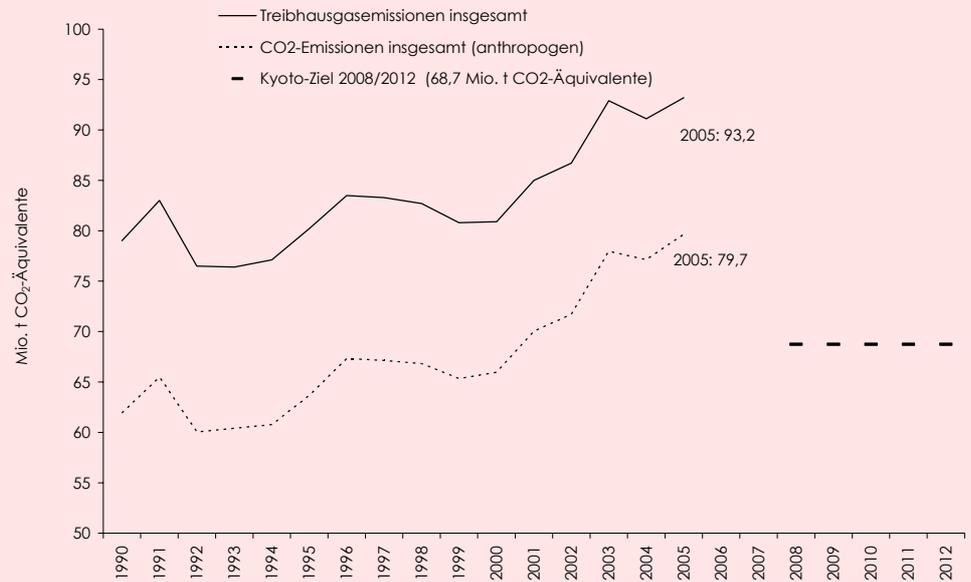
Der Anteil der einzelnen Wirtschaftssektoren an den CO<sub>2</sub>-Emissionen hat sich seit 1990 verschoben (Abbildung 2). Industrie und produzierendes Gewerbe sowie der Verkehrssektor gehören zu den Hauptverursachern vor den Bereichen Energieaufbringung und Kleinverbrauch (Raumwärme und Landwirtschaft). Insgesamt nahmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 bis 2005 um 28,6% zu. Am stärksten stiegen sie im Verkehrssektor (+94,1%), am schwächsten im Kleinverbrauch (+5,5%). Für die Bereiche Energieversorgung (+16,6%) und Industrie (+14,5%) ergeben sich ebenfalls hohe Steigerungsraten.

In der Vergangenheit veränderte sich zudem der gesamtwirtschaftliche Energieträger-Mix erheblich (Abbildung 3, Übersicht 1). So verringerte sich der energetische Endverbrauch an Kohle zwischen 1990 und 2005 um rund 51%, während der Verbrauch von Öl und Gas signifikant zunahm (51% bzw. 77%). Auch der Einsatz erneuerbarer Energieträger wurde beträchtlich ausgeweitet (gut +35%), die Entwicklung blieb aber hinter dem Wachstum des Verbrauchs an fossilen Energieträgern Öl und Gas zurück. Wesentlich höher als 1990 war im Jahr 2005 auch der Verbrauch an Elektrizität (+33%) und Fernwärme (+106%).

Der Anteil der Kohle am energetischen Endverbrauch verringerte sich in diesem Zeitraum von 7% auf 2,4%, während der Anteil von Erdgas und Erdöl erheblich stieg (von 14,9% auf 18,3% bzw. von 42,7% auf 44,8%). Der Anteil der erneuerbaren Energieträ-

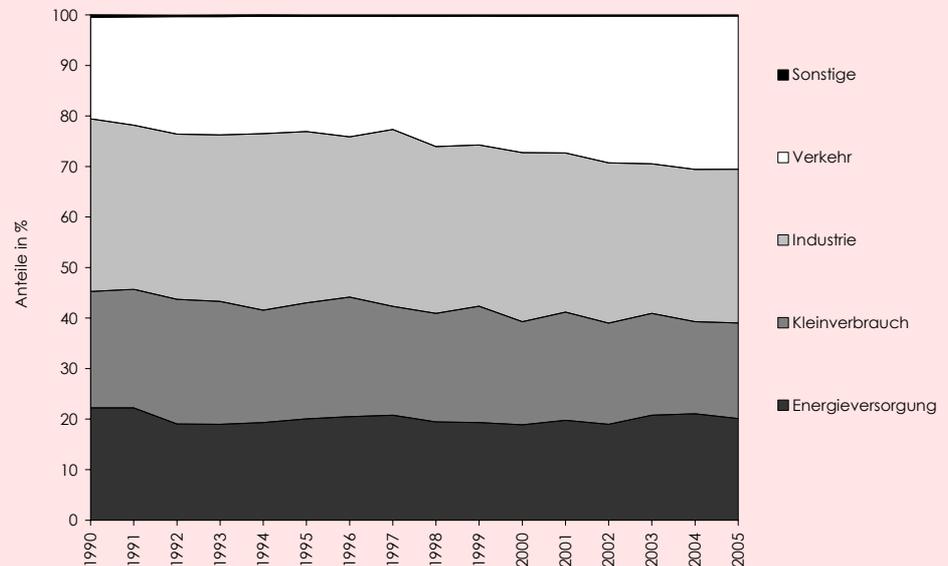
ger sank hingegen leicht (von 12,1% auf 11,4%), ebenso jener der Elektrizität (von 19,9% auf 18,4%). Der Einsatz von Fernwärme gewann an Bedeutung (von 3,3% auf 4,8% des energetischen Endverbrauchs).

Abbildung 1: Wachstum der Treibhausgasemissionen in Österreich



Q: Umweltbundesamt, WIFO-Berechnungen.

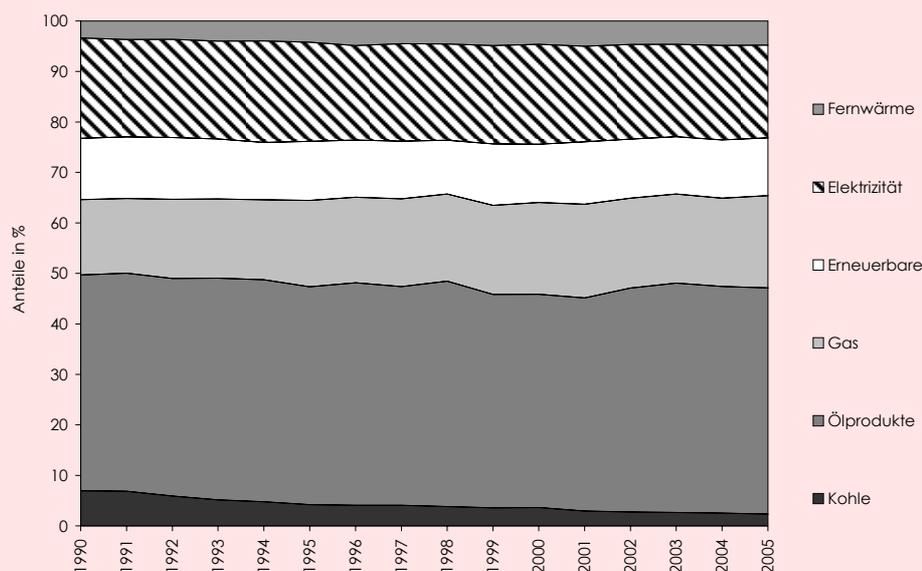
Abbildung 2: Anteile der Sektoren an den CO<sub>2</sub>-Emissionen



Q: Umweltbundesamt, WIFO-Berechnungen.

Diese Entwicklungen brachten eine Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren mit sich: Die Substitution von fossilen Energieträgern durch Elektrizität z. B. in der Industrie verlagert die CO<sub>2</sub>-Emissionen von diesem Sektor zur Energieversorgung. Ob dadurch die gesamtwirtschaftlichen Emissionen abnehmen oder sich nur ihre Struktur ändert, hängt davon ab, ob der zusätzliche Strom aus kalorischen Kraftwerken mit Einsatz fossiler Energieträger oder aus erneuerbarer Energie (Wasserkraft, Wind, Biomasse) erzeugt wird.

Abbildung 3: Anteile der Energieträger am energetischen Endverbrauch



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Übersicht 1: Entwicklung des energetischen Endverbrauchs nach Energieträgern

	1990	2005	Veränderung 1990/2005 In %
	TJ		
Kohle	53.338	26.060	- 51,1
Erdölprodukte	327.579	494.989	+ 51,1
Gas	114.375	201.893	+ 76,5
Erneuerbare Energieträger	93.086	126.496	+ 35,9
Elektrizität	152.452	202.989	+ 33,1
Fernwärme	25.636	52.763	+ 105,8
Insgesamt	766.465	1.105.190	+ 44,2

Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

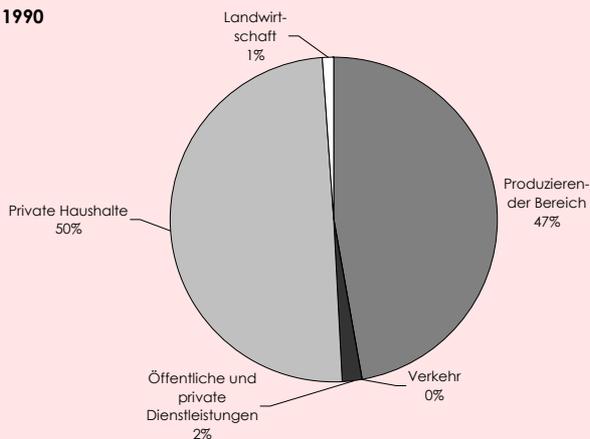
Auch die Sektorstruktur des gesamtwirtschaftlichen Mix fossiler Energieträger hat sich im Vergleich der Jahre 1990 und 2005 deutlich gewandelt (Abbildung 4). Der Anteil der privaten Haushalte an der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage nach Kohle sank deutlich (von 50% auf 21%), jener des produzierenden Bereichs erhöhte sich von 47% auf 77%. Rohöl wurde im Jahr 2005 bereits zu 65% im Verkehr verbraucht (55% 1990), zu 14% von den privaten Haushalten und zu 13% vom produzierenden Bereich. Der Anteil der Haushalte ist dabei leicht gesunken. Die Struktur der Nachfrage nach Gas verlagerte sich zu Lasten des produzierenden Bereichs zu den öffentlichen und privaten Dienstleistungen (1990 7%, 2005 20%).

Während sich somit der Energieträger-Mix zwischen 1990 und 2005 signifikant verändert hat, wurde die Energieeffizienz kaum verbessert (Abbildung 5). In der Gesamtwirtschaft kam der Fortschritt bezüglich einer Steigerung der Energieeffizienz seit 1990 fast völlig zum Stillstand. In der Periode 1976 bis 1990 waren dagegen kontinuierliche Verbesserungen erzielt worden. Im Folgenden werden auf der Ebene der Sektoren die Ursachen des Anstiegs von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen seit 1990 anhand einer Komponentenzersetzung untersucht. Dabei wird insbesondere die Rolle der Energieeffizienz und der Substitution zwischen den Energieträgern analysiert.

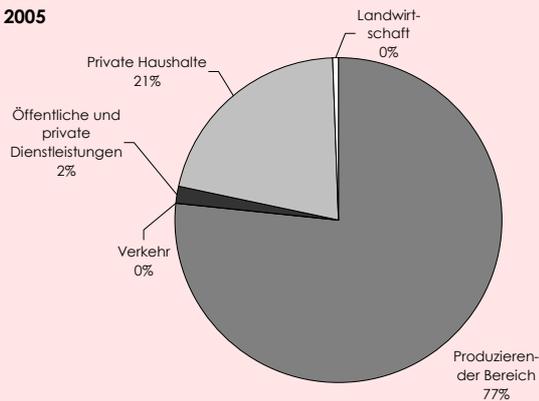
Abbildung 4: Anteile der Sektoren am Verbrauch von Kohle, Erdöl und Erdgas

**Kohle**

1990

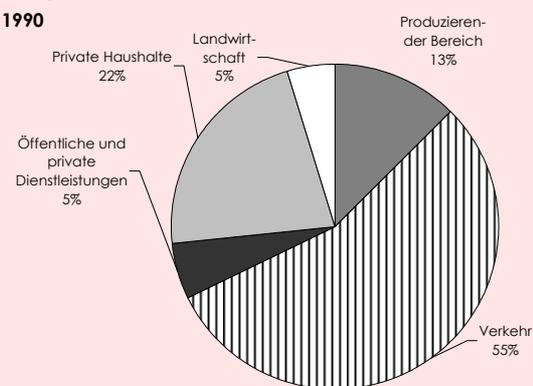


2005

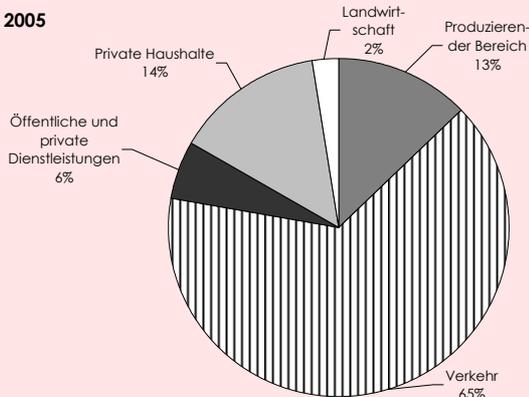


**Erdölprodukte**

1990

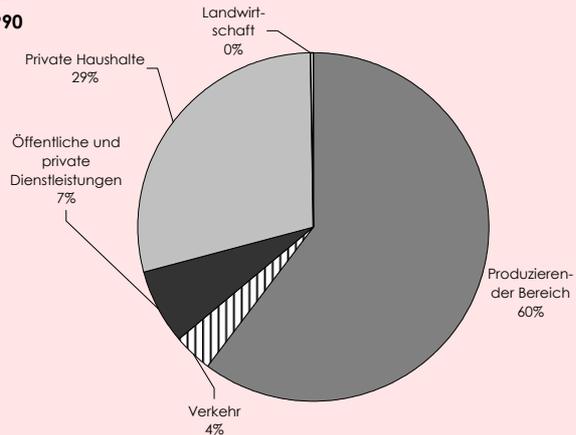


2005

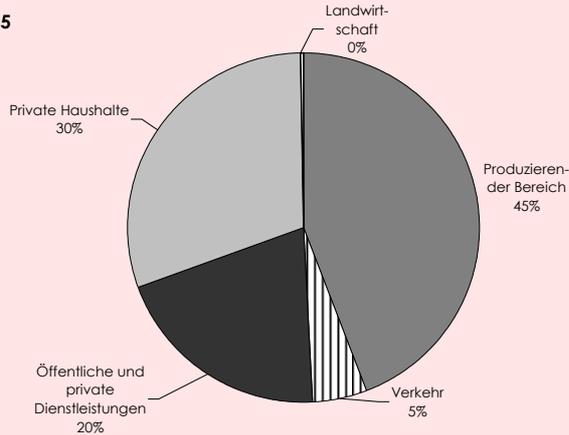


**Gas**

1990



2005



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

**Energieverbrauch der Industrie**

Der Energieverbrauch der Industrie (ohne Bauwirtschaft) stieg zwischen 1990 und 2005 um etwa 20%, während die Wertschöpfung um mehr als ein Drittel zunahm. Der Energieverbrauch hat sich demnach vom Produktionswachstum entkoppelt, allerdings nicht in einem Ausmaß, das eine Verbrauchssenkung zugelassen hätte.

Abbildung 5: Entwicklung der Energieintensität

Gemessen an der Wertschöpfung zu konstanten Preisen

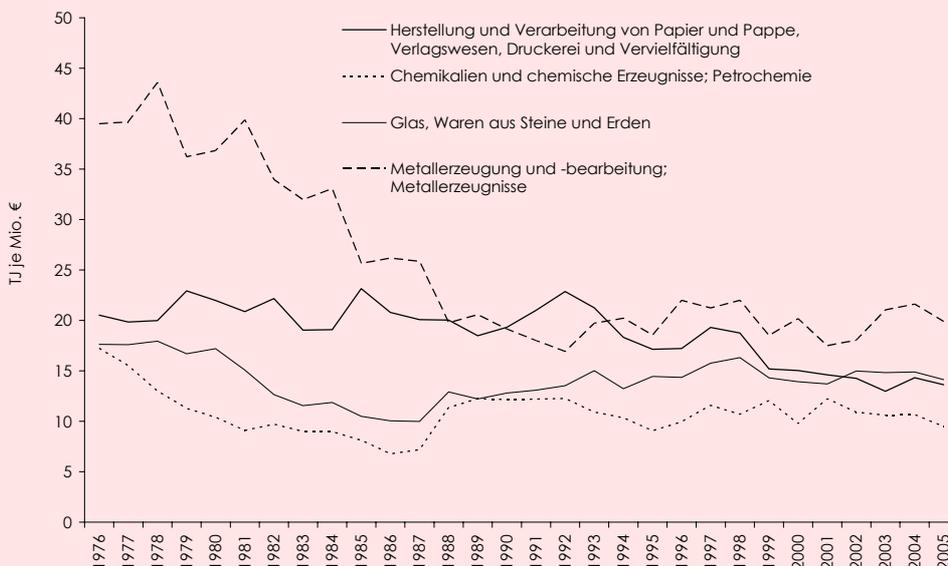


Q: Statistik Austria, WIFO-Datenbank, WIFO-Berechnungen.

Die in Energieeinheiten (TJ) gemessene Energieintensität (der Kehrwert der Energieeffizienz) je Einheit des realen Produktionswertes (in Mio. €)<sup>1)</sup> verringerte sich in der Industrie seit den siebziger Jahren kontinuierlich. Seit Anfang der neunziger Jahre verlangsamt sich diese Entwicklung aber deutlich bzw. kam zum Stillstand. Das gilt sowohl für die Industrie insgesamt als auch für die energieintensiven Branchen: Metallherzeugung, Papier und Druck, Chemie und Petrochemie sowie Steine und Erden, Glas (Abbildung 6).

## Energieintensität

Abbildung 6: Entwicklung der Energieintensität nach Sektoren



Q: Statistik Austria, WIFO-Datenbank, WIFO-Berechnungen.

<sup>1)</sup> Die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung von Statistik Austria stellt nur Volumensindizes auf Basis von verketteten Indizes für die reale Produktion zur Verfügung. Aus diesen wurden auf Basis des Referenzjahres 2000 (Preise = 100) reale Produktionswerte in Mio. € berechnet. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Additivität verketteter Indizes durch den Divisia-Mengenindex definiert ist.

Um die Ursachen dieser Entwicklung zu ermitteln, wird meist die Methode der Komponentenerlegung durchgeführt (siehe Kasten). Dabei wird die Entwicklung der Energieintensität eines Aggregates – in diesem Fall der Industrie insgesamt – in analytisch trennbare Komponenten (Energieeffizienz auf Sektorebene, aggregiertes Produktionswachstum, Strukturwandel usw.) zerlegt. Ein häufiges Ergebnis dieser Methode zur Analyse des Trends in der Energieintensität ist, dass in Perioden niedriger oder sinkender Energiepreise der Wandel der Sektorstruktur einen wesentlich größeren Beitrag zur Verringerung der Energieintensität leistet als die Verbesserung der Energieintensität in den einzelnen Sektoren.

### Die Methode der Komponentenerlegung

Die Komponentenerlegung geht von der "Kaya-Identität" für CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Dabei werden die Emissionen ( $Em$ ) als Produkt unterschiedlicher Quotienten dargestellt, z. B.

$$(1) \quad Em = \frac{Em}{E} \frac{E}{Y} Y.$$

Der CO<sub>2</sub>-Emissionsgehalt des Energieverbrauchs ( $E$ ), definiert durch  $\frac{Em}{E}$ , ist einerseits gegeben durch fixe Emissionsfaktoren je fossilen Energieträger (Kohle, Öl, Gas) und andererseits durch den Energieträger-Mix insgesamt. Die Energieintensität (Energieverbrauch pro Outputseinheit)  $\frac{E}{Y}$  ist determiniert durch die Güterstruktur von  $Y$  und die Energieeffizienz der Produktionsprozesse. In aggregierten Modellen ist die Aktivitätsvariable  $Y$  das BIP oder ein Beitrag eines Sektors zum BIP, in spezifischen Anwendungen eine Serviceleistung (für den Transportsektor) oder Einkommen (der privaten Haushalte).

Die Komponentenerlegung kann als Veränderung zwischen zwei Eckjahren 0 und  $t$  entweder in der Form ( $Em_t - Em_0 = \Delta Em$ ) oder  $\frac{Em_t}{Em_0}$  dargestellt werden. Die

Summe der Veränderungen aller Komponenten ist dabei allerdings nicht gleich der Veränderung der Emissionen insgesamt, sondern es verbleibt ein Residuum. In der Literatur werden verschiedene Lösungen für die Aufteilung dieses Residuums diskutiert. Ang – Liu (2006) beleuchten in ihrer Überblickstudie zahlreiche Studien zur Komponentenerlegung des Energieverbrauchs und deren methodische und empirische Unterschiede.

Neben der Komponentenerlegung der absoluten Veränderung in (1) kann auch das lineare logarithmische Modell davon abgeleitet werden, sodass die Veränderungsrate von  $Em$  in die Veränderungsrate der Komponenten aufgeteilt werden kann:

$$(2) \quad d \ln Em = d \ln \left( \frac{Em}{E} \right) + d \ln \left( \frac{E}{Y} \right) + d \ln Y.$$

Eine diskrete Approximation an dieses Modell ist

$$(3) \quad \frac{\Delta Em}{\bar{Em}} = \frac{\Delta \left( \frac{Em}{E} \right)}{\bar{\frac{Em}{E}}} + \frac{\Delta \left( \frac{E}{Y} \right)}{\bar{\frac{E}{Y}}} + \frac{\Delta Y}{\bar{Y}}.$$

Die Variablen  $\bar{z} = \{\bar{Em}, \bar{E}, \bar{Y}\}$  sind dabei jeweils als arithmetisches Mittel des Variablenwertes in  $t$  und in 0 definiert:  $\bar{z} = \frac{1}{2}(z_0 + z_t)$ .

Neben internationalen Studien zur Komponentenerlegung der Energieintensität der Industrie (Ang – Zhang, 2000, Ang – Liu, 2006) finden sich auch Arbeiten, die die unterschiedlichen Trends in unterschiedlichen Perioden zu erklären versuchen. In diesen Analysen kommt dem Energiepreis naturgemäß eine bedeutende Rolle zu; allerdings besteht die Herausforderung darin, langfristige Effekte einer einmaligen Energiepreisänderung auf die Energieintensität zu identifizieren. Manche Studien erklären

ökonomisch ad hoc den Zusammenhang zwischen Energieintensität und Preisen (Dowlatabadi – Oravetz, 2006, Metcalf, 2006), andere behandeln die Energieintensität als eingebettet in ein System von Produktion und Faktornachfrage (Sue Wing – Eckaus, 2004, Welsch – Ochsen, 2005, Kratena, 2007).

All diese Ansätze zeigen, dass der langfristige Effekt einer einmaligen Energiepreisänderung auf die Energieintensität über Anreize zu Investitionen in energieeffiziente Anlagen bewirkt wird. Dabei ist insbesondere die Asymmetrie von Preiseffekten ("Sperrklinken-Effekt") zu berücksichtigen: Wenn die Energiepreise wie 1986 sinken, wird nicht sofort eine weniger effiziente Technologie eingesetzt, sondern erreichte Effizienzsteigerungen bleiben wirksam. Mittelfristig wird jedoch immer weniger in energieeffiziente Anlagen investiert, sodass die Effizienzgewinne zum Stillstand kommen.

Die Energieintensität sank in der österreichischen Industrie zwischen 1990 und 2005 um insgesamt 13,3%. In einzelnen Branchen war dieser Rückgang wesentlich stärker. In einigen Bereichen verschlechterte sich die Energieintensität auch, insbesondere in den energieintensiven Wirtschaftszweigen "Metallerzeugung" und "Steine und Erden, Glas". In den zwei anderen energieintensiven Wirtschaftszweigen (Papier und Druck, Chemie und Petrochemie) wurde die Energieeffizienz dagegen im selben Zeitraum deutlich verbessert.

Wie die Komponentenerlegung der Energieintensität der gesamten Industrie im Zeitraum 1990 bis 2005 zeigt, entfielen +0,8 Prozentpunkte des Rückgangs um 13,3% auf die Strukturkomponente und -14,1 Prozentpunkte auf die Intensitätskomponente. Der Wandel der Sektorstruktur hatte somit in der Industrie zwischen nur sehr geringen (und überdies negativen) Einfluss auf die Energieeffizienz, weil unter den energieintensiven Branchen jene an Gewicht gewannen, die ihre Energieeffizienz stark verbesserten (Papier und Druck, Chemie und Petrochemie).

### Übersicht 2: Entwicklung der Energieintensität in der Industrie

	Energieintensität (Emissionen pro Energieeinheit)	Sektoranteil
	Veränderung 1990/2005 in %	In %
Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden,	+ 47,9	- 30,9
Nahrungs- und Genussmittel, Tabakverarbeitung	- 34,7	- 0,3
Textilien und Textilwaren, Ledererzeugung und -verarbeitung	+ 1,1	- 67,5
Be- und Verarbeitung von Holz	+ 72,4	- 17,7
Herstellung und Verarbeitung von Papier und Pappe, Verlagswesen, Druckerei und Vervielfältigung	- 34,5	+ 9,9
Chemikalien und chemische Erzeugnisse, Petrochemie	- 24,8	+ 45,1
Glas, Waren aus Steine und Erden	+ 9,9	- 30,1
Metallerzeugung und -bearbeitung, Metallerzeugnisse	+ 3,8	- 27,1
Maschinenbau	+ 1,6	+ 2,0
Fahrzeugbau	- 44,9	+ 58,4
Sonstiger produzierender Bereich	- 62,4	- 0,4
Insgesamt	- 13,3	
Intensitätskomponente	- 14,1	
Strukturkomponente	+ 0,8	

Q: Statistik Austria, WIFO-Datenbank, WIFO-Berechnungen.

In der Industrie verschob sich der Energieträger-Mix nach 1990 wie in der Gesamtwirtschaft beträchtlich. Die Flexibilität zur Substitution zwischen den verschiedenen Energieträgern, vor allem zwischen Kohle, Öl und Gas, erhöhte sich auch aufgrund des technischen Fortschritts (Multi-Feuerungsanlagen). Veränderungen der relativen Preise, wie z. B. die Einführung einer Energiebesteuerung auf Ölprodukte, Gas und Elektrizität 1995, hatten daher in einzelnen Branchen hohe Substitutionseffekte zur Folge. Wie ökonomische Untersuchungen für Österreich zeigen (vgl. Kratena – Wüger, 2006), ist die Kreuzpreiselastizität zwischen Kohle, Öl und Gas in einzelnen Industriebranchen sehr hoch.

### Substitution von Energieträgern

### Komponentenzerlegung für die einzelnen Sektoren

Die Methode der Komponentenzerlegung kann in unterschiedlicher formaler Ausgestaltung zur Bestimmung der Komponenten des Energieverbrauchs und der Emissionen in den Sektoren Industrie, Verkehr und private Haushalte verwendet werden.

#### Industrie

In der Industrie kann zusätzlich die Outputstruktur, d. h. der Beitrag der  $i$  Sektoren zur Gesamtproduktion  $Y$  berücksichtigt werden:

$$(4) \quad Em = \frac{Em}{E} \sum_i \frac{E_i}{Y_i} \frac{Y_i}{Y} Y.$$

Die Summe aus den Produkten der Energieintensität eines jeden Industriesektors,  $\frac{E_i}{Y_i}$ , und dem entsprechenden Anteil an der Gesamtproduktion,  $\frac{Y_i}{Y}$ , ergibt die gesamte Energieintensität der Industrie. Multipliziert mit der Gesamtproduktion ( $Y$ ) der Industrie erhält man den gesamten Endenergieverbrauch der Industrie. Das wird wiederum mit dem Emissionsgehalt des Energieverbrauchs der Industrie insgesamt,  $\frac{Em}{E}$ , verknüpft.

Eine aggregierte Version der Komponentenzerlegung in (1) stellt nur auf den Emissionsgehalt, die Energieintensität der Industrie insgesamt und die Industrieproduktion ab.

Diese Version der Komponentenzerlegung ist identisch mit Gleichung (3) und kann ihrerseits mit einer Komponentenzerlegung der Energieintensität der Industrie insgesamt verknüpft werden, die gegeben ist mit:

$$(5) \quad \Delta \left( \frac{E}{Y} \right) = \sum_i \left( \frac{E_{it}}{Y_{it}} - \frac{E_{i0}}{Y_{i0}} \right) \frac{Y_{it}}{Y_i} + \sum_i \left( \frac{Y_{it}}{Y_i} - \frac{Y_{i0}}{Y_0} \right) \frac{E_{i0}}{Y_{i0}}.$$

Gleichung (5) kann nun in (3) eingesetzt werden, um den gesamten Ausdruck für die Komponentenzerlegung zu erhalten. In (5) wurde jeweils eine Komponente mit der anderen in  $i$  und in 0 verknüpft. Dadurch wird automatisch eine Komponentenzerlegung ohne Residuum möglich – das Residuum wird implizit auf die beiden Komponenten verteilt.

#### Verkehrssektor

Die Komponentenzerlegung wurde sowohl für den Pkw-Verkehr (6) als auch für den Gütertransport (7) durchgeführt und für  $Y$  jeweils die relevanten Aktivitätsvariablen verwendet. Für den Personenverkehr wurden die Emissionen in die Komponenten CO<sub>2</sub>-Intensität  $\frac{Em}{E}$ , Energieintensität pro Fahrleistungseinheit  $\frac{E}{km}$ , Nutzungsintensität  $\frac{km}{K_{pkw}}$  (Fahrleistung der gesamten inländischen Pkw-Flotte in Kilometern in Relation zum Kapitalstock, d. h. der Zahl der Pkw) und Fahrzeugdichte  $\frac{K_{pkw}}{HH}$  (durchschnittliche Zahl der Pkw pro Haushalt) zerlegt. Die Komponentenzerlegung erfolgt hier für die im Inland erbrachte Fahrleistung; um die für das Kyoto-Protokoll relevanten gesamten verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen abzubilden, werden die mit österreichischem Kraftstoff im Ausland erzeugten Emissionen hinzu addiert<sup>2)</sup>:

$$(6) \quad Em_{in+aus} = \frac{Em}{E} \cdot \frac{E}{km} \cdot \frac{km}{K_{pkw}} \cdot \frac{K_{pkw}}{HH} \cdot HH + Em_{aus}.$$

Die Emissionen des Güterverkehrs werden in die Komponenten CO<sub>2</sub>-Intensität pro Energieeinheit  $\frac{Em}{E}$ , Energieintensität pro Tonnenkilometer  $\frac{E}{tkm}$  und Transportintensität je Einheit des Bruttoinlandsproduktes  $\frac{tkm}{Y}$  zerlegt. Wieder werden zu den so ermittelten Emissionen aus der inländischen Transportleistung die mit österreichischem Kraftstoff im Ausland produzierten Emissionen addiert, um die vollständige österreichische Emissionsbilanz des Verkehrs darzustellen:

$$(7) \quad Em_{in+aus} = \frac{Em}{E} \cdot \frac{E}{tkm} \cdot \frac{tkm}{Y} Y + Em_{aus}$$

#### Private Haushalte

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der privaten Haushalte wurden als Aktivitätsvariable die Zahl der Haushalte ( $HH$ ) und die bewohnte Nutzfläche ( $NF$ ) gewählt. Als Effizienzvariable ergibt sich dann jene Größe, die auch in technischen Bottom-up-Modellen verwendet wird, nämlich der Energieverbrauch pro Flächeneinheit:

$$(8) \quad Em = \frac{Em}{E} \cdot \frac{E}{NF} \cdot \frac{NF}{HH} \cdot HH.$$

Die Komponentenzerlegung für den Personen- und Güterverkehr kann lediglich für den inländischen Verkehr vorgenommen werden, da Daten über den technologischen Stand der Fahrzeugflotten, z. B.  $\frac{E}{km}$  bzw.  $\frac{km}{K_{pkw}}$  für das Ausland nicht vorliegen.

Neben Verschiebungen der relativen Preise bewirkt der technische Fortschritt selbst Trends zugunsten einiger Energieträger. So bringt z. B. die Zunahme der Ausstattung mit elektronischen Geräten einen Trend zum Stromverbrauch und die Erschließung neuer Gebiete mit Gasleitungen einen Trend zum Gasverbrauch mit sich. Zwischen 1990 und 2005 nahm dadurch der Anteil von Kohle und Öl(-Produkten) am energetischen Endverbrauch der Industrie signifikant ab, während der Anteil von Elektrizität und erneuerbaren Energieträgern (vor allem Holzabfälle und Ablauge) erheblich gesteigert wurde.

### Übersicht 3: Komponenten der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Industrie

	Veränderung 1990/2005 in %
Energieintensität	- 13,3
Wertschöpfung, insgesamt	+ 33,6
Energieverbrauch, insgesamt	+ 20,6
CO <sub>2</sub> -Intensität	- 7,1
CO <sub>2</sub> -Emissionen	+ 13,5

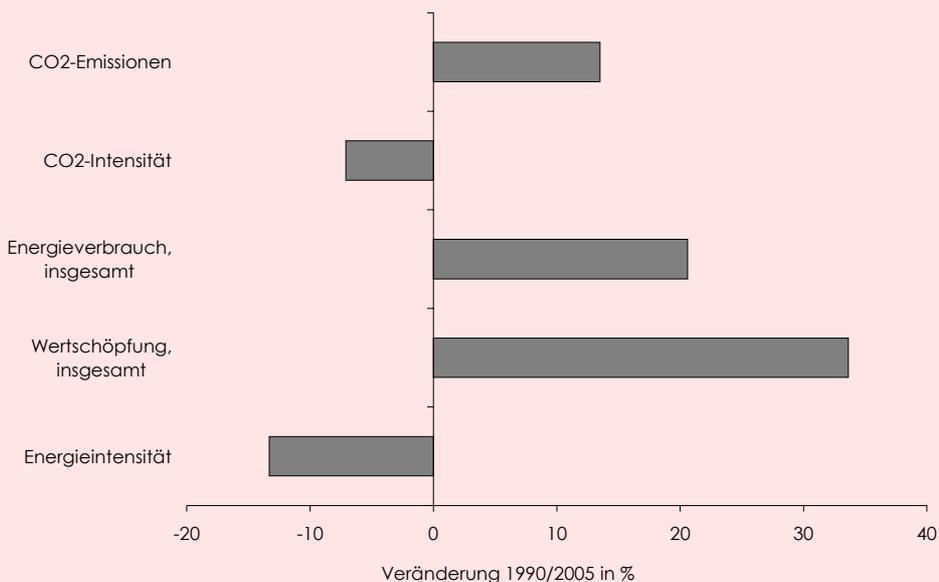
Q: Umweltbundesamt, Statistik Austria, WIFO-Datenbank, WIFO-Berechnungen.

### Übersicht 4: Gewicht der Energieträger in der Industrie

	1990 Anteile am energetischen Endverbrauch in %	2005	1990/2005 Veränderung in Prozentpunkten
Kohle	11,7	7,6	- 4,1
Erdölprodukte	13,1	9,4	- 3,7
Gas	32,0	33,5	+ 1,5
Erneuerbare Energieträger	11,9	14,7	+ 2,8
Elektrizität	29,5	32,2	+ 2,6
Sonstige	1,7	2,6	+ 0,9
Insgesamt	100,0	100,0	-

Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

### Abbildung 7: Emissionskomponenten der Industrie



Q: Statistik Austria, Umweltbundesamt, WIFO-Berechnungen.

Diese Verschiebungen im Energieträger-Mix können einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der Emissionsintensität leisten, da die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren sehr unterschiedlich sind (Kohle rund 100 t CO<sub>2</sub> pro TJ, Ölprodukte 78 t, Gas 55 t).

Gemäß der Komponentenzerlegung der Entwicklung der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie von 1990 bis 2005 nach Gleichung (3) (siehe Kasten) dämpfte daher der Rückgang der Emissionsintensität die CO<sub>2</sub>-Emissionen ceteris paribus um 7,1%. Insgesamt nahmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie zwischen den Eckjahren 1990 und 2005 jedoch um 13,5% zu<sup>2)</sup>. Davon gehen +20,6 Prozentpunkte auf den Verbrauchsanstieg zurück, der wiederum durch die Beschleunigung des Produktionswachstums auf 33,6% erhöht wurde. Die Verringerung der Energie- und der Emissionsintensität (rund -20%) reichte somit nicht aus, um den Effekt des Produktionswachstums auf die Emissionen zu kompensieren, es kommt lediglich zur "relativen" und nicht zur "absoluten" Entkopplung.

## Energieverbrauch des Verkehrs

Der Energieverbrauch des Verkehrssektors erhöhte sich zwischen 1990 und 2005 um rund 77% (Technische Universität Graz, Institut für Verbrennungsmaschinen und Thermodynamik). Berücksichtigt sind hier der Verbrauch von Elektrizität, Dieselmotorkraftstoff und Benzin des Inlandsverkehrs sowie von österreichischem Kraftstoff im Ausland ("Tanktourismus")<sup>3)</sup>. Im Personen- wie im Güterverkehr dominiert der Straßenverkehr. Im Personenverkehr etwa trägt der motorisierte Individualverkehr 70,6% (2005) zur gesamten Fahrleistung bei, auf Busse und den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) entfallen knapp 16%, auf die Bahn nur 7,3%. Rund 6% der Verkehrsleistungen werden zu Fuß und auf dem Fahrrad zurückgelegt. Im Güterverkehr wird die Fahrleistung ebenfalls überwiegend auf der Straße erbracht (66,7% der zurückgelegten Tonnenkilometer) vor der Bahn (27,8%) und dem Schiff (5,5%).

Der Modal Split des Personen- und Güterverkehrs im Inland hat sich im Untersuchungszeitraum verschoben, der Anteil der Straße nahm in beiden Sektoren zu. Die Straße gilt relativ zur Bahn und zum ÖPNV jedoch als energieintensiv und bedingt durch die fossile Energiebasis als CO<sub>2</sub>-intensiv. So wuchs der Anteil des motorisierten Individualverkehrs im Personenverkehr um 4,9 Prozentpunkte, während sich jener der Bahn um 2,1 Prozentpunkte verringerte, jener von Bus- und ÖPNV um 1,4 Prozentpunkte und jener von Rad- und Fußverkehr um 1,3 Prozentpunkte. Im Gütertransport wuchs der Anteil der Straße im Inlandsverkehr um 1,8 Prozentpunkte, während die Bahn 2,9 Prozentpunkte verlor. Der Transport auf der Donau gewann um gut 1 Prozentpunkt an Gewicht.

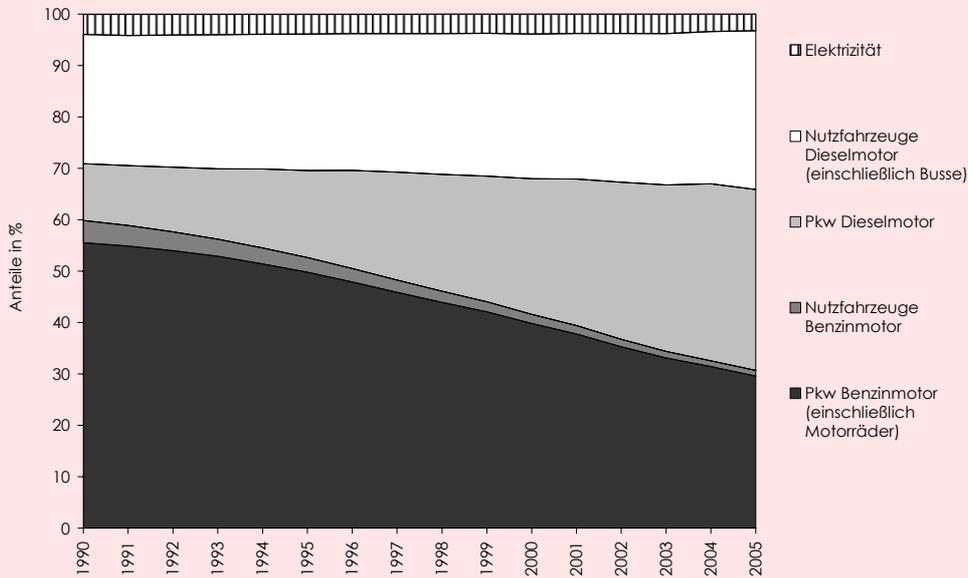
Im Inlandsverkehr auf der Straße (Abbildung 8) war im Untersuchungszeitraum eine deutliche Substitution zwischen den Energieträgern Benzin und Dieselmotorkraftstoff zu verzeichnen. Sie ist hinsichtlich der Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen unter sonst gleichen Bedingungen positiv zu bewerten: Obwohl der CO<sub>2</sub>-Gehalt von Benzin (2,5 kg CO<sub>2</sub> je Liter) niedriger ist als der von Dieselmotorkraftstoff (2,8 kg CO<sub>2</sub> je Liter), ist der Verbrauch von Dieselfahrzeugen gemessen an der Fahrleistung im Durchschnitt geringer als der von Fahrzeugen mit Ottomotor, sodass eine Substitution hin zu dieseltreibenden Fahrzeugen ceteris paribus die Gesamtemissionen an CO<sub>2</sub> dämpft.

<sup>2)</sup> Die Veränderungsdaten zwischen den Eckjahren 1990 und 2005 wurden nach Gleichung (3) im Kasten berechnet und stimmen deshalb nicht genau mit jenen überein, wie sie üblicherweise zwischen Eckjahren berechnet werden.

<sup>3)</sup> Der Bruttopreis von Dieselmotorkraftstoff ist in Österreich zum Teil beträchtlich niedriger als in den Nachbarländern, und zwar aufgrund einer deutlich geringeren Mineralölsteuerbelastung bei gleichzeitig höheren Nettopreisen. Deshalb besteht ein Anreiz, in Österreich zu tanken. Auch der Gütertransport kann so seine Produktionskosten optimieren. Dieses Steuerungsverhalten eines niedrigeren Mineralölsteuersatzes als in den Nachbarländern wird aus der Sicht des Steuerwettbewerb als strategisches Kalkül gewertet mit dem Ziel, die Steuerbasis auszuweiten und Steuereinnahmen zu generieren (vgl. Evers – de Mooij – Vollebergh, 2004). Aus klimapolitischer Sicht ist anzumerken, dass die mit inländischem Kraftstoff im Ausland erzeugten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der österreichischen Emissionsbilanz erfasst werden und so das Nichterreichen des "Kyoto-Ziels" zu einem Teil mit verursachen.

Dennoch nahmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs zwischen 1990 und 2005 nicht ab (die umweltschädigende Emission von Ruß und anderen Luftschadstoffen des Dieselverbrauchs sind hier nicht berücksichtigt).

Abbildung 8: Anteile der Energieträger am energetischen Endverbrauch des Straßenverkehrs im Inland



Q: Technische Universität Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik; WIFO-Berechnungen.

Die einzelnen Einflussfaktoren der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors werden anhand der Komponentenerlegung für den Personen- und Güterverkehr analysiert. Sie können Hinweise für notwendige Steuerungsmaßnahmen für einen effektiven Klimaschutz im Verkehrssektor geben. Die folgende Zerlegung der CO<sub>2</sub>-Emissionen konzentriert sich auf die Emissionen des inländischen Straßenverkehrs; die Emissionen aus Fahrten mit österreichischem Kraftstoff im Ausland werden nicht untersucht.

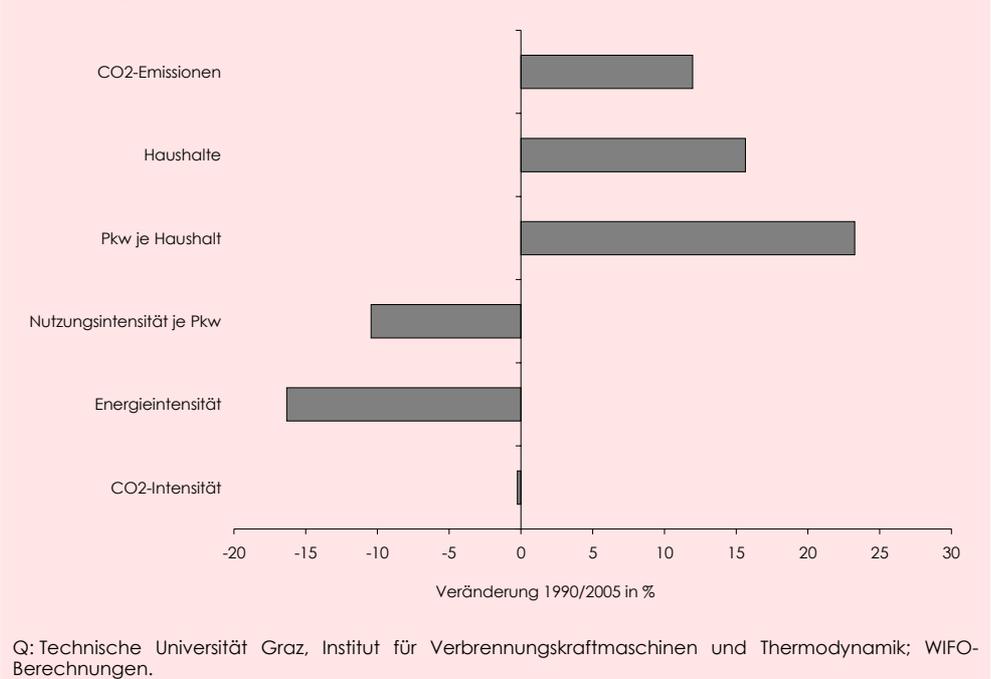
Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Personenverkehrs zwischen 1990 und 2005 wurde in die Komponenten Veränderung der CO<sub>2</sub>-Intensität, der Energieintensität, der Nutzungsintensität je Pkw, der Fahrzeugdichte je privaten Haushalt und der Zahl der Haushalte zerlegt (Gleichung (6) im Kasten) und anschließend die gesamte Veränderungsrate der Komponenten zwischen 1990 und 2005 (Gleichung (3)) berechnet (Abbildung 9). Die CO<sub>2</sub>-Intensität pro Energieeinheit der Pkw-Nutzung war demnach über den untersuchten Zeitraum konstant, während die Energieintensität pro Fahrleistung (GWh pro km), deutlich sank (-16%), d. h. der durchschnittliche energetische Flottenverbrauch wurde erheblich gesenkt und somit die technologische Effizienz der Fahrzeugflotte signifikant gesteigert. Auch die Nutzungsintensität je Pkw verringerte sich (-10%), jedoch nahm die Zahl der Pkw je Haushalt um 23% zu. Die Zahl der Haushalte erhöhte sich zudem um 16%. Die Steigerung der Pkw-Dichte ist wohl zu einem großen Teil auf das Wachstum im Bereich von Zweit- und Dritt-Pkw zurückzuführen, aber auch auf das Wachstum der Haushaltszahl insgesamt<sup>4)</sup>. Aus der Summe der einzelnen Emissionskomponenten ergibt das Wachstum der Pkw-bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland (+12%). Gemäß den Daten der Technischen Universität Graz (Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik) wuchsen die mit inländischem Kraftstoff im Ausland emittierten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 97%.

<sup>4)</sup> Zu den Determinanten der Energienachfrage der privaten Haushalte siehe Köppl – Wüger (2007), in diesem Heft.

## Energieeffizienz

Weder die Erhöhung der Energieeffizienz noch die Senkung der durchschnittlichen Nutzungsintensität pro Pkw reichten demnach aus, um die inländischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Personenverkehrs unter das Niveau von 1990 zu drücken. Vielmehr wurde durch die Zunahme des Pkw-Bestands der Haushalte und der Zahl der Haushalte die Effizienzsteigerung im Autoverkehr mehr als kompensiert. Bei gegebener Entwicklung der Pkw-Dichte müsste die Energieeffizienz der Pkw-Flotte wesentlich stärker verbessert werden, damit die personenverkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sinken. Die Klimapolitik kann dazu die klimaökonomischen Instrumente für den Straßenverkehr einsetzen, wie sie an anderer Stelle bereits diskutiert wurden (Meyer, 2007, Gebetsroither – Getzner – Steininger, 2007). Diese Instrumente sollten zunehmend auf der Basis von CO<sub>2</sub>-Intensitäten sowie anderen Schadstoffklassen konzipiert werden (Mineralöl- und Kraftfahrzeugsteuer oder Maßnahmen zur Lenkung von Verkehrsströmen wie Road-Pricing, Mauten und Vignetten). Ein solches Steuerungssystem kann Anreize für eine Verschiebung des Modal Split weg von CO<sub>2</sub>-intensiven hin zu weniger emissionsintensiven Transportmitteln wie Bahn, ÖPNV, Rad und Fußweg setzen sowie notwendige Preissignale für die Entwicklung und den Einsatz von alternativen Kraftstoffen und Antriebstechniken senden.

Abbildung 9: Emissionskomponenten des Personenverkehrs im Inland



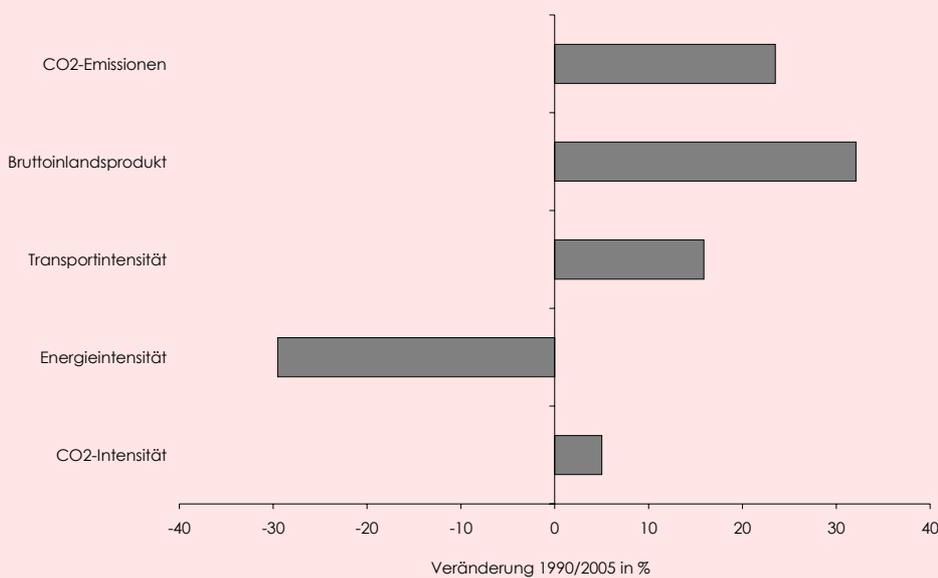
Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des inländischen Güterverkehrs zwischen 1990 und 2005 wurde in die Komponenten Veränderung der CO<sub>2</sub>-Intensität, der Energieintensität, der Transportintensität je Einheit des Bruttoinlandsproduktes und des Bruttoinlandsproduktes zerlegt (Gleichung (7) im Kasten) und anschließend die Veränderungsrate der Komponenten zwischen den Eckjahren 1990 und 2005 (Kasten) berechnet (Gleichung (3)). Während die CO<sub>2</sub>-Intensität pro Energieeinheit zwischen 1990 und 2005 um 5% zunahm, wurde die Energieeffizienz um 30% gesteigert, d. h. die Energieintensität verringerte sich um 30% (Abbildung 10). Hingegen stieg die Transportintensität (Tonnenkilometer je Einheit des Bruttoinlandsproduktes) im Inland um 16%, während das BIP um 32% wuchs. Auch hier war also eine relative Entkoppelung zu beobachten. Ein beachtliches Wachstum verzeichneten die mit österreichischem Kraftstoff im Ausland erzeugten CO<sub>2</sub>-Emissionen (+260%; laut Technischer Universität Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik): Wegen des Preisdifferentials zwischen österreichischem und ausländischem Dieselmotorkraftstoff realisiert der Nutzlastverkehr aufgrund der großen Tankkapazitäten<sup>5)</sup> einen er-

<sup>5)</sup> Lkw legen mit einer Tankfüllung durchschnittlich 1.500 km bis 3.000 km zurück.

heblichen Kostenvorteil (Evers – de Mooij – Vollebergh, 2004). Hier besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf zur Validierung der Datengrundlage.

Im Güterverkehr ergibt sich insgesamt ein ähnliches Bild wie im Personenverkehr: Der emissionsdämpfende Effekt der Steigerung der technologischen Effizienz wurde durch den emissionssteigernden Effekt des Wachstums der Kapitalstöcke und der Verkehrsleistung überkompensiert. Es kam lediglich zu einer relativen Entkopplung. Zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Güterverkehrs eignen sich dieselben Strategien wie im Personenverkehr, und sie betreffen die gleichen klimaökonomischen Instrumente im Straßenverkehr, die auch im Gütertransport eine Verschiebung des Modal Split zur Bahn bewirken sollen. Gleichzeitig sollen diese Maßnahmen einen Anreiz zu Innovationen in der Transporttechnologie setzen – weg von der fossilen Energiebasis hin zu alternativen Energieträgern, Antrieben und Mobilitätskonzepten. Insgesamt sollte eine Entkopplung der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Güterverkehr vom Wirtschaftswachstum angestrebt werden (OECD, 2006).

Abbildung 10: Emissionskomponenten Nutzlastverkehr Inland



Q: Technische Universität Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik; WIFO-Berechnungen.

Die Einflussfaktoren der Entwicklung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte analysieren in diesem Heft Köppl – Wüger (2007). Hier soll lediglich anhand einer einfachen Komponentenerlegung der Einfluss von Energie- und Emissionsintensität einerseits und von Haushalts- und Wohnflächenwachstum andererseits auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Haushaltssektors gezeigt werden (Gleichung (8) im Kasten).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Haushalte weisen im Zeitraum 1990 bis 2005 starke Schwankungen auf, die mit jenen des Energieverbrauchs synchron waren und auf Wittereinflüsse zurückzuführen sind. Insgesamt erhöhten sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Haushalte kaum (Abbildung 12). Wie die Komponentenerlegung allerdings zeigt, hätte die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs je Nutzfläche und der Emissionsintensität (Wandel im Energieträger-Mix) ceteris paribus eine Verringerung der Emissionen um über 25% erlaubt. Wegen der Zunahme der Zahl der Hauptwohnsitze um 17% und der durchschnittlichen Nutzfläche um 14% erhöhten sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen aber deutlich (Abbildung 11).

Diese Entwicklung der jüngeren Vergangenheit sollte beim Design künftiger klimapolitischer Maßnahmen mit bedacht werden. Vor allem bezüglich der Komponente "spezifischer Energieverbrauch je Nutzfläche" wurden seit 1990 – wahrscheinlich auch aufgrund der forcierten Gebäudesanierung – beachtliche Fortschritte erzielt.

## Energieverbrauch der privaten Haushalte

Die treibende Kraft des Energieverbrauchs der privaten Haushalte ist jedoch die an ein gewisses Konsumwachstumsmuster gekoppelte Ausweitung des Gebäudebestands und der durchschnittlichen Nutzfläche.

Abbildung 11: Emissionskomponenten der privaten Haushalte

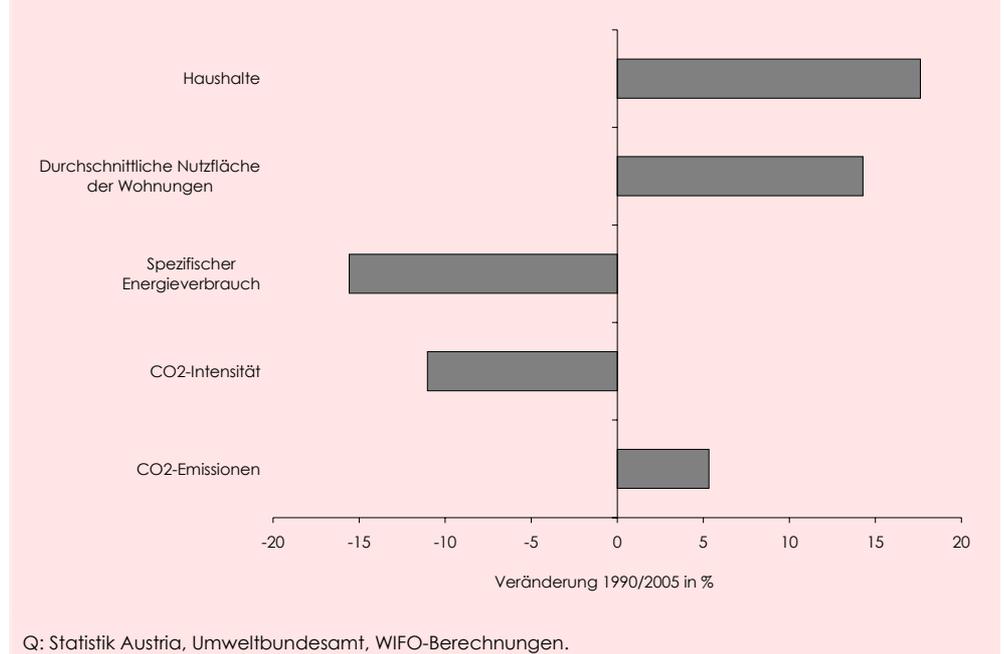
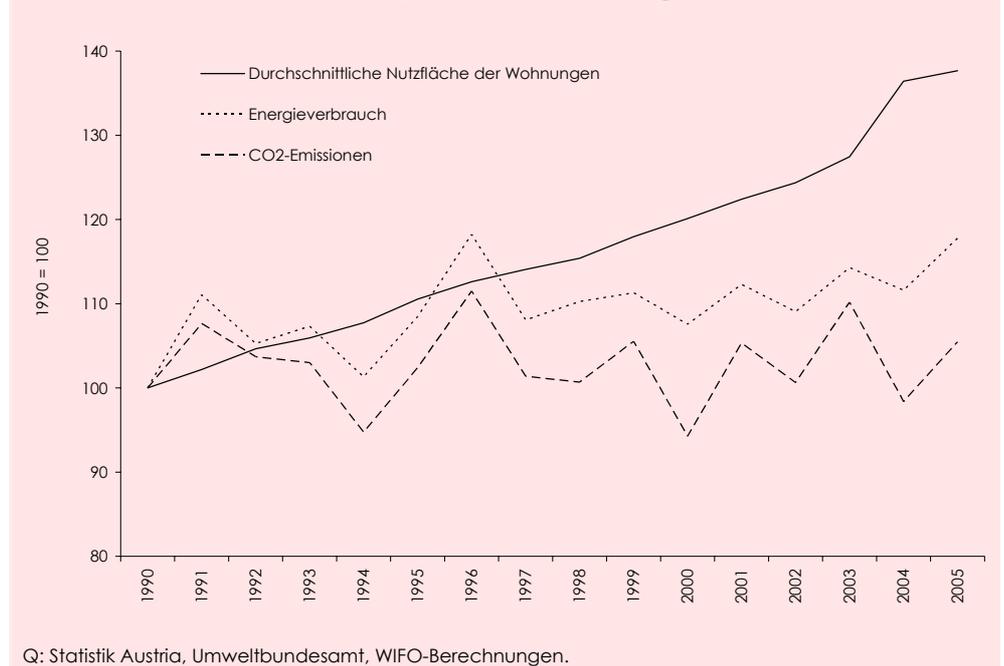


Abbildung 12: Wohnfläche, Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen



**Literaturhinweise**

Ang, B. W., Liu, N., "A Cross-Country Analysis of Aggregate Energy and Carbon Intensities", Energy Policy, 2006, 34, S. 2398-2404.

Ang, B. W., Zhang, F. W., "A Survey of Index Decomposition Analysis in Energy and Environmental Studies", Energy, 2000, 25, S. 1149-1176.

Dowlatabadi, H., Oravetz, M. A., "US Long-Term Energy Intensity: Backcast and Projection", Energy Policy, 2006, 34, S. 3245-3256.

Evers, M., de Mooij, R. A., Vollebergh, H. R. J., "Tax Competition under Minimum Rates: The Case of European Diesel Excises", Tinbergen Institute Discussion Paper, 2004, (TI 2004-062/3).

- Gebetsroither, B., Getzner, M., Steininger, K. W., "Quantitative Evaluierung klimarelevanter verkehrspolitischer Maßnahmen in Österreich", WIFO-Monatsberichte, 2007, 80(4), S. 389-399, [http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=28827&typeid=8&display\\_mode=2](http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=28827&typeid=8&display_mode=2).
- Köppl, A., Wüger, M., "Energienachfrage der privaten Haushalte für Wohnen und Verkehr", WIFO-Monatsberichte, 2007, 80(11), [http://www.wifo.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&typeid=8&id=30422&display\\_mode=2](http://www.wifo.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&typeid=8&id=30422&display_mode=2).
- Kratena, K., "Technical Change, Investment and Energy Intensity", Economic Systems Research, 2007, (19), S. 295-314.
- Kratena, K., Wüger, M., "PROMETEUS: Ein multisektorales makroökonomisches Modell der österreichischen Wirtschaft", WIFO-Monatsberichte, 2006, 79(3), S. 187-205, [http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=26339&typeid=8&display\\_mode=2](http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=26339&typeid=8&display_mode=2).
- Metcalfe, G. E., "Energy Conservation in the United States: Understanding its Role in Climate Policy", NBER Working Paper, 2006, (12272).
- Meyer, I., "Nachhaltige Mobilität und Klimaökonomie", WIFO-Monatsberichte, 2007, 80(4), S. 375-388, [http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=28826&typeid=8&display\\_mode=2](http://www.wifo.ac.at/www/jsp/index.jsp?fid=23923&id=28826&typeid=8&display_mode=2).
- OECD, Decoupling the Environmental Impacts of Transport from Economic Growth, Paris, 2006.
- Sue Wing, I., Eckaus, R. S., "Explaining Long-Run Changes in the Energy Intensity of the U.S. Economy", M.I.T. Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report, Cambridge, MA, 2004, (116).
- Welsch, H., Ochs, C., "The Determinants of Aggregate Energy Use in West Germany: Factor Substitution, Technological Change, and Trade", Energy Economics, 2005, 27, S. 93-111.

## *Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions in Austria*

### *The Role of Energy Efficiency and Fuel Substitution – Summary*

In order to achieve the Kyoto target, i.e., reducing CO<sub>2</sub> emission by 13 percent against the reference year of 1990 as an average of 2008-2012, it is necessary to substantially improve energy efficiency in industry, transport and private households. In the period spanning 1990-2005, improvements in energy efficiency did not suffice to compensate for the emission-boosting effects of growth rates in production (industry), the stock of cars and goods transport output (traffic), and in overall housing space (households). For industry and private households, a reduction in the emission intensity (emissions per energy unit) curtailed emissions due to a shift in the mix of energy sources used (fuel substitution).