

Einflussgrößen des Energieverbrauchs
– Eine empirische Analyse für Deutschland –

Diplomarbeit
für die Prüfung für Diplom-Volkswirte
eingereicht beim
Prüfungsausschuss für Diplom-Volkswirte
der
Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Universität Heidelberg
2003

Volker Banschbach
geboren in Aalen

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe verfasst habe, und dass alle wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommenen Stellen dieser Arbeit unter Quellenangaben einzeln kenntlich gemacht sind.

Heidelberg, 28. November 2003

– Volker Banschbach –

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	2
1. Einleitung.....	3
 Teil I Einflussgrößen des Energieverbrauchs	
2. Der Energieverbrauch in Deutschland	5
2.1 Verschiedene Größen des Energieverbrauchs.....	7
2.2 Kennzahlen der Energiewirtschaft	9
3. Bruttoinlandsprodukt.....	12
3.1 Entkoppelung von BIP und Energieverbrauch.....	14
3.2 Vorteile der Entkoppelung	16
4. Gesamtwirtschaftliche Einflussgrößen des Energieverbrauchs	16
4.1 Demografische Entwicklung.....	17
4.2 Verfügbares Einkommen	19
4.3 Strukturveränderungen.....	20
4.4 Energiepreise.....	22
4.4.1 Energie als Standortfaktor	23
4.4.2 Rohöl als „Leitwährung“ für alle Energiepreise	24
4.4.3 Preisdifferenzen zwischen den Energieträgern	25
4.5 Technologischer Fortschritt	26
4.5.1 Energieforschung	27
4.5.2 Umwandlungsbereich.....	28
4.6 Energiemix	31
4.7 Temperatureinfluss.....	32
4.7.1 Das Konzept der Gradtagzahlen.....	33
4.7.2 Grenzen der Gradtagzahlen.....	35
5. Sektorale Einflussgrößen des Energieverbrauchs	36
5.1 Haushalte.....	36
5.2 Gewerbe, Handel und Dienstleistungen.....	39
5.3 Verkehr.....	41
5.4 Industrie	44

Teil II Empirische Analyse

6. Datenbasis	46
6.1 Zeithorizont der Daten	46
6.2 Modifikation der Zeitreihen	47
7. Empirische Ergebnisse	49
7.1 Gesamtwirtschaftliche Analyse.....	49
7.1.1 Logarithmierte Darstellung des Modells.....	52
7.1.2 Überprüfung der empirischen Ergebnisse.....	55
7.2 Sektorale Analyse	57
8. Zusammenfassung.....	61
Anhang	63
Literaturverzeichnis.....	66

Abkürzungsverzeichnis

ABL	Alte Bundesländer
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (ab 2002)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (bis 2002)
BWS	Bruttowertschöpfung
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EEV	Endenergieverbrauch
ESVG	Europäisches System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GTZ	Gradtagzahl
NBL	Neue Bundesländer
PEV	Primärenergieverbrauch
SKE	Steinkohleeinheit
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2002.	5
Abbildung 2: Entwicklung von realem BIP, PEV und EEV.	12
Abbildung 3: Primärenergieintensität.	15
Abbildung 4: Strukturwandel.	21
Abbildung 5: Stromerzeugung im Vergleich zum Energieverbrauch.	29
Abbildung 6: Haushaltsstruktur in Deutschland.	37
Abbildung 7: EEV der Verkehrsbereiche von 1960 und 2001 im Vergleich.	42
Tabelle 1: Endenergieverwendung im Jahr 2001 nach Anwendungsbereichen.	32
Tabelle 2: Schätzergebnis der gesamtwirtschaftlichen Modellgleichung 7.	50
Tabelle 3: Schätzergebnis der logarithmierten Modellgleichung 8.	53
Tabelle 4: Dickey-Fuller Test für die Modellgleichung 8.	56
Tabelle 5: Schätzergebnis des sektoralen Modells.	58

1. Einleitung

Es gibt kaum einen Bereich des täglichen Lebens der nicht auf die Nutzung von Energie angewiesen ist: Ohne Energie gäbe es keine Industrie, keinen Verkehr und keine Raumwärme, jedenfalls nicht in der heutzutage gewohnten Form. In dem letzten Energiebericht vom Oktober 2001 hat die Bundesregierung die Leitlinien der deutschen Energiepolitik festgelegt. Für eine nachhaltige Energiepolitik müssen *Versorgungssicherheit*, *Umweltverträglichkeit* und *Wirtschaftlichkeit* als drei gleichrangige Ziele behandelt werden.¹

Insbesondere die *Versorgungssicherheit* ist durch die gravierenden weltweiten Stromausfälle im Jahr 2003 verstärkt in den Blickwinkel des öffentlichen Interesses gerückt. Mitte August gingen zuerst in Amerika und Kanada die „Lichter“ aus, am 28. August folgte London, sowie Schweden und Dänemark gegen Ende September. Bei dem letzten großen Stromausfall am 28. September waren in Italien mehr als 57 Millionen Menschen betroffen.² Die Häufigkeit und die kurzen zeitlichen Intervalle der sogenannten „Blackouts“ haben uns die Bedeutung sicherer Versorgungsstrukturen erneut vor Augen geführt.

Der *Umweltverträglichkeit*, dem zweiten politischen Ziel, trägt die Bundesregierung mit ihrem besonders ehrgeizigen Klimaschutzziel Rechnung. Deutschland hat sich auf eine 25%-ige Reduktion der CO₂-Emission bis 2005 gegenüber 1990 verbindlich festgelegt. Zwischen Energie und Umwelt besteht eine enge Verbindung, denn „nahezu bei jeder Form der Energienutzung wird die Ressource „Umwelt“ in Anspruch genommen.“³ Die Umweltbelastungen verursachen beträchtliche externe Effekte. Diesem Umstand sollte die Energiepolitik entgegenwirken.

Energie ist ein wichtiger Standort- und Produktionsfaktor, weshalb das dritte Ziel, die *Wirtschaftlichkeit*, nicht an Bedeutung gegenüber den anderen Zielen verlieren darf. Die fortschreitende Liberalisierung der Energiemärkte ist hier genauso wichtig wie der Subventionsabbau bei Steinkohle und bei den regenerativen Energien.

Die Umsetzung des Zieldreiecks mit Hilfe von geeigneten Strategien führt offensichtlich zu einem Konflikt, weil die Ziele untereinander in Konkurrenz stehen:

¹ Vgl.: BMWi (2001), S. 10.

² Vgl.: Flauger, J., Krieger, R. (2003), S. 6.

³ BMWi (2002), S. 14.

„Ein Mehr bei einem Ziel bewirkt ein Weniger bei den anderen Zielen.“⁴ Grundsätzlich scheint nur die Strategie der Energieeinsparung mit allen drei Zieldimensionen kompatibel zu sein.⁵ Für die Erarbeitung alternativer Strategien ist ein exaktes Wissen sowohl über die Höhe und Verwendung als auch über die Einflussgrößen des Energieverbrauchs notwendig. Denn „eine Grundlage der Energiepolitik ist die Erhebung und Aufbereitung aussagefähiger Daten über Energieerzeugung und Energieverwendung“⁶, um daraus wichtige Rückschlüsse für die Gestaltung der Energiepolitik zu erlangen.

Hieraus ergibt sich die zentrale Fragestellung dieser Arbeit: Welche Faktoren bestimmen maßgeblich den Energieverbrauch in Deutschland und wie hoch ist deren empirisch messbarer Einfluss? Ein wesentlicher Einflussfaktor ist dabei das Bruttoinlandsprodukt (BIP) als Maßstab für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit. Bis Mitte der 70er Jahre verliefen die Entwicklung des Energieverbrauchs und des BIPs auffallend synchron. Ein weiterer – auch unter Umweltgesichtspunkten sehr entscheidender – Aspekt ist daher, wie eine weitgehende Entkoppelung des Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum erreicht werden kann.

Das Vorgehen in dieser Arbeit ist wie folgt: Das 2. Kapitel beschreibt den Energieverbrauch im Jahr 2002. In diesem Zusammenhang wird geklärt, welche Stufe des Energieverbrauchs empirisch untersucht werden soll. Ebenso werden die wichtigsten energiewirtschaftlichen Kennzahlen zur Beurteilung von Energiesystemen erläutert. Im 3. Kapitel werden der Verlauf und die Gründe für die Entkoppelung von BIP und Energieverbrauch beschrieben. Die gesamtwirtschaftlichen Einflussgrößen des Energieverbrauchs werden im 4. Kapitel identifiziert, während danach die sektoralen Determinanten separat behandelt werden (5. Kapitel).

Die weiteren Kapitel beinhalten die empirische Analyse. Zuerst wird im 6. Kapitel auf die verwendeten Zeitreihen, diverse Datenprobleme und deren Lösung eingegangen. Danach wird im 7. Kapitel ein ökonometrisches Modell für den Energieverbrauch mit den empirischen Ergebnissen vorgestellt. Anschließend wird ein zusätzliches Modell für den Industriebereich, als Beispiel für die Durchführung einer sektoralen Analyse, ermittelt. Den Abschluss bildet das 8. Kapitel mit der Zusammenfassung der erhaltenen Ergebnisse und einer kurzen Bewertung.

⁴ Schiffer, H.-W. (2002), S. 388.

⁵ Vgl.: BMWi (2001), S. 11.

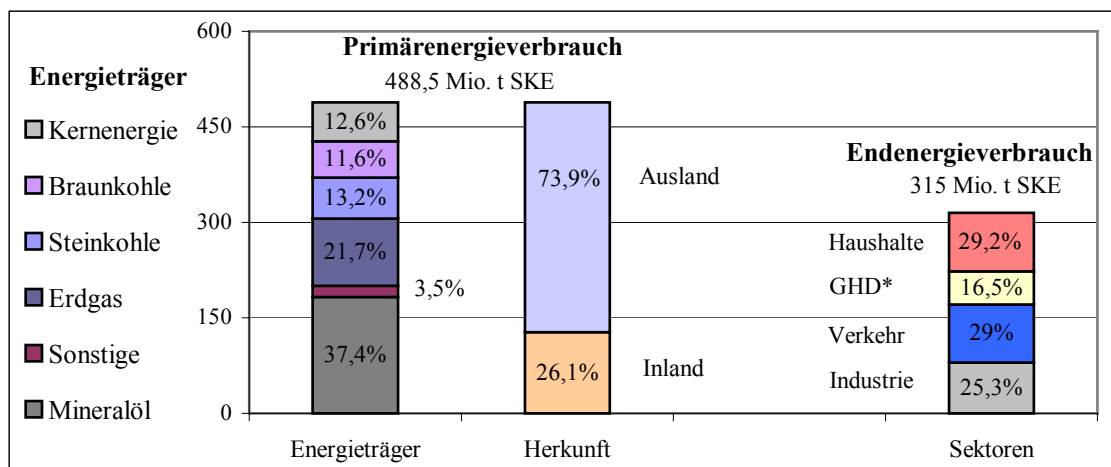
⁶ Döring, W. (2002), S. 8.

Teil I Einflussgrößen des Energieverbrauchs

2. Der Energieverbrauch in Deutschland

Für die Identifikation von relevanten Einflussgrößen ist es hilfreich, zuerst die Höhe des Energieverbrauchs und dessen Zusammensetzung zu betrachten. Der Primärenergieverbrauch (PEV) in Deutschland belief sich im Jahr 2002 auf 488,5 Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten (Mio. t SKE). Die erste Säule in Abbildung 1 zeigt, wie sich der PEV auf die verschiedenen Energieträger verteilt.

Abbildung 1: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2002.



*GHD: Gewerbe, Handel und Dienstleistungen.

Quelle: Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2003), Tabelle 2.1 und 2.3, eigene Darstellung.

Im Jahr 2002 bildeten die fossilen Energieträger weiterhin das „Rückgrat“ der deutschen Energieversorgung. Mineralöl und Erdgas hatten mit 37,4% beziehungsweise 21,7% den größten Anteil. Dahinter folgten Stein- und Braunkohle, die zusammen mit 24,8% zur Deckung des Primärenergieverbrauchs beigetragen hatten. Unter „Sonstige“ werden alle regenerativen Energiequellen zusammengefasst. Zusätzlich wird hier der Außenhandelsaldo von Strom hinzugerechnet, der sich in den letzten 10 Jahren zwischen -0,7 und +0,6 Mio. t SKE bewegte.⁷

Im internationalen Vergleich kann Deutschland als Land mit geringen Energierohstoffen eingestuft werden. Zwar sind die Reserven an Steinkohlen beträchtlich, allerdings sind die Förderkosten wegen der ungünstigen geologischen Lagerstätten sehr viel höher als im Ausland.

⁷ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2003), Tabelle 2.3.

Für eine wirtschaftliche Energiegewinnung stehen vor allem die Braunkohlereserven zur Verfügung, die überwiegend bei der Elektrizitätserzeugung eingesetzt werden, dabei allerdings erhebliche CO₂-Emissionen verursachen.⁸ Die Potenziale der wirtschaftlichen Nutzung von umweltfreundlicheren regenerativen Energieträgern sind entweder beschränkt oder wie bei der Wasserkraft im Wesentlichen bereits ausgeschöpft.

Die Energieversorgung in Deutschland beruht deshalb zum größten Teil auf Energieimporten (siehe Abbildung 1). Die inländische Primärenergiegewinnung betrug im Jahr 2002 insgesamt 127,6 Mio. t SKE und konnte damit 26,1% des gesamten Energieverbrauchs decken. Folglich mussten 73,9% des Primärenergiebedarfs eingeführt werden. Diese Importabhängigkeit variiert allerdings sehr stark zwischen den jeweiligen Energieträgern. Der wichtigste Energieträger Mineralöl hatte mit 97% eine überproportional hohe Einfuhrquote. Bei Erdgas betrug dieser Anteil 79% und bei Steinkohle 58%.⁹ Dagegen konnten Braunkohle und die erneuerbaren Energien nahezu vollständig der Inlandsgewinnung zugerechnet werden.

Statistisch gesehen hat die Kernenergie, wegen des importierten Urans, mit 100% die höchste Auslandsabhängigkeit. Aufgrund der vorgehaltenen nuklearen Brennstoffvorräte und der Wiederaufbereitungsmöglichkeiten des Urans ergibt sich eine mehrjährige Versorgungssicherheit, weshalb man der Kernenergie den gleichen Stellenwert wie den inländisch produzierten Energieträgern beimessen kann.¹⁰ Wenn man die Kernenergie nicht als Importenergie bewertet, würde sich die gesamtwirtschaftliche Einfuhrquote von 73,9% auf 62% verringern.

In Abbildung 1 ist neben dem PEV auch der Endenergieverbrauch (EEV) dargestellt. Dieser war vor allem wegen den Umwandlungsverlusten in Kraftwerken und Raffinerien im Jahr 2002 um 35,5% geringer als der PEV. Üblicherweise werden in der Energiestatistik homogene Verbrauchergruppen gebildet, um den EEV zu strukturieren. Dabei wird die Volkswirtschaft in die vier Sektoren Industrie, Verkehr, Haushalte und den Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) eingeteilt. Die dritte Säule des Schaubilds zeigt, wie sich der EEV auf diese vier verschiedenen Nachfragesektoren verteilte. Der Verkehrs- und der Haushaltssektor hatten mit jeweils 29% die größte Energienachfrage. Bei einer langfristigen Betrachtung von 1960 bis 2002 können

⁸ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1997), S. 15.

⁹ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2003), Tabelle 2.2.1 und Tabelle 2.3.

¹⁰ Vgl.: Schiffer, H.-W. (2003), S. 179.

erhebliche Veränderungen der prozentualen Anteile festgestellt werden, wobei zwei gegenläufige Tendenzen besonders auffällig sind. 1960 hat der Verkehr 10,7% der Endenergie verbraucht und diesen Anteil bis zum Jahr 2002 auf 29% erhöht. Im gleichen Zeitraum hat die Industrie ihren Verbrauch von 33,4% auf 25,3% gesenkt.¹¹ Eine zwischenzeitliche Trendwende ist in dem Zeitraum nicht zu erkennen, da die Verschiebungen einen fast konstant steigenden beziehungsweise fallenden Verlauf aufzeigen.

2.1 Verschiedene Größen des Energieverbrauchs

Vor der Analyse ist zunächst zu klären, welche Energieverbrauchsgröße zugrundegelegt wird. Hierbei können drei verschiedene Stufen des Energieverbrauchs herangezogen werden: Der PEV und der EEV, die bereits angesprochen wurden, sowie der Nutzenergieverbrauch.

Der PEV eines Landes wird ermittelt als Summe aus der inländischen Produktion von primären Energieträgern, dem Saldo des Energieaußenhandels und den Bestandsveränderungen.¹² Primärenergieträger sind die fossilen Energieträger Mineralöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle, die regenerativen Energieträger wie Erdwärme, Biomasse, Sonnenstrahlung, Wind- und Wasserkraft, sowie die Kernkraft. Statistisch erhoben wird nur der Verbrauch von kommerziell gehandelten primären Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterzogen wurden.¹³ Für den Eigenverbrauch gewonnene oder gesammelte Energieträger – beispielsweise Brennholz – werden nicht berücksichtigt, wobei deren Bedeutung in Deutschland als äußerst gering einzuschätzen ist.

In den meisten Fällen können die primären Energieträger nicht direkt von den Konsumenten genutzt werden, sondern müssen in Kraftwerken und Raffinerien zu sekundären Energieträgern, wie beispielsweise Strom, Fernwärme, Benzin und Heizöl, weiterverarbeitet werden.¹⁴ Diese Veredelung dient der optimalen Nutzung durch den Endabnehmer, ist aber mit energetischen Verlusten und einem gewissen Eigenverbrauch in den Umwandlungsprozessen verbunden.

¹¹ Vgl.: Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (2003b), o. S..

¹² Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (o. J.), S. 4.

¹³ Vgl.: RWE AG (2001), S. 9.

¹⁴ Vgl.: Morasch, K. (1998), S. 55.

Als Endenergie wird die Energiemenge bezeichnet, die den einzelnen Nachfragegruppen am Ort des Verbrauchs zur Verfügung steht, wobei sie letztlich um rund 1/3 geringer ist als der PEV. Außerdem wird der Einsatz von Energieträgern für nicht-energetische Verwendungszwecke, zum Beispiel als Rohstoff in der Chemieindustrie, zur Herstellung von Kunststoffen und Farben, im PEV erfasst und nicht wie in anderen Ländern üblich dem EEV zugeordnet.¹⁵

Daher wird nur der energetisch genutzte Teil des Energieverbrauchs der Endabnehmer als EEV bezeichnet, der aber nochmals durch die beim Konsumenten installierten und betriebenen technischen Geräte und Anlagen in Nutzenergie umgewandelt wird. Unter dem Nutzenergieverbrauch versteht man den Anteil der Endenergie, den der Verbraucher insbesondere für die Anwendungsbereiche Wärme beziehungsweise Kälte, Beleuchtung und mechanische Kraft einsetzt.¹⁶ Bei diesen Energiedienstleistungen entstehen in der Regel unerwünschte Verluste. So wird zum Beispiel bei der Beleuchtung auch die Umgebung erwärmt, was nur bedingten Nutzen stiftet.

Insgesamt gehen mehr als 2/3 der ursprünglichen Primärenergie durch Leitungs- und Umwandlungsverluste verloren, bis sie die Erfüllung einer Energiedienstleistung bewirkt haben.¹⁷ In Abbildung A1 im Anhang werden die angesprochenen Transformationsverluste grafisch verdeutlicht.

Besonders die letzte Energiestufe, der Nutzenergieverbrauch, wäre von ökonomischem Interesse,¹⁸ aber: „Bislang bestehen (...) weder die methodischen noch die statistischen Voraussetzungen, um den Nutzenergieverbrauch bzw. die in Anspruch genommenen Energiedienstleistungen hinreichend gesichert quantifizieren zu können.“¹⁹ Die Wahl der zu untersuchenden Verbrauchsgröße beschränkt sich somit auf den PEV oder den EEV – für beide Verbrauchsstufen ist die benötigte Datenbasis vorhanden und aus den nationalen oder internationalen Energiebilanzen zu entnehmen.

¹⁵ Vgl.: RWE AG (2001), S. 9.

¹⁶ Vgl.: Erdmann, G. (1992), S. 144.

¹⁷ Vgl.: Heinloth, K. (1997), S. 3.

¹⁸ Vgl.: Morasch, K. (1998), S. 57.

¹⁹ Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (2002), S. 3.

Wie in Gleichung 1 zu sehen, besteht zwischen den beiden Verbrauchsstufen ein enger formaler Zusammenhang, wodurch ein Rückschluss auf die jeweils andere Größe möglich ist. Zudem sind PEV und EEV im Zeitverlauf fast parallel gewachsen (siehe Abbildung 2 im 3. Kapitel).

$$\begin{aligned} \text{PEV} = & \text{EEV} + \text{Umwandlungsverluste} \\ & + \text{Eigenverbrauch im Umwandlungsbereich} \\ & + \text{Leitungsverluste} \\ & + \text{nichtenergetischer Verbrauch} \\ & +/\text{– statistische Differenz} \end{aligned} \quad (1)$$

Für die Analyse des aggregierten Energieverbrauchs würde es ausreichen, den von der Entstehungsseite relativ genau zu bestimmenden PEV zu betrachten, da in diesem der EEV eingeschlossen ist.²⁰ Zusätzlich beinhaltet der PEV die weiteren Verbrauchsgrößen aus Gleichung 1, darunter sind die Umwandlungsverluste und der nichtenergetische Verbrauch die größten Positionen. Ökonomisch aussagefähiger ist allerdings der EEV, weil er von der Verwendungsseite der Endabnehmer bestimmt wird und der PEV von den eigentlichen Verbrauchsentscheidungen der Konsumenten nicht berührt wird.

Inwieweit der PEV oder der EEV als Untersuchungsgröße für den Energieverbrauch vorzuziehen ist, kann nicht eindeutig beantwortet werden.²¹ In dem empirischen Teil dieser Arbeit wird der Endenergieverbrauch als zu untersuchende Größe gewählt.

2.2 Kennzahlen der Energiewirtschaft

Für die Beurteilung eines Energiesystems wird eine Reihe von statistischen Kennzahlen verwendet. Der am Häufigsten benutzte Indikator ist die Energieintensität:

$$\text{Energieintensität}_t = \frac{\text{Energieverbrauch}_t}{\text{wirtschaftliche Leistung}_t} \quad (2)$$

Sie setzt den benötigten Energieeinsatz ins Verhältnis zu der jeweiligen wirtschaftlichen Leistung, beispielsweise dem realen BIP eines Landes oder der Bruttowertschöpfung einer Branche.²² Entsprechend der verwendeten Energiestufe spricht man von Primär- oder Endenergieintensität. Der Index t steht hierbei für das jeweilige Beobachtungsjahr.

²⁰ Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 39.

²¹ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1999), S. 73.

²² Vgl.: Gabler Verlag (1997), S. 1114.

Die Zu- oder Abnahme der Energieintensität kann sich aus Veränderungen des Energieverbrauchs sowie der wirtschaftlichen Leistung ergeben. Allerdings sind die beiden Größen nicht voneinander unabhängig. Es kann erwartet werden, dass der Energiebedarf mit der wirtschaftlichen Tätigkeit variiert, deren Wachstumsraten müssen aber keine Identität aufzeigen.

„Zur Beschreibung der dynamischen Effekte steigender Einkommen auf die gesamtwirtschaftliche Energienachfrage dient die Einkommenselastizität der Energienachfrage.“²³ Sie ist beispielsweise für das BIP, das dem volkswirtschaftlichen Einkommen entspricht, und für den PEV definiert als:

$$\eta_{\text{PEV,BIP}} = \frac{\text{prozentuale Veränderung des PEV}}{\text{prozentuale Veränderung des realen BIP}} = \frac{d \text{ PEV}}{d \text{ BIP}} \cdot \frac{\text{BIP}}{\text{PEV}} \quad . \quad (3)$$

Zwischen der Einkommenselastizität und der Energieintensität besteht ein enger Zusammenhang. Die Intensität steigt, falls die Wachstumsrate des Energieverbrauchs größer ist als die des Einkommens ($\eta > 1$). Bei $0 < \eta < 1$ wächst hingegen die Wirtschaft schneller als die Energienachfrage, die Folge ist ein Rückgang der Energieintensität. Für eine Elastizität von $\eta = 1$ ist die Intensität konstant.

Die Elastizität ist eine Grenzwertbetrachtung für einen stetigen Verlauf und kann theoretisch für die Energienachfrage gar nicht berechnet werden, weil Daten über den Energieverbrauch in der Regel nur jährlich veröffentlicht werden. Daher können nur periodische Werte der Wachstumsraten zueinander in Relation gesetzt werden, das Ergebnis wird als Energie- oder Elastizitätskoeffizient bezeichnet. Der Elastizitätskoeffizient gibt an, um wie viele Einheiten sich der Energieverbrauch verändert, wenn die wirtschaftliche Leistung um eine Einheit zunimmt. Die Unterscheidung zwischen Energiekoeffizient und Einkommenselastizität der Energienachfrage wird in der Literatur aber unpräzise gehandhabt.

Ein Prozess ist energieeffizient, wenn dieser unter den gegebenen technologischen Bedingungen den geringst möglichen Energieeinsatz benötigt.²⁴ Von der Effizienz bei der Energienutzung kann allerdings nicht auf die Höhe der Energieintensität geschlossen werden. Trotzdem wird die Intensität oft als Maß für die Energieeffizienz missinterpretiert.

²³ Erdmann, G. (1992), S. 213.

²⁴ Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 163.

Das folgende Beispiel verdeutlicht, dass kein direkter Zusammenhang zwischen Energieintensität und -effizienz besteht. Wenn zwei Länder oder Unternehmen mit derselben modernsten und somit energiesparsamsten Technologie produzieren und sie sich nur durch ihr Produktportfolio unterscheiden, dann führt ein größerer Anteil energieintensiver Güter am Outputmix zu einer höheren Energieintensität. Gleichwohl sind die energetischen Effizienzniveaus bezogen auf die einzelnen Güter identisch.

Bei der Betrachtung von verschiedenen Branchen, Sektoren oder Ländern kann nur der Entwicklungstrend der Energieintensität verglichen werden. Ein Rückschluss von der Höhe des Energieverbrauchs auf die Effizienz ist nur auf disaggregiertem Niveau, beim Vergleich von homogenen Gütern, möglich. Wird anstelle einer monetären Einheit der Output eines Produktes in Relation zu dem entsprechenden Energieverbrauch gesetzt, spricht man von der Energieproduktivität.²⁵ Als Einheit für den Output bieten sich beispielsweise das Gewicht, die Stückzahl oder das Volumen an. Typischerweise wird die Energieproduktivität von energieintensiven Gütern wie Stahl, Zement oder Aluminium berechnet.

Eine weitere häufig verwendete Kennziffer ist der energetische Wirkungsgrad. Er gibt „das Verhältnis von abgegebener und aufgenommener Leistung oder Energiemenge bei der Energieumwandlung“²⁶ an. Bei den Veredelungsprozessen der Energieträger treten Energieverluste auf, so dass die nach dem Vorgang verbleibende Energie geringer ist als die ursprünglich eingesetzte Menge. Ein Maß für diese Umwandlungsverluste ist der Wirkungsgrad.²⁷

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Energie-Output}}{\text{Energie-Input}} \quad . \quad (4)$$

Bei der Stromerzeugung wurde der Wirkungsgrad kontinuierlich gesteigert, mittlerweile werden bei Kohlekraftwerken 34% bis 46% erreicht. Moderne Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke (GuD) auf Erdgasbasis verfügen heute über Wirkungsgrade von knapp 60%.²⁸ Das BMWi erwartet auch in Zukunft weitere Verbesserungen.

²⁵ Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 46.

²⁶ BMWi (2001), S. 105.

²⁷ Vgl.: Erdmann, G. (1992), S. 8.

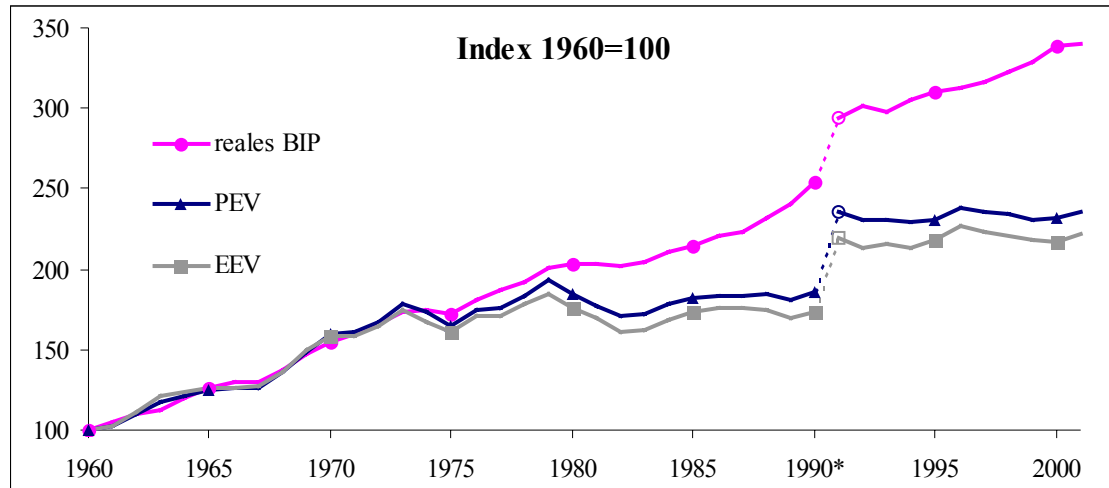
²⁸ Vgl.: BMWi (2002), S. 59.

3. Bruttoinlandsprodukt

Da fast jede wirtschaftliche Tätigkeit mit dem Verbrauch von Energie einhergeht, verwundert es nicht, wenn die volkswirtschaftliche Entwicklung – gemessen anhand des Bruttoinlandsprodukts (BIP) – als der maßgebliche Bestimmungsfaktor für den Energieverbrauch angesehen wird. Das BIP ist ein zusammenfassendes Maß, das die gesamte Produktion von Waren und Dienstleistungen in einer Berichtsperiode misst. Somit ist das BIP in erster Linie ein Produktionsindikator für den monetären Wert der wirtschaftlichen Leistung eines Landes.²⁹

Bis Mitte der 70er Jahre wurde ein festes Verhältnis zwischen BIP und Energieverbrauch unterstellt. Die Annahme einer strengen Beziehung zwischen deren Wachstumsraten hat, sowohl in der Politik als auch in der Wissenschaft, lange Zeit vorgeherrscht und wurde durch empirische Zeitreihenanalysen bestätigt. Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Wachstumsraten des realen BIP (in Preisen von 1995) sowie des Primär- und Endenergieverbrauchs. Tatsächlich haben sich bis 1974 die Wachstumsraten des BIPs und des Energieverbrauchs annähernd identisch entwickelt.

Abbildung 2: Entwicklung von realem BIP, PEV und EEV.



*bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.

Quellen: Vgl.: Statistisches Bundesamt (2002b), S. 6, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2003), Tabelle 2.1, Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (2003b), Tabelle 1, eigene Darstellung.

Zwischen 1960 und 1974 stiegen im früheren Bundesgebiet sowohl der PEV und EEV als auch das inflationsbereinigte BIP mit jeweils 4% im Durchschnitt pro Jahr an.³⁰

²⁹ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2002d), S. 7 und S. 10.

³⁰ Die absoluten Werte vom PEV, EEV und realem BIP sind im Anhang in Tabelle A2 aufgeführt.

In diesem Zeitraum betrug der Elastizitätskoeffizient, also der Quotient aus dem Anstieg des Energieverbrauchs und des BIPs, den Wert 1, woraus eine lineare Koppelungsstruktur abgeleitet wurde.

Aus diesem parallelen Wachstum wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass ein Wirtschaftswachstum nur durch einen erhöhten Energieverbrauch zu realisieren sei und eine administrativ festgesetzte Reduzierung der Energienachfrage, beispielsweise durch höhere Besteuerung von Energie, zu einer geringeren Zunahme des Wohlstands führe.³¹

Auf dem Energiekongress der SPD im April 1977 wurde die Möglichkeit des Wirtschaftswachstums ohne mehr Energieverbrauch in den Bereich des utopischen verwiesen.³² Der Glaube an die Gültigkeit dieses Dogmas hatte sich in Politik und Wirtschaft so gefestigt, dass die eigentliche Energiediskussion zu einer Wachstumsdebatte führte. Somit erschien als dringlichste Aufgabe der Energiepolitik die Beeinträchtigung des Wachstumsprozesses durch Energiemangel zu verhindern.

Alle Energieprognosen aus den 70er Jahren, die im Auftrag der Bundesregierung erstellt wurden, weisen eine erhebliche Überschätzung des Energieverbrauchs gegenüber der tatsächlich eingetretenen Entwicklung auf.³³ Diese schlechten Prognoseergebnisse sind durch die Annahme der starken Korrelation zwischen BIP und Energieverbrauch zustande gekommen. Die Fehleinschätzungen wurden auf eine zu optimistische Einschätzung des BIP-Wachstums während des Prognosezeitraums zurückgeführt,³⁴ anstelle den unterstellten Zusammenhang kritischer zu beurteilen. Ferner orientierten sich die Prognosen eher an den höheren Verbrauchswerten der geschätzten Bandbreite, weil das zukünftige Wirtschaftswachstum nicht gefährdet werden durfte. Dieses Vorsichtsmotiv verbunden mit dem extrem langfristigen Planungshorizont der Energiewirtschaft ergab eine Tendenz zum Energieüberangebot, mit der Begründung: Die teuerste Energie ist jene, die fehlt.

³¹ Vgl.: Flath, K. (1978), S. 57.

³² Vgl.: Müller, W., Stoy, B. (1978), S. 327.

³³ Vgl.: Schiffer, H.-W. (2002), S. 385.

³⁴ Vgl.: Neu, A., D. (1978), S. 3.

3.1 Entkoppelung von BIP und Energieverbrauch

Ein Zusammenhang zwischen BIP und Energieverbrauch ist auch heutzutage nicht von der Hand zu weisen, allerdings können die synchronen Wachstumsraten spätestens seit 1979 nicht mehr empirisch nachgewiesen werden. Diese Beobachtung ist unter dem Begriff der Entkoppelung bekannt geworden und steht für die These, dass die Energieverbrauchszunahme deutlich hinter dem Anstieg des BIPs zurückbleibt, ohne dabei das Wirtschaftswachstum zu beeinträchtigen.³⁵ Das heißt, bei einer Zunahme des BIPs um 1% wächst der Energieverbrauch um weniger als 1% an.

Abbildung 2 zeigt diese Entkoppelung. Im Jahr 1974 sanken der PEV und EEV, beide nahmen aber bis zum Jahr 1979 wieder zu, wobei deren Wachstum unter dem des BIPs blieb. Nach dem Rückgang in den Jahren 1980 und 1981 konnte sich der Verbrauch bis zur Wiedervereinigung auf ungefähr demselben Niveau stabilisieren, während das BIP unverändert zunahm. Auch nach 1991 ist das Fortschreiten der Entkoppelung festzustellen, die Differenz zwischen BIP und Energieverbrauch vergrößerte sich weiter.

Über die Begründung der Entkoppelung herrscht mittlerweile eine kaum noch zu überblickende Meinungsvielfalt. Die häufigsten Erklärungen sind der Strukturwandel, in dessen Verlauf die energieintensiv produzierenden Wirtschaftszweige an Bedeutung verlieren sowie Sättigungserscheinungen bei den privaten Haushalten und im Verkehrssektor. Darüber hinaus werden Reaktionen auf Preisveränderungen seitens der Verbraucher angeführt, die auf Energiepreiserhöhungen mit einer Verbrauchsmengenreduktion reagieren.³⁶

Zusätzlich gingen von der deutschen Wiedervereinigung positive Impulse auf die Entkoppelung aus. Nach der Wende sank der PEV in den Neuen Bundesländern (NBL) drastisch. Im Jahr 1991 betrug dieser Verbrauchsrückgang rund 24% im Vergleich zum Vorjahr.³⁷ Wenn man die frühere Annahme einer linearen Beziehung zwischen Energieverbrauch und BIP unterstellt, müsste die wirtschaftliche Leistung der NBL im gleichen Ausmaß zurückgegangen sein und das Verhältnis von PEV zu BIP ergäbe einen konstanten Wert. Tatsächlich zeigt die Primärenergieintensität der NBL – in kg SKE je 1000 Euro BIP (in Preisen von 1995) – aber einen stark fallenden Verlauf (siehe Abbildung 3).

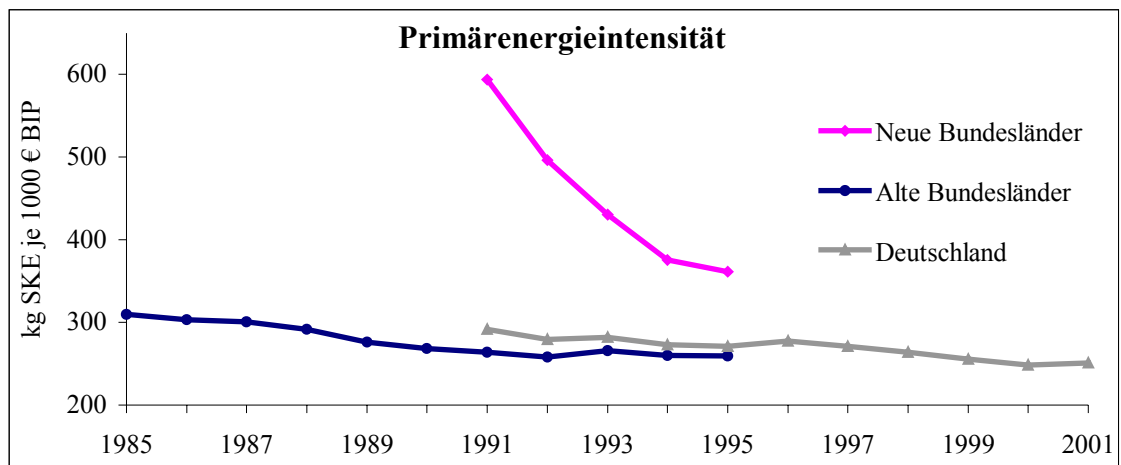
³⁵ Vgl.: Schmitt, D., Schürmann, H., J. (1978), S. 147.

³⁶ Vgl.: Kriegsmann, K.-P., Neu, A., D. (1980), S. 216.

³⁷ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (1997), Tabelle 1.

Wegen einer unvollständigen und nicht homogenen Datenbasis konnte die Primärenergieintensität der NBL erst ab 1991 ermittelt werden. Seit 1995 wird der Energieverbrauch nur noch für das gesamte Bundesgebiet veröffentlicht. Auch über den EEV der einzelnen Bundesländer fehlen jährliche Angaben, weshalb keine Endenergieintensität berechnet werden konnte. Ein der Primärenergieintensität entsprechender Verlauf kann aber, wegen der fast parallelen Entwicklung von gesamtwirtschaftlichem EEV und PEV, unterstellt werden.

Abbildung 3: Primärenergieintensität.



Quellen: Vgl.: AGEb (1997), Tabelle 1, AGEb (2003), Tabelle 2.1, Statistisches Bundesamt (2002b), S. 6, Arbeitskreis VGR der Länder (2003), ohne Seite, eigene Darstellung.

In den NBL verringerte sich zwischen 1991 und 1995 der PEV um 15%, während das BIP um 40% stieg. Diese gegenläufige Entwicklung ist die Ursache für die Abnahme der Energieintensität im Zeitverlauf. Trotz kräftigen Rückgangs lag im Jahr 1995 die Energieintensität der NBL um fast 40% über dem entsprechenden Wert der Alten Bundesländer (ABL) und ist Ausdruck einer nach wie vor wesentlich geringeren Energieproduktivität in den NBL.³⁸ Die unterschiedlichen Energieintensitäten von Ost- und Westdeutschland lassen sich mit einer verschiedenen Entwicklung des sektoralen Energieverbrauchs erklären: Obwohl sich das Gewicht des industriellen Energieverbrauchs zwischen 1985 und 1995 in beiden Landesteilen verminderte, fiel der Rückgang in den ABL, von 31% des EEVs auf rund 28%, erheblich schwächer aus als in den NBL, in denen sich der EEV des Sektors Industrie von 43,6% auf 22% ungefähr halbierte.³⁹

³⁸ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1999), S. 126.

³⁹ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1999), S. 127.

3.2 Vorteile der Entkoppelung

Die Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Energiezuwachs ist kein explizites Ziel der deutschen Energiepolitik. Durch die Strategie der Energieeinsparung wird dieser Prozess jedoch indirekt unterstützt. Ob nun die Entkoppelung von der Politik gewollt oder ungewollt erreicht wurde, sei dahingestellt. Auf jeden Fall kann die Entwicklung als äußerst positiv angesehen werden.

Die Energieversorgung verliert für das BIP zunehmend ihren limitierenden Charakter. Zum einen werden potentielle Wachstumsgrenzen in eine weitergelegene Zukunft verschoben und die statische Reichweite der fossilen Energieträger kann verlängert werden. Zum anderen bedeutet der Entkoppelungsprozess auch einen Zeitgewinn für die Entwicklung alternativer Energiequellen, insbesondere für die großtechnische Nutzung von regenerativen Energieträgern.⁴⁰ Langfristig könnte die Auslandsabhängigkeit verringert werden, indem die vorwiegend importierten fossilen Energieträger durch erneuerbare aus dem Inland ersetzt würden. Durch die Reduktion der Umwandlungsverluste kann ein zusätzlicher Impuls in Richtung der Entkoppelung stattfinden. Außerdem könnten sich die Exportchancen deutscher Unternehmen auf einem wachsenden Weltmarkt für moderne Energietechnik verbessern, wodurch gleichzeitig das Wirtschaftswachstum unterstützt wird.

Darüber hinaus sind die Umweltaspekte nicht zu vergessen, wofür die Entkoppelung einen erheblichen Beitrag zur Entlastung liefert. Wird weniger Energie verbraucht, sinken fast automatisch die Emissionen von Schadstoffen und Treibhausgasen. Zudem werden die Ressourcen geschont.

4. Gesamtwirtschaftliche Einflussgrößen des Energieverbrauchs

Es bleibt festzuhalten, dass das Wirtschaftswachstum nicht mehr die dominierende Größe für die Höhe des EEVs darstellt. Der Einfluss des BIPs auf den Energieverbrauch hat im Zeitverlauf abgenommen. Mit anderen Worten: Weitere Faktoren haben an Bedeutung gewonnen und zumindest teilweise den verbrauchssteigernden Effekt des BIPs überlagert. Diese Determinanten, besonders die verbrauchsreduzierenden, müssen zuerst identifiziert werden, um dann Möglichkeiten zu finden, diese zu quantifizieren.

⁴⁰ Vgl.: Kriegsmann, K.-P., Neu, A., D. (1980), S. 217.

Vor der Diskussion der weiteren Einflussfaktoren muss darauf hingewiesen werden, dass es vielseitige Interdependenzen zwischen den einzelnen Größen gibt.⁴¹ Dennoch ist es aus systematischen Gründen sinnvoll, die Determinanten getrennt zu behandeln. Es bietet sich an, zuerst diejenigen Variablen zu betrachten, die einen Einfluss auf das gesamte Wirtschaftssystem ausüben, bevor auf die vier Nachfragesektoren der Energiestatistik separat eingegangen wird. Der Grund für diese Vorgehensweise ist, dass Faktoren identifiziert werden können, die nur bei einem Sektor zu einem veränderten Energieverbrauch führen, wohingegen die gesamtwirtschaftlichen Einflussgrößen alle Nachfragegruppen gleichermaßen beeinflussen.

Im Folgenden werden die makroökonomischen Größen demografische Entwicklung, verfügbares Einkommen, Strukturveränderung, Energiepreise, technologischer Fortschritt, Energiemix und Temperatureinfluss untersucht. Deren Wirkung auf den Energieverbrauch wird beschrieben, ebenso wird versucht einen empirisch messbaren „Proxy“ für die einzelnen Verbrauchsfaktoren zu identifizieren.

4.1 Demografische Entwicklung

Neben dem BIP dürfte der Bevölkerungsbestand einen großen Einfluss auf die Höhe der Energienachfrage haben. Letztlich ist der Verbrauch von Energie immer auf den Menschen zurückzuführen.

Die Bevölkerungsentwicklung hängt von folgenden Komponenten ab: Geburten- und Sterberate sowie dem Saldo der Ein- und Auswanderungen. Die Lebenserwartung und die Anzahl der Geburten ändern sich im Allgemeinen nicht kurzfristig, weshalb die jährlich schwankende Bevölkerungszahl maßgeblich durch Veränderung des Wanderungssaldos hervorgerufen wird.⁴²

Bei den jährlichen Bevölkerungsdaten handelt es sich um Fortschreibungszahlen, die auf Ergebnissen der Volkszählungen und Zusatzerhebungen basieren. Zwischen den Erhebungen wird der Bevölkerungsbestand durch Addition der Geburten abzüglich der Sterbefälle und dem Saldo aus Zu- und Abwanderungen berechnet.⁴³

In Deutschland nahm die Bevölkerung von 55,4 Millionen im Jahr 1960 bis Mitte der 70er Jahre stetig zu und erreichte 1974 bei rund 62 Millionen einen Wendepunkt. Es

⁴¹ Vgl.: Prognos (1984), S. 29.

⁴² Vgl.: Meißner, W., Fassing, W. (1989), S. 37.

⁴³ Vgl.: Leiner, B. (1997), S. 34.

folgte eine leicht rückläufige Phase bis 1985 mit noch knapp 61 Millionen. Die deutsche Wiedervereinigung bewirkte eine sprunghafte Zunahme um mehr als 16 Millionen Einwohner, konnte aber den seit 1986 bis heute andauernden leicht steigenden Trend, auf mittlerweile über 82 Millionen, nicht unterbrechen. Seit 1972 übersteigen die Sterbefälle die Anzahl der Geburten.⁴⁴ Nur durch einen positiven Migrationssaldo wurde das geringe Wachstum ab 1986 erzielt. Ohne die Zuwanderungen wäre die Population in Deutschland gesunken.

Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Bevölkerungsentwicklung und EEV ist nicht zu erkennen. Gegenüber den hohen Steigerungsraten des EEVs ist die jährliche Bevölkerungsentwicklung als sehr gering anzusehen. Somit kann die Zunahme des Energieverbrauchs nicht aus einer entsprechend gestiegenen Bevölkerungszahl abgeleitet werden. „Offensichtlich werden die demografischen Wirkungen auf den Energieverbrauch durch andere Einflüsse überlagert, so dass eine allein monokausale Erklärung ausscheiden muss.“⁴⁵ Demzufolge dürfte der Bevölkerungsentwicklung in der späteren Analyse keine allzu große Bedeutung zukommen.

Vielmehr haben verhaltensspezifische und sozioökonomische Faktoren der Bevölkerung einen Einfluss auf den EEV. Das Verhalten und die Einstellung zur Umwelt und somit auch gegenüber dem Energieverbrauch haben sich stark gewandelt. Ein ressourcenschonender Umgang mit Energie hat sich bei der Bevölkerung etabliert, das zeigt sich beispielsweise am steigenden Anteil der Energiesparhäuser oder beim Autokauf, wo der Kraftstoffverbrauch ein zunehmend wichtigeres Kaufargument wird. Natürlich hat auch die Regierung mit einer entsprechenden Gesetz- und Steuerpolitik das Verhalten der Menschen in Richtung einer sparsameren Energienutzung gelenkt und somit die gesellschaftliche Einstellung erheblich beeinflusst. Ein gesteigertes Umweltbewusstsein der Bevölkerung ist im Zeitverlauf zwar zu beobachten, es ist aber nicht möglich diesen energierelevanten Umstand anhand aussagefähiger Daten zu belegen.

Neben den verhaltensspezifischen gibt es noch die sozioökonomischen Determinanten, wie Anzahl und Struktur der Haushalte, sowie durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf. Gegenüber den verhaltensspezifischen Faktoren sind sie relativ gut zu erheben, aber eher als sektorale Einflussgröße zu behandeln. Die sozioökonomischen Größen beeinflussen vor allem den EEV der Haushalte, auf den separat eingegangen wird.

⁴⁴ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2001), S. 32.

⁴⁵ Diekmann, J. et al. (1999), S. 237.

4.2 Verfügbares Einkommen

Aus dem BIP kann das verfügbare Einkommen abgeleitet werden. Wenn vom BIP die Abschreibungen abgezogen werden, erhält man das verfügbare Einkommen der Gesamtwirtschaft (Nettoinlandsprodukt).⁴⁶ Zudem besteht zwischen BIP und verfügbarem Einkommen eine enge Korrelation, weshalb das BIP sowohl für die Produktion als auch für das Einkommen als gesamtwirtschaftlicher Indikator angesehen wird.

Das verfügbare Einkommen der Bevölkerung geht in den Konsum oder wird für spätere Konsumwünsche gespart und ist fast immer mit dem Kauf von mehr oder weniger energieintensiven Gütern und Dienstleistungen verbunden. Sofern das verfügbare Einkommen eine größere Wachstumsrate aufweist als die Inflation, folgt aus steigendem Einkommen *ceteris paribus* ein höherer Energieverbrauch. Diesen Zusammenhang hat das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) in einer langfristigen Untersuchung für Deutschland bestätigt.⁴⁷ Bei der Gegenüberstellung von EEV je Einwohner und durchschnittlichem Pro-Kopf-Einkommen wurde eine positive Korrelation festgestellt. Das bedeutet, in dem betrachteten Zeitraum ging mit zunehmendem realen Einkommen pro Kopf ein steigender EEV je Einwohner einher. In der wissenschaftlichen Literatur, insbesondere bei energiewirtschaftlichen Analysen, werden das reale BIP und die Bevölkerung häufig zur Variablen BIP pro Kopf zusammengefasst, die auch als Wohlstandsmaß eines Landes interpretiert wird. In Deutschland hat das BIP pro Kopf von 1960 bis 2001 einen kontinuierlich steigenden Verlauf, unterbrochen durch eine negative Korrektur bedingt durch die Wiedervereinigung. Zwischen 1960 und 1990 stieg das BIP pro Kopf mit durchschnittlich rund 2,7% pro Jahr. Von 1991 bis 2001 schwächte sich die jährliche Steigerungsrate auf knapp 1,2% ab, mittlerweile beträgt das BIP je Einwohner über 24.000 Euro.⁴⁸ Allerdings sollte man sich von der Höhe des BIP pro Kopf und der Interpretation als Wohlstandsmaß nicht darüber hinwegtäuschen lassen, dass sehr wohl große Unterschiede in der Einkommensverteilung bestehen.⁴⁹

⁴⁶ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2002d), S. 8.

⁴⁷ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1999), S. 238.

⁴⁸ Die Berechnung ist mit den Angaben in Tabelle A2 im Anhang erfolgt.

⁴⁹ Vgl.: Baumert, M. (1994), S. 16.

Im vorherigen Kapitel 4.1 wurde die Vermutung geäußert, dass sich bei einer empirischen Analyse des Energieverbrauchs die Variable Bevölkerung, wegen der relativ geringen Bevölkerungsveränderung im Zeitverlauf, als insignifikant erweisen könnte. Bei der späteren Regressionsanalyse wird der Einfluss des BIP pro Kopf auf den EEV untersucht und damit die Bevölkerung indirekt berücksichtigt.

4.3 Strukturveränderungen

Gewöhnlich geht jede Wirtschaftsentwicklung mit einem Strukturwandel einher, da unterschiedliche Steigerungsraten der einzelnen Branchen im Vergleich zum Wachstum der Gesamtwirtschaft zu einer Strukturverschiebung führen. Die Frage des Zusammenhangs von wirtschaftlichem Strukturwandel und Energieverbrauch wurde bislang wenig thematisiert, dies gilt besonders für empirische Untersuchungen.⁵⁰ Bei Energieanalysen gilt der Strukturwandel aber als wichtige Erklärungsgröße. Generell ist das produzierende Gewerbe energieintensiver als die Dienstleistungsbranchen. Beispielsweise benötigt die Grundstoffindustrie viel Energie zur Herstellung von Stahl, Zement oder Aluminium. Eine überproportionale Zunahme dieser energieintensiven Wirtschaftszweige gegenüber den anderen Wirtschaftszweigen hat einen Anstieg des Energieverbrauchs zur Folge. Hingegen führt die anteilige Erhöhung der Dienstleistungsbranchen, die durch relativ geringe Energieintensitäten gekennzeichnet sind, zu einem Rückgang des EEVs.⁵¹

Eine Erklärung für den Verlauf des Strukturwandels liefert die Drei-Sektoren-Hypothese, bei der die gesamte Wirtschaft eines Landes in den primären, sekundären und tertiären Sektor aufgeteilt wird. Die Hypothese besagt, dass zunächst der sekundäre Sektor (Industrie) wächst und den primären Sektor (Landwirtschaft) verdrängt. In hochentwickelten Volkswirtschaften geht schließlich der sekundäre Sektor zugunsten einer Expansion des tertiären Sektors (Dienstleistungen) wieder zurück. Die Dominanz des jeweiligen Sektors hängt dabei maßgeblich von dem Pro-Kopf-Einkommen ab. Mit steigendem Einkommen je Einwohner verlagert sich der Schwerpunkt der wirtschaftlichen Tätigkeit vom primären über den sekundären zum tertiären Sektor. Diese These wurde erstmals von *Allan G. Fisher (1939)* formuliert. Weiterentwickelt und empirisch

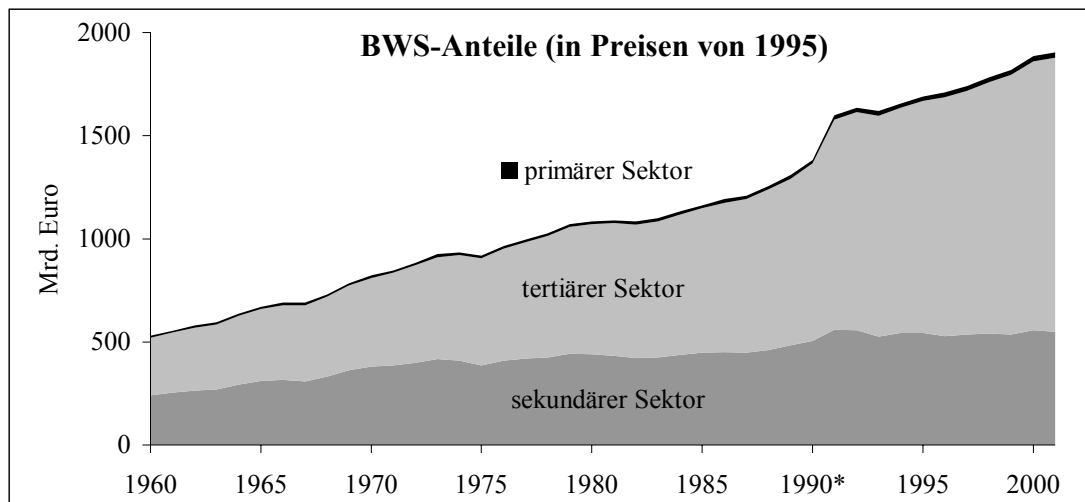
⁵⁰ Vgl.: Binder, K., G. (1999), S. 18.

⁵¹ Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 262.

begründet wurde sie von *Colin Clark (1940)* und *Jean Fourastié (1949)*.⁵² Zur Messung des Strukturwandels werden üblicherweise die Anteile der drei Sektoren an der gesamten Bruttowertschöpfung (BWS) oder deren Anteile an der Gesamtzahl der Erwerbstätigen benutzt. Allerdings ist unter dem Aspekt des Energieverbrauchs eine bessere Beurteilung des strukturellen Wandels mit der sektoralen BWS möglich.

In Deutschland konnte das Einkommen pro Kopf stetig gesteigert werden, woraus sich eine anteilige Erhöhung des Dienstleistungsbereichs an der gesamten BWS ergeben müsste. Aus der Drei-Sektoren-Hypothese kann somit ein verbrauchsmindernder Einfluss auf den EEV abgeleitet werden.

Abbildung 4: Strukturwandel.



*bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.

Quellen: Vgl.: Stat. Bundesamt (2002b), S. 40, Stat. Bundesamt (1992), S. 19 ff, eigene Darstellung.

In Abbildung 4 ist die BWS (in Preisen von 1995) der drei Sektoren zwischen 1960 und 2001 dargestellt. Bei dieser sektoralen Zuordnung wurde nach der Gliederung der Wirtschaftsbereiche in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) vorgegangen. Die genaue Sektorzugehörigkeit der einzelnen Wirtschaftszweige ist in Tabelle A1 im Anhang aufgeführt. Wegen der sehr geringen volkswirtschaftlichen Bedeutung, kann der primäre Sektor in der weiteren Diskussion vernachlässigt werden.

Innerhalb des Zeitraums von 1960 bis 2001 sind deutliche Strukturverschiebungen zwischen sekundärem und tertiärem Sektor feststellbar. Der kontinuierlich abnehmende Anteil des produzierenden Gewerbes an der gesamten BWS dämpft den verbrauchssteigernden Einfluss der wirtschaftlichen Entwicklung. Durch den Trend zur

⁵² Vgl.: Meißner, W., Fassing, W. (1989), S. 107.

Tertiarisierung hat die energieintensive Grundstoffindustrie gegenüber der Dienstleistungsbranche an Gewicht verloren.⁵³ Die überproportionale Zunahme des tertiären Sektors, verglichen mit der Gesamtsituation, war in den letzten Jahren durch das rasante Wachstum der Informations- und Telekommunikationsbranche geprägt. Auch in Zukunft kann eine Ausweitung der Dienstleistungsbranchen im Vergleich zum Industriesektor erwartet werden.

Das sowohl absolute als auch relative Wachstum der BWS des tertiären Sektors ist auch auf die statistische Erhebungsmethode zurückzuführen. In der VGR erfolgt die sektorale Zuordnung der Betriebe nach institutionellen Grundsätzen, das heißt Unternehmen werden dem Wirtschaftsbereich zugeteilt in dem ihr wirtschaftlicher Schwerpunkt (Hauptfunktion) liegt.⁵⁴ Um Kosten einzusparen, Steuervorteile zu generieren und nicht zuletzt wegen der wachsenden Komplexität der Aufgaben, konzentrieren sich viele Betriebe auf ihre Kernkompetenzen. Diese Spezialisierung hat bei den Industriebetrieben zur Folge, dass sie interne Dienstleistungen an externe Beratungsunternehmen auslagern oder ganze Dienstleistungsbereiche verkaufen. Diese Vorgehensweise führt zu einer statistischen Vergrößerung des tertiären Sektors, ohne dass ein tatsächlicher Zuwachs stattgefunden hat.⁵⁵ Durch diesen Umstand wird der Strukturwandel tendenziell überschätzt und somit auch dessen Einfluss auf die Reduktion des Energieverbrauchs.

4.4 Energiepreise

Das Energiepreisniveau ist unbestritten ein weiterer wichtiger Faktor für die Entwicklung der aggregierten Energienachfrage, wobei eine negative Korrelation zwischen Preisen und Verbrauch erwartet wird. Durch Erhöhung der Energiepreise relativ zu anderen Gütern werden Anreize zu einem sparsameren Energieeinsatz gegeben und Substitutionseffekte von Energie zu Kapital werden verstärkt.⁵⁶ Da sich die Rentabilität von energiesparenden Produktionsanlagen oder Verkehrsmitteln erhöht, können Neuanschaffungen lohnenswerte Investitionen darstellen. Zusätzlich werden die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen von energieeffizienten Geräten und

⁵³ Vgl.: RWE AG (2002), S. 6.

⁵⁴ Vgl.: Leiner, B. (1997), S. 128.

⁵⁵ Vgl.: Erdmann, G. (1992), S. 233.

⁵⁶ Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 269.

Verfahren beschleunigt. Die Substitutionsmöglichkeiten werden aber durch die technisch verfügbaren Möglichkeiten begrenzt.

Energiepreise sind, zumindest in Deutschland, immer auch politische Preise. Steinkohleförderung und Stromeinspeisung aus regenerativen Energiequellen werden subventioniert, während im Gegenzug Mineralölprodukte, wie beispielsweise Benzin, mit hohen Steuern belastet werden. Hier summiert sich die Mineralöl- und Ökosteuer auf mittlerweile 65,5 Cent pro Liter.⁵⁷ Die Mehrwertsteuer von 16% wird auch auf die Mineralöl- und Ökosteuer erhoben und macht bei einem Tankstellenpreis von derzeit ungefähr 105 Cent 14,5 Cent pro Liter Benzin aus. Insgesamt bezahlt der Konsument 80 Cent pro Liter an Steuern. Aus politischen Gründen behält der Staat somit mehr als drei Viertel des Benzinpreises ein.⁵⁸ Neben dem Aufkommenseffekt wollen die Gesetzgeber mit ihrer Steuer- und Subventionspolitik eine Lenkungswirkung bei den Verbrauchern erzielen, unter Berücksichtigung von Umweltaspekten.

4.4.1 Energie als Standortfaktor

Energie ist nicht nur ein Konsumgut sondern vielmehr ein wichtiger Produktions- und Standortfaktor für die Industrie. Für das reibungslose Funktionieren der deutschen Wirtschaft ist eine preisgünstige und sichere Energieversorgung lebensnotwendig. In den weitgehend automatisierten Fabrikhallen, wie beispielsweise bei der Automobilindustrie, wird diese Bedeutung offensichtlich. Über die Zuverlässigkeit bei der Elektrizitätsversorgung kann die inländische Wirtschaft nicht klagen. Mit nur durchschnittlich 15 Minuten je Einwohner und Jahr ohne Strom ist das deutsche Netz in seiner Leistungsfähigkeit führend und setzt weltweite Standards.⁵⁹ Deshalb spielt neben der Versorgungssicherheit das Preisniveau eine immer wichtigere Rolle.

Von Seiten der Industrieverbände wird vielfach darauf hingewiesen, dass in Deutschland die Energiepreise zu hoch seien. Gemeint sind dabei vorwiegend die leitungsgebundenen Energieträger wie Elektrizität und Erdgas. Die Befürchtung, dass dadurch die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft beeinträchtigt wird und der Standort Deutschland für weltweit tätige Investoren zunehmend unattraktiv würde, könnte sich bestätigen. Insgesamt ist in Deutschland die Elektrizität für industrielle

⁵⁷ Mineralölsteuer 50,1 Cent pro Liter, Ökosteuer 15,4 Cent pro Liter.

⁵⁸ Vgl.: Mineralölwirtschaftsverband e.V. (2003), o. S..

⁵⁹ Vgl.: Flauger, J., Krieger, R. (2003), S. 6.

Abnehmer deutlich teurer als in den Nachbarländern.⁶⁰ Auch im internationalen Vergleich zählt Deutschland seit langem zu den Ländern mit relativ hohen Strompreisen für die Industrie. Beispielsweise hat der Automobilkonzern Daimler-Benz AG, heute DaimlerChrysler AG, die Produktion des Kleinwagens Smart in Lothringen angesiedelt. Als Begründung gegen einen deutschen Standort wurden unter anderem die höheren Strompreise im Vergleich zu Frankreich angegeben.⁶¹

Ein hohes oder steigendes Energiepreisniveau gegenüber dem Ausland kann zwar den inländischen Energieverbrauch deutlich senken, wirkt sich aber ökonomisch nachteilig aus. Einen Beleg für die wirtschaftlichen Auswirkungen durch extrem steigende Energiepreise liefern die beiden Ölpreiskrisen im Jahr 1973/74 und 1979, in deren Folge eine Stagnation des BIP-Wachstums eintrat. Der wirtschaftspolitische Spielraum, die Energiepreise über Steuern zu erhöhen, um die aggregierte Energienachfrage zu senken, ist begrenzt.

4.4.2 Rohöl als „Leitwährung“ für alle Energiepreise

Um im gesamtwirtschaftlichen Rahmen den Einfluss der Energiepreise auf die Energienachfrage empirisch zu analysieren, kann zum Beispiel der Rohölpreis verwendet werden, da dieser häufig als Indikator für die Preisentwicklung aller Energieträger angesehen wird. Obwohl der Ölpreis starken Schwankungen ausgesetzt ist, wird er als „Leitwährung“ der weltweiten Energiemärkte bezeichnet.⁶² Beispielsweise ist der Erdgaspreis in Kontinentaleuropa, durch langfristige Lieferverträge zwischen den ausländischen Produzenten und den inländischen Importeuren, an den Rohölpreis gebunden. Diese preisliche Anpassung erfolgt in der Realität allerdings nicht simultan, sondern mit einer zeitlichen Verzögerung von drei bis sechs Monaten.⁶³

Da in Deutschland nur geringe Mengen der Energierohstoffe vorhanden sind, müssen wesentliche Teile der Energieversorgung eingeführt werden. Die Kosten der Energieimporte werden maßgeblich durch die Entwicklung auf den internationalen Energiemärkten bestimmt, wo der Handel üblicherweise in Dollar abgewickelt wird. Daher hat auch der Wechselkurs des Euro zum Dollar Einfluss auf die Energiepreisentwicklung in Deutschland und somit auch auf den Energieverbrauch.

⁶⁰ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1997), S. 74.

⁶¹ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1997), S. 113.

⁶² Vgl.: RWE AG (2001), S. 21.

⁶³ Vgl.: Schiffer, H.-W. (1997), S. 223.

4.4.3 Preisdifferenzen zwischen den Energieträgern

Die Preisentwicklung der verschiedenen Energieträger weist nicht nur im Ländervergleich, sondern auch innerhalb von Deutschland beträchtliche Unterschiede auf. Beispielsweise sind die Energiepreise der letzten Jahre einerseits durch sinkende Strompreise, andererseits durch steigende Gas- und Benzinpreise gekennzeichnet.⁶⁴ Der im vorherigen Kapitel vorgeschlagene Rohölpreis spiegelt somit das gesamte Energiepreisniveau nur bedingt wider. Es ist schwierig einen einzigen aussagefähigen Energiepreis abzubilden, um dessen Einfluss auf den aggregierten EEV zu untersuchen. Ein jährlicher Durchschnittspreis aller Energieträger, in Form eines mit Marktanteilen gewichteten Index, kann das Energiepreisniveau am ehesten abbilden. Unter Umständen kompensieren sich aber gegensätzliche Preisentwicklungen und es entsteht eine Nivellierung der verschiedenen Effekte. Deshalb sollten bei empirischen Analysen des EEVs die Einflüsse der Energieträger getrennt untersucht werden. Zumindest sollten die Elektrizitätspreise und die Preisentwicklung der Mineralölerzeugnisse separat behandelt werden.

Die im Energiebereich vorherrschenden Preisstrukturen umfassen eine weite Spanne von einheitlichen Preisen ohne Differenzierung nach Kunden, Mengen oder Verwendungszweck bis hin zu komplexen Preisstrukturen, die besonders bei leitungsgebundenen Energieträgern feststellbar sind.⁶⁵ Ebenso bestehen regionale Unterschiede bei den Energiepreisen, die zum Teil mit einer verschieden großen Entfernung zu kostengünstig verfügbaren Energieressourcen und einer unterschiedlichen Abnehmerstruktur und -dichte begründet werden können.⁶⁶ Die große Streuung bei den Strom- und Gaspreisen liegt aber an den regionalen Versorgungsmonopolen, die trotz der Liberalisierung des Strommarktes immer noch bestehen. Wenn man einen vollständig freien Wettbewerb unterstellt, dürften sich die Preise nur durch die Transportkosten unterscheiden, was in der Realität aber nicht zu beobachten ist. Meistens werden die Energiepreise nach Kundengruppen und Abnahmemengen differenziert. Besonders in den verbrauchsintensiven Industriebranchen werden Sonderkonditionen und Großabnehmerrabatte ausgehandelt.

⁶⁴ Vgl.: Axel Springer Verlag AG (2000), S. 3.

⁶⁵ Vgl.: Schmoranz, I. (1994), S. 130.

⁶⁶ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1997), S. 158.

Auch unter dem politischen Aspekt der Lenkung des Energieverbrauchs über die Besteuerung, ist eine detaillierte Kenntnis über die Wirkung der verschiedenen Energiepreise nötig. Die jährlichen Durchschnittspreise der einzelnen Energieträger sind dafür allerdings zu ungenau. Hierfür sind die durchschnittlichen Energieträgerpreise für homogene Abnehmergruppen, wie für Industrie oder private Haushalte, besser geeignet als Einflussgröße. Deren Einflusshöhe lässt sich mit einer sektoralen Energieanalyse, beispielsweise für die vier Nachfragegruppen aus der Energiestatistik, viel exakter bestimmen.

4.5 Technologischer Fortschritt

Die Anwendung verbesserter Kenntnisse über den Einsatz von Technologien wird als technischer Fortschritt bezeichnet. Aus ökonomischer Sicht bedeutet dies, dass mit gleichem Einsatz an Produktionsfaktoren ein größerer Output hergestellt werden kann. Gleichbedeutend damit ist, wenn sich die unveränderte Outputmenge ressourcenschonender erzeugen lässt.⁶⁷ Wird Energie effizienter eingesetzt spricht man vom energiesparenden technischen Fortschritt, der einen verbrauchsmindernden Effekt auf den EEV ausübt.

Hohe Energiepreise können dabei den technischen Wandel beschleunigen. Steigt das Energiepreisniveau gegenüber den Kosten der anderen Produktionsfaktoren, werden mehr energiesparende Innovationen nachgefragt und die Forschungs- und Entwicklungsbemühungen werden auf die Erhöhung der Energieeffizienz gelenkt.⁶⁸ Tendenziell sollte sich ein energiesparender technischer Fortschritt einstellen. Die Höhe der Energiepreise ist aber nicht alleine ausschlaggebend für das Ausmaß des energiesparenden technologischen Fortschritts. Zu hohe Entwicklungskosten sowie hemmende staatliche oder institutionelle Rahmenbedingungen können den technischen Wandel beeinträchtigen. Zumal garantiert die Forschung noch lange keinen Erfolg.

Beispielsweise konnten in den letzten Jahrzehnten beim relativen Benzinpreis steigende und fallende Phasen beobachten werden. Trotzdem ist der durchschnittliche Verbrauch pro Kraftfahrzeug kontinuierlich gesunken. Mittlerweile ist im Pkw-Bereich ein Benzinbedarf unter 3 Liter pro 100 km technisch möglich. Unabhängig von der Preisentwicklung der Kraftstoffe wird auch in Zukunft ein weiterer Verbrauchsrückgang

⁶⁷ Vgl.: Erdmann, G. (1992), S. 287.

⁶⁸ Vgl.: Erdmann, G. (1992), S. 290.

für alle Kraftfahrzeugsparten erwartet.⁶⁹ Neben der immer sparsameren Fahrzeugflotte ist zeitgleich deren Gesamtfahrleistung gestiegen. Ohne den dämpfenden Effekt der sparsameren Technik hätte der EEV im Verkehrssektor viel deutlicher zugenommen.

In der Regel bewirkt der gesamte technologische Fortschritt einen geringeren Energieverbrauch, weil mit Produktivitätssteigerungen zumeist eine effizientere Energienutzung einhergeht.⁷⁰ Jedoch darf nicht vergessen werden, dass bei erfolgreichen Innovationen auch neue Produkte entstehen, die direkt oder indirekt zusätzliche Energie verbrauchen. Deshalb tritt der verbrauchsmindernde Effekt des technischen Wandels vor allem bei Ersatz- und Rationalisierungsinvestitionen auf.

In der Energiewirtschaft wird der technologische Fortschritt häufig als autonome, mit der Zeit wachsende Größe modelliert. Eine empirische Überprüfung ist deshalb äußerst problematisch. Dieser Umstand macht es für Energieanalysen nicht leichter eine quantifizierbare Größe zu ermitteln, die den energiesparenden technischen Fortschritt auf gesamtwirtschaftlicher Ebene abbildet. Es können immer nur Teilbereiche des Fortschritts untersucht werden, für die aussagefähiges Zahlenmaterial vorliegt. Hierzu zählen insbesondere die Ausgaben für die Energieforschung und die Steigerung der Wirkungsgrade im Umwandlungsbereich. Diese werden daraufhin untersucht, ob sie als gesamtwirtschaftliche Einflussgrößen des Energieverbrauchs geeignet sind.

4.5.1 Energieforschung

Um den energiesparenden technologischen Fortschritt in eine messbare Größe abzubilden, können die Forschungsausgaben verwendet werden. Dabei wird angenommen, dass die Aufwendungshöhe proportional zum Innovationsgewinn ist, mit dem sich die Produktivität erhöht. Die Aufgabe der Energieforschung ist, die der Energieversorgung zur Verfügung stehende Technik effizienter und wirtschaftlicher zu gestalten, um so den Energieverbrauch zu senken.⁷¹ Eine auf die Steigerung der Energieeffizienz hin ausgerichtete Energieforschung liefert somit einen Beitrag zur Energieeinsparung. Dabei umfasst die nicht-nukleare Energieforschung die drei Bereiche: rationelle Energieverwendung, erneuerbare Energien sowie fossile Energien und Kraftwerkstechnik.

⁶⁹ Vgl.: Axel Springer Verlag AG (2000), S. 38.

⁷⁰ Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 263.

⁷¹ Vgl.: BMBF (2000), S. 152.

Die geförderten Projekte sind oftmals langfristig ausgerichtet und erstrecken sich über mehrere Jahre, bis eine Markteinführung erfolgt. Die Energieeinsparung tritt somit erst mit einem erheblichen Zeitverzug ein. Ebenso ist die Umsetzung erfolgreicher Innovationen, wie beispielsweise eine effizientere Kraftwerkstechnologie, mit hohen Investitionen verbunden, weshalb die bestehenden Anlagen in der Regel nur schrittweise ersetzt werden. Ein zusätzlicher „time-lag“ ist die Folge, bis das vollständig mögliche Einsparpotenzial erzielt wird. Da die zeitlichen Verzögerungen nicht genau zu bestimmen sind, ist ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Forschungsausgaben und der Reduktion des Energieverbrauchs nur schwer herzustellen.

Die Bundesregierung sieht die Energieforschung als wichtige Aufgabe der staatlichen Zukunftsvorsorge.⁷² Deren Förderung wird sogar als zentrales Element einer nachhaltigen Energiepolitik bezeichnet, um die energiepolitischen Ziele Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit langfristig zu erreichen. Zwar betont die Regierung die Einsparmöglichkeiten durch einen rationelleren Energieeinsatz, allerdings kürzt sie zeitgleich die finanziellen Mittel. So sind die jährlichen Aufwendungen des Bundes für die Energieforschung seit Anfang der 80er Jahre von über 350 Millionen Euro kontinuierlich gesunken. Mittlerweile betragen die staatlichen Forschungsgelder weniger als 150 Millionen Euro pro Jahr, mit weiter sinkender Tendenz.⁷³ Die Quantität der Ausgaben sagt nichts über die Qualität der Forschung aus, von fallenden Zuwendungen kann aber aus empirischer Sicht keine dauerhafte Steigerung der Energieeffizienz abgeleitet werden. Ob die Wirtschaft im Gegenzug ihre Forschungsbemühungen ausgeweitet hat, kann aufgrund des mangelhaften Zahlenmaterials nicht beantwortet werden.

4.5.2 Umwandlungsbereich

Durch den technologischen Fortschritt konnten die Wirkungsgrade der Kraftwerke und Raffinerien stetig erhöht werden. Diese Wirkungsgradverbesserungen im Umwandlungsbereich verringern die Energieverluste. Als Folge der beständigen Weiterentwicklung der Kraftwerkstechnologie müsste sich der durchschnittliche Wirkungsgrad des gesamten Umwandlungsbereichs ebenfalls erhöhen. Bei einem steigenden

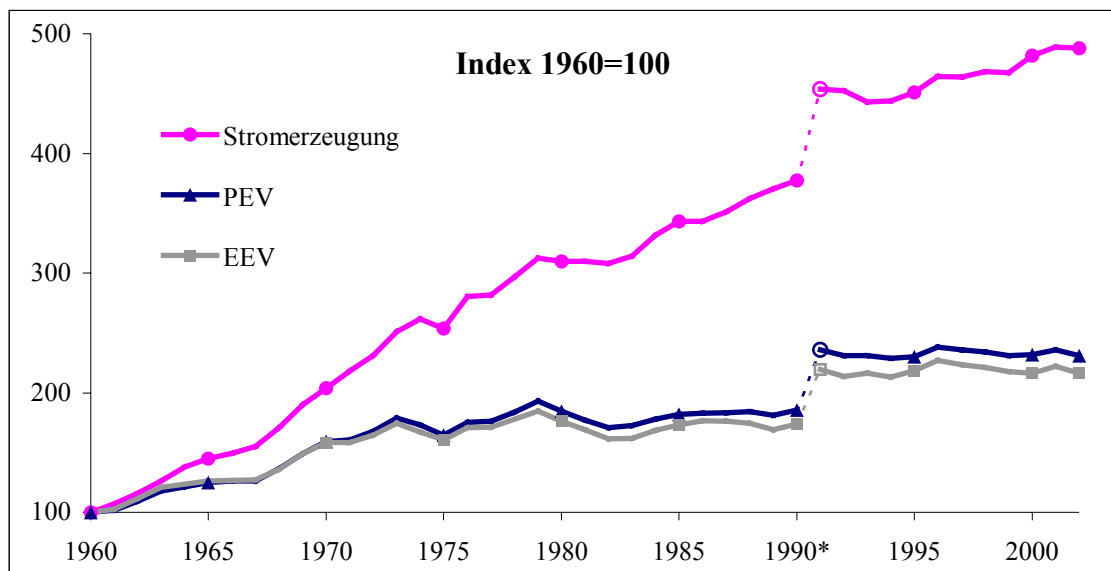
⁷² Vgl.: BMWi (2001a), S. 9.

⁷³ Vgl.: BMWi (2001a), S. 10.

Wirkungsgrad muss somit weniger Primärenergie eingesetzt werden, um die benötigte Menge an Endenergie zu produzieren.

Im Wesentlichen besteht der PEV aus dem EEV zuzüglich den Umwandlungsverlusten und dem nichtenergetischen Verbrauch (siehe Gleichung 1 in Kapitel 2.1). Durch einen höheren Wirkungsgrad reduzieren sich die Verluste und der PEV kann im gleichen Ausmaß gesenkt werden. Wenn der nichtenergetische Verbrauch mit der gleichen Rate wie der EEV zunimmt und die Umwandlungsverluste mit der Zeit abnehmen, dann entwickelt sich der PEV unterproportional zum EEV. Der verbrauchsmindernde Effekt der Wirkungsgradverbesserungen äußert sich in einem steigenden Verhältnis von EEV zu PEV.

Abbildung 5: Stromerzeugung im Vergleich zum Energieverbrauch.



*bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.

Quellen: Vgl.: AGEb (2003), Tabelle 2.1, Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (2003), Tabelle 1, Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (2003b), Tabelle 1, eigene Darstellung.

Diese Schlussfolgerung erscheint unplausibel, wenn man in Abbildung 5 das ungefähr parallele Wachstum von EEV und PEV betrachtet. Durch die gleichförmige Entwicklung der Steigerungsraten bleibt auch die Relation von EEV zu PEV im Zeitverlauf fast konstant. Ab 1975 ist sogar eine leicht unterproportionale Zunahme des EEVs im Vergleich zum PEV feststellbar, wodurch das Verhältnis eher sinkt als zunimmt. Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene können die Wirkungsgradverbesserung, durch den technologischen Fortschritt, keinen nennenswerten Rückgang der Umwandlungsverluste erzielen. Die Erklärung liefert vor allem die extrem gestiegene Stromnachfrage.

Aufgrund der hohen Zunahme des Stromverbrauchs muss mehr Primärenergie umgewandelt werden, wodurch sich die Verluste vergrößern. Zudem fallen die mit Abstand höchsten Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung an. Durchschnittlich geht zurzeit mehr als 60% der eingesetzten Energie bei der Stromproduktion verloren.⁷⁴ Demgegenüber beträgt der Gesamtverlust im Umwandlungsbereich „nur“ rund ein Drittel der gesamten Primärenergie. Diese Verluste im Energiesektor werden neben der Stromerzeugung in Kraftwerken insbesondere durch die Mineralölverarbeitung in Raffinerien bestimmt. Kokereien, Brikettfabriken und Fernheizwerke haben eine eher geringe Bedeutung. In den Raffinerien finden üblicherweise nur stoffliche Umwandlungen statt, mit vergleichsweise geringen energetischen Verlusten. Deshalb fällt der prozentuale Verlust des gesamten Umwandlungsbereichs erheblich geringer aus als bei der Stromerzeugung.

Die in Abbildung 5 gezeigte Stromerzeugung aller deutschen Kraftwerke kann dem aggregierten Stromverbrauch gleichgesetzt werden, weil im Normalfall die Elektrizität, wegen der schlechten langfristigen Speicherfähigkeit, bedarfsgerecht produziert wird. Auftretende Überkapazitäten bei der Stromproduktion können nur in begrenzten Mengen gespeichert werden, beispielsweise mit Hilfe von Staudämmen für den Verbrauch zu sogenannten Spitzenzeiten.⁷⁵ Theoretisch müsste der Außenhandelssaldo der Elektrizität zu der inländischen Erzeugung hinzugerechnet werden, um den exakten Stromverbrauch zu erhalten. Die deutsche Elektrizitätsversorgung ist aber fast vollständig autark, weshalb der Stromaußenhandelssaldo nicht relevant ist.⁷⁶

Anders als beim PEV und EEV ist der Stromverbrauch sogar stärker gestiegen als die wirtschaftliche Entwicklung, eine Entkoppelung von Elektrizitätsnachfrage und BIP ist auf keinen Fall eingetreten. „Dies erklärt sich dadurch, dass ein erhöhter Stromeinsatz vielfach Voraussetzung für eine effizientere Verwendung von Energie ist.“⁷⁷ Durch die extrem gestiegene Stromerzeugung, mit den anfallenden hohen energetischen Verlusten, sind die Wirkungsgradverbesserungen der Kraftwerke wieder kompensiert worden. Ohne den technologischen Fortschritt bei der Kraftwerktechnologie hätten sich die Umwandlungsverluste ausgeweitet.

⁷⁴ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1999), S. 271.

⁷⁵ Vgl.: Heinloth, K. (1997), S. 360.

⁷⁶ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2003), Tabelle 2.3.

⁷⁷ Schiffer, H.-W. (1997), S. 244.

4.6 Energiemix

„Die Verteilung der gesamten Energieversorgung einer Volkswirtschaft auf verschiedene Primärenergieträger wird als Energiemix bezeichnet.“⁷⁸ Welcher Mix in einer Volkswirtschaft eingesetzt wird hängt von den wirtschaftlichen und technologischen Standards, sowie den naturbedingten Lagerstätten der Energieträger und deren Fördermöglichkeiten ab. Neben den ökonomischen und geologischen Gegebenheiten hat aber auch die Energiequalität Einfluss auf die Zusammensetzung des Energiemix. Die Energiequalität ist durch den gespeicherten Energiegehalt charakterisiert. Je mehr nutzbare Arbeit aus einer Energieträgereinheit gewonnen werden kann, umso höher ist deren Qualität. Beispielsweise kann aus einer Einheit Mineralöl oder Erdgas, aufgrund höherer technischer Wirkungsgrade, mehr mechanische Arbeit gewonnen werden als bei der Verbrennung von Kohle.⁷⁹

Höherwertige Energiequellen werden normalerweise zuerst dort eingesetzt, wo die höheren Wirkungsgrade ausgenutzt werden können, wie beispielsweise Erdgas in Fernheizwerken mit Kraft-Wärme-Koppelung. Bei der Erzeugung von mechanischer Arbeit wurde der Energieträger Kohle mittlerweile fast vollständig durch Öl und Erdgas ersetzt, was zu einer Reduktion des Energieverbrauchs führte. In der Vergangenheit konnten solche Übergänge von Holz zu Kohle, von Kohle zu Flüssigbrennstoffen beziehungsweise von Flüssigbrennstoffen zu Elektrizität nachgewiesen werden. In Zukunft ist ein weiterer Übergang zu Wasserstoff und der Brennstoffzelle vorstellbar.⁸⁰

Die Wahl einer optimalen Versorgungsstruktur ist eng an die technologischen Standards gebunden, wobei mit zunehmender Verbreitung der qualitativ besseren Energieträger diese auch dort eingesetzt werden, wo keine höheren Wirkungsgrade erzielt werden können, wie bei der Wärmegewinnung. Hier unterscheiden sich die Wirkungsgrade von Kohle und Heizöl nicht wesentlich. Der Trend einer Reduktion des Energieverbrauchs durch die effiziente Auswahl der Energieträger wird durch die zunehmende Verbreitung höherwertiger Energie verlangsamt. Trotzdem kann zwischen der Verwendung von qualitativ besseren Energieträgern und dem Energieverbrauch eine negative Korrelation erwartet werden.⁸¹

⁷⁸ Setzer, M. (1998), S. 39.

⁷⁹ Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 264.

⁸⁰ Vgl.: Erdmann, G. (1992), S. 177.

⁸¹ Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 265.

4.7 Temperatureinfluss

Bei einem Vergleich von Ländern aus verschiedenen geographischen Regionen, also einer Querschnittsanalyse, spielen die klimatischen Gegebenheiten eine große Rolle, um länderspezifische Unterschiede beim Energieverbrauch erklären zu können. Neben den klimatischen Bedingungen können regional verschiedene Verbrauchsgewohnheiten, beispielsweise bei der Raumtemperierung oder der Verbreitung von Klimaanlage, den Bedarf zusätzlich beeinflussen.⁸² Aber auch bei einer Längsschnittanalyse von Deutschland sind Schwankungen des Energieverbrauchs direkt auf Temperatureinflüsse zurückzuführen. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) belegt, dass im Jahr 2002 der Rückgang des PEVs um 1,9% maßgeblich durch die milde Witterung gegenüber dem Vorjahr herbeigeführt wurde.⁸³ Temperaturbereinigt wäre der Verbrauch nur um 0,6% niedriger gewesen als 2001, das heißt 1,3% des Rückgangs entstanden durch die wärmeren Witterungsverhältnisse. Gegenätzlich verhielt es sich im Jahr 2001, hier ist der PEV gegenüber dem Jahr 2000 um 1,6% gestiegen. Diese Aufwärtsentwicklung haben in erster Linie die im Vergleich zum Vorjahr erheblich kühleren Wintermonate bewirkt.⁸⁴ Schaltet man diesen Wettereffekt aus und errechnet einen temperaturbereinigten Wert, ergibt sich nach Angaben des DIW sogar ein um 0,8% niedrigerer PEV als im Jahr zuvor.

Tabelle 1: Endenergieverwendung im Jahr 2001 nach Anwendungsbereichen.

	Verkehr	Industrie	GHD*	Haushalte	alle Sektoren
Raumwärme	0,4 %	9,7 %	48,2 %	77,8 %	33,9 %
Warmwasser	0,0 %	0,7 %	9,3 %	10,5 %	4,9 %
Prozesswärme	0,0 %	65,7 %	13,8 %	3,7 %	19,9 %
Wärme insgesamt	0,4 %	76,1 %	71,3 %	92,0 %	58,7 %
mechan. Energie	99,1 %	22,3 %	21,6 %	6,6 %	39,2 %
Beleuchtung	0,5 %	1,6 %	7,1 %	1,4 %	2,1 %
insgesamt	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
in Mio. t SKE	92,2	80,8	53,1	97,3	323,4

*GHD: Gewerbe, Handel und Dienstleistungen.

Quelle: Vgl.: Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (2002), S. 10, eigene Darstellung.

⁸² Vgl.: Setzer, M. (1998), S. 267.

⁸³ Vgl.: Wittke, F., Ziesing, H.-J. (2003), S. 85.

⁸⁴ Vgl.: Wittke, F., Ziesing, H.-J. (2002), S. 109.

Weil ein großer Teil des EEVs von der Außentemperatur abhängt, können Temperaturschwankungen die Energienachfrage in hohem Maße beeinflussen. Diese Tatsache wird verständlich, wenn man sich die Endenergieverwendung in Tabelle 1 ansieht. Aus der letzten Spalte geht hervor, dass im Jahr 2001 rund 59% der gesamten Endenergie für Wärmezwecke verbraucht wurden. Besonders auffällig sind die privaten Haushalte, die 92% ihres EEVs für die Erzeugung von Wärme eingesetzt haben und somit weit über den Werten aller anderen Sektoren liegen.

Der EEV wird in den Statistiken üblicherweise in die drei Anwendungsbereiche Wärme, mechanische Energie und Beleuchtung aufgeteilt, wobei die Wärme nochmals in Raumwärme, Warmwasser sowie Prozesswärme untergliedert wird. Bei der Prozesswärme handelt es sich vor allem um Wärme für gewerbliche und industrielle Fertigungsprozesse.⁸⁵ Hierzu zählt aber auch der Energiebedarf der bei der Lebensmittelzubereitung, wie beispielsweise beim Kochen und Backen der privaten Haushalte verbraucht wird.

Das Wetter hat einen direkten Einfluss auf den Raumwärmebedarf, wobei auch die anderen Energiedienstleistungen zum Teil von den Außenverhältnissen bestimmt werden. Zum Beispiel wird das Brauchwasser von der Umgebungstemperatur gekühlt oder erwärmt. Ebenso muss in den Sommermonaten weniger Energie für die Beleuchtung aufgewendet werden.

4.7.1 Das Konzept der Gradtagzahlen

Um eine Variable zu erhalten, die besonders den Energiebedarf für Wärme beeinflusst, kann die Anzahl der Heiztage verwendet werden. Es ist ersichtlich, dass von einer überdurchschnittlich langen Heizperiode eine erhöhende Wirkung auf die Energienachfrage ausgeht. Der EEV hängt aber unmittelbar von der Differenz zwischen Außen- und gewünschter Innentemperatur ab. Deshalb ist eine viel detailliertere Betrachtung notwendig, die mit Hilfe der Jahresgradtagzahlen vorgenommen werden kann. Die Gradtagzahl (GTZ) ist eine heiztechnische Größe, die den Zusammenhang zwischen Außen- und festgelegter Raumtemperatur herstellt. Als durchschnittlich gewünschte Innentemperatur werden 20°C angenommen. Das Tagesmittel der Außentemperatur wird aus den Werten von drei Klimabeobachtungsterminen um 7:00 Uhr, 14:00 Uhr und 21:00 Uhr ermittelt, dabei wird der Messwert um 21:00 Uhr doppelt gewichtet. Das mit

⁸⁵ Vgl.: Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (2002), S. 5.

Formel 5 berechnete Tagesmittel der Lufttemperatur t_m stimmt in der Regel sehr gut mit dem Mittelwert aus 24-stündlichen Temperaturwerten überein.⁸⁶

$$t_m = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} \quad . \quad (5)$$

Wenn t_m unter der sogenannten Heizgrenztemperatur von 15°C liegt spricht man von einem Heiztag, weil im Allgemeinen erst bei einer Außentemperatur unter 15°C geheizt wird. Die jährliche GTZ an einem Ort ist definiert als Summe über die Differenz zwischen der festgelegten Innentemperatur von 20°C und dem Tagesmittel der Außentemperatur aller z Heiztage eines Jahres. Berechnet wird sie nach folgender Formel:⁸⁷

$$GTZ = \sum_{n=1}^z (20^\circ\text{C} - t_{m,n}) \quad , \quad (6)$$

mit:

$$\begin{aligned} GTZ &= \text{Gradtagzahl,} \\ z &= \text{Anzahl der Heiztage,} \\ t_{m,n} &= \text{Tagesmittel der Lufttemperatur des } n\text{-ten Heiztages.} \end{aligned}$$

Um eine jährliche GTZ für einen langen Zeitraum überhaupt berechnen zu können, werden entsprechend lange Klimadatenreihen benötigt. In Deutschland werden die Lufttemperaturen mit einem dichten Netz von Wetterstationen gemessen. Die GTZ der einzelnen Stationen können arithmetisch gemittelt werden, um eine Jahresgradtagzahl für Deutschland zu erhalten. Aufgrund der sehr uneinheitlichen Temperaturverhältnisse an den einzelnen Messstationen ist es nicht trivial eine GTZ für ganz Deutschland zu bestimmen. Daher ist die Stationsauswahl von entscheidender Bedeutung. Es kommt allerdings nicht nur darauf an, möglichst viele Stationen zu berücksichtigen. Wichtiger ist vielmehr, dass das verwendete Stationskollektiv nicht verändert wird und für den kompletten Betrachtungszeitraum Messwerte vorliegen.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) ermittelt die Jahresgradtagzahl von Deutschland anhand der Temperaturwerte von 20 Stationen, die vorwiegend aus den Ballungsgebieten stammen.⁸⁸ Dies ist auch aus energiewirtschaftlicher Sicht sinnvoll, da dichtbesiedelte Gebiete einen höheren Raumwärmebedarf haben. Würde man dagegen die

⁸⁶ Vgl.: Christoffer, J. (1995), S. 149.

⁸⁷ Vgl.: Christoffer, J. (1995), S. 149.

⁸⁸ Vgl.: Christoffer, J. (1995), S. 155.

Temperaturen der Wetterstation auf der dünnbesiedelten Zugspitze in die Berechnung einbeziehen, dann würde sich die Jahresgradtagzahl erhöhen, ohne dass daraus eine signifikante Zunahme des Energieverbrauchs abgeleitet werden kann. Generell führt eine lange und kalte Heizperiode zu einer hohen Jahresgradtagzahl, wodurch sich die Energienachfrage zur Deckung des Wärmebedarfs vergrößert.

4.7.2 Grenzen der Gradtagzahlen

Die GTZ ist als Bestimmungsgröße für den Raumwärmebedarf geeignet. Sie ist als heiztechnische Größe zu interpretieren und kann nur den Wettereinfluss auf die Wärmenachfrage abbilden. Die Außentemperatur beeinflusst aber nicht nur den Wärmebedarf. Bei extrem heißen Sommermonaten wird die Energiedienstleistung „Kühlung“ verstärkt nachgefragt. Beispielsweise hat im Sommer 2003 die italienische Energieversorgung, wegen des stark gestiegenen Stromverbrauchs der Klimaanlage in Büros und Haushalten, fast ihre Kapazitätsgrenze erreicht.⁸⁹

In Deutschland ist der Verbreitungsgrad von Klimaanlage bei den privaten Haushalten dagegen relativ gering. Nicht einmal in der Industrie und im Sektor GHD gehören klimatisierte Räume zur standardmäßigen Ausstattung. Deshalb wird die verbrauchs-erhöhende Wirkung von überdurchschnittlich warmen Sommermonaten als relativ gering eingestuft. Diese unterstellte Bedeutungslosigkeit auf den Energieverbrauch kommt auch dadurch zum Ausdruck, dass der Stromverbrauch für die Erzeugung von Kälte zu den verschiedensten Anwendungsbereichen (siehe Tabelle 1) gehört. Der EEV für Kühlen und Gefrieren wird der mechanischen Energie zugeordnet, hingegen wird der Verbrauch für die Klimatisierung unter der Raumwärme verbucht. Der zusätzliche Kraftstoff für Klimaanlage in Kraftfahrzeugen wird wiederum der mechanischen Energie zugeschrieben.⁹⁰ Wie viel Energie für die Energiedienstleistung „Kühlung“ insgesamt aufgewendet wird, kann daher nur ungenau bestimmt werden.

Bei der vorhandenen Datenlage kann ein empirisch begründbarer Zusammenhang von durchschnittlicher Außentemperatur und Energieverbrauch am besten mit den Jahresgradtagzahlen hergestellt werden.

⁸⁹ Vgl.: Piller, T. (2003), S. 13.

⁹⁰ Vgl.: Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (2002), S. 6.

5. Sektorale Einflussgrößen des Energieverbrauchs

Neben den gesamtwirtschaftlichen Einflussgrößen existieren spezielle Faktoren, die hauptsächlich bei den einzelnen Nachfragegruppen der Energiewirtschaft eine verbrauchsrelevante Rolle spielen. Sie führen in der Regel nur bei einem Sektor zu einem veränderten EEV. Ihre tendenzielle Wirkung kann grundsätzlich angegeben werden, jedoch sind sie im Einzelnen oft nur beschränkt oder gar nicht zu quantifizieren. Wie man sehr schnell feststellt, wirken auf den sektoralen Energieverbrauch eine Vielzahl weiterer Bestimmungsgrößen. Dabei dürfen aber die makroökonomischen Größen nicht an Beachtung verlieren, auch wenn sie in der weiteren Diskussion nicht mehr explizit angesprochen werden.

Bei der anschließenden separaten Betrachtung der vier Sektoren Haushalte, Verkehr, Industrie und des Bereichs Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) werden die wichtigsten Faktoren beschrieben und deren Einfluss auf den sektoralen EEV analysiert.

5.1 Haushalte

Auf Basis der Auswertungstabellen zu den Energiebilanzen können die Veränderungen des Energieverbrauchs der privaten Haushalte bis zum Jahr 1970 zurückverfolgt werden. Vor 1970 wurden die beiden Sektoren Haushalte und GHD unter der Kategorie Kleinverbraucher zusammengefasst.⁹¹

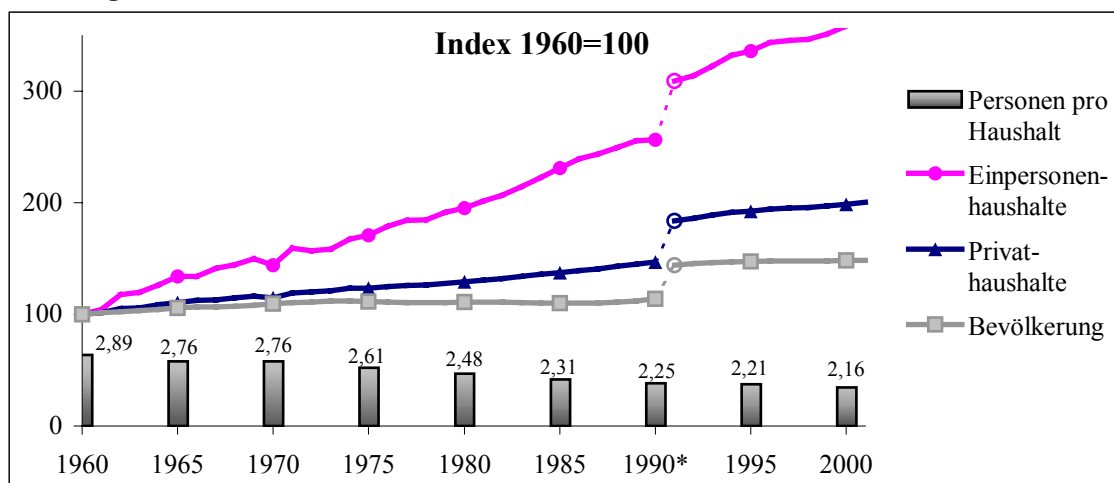
Entscheidend für den Haushaltssektor ist die Erzeugung von Wärme. Wie bereits aus Tabelle 1 in Kapitel 4.7 hervorgeht, dominiert bei den Haushalten der Energieeinsatz zur Deckung des Raumwärmebedarfs, mit einem Anteil von mehr als drei Vierteln. Es folgt der Verbrauch für die Warmwasserbereitung sowie der EEV für sonstige Prozesswärme. Insgesamt werden mehr als 90% für Wärmezwecke verwendet. Die anderen beiden Anwendungsbereiche Beleuchtung und mechanische Energie spielen im Vergleich zur Wärmenachfrage eine untergeordnete Rolle. Aus diesem Grund kann man sich bei den energetischen Einflussgrößen des Haushaltssektors auf wärmespezifische Faktoren konzentrieren, die direkt oder indirekt den Wärmebedarf beeinflussen. Der vorrangige durch die Raumwärme bestimmte Energiebedarf lässt die große Abhängigkeit des EEVs der Haushalte von den Witterungsverhältnissen erkennen. Deshalb werden die Gradtagzahlen beim Haushaltssektor eine wichtige verbrauchsrelevante Rolle spielen.

⁹¹ Vgl.: Baumert, M. (1994), S. 42.

Die wissenschaftliche Literatur auf dem Gebiet der Energieanalyse lässt die Wirkung von sozioökonomischen Determinanten wie Anzahl, Struktur und Entwicklung der Haushalte auf die Energienachfrage weitestgehend unberücksichtigt, obwohl von diesen Variablen starke Impulse in Richtung einer höheren Energienachfrage des Haushaltssektors ausgehen.⁹² Die gesamtwirtschaftlichen Bestimmungsfaktoren, wie verfügbares Einkommen, Bevölkerungszahl und Energiepreise, haben zwar einen indirekten Einfluss auf die sozioökonomischen Variablen, können aber deren verbrauchssteigernde Effekte nur bedingt erklären.

Von der Bevölkerung sind durch das geringe Wachstum in der Vergangenheit wenig Impulse zu einem höheren Energieverbrauch ausgegangen. Gleichzeitig hat sich aber die Zahl der Haushalte, wegen des Trends zu immer weniger Personen pro Haushalt, erhöht. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 6 dargestellt. Die Anzahl der Privathaushalte ist seit 1960 stärker gestiegen als die Bevölkerung, was sich in einer abnehmenden Rate der Haushaltsgröße widerspiegelt. Diese Entwicklung und ein höherer Lebensstandard haben den größten Einfluss auf die ebenfalls kontinuierlich gestiegene durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf,⁹³ wodurch die zu beheizende Fläche beziehungsweise die Zahl der auszuleuchtenden Räume wächst und somit der Energiebedarf erheblich zunimmt.

Abbildung 6: Haushaltsstruktur in Deutschland.



*bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.

Quellen: Vgl.: Stat. Bundesamt (2002), S. 212, Stat. Bundesamt (2002c), S. 44, eigene Darstellung.

⁹² Vgl.: Schmoranz, I. (1994), S. 135.

⁹³ Vgl.: Baumert, M. (1994), S. 33.

In Abbildung 6 ist besonders der überproportionale Anstieg der Einpersonenhaushalte auffällig, womit ein erheblicher Zuwachs des Energieverbrauchs im Haushaltssektor verbunden ist. Je kleiner die Haushaltsgröße ist, umso mehr Energie wird pro Kopf verbraucht. Beispielsweise ist bei einem Drei-Personen-Haushalt der durchschnittliche Stromverbrauch pro Kopf aufgrund von Synergieeffekten um 25% niedriger als bei einem Single-Haushalt.⁹⁴ Durch die gemeinsame Nutzung von elektrischen Geräten und Anlagen wie beispielsweise einem Kühlschrank oder der Beleuchtung, lässt sich in einem großen Haushalt der EEV pro Kopf reduzieren. Dies gilt genauso für die Raumtemperierung. Ob für eine oder mehrere Personen geheizt wird, der Energieverbrauch ist derselbe. Deshalb vergrößert die durchschnittlich abnehmende Haushaltsgröße den Energiebedarf. Die Gründe für die zunehmenden Single-Haushalte liegen vor allem am steigenden Wohlstand, sinkenden Geburten- und höheren Scheidungsraten, bei zeitgleich wachsender Individualisierung.

Trotz der gezeigten verbrauchssteigernden Entwicklungen sind im privaten Bereich aber auch gegenläufige Tendenzen zu identifizieren. Es gibt eine Reihe von Einflussfaktoren, die zu einer Verminderung des sektoralen EEVs geführt haben. In den letzten 20 Jahren sind beispielsweise durch eine verbesserte Wärmedämmung und die Steigerung der Wirkungsgrade der Heizanlagen deutliche Einsparungen im Heizenergieverbrauch erzielt worden.⁹⁵ Zudem werden beim EEV für Wärmezwecke weitere enorme Einsparpotentiale von bis zu 26% pro Quadratmeter beheizter Wohnfläche gesehen.⁹⁶ Durch staatliche Förderprogramme zur Wärmedämmung, eine verschärfte Wärmeschutzverordnung mit höheren Wärmedämmungsstandards und Fortschritte bei der Heizungstechnik soll der Energiebedarf in den Wohnungen und Häusern auch in Zukunft weiter gesenkt werden. Diese Einsparmöglichkeiten könnten durchaus den verbrauchserhöhenden Effekt einer zunehmenden Wohnfläche pro Kopf bei steigendem Einkommen überkompensieren.⁹⁷

Als ein empirisch messbarer Indikator kann der Anteil der Neubauwohnungen am gesamten Wohnungsbestand angesehen werden. Generell ist zu erwarten, dass Neubauten einen geringeren Energieverbrauch haben als ältere Häuser. Deshalb wird eine

⁹⁴ Vgl.: Schmoranz, I. (1995), S. 130.

⁹⁵ Vgl.: Christoffer, J. (1995), S. 149.

⁹⁶ Vgl.: Axel Springer Verlag AG (2000), S. 40.

⁹⁷ Vgl.: Neu, A. (1978), S. 41.

Zunahme der Neubautätigkeit, vor allem auch der Ersatz des Altbestands, eine effizientere Energienutzung ermöglichen und letztlich den sektoralen EEV senken.⁹⁸

Der Einfluss einer anteiligen Erhöhung der neuen Wohnungen am Gesamtbestand wirkt sich somit verbrauchsdämpfend aus.

Die Entwicklung zu immer weniger Personen pro Haushalt wird den größten Einfluss auf den steigenden Wohnungsbestand der privat genutzten Häuser und Wohnungen haben. Auffallend ist hierbei der stärker gestiegene Wohnungsbestand im Vergleich zum verfügbaren Einkommen.⁹⁹ Daraus kann gefolgert werden, dass prozentual immer mehr Geld für Wohnungen und deren Unterhalt ausgegeben wird, wenn die Preise für Wohnungen konstant bleiben.

Der Hauptbestimmungsfaktor der Stromnachfrage im Haushaltssektor liegt an der elektrischen Geräteanzahl und deren Betriebsdauer. Über die Rahmenbedingungen der Energienachfrage, wie Ausstattungsgrad und Effizienz der Haushaltsanlagen beziehungsweise -geräte, liegen zwar Statistiken vor, sie sind aber nicht besonders aussagefähig, weil sie zum großen Teil auf Schätzungen und Hochrechnungen beruhen. Aus einem steigenden Ausstattungsgrad kann auch nicht unbedingt auf eine höhere Energienachfrage geschlossen werden. Da die meisten Neuanschaffungen energiesparendere Ersatzinvestitionen sind, überlagert dieser Effekt die Verbrauchssteigerung von zusätzlichen elektrischen Geräten oder kompensiert sie vollständig. Zumal gewisse Sättigungserscheinungen zu beobachten sind. Somit ist die Wirkung des Ausstattungsgrads auf den EEV der privaten Haushalte nicht eindeutig zu bestimmen.

5.2 Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Nicht nur, dass die offizielle Energiestatistik die privaten Haushalte und den immer wichtiger werdenden Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen bis 1970 unter der gleichen Kategorie Kleinverbraucher ausgewiesen hat, darüber hinaus enthält der „Sammelbegriff“ GHD die unterschiedlichsten Nachfragesegmente wie beispielsweise Kaufhäuser, Militär, Banken, Landwirtschaftsbetriebe, Krankenhäuser und Handwerksbetriebe. Diese Segmente können aber wegen einer völlig verschiedenen Spezifität nicht sinnvoll miteinander verglichen werden.¹⁰⁰ Im Prinzip wird dieser sektorale EEV als

⁹⁸ Vgl.: Erdmann, G. (1992), S. 303.

⁹⁹ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2002a), S. 6.

¹⁰⁰ Vgl.: Baumert, M. (1994), S. 42.

Restgröße gebildet. Der gesamte EEV der nicht zu den drei anderen Nachfragegruppen gehört, wird dem Sektor GHD zugeschrieben. Die Identifikation von aussagekräftigen Einflussfaktoren erweist sich auf diesem Aggregationsniveau als schwierig, eine tiefere Untergliederung wäre erforderlich, um der heterogenen Verbrauchsstruktur des Sektors GHD gerecht zu werden.

Zusätzlich erschwerend kommt hinzu, dass die energetische Abgrenzung des Sektors nicht mit der VGR übereinstimmt. Da in der amtlichen Statistik ein Sektor GHD nicht vorkommt, werden unter diesem Begriff die unterschiedlichsten volkswirtschaftlichen Bereiche zusammengefasst. Zum einen die Dienstleistungsbereiche ohne das Verkehrsgewerbe sowie der primäre Sektor mit seinen Wirtschaftszweigen. Zum anderen wird auch das Baugewerbe energetisch dem Sektor GHD zugeordnet.¹⁰¹ Die Gegenüberstellung des sektoralen Energieverbrauchs und dessen Einflussgrößen ist wegen den Abgrenzungsunterschieden mit erheblichem Aufwand verbunden.

Die BWS des Sektors GHD ist gekennzeichnet durch eine anteilige Zunahme des Banken- und Versicherungsgewerbes, mit relativ geringer Energieintensität, und gleichzeitigem Rückgang des Handels und der Gastronomie, mit relativ hoher Energieintensität.¹⁰² Generell haben verbrauchsintensive Subsektoren, wie beispielsweise auch der Krankenhausbereich oder das Hotelgewerbe, Anteile verloren. Daher hat der verbrauchssteigernde Einfluss der BWS mit der Zeit abgenommen.

Im Sektor GHD lässt sich eine Dominanz der Dienstleistungsbereiche feststellen, aufgrund der meisten Erwerbstätigen und dem größten Bruttowertschöpfungsanteil. Weitere relevante Faktoren des Energieverbrauchs können deshalb vor allem bei den Dienstleistungen gefunden werden.

Bei einem steigenden Ausstattungsgrad mit elektrischen Bürogeräten entsteht ebenso eine verbrauchssteigernde Wirkung wie bei zunehmendem Gebäudekomfort durch Aufzüge, Klimatisierung oder beheizbare Schwimmbecken. Wegen dem hohen Raumwärmeanteil des Sektors von rund 50%¹⁰³ geht von der Bestandsentwicklung der genutzten Gebäudefläche ein großer Einfluss auf den EEV aus. Dabei sollte eine Differenzierung nach der Hauptnutzungsart wie Lager-, Büro- oder Verkaufsfläche vorgenommen werden. Verbrauchsdämpfend kann sich die Architektur und die

¹⁰¹ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1999), S. 287.

¹⁰² Vgl.: Diekmann, J. et al. (1999), S. 217.

¹⁰³ Vgl.: Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (2002), S. 10.

Beheizungsstruktur auswirken, denn eine verstärkte Nutzung von Fernwärme und eine mehrstöckige Bauweise reduziert den sektoralen EEV.

Bis auf einige wenige Stichprobendaten stehen kaum verlässliche Zahlen über den Ausstattungsgrad sowie über die Entwicklung der Gebäudeflächen und deren Nutzungsart zur Verfügung.¹⁰⁴ Zudem sind Bestandsangaben der Klimageräte beziehungsweise die Quadratmeteranzahl der klimatisierten Räume, mit dem entsprechenden Energieverbrauch, nur unzureichend vorhanden. Klimaanlage sind aber vor allem im Dienstleistungsbereich vorzufinden, die verstärkt bei hohen Außentemperaturen eingesetzt werden. Um deren Verbrauchseinfluss abzubilden, könnten sogenannte „Kühltage“ verwendet werden. Darunter versteht man die Anzahl der Tage, an denen die durchschnittliche Tagestemperatur beispielsweise über 25°C liegt. Ein sehr hoher Wert der Kühltage pro Jahr entspricht somit einem überdurchschnittlich warmen Sommer, woraus eine verstärkte Energienachfrage für die Klimatisierung abgeleitet werden kann. Die im Sektor GHD einzusetzenden empirisch messbaren Variablen wären beispielsweise die reale BWS sowie die Jahresgradtagzahlen und Kühltage für den Wettereinfluss. Stellvertretend für den elektrischen Ausstattungsgrad und der Nutzfläche könnte die Zahl der Erwerbstätigen verwendet werden. Unter der Annahme, dass mehr Beschäftigte im Bereich GHD einen größeren Platzbedarf und mehr elektrische Arbeitsgeräte benötigen, würde der Energiebedarf zunehmen.

Insgesamt ist die statistische Datenlage zur Beurteilung der Energienachfrage des Sektors GHD als unbefriedigend anzusehen. Für aussagefähige Variablen liegen entweder keine öffentlich publizierten Daten oder nicht in dem gewünschten langfristigen Zeitraum vor, was zu relativ bescheidenen Aussagemöglichkeiten führt. Eine empirische Analyse von diesem Sektor muss daher lückenhaft bleiben.

5.3 Verkehr

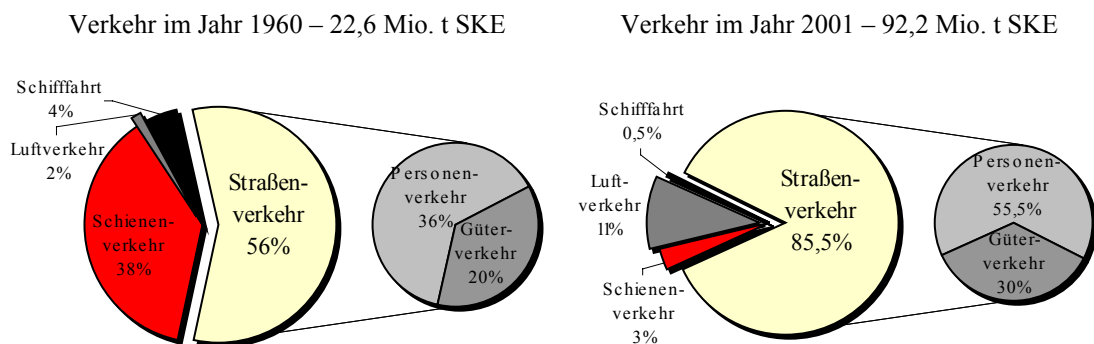
Von den vier Nachfragegruppen der Energiestatistik ist der Verkehrssektor der einzige Bereich mit ständigem Verbrauchswachstum seit 1960. Dementsprechend stieg sein Anteil am gesamten EEV von rund 16% im Jahr 1960 auf über 28% im Jahr 2001.¹⁰⁵ Diese Entwicklung wurde durch leicht rückgängige absolute Verbrauchswerte erstmalig im Jahr 2000 und 2001 unterbrochen.

¹⁰⁴ Vgl.: Baumert, M. (1994), S. 42.

¹⁰⁵ Die Berechnungen sind mit den Angaben in Tabelle A2 im Anhang erfolgt.

Wie aus Abbildung 7 hervorgeht, wurden im Jahr 2001 85,5% der Energie des Verkehrssektors im Straßenverkehr eingesetzt, die restlichen 14,5% wurden im Luft- und Schienenverkehr sowie von der Schifffahrt verbraucht. Neben den absoluten Wachstumsraten des EEVs kam eine große anteilige Verschiebung zu Lasten des Straßenverkehrs, von 56% im Jahr 1960 auf 85,5% im Jahr 2001, hinzu. Auch der Verbrauch im Luftverkehr spielte eine zunehmende Rolle. Dagegen verlor der EEV im Schienenverkehr und in der Schifffahrt an Gewicht.

Abbildung 7: EEV der Verkehrsbereiche von 1960 und 2001 im Vergleich.



Quelle: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2002), S. 279, eigene Darstellung.

Neben der dominierenden Stellung des Straßenverkehrs ist besonders auffallend, dass mittlerweile fast 98% des Energiebedarfs im Verkehrsbereich durch Mineralölprodukte und nur rund 2% durch Elektrizität gedeckt werden.¹⁰⁶ Deshalb wird ein Preiseinfluss auf die sektorale Energienachfrage vor allem von den Preisen für Mineralölprodukte ausgehen. Ein Rückgang des EEVs durch Preiserhöhungen ist bei anhaltendem Wirtschaftswachstum eher beim individuellen Personenverkehr zu erwarten als beim Güterverkehr.¹⁰⁷

Da der überwiegende Teil des Energieverbrauchs auf den Straßenverkehr entfällt, ist es gerechtfertigt, wenn bei der Analyse des Verkehrssektors besonderes Augenmerk darauf gerichtet wird. Der EEV im Straßenverkehr wird für die Inlandsfahrleistung errechnet, das heißt ohne die im Ausland zurückgelegten Strecken deutscher Kraftfahrzeuge, aber einschließlich der Inlandsstrecken ausländischer Fahrzeuge.¹⁰⁸ Zusätzlich wird zwischen Güter- und Personenverkehr unterschieden, wobei letzterer nochmals in öffentlichen und Individualverkehr unterteilt werden kann.

¹⁰⁶ Vgl.: Schiffer, H.-W. (1997), S. 248.

¹⁰⁷ Vgl.: Neu, A. (1978), S. 52.

¹⁰⁸ Vgl.: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2002), S. 279.

Als wichtige Einflussgröße ist die starke Zunahme des Kfz-Bestands zu nennen.¹⁰⁹ Jedoch muss die durchschnittliche Fahrleistung je Kfz im Zeitverlauf nicht zwingend ansteigen, weil ein zunehmender Anteil der Pkw als Zweitwagen genutzt wird. Da deren durchschnittliche Fahrleistung üblicherweise geringer ist als die der Erstwagen, können die gefahrenen Kilometer pro Jahr und Kfz durchaus rückläufig sein. Deshalb wird die Energienachfrage im Verkehrsbereich entscheidend von der Gesamtfahrleistung aller Kraftfahrzeuge beeinflusst. Wegen immer sparsameren Motoren wirkt der technologische Fortschritt verbrauchs-dämpfend. Der sinkende Verbrauch aller Kfz-Klassen pro 100 km zeigt den technologischen Einfluss im Verkehrssektor. Dieser Effekt wird allerdings bei einer verstärkten Nachfrage von leistungsstärkeren Modellen reduziert.

Tendenziell lässt sich in immer kürzerer Zeit eine immer länger werdende Wegstrecke zurücklegen. Nur der stetige Ausbau der Verkehrsinfrastruktur konnte dem gestiegenen Mobilitätsbedürfnis und dem verstärkten Warentransport gerecht werden. Durch den Mobilitätsdruck wurde der ständige Ausbau der Verkehrswege beschleunigt. Möglicherweise hat die verbesserte Infrastruktur die Mobilität zusätzlich erhöht, wodurch die Ausgaben für Verkehrsprojekte indirekten Einfluss auf den EEV des Verkehrssektors haben.

Ein weiterer Bestimmungsfaktor der Energienachfrage ist die Siedlungsstruktur. Eine zunehmende Verstädterung hat eine verbrauchssteigernde Wirkung, die besonders den Verkehrsbereich betrifft.¹¹⁰ Dadurch sind immer aufwendigere Verteilungssysteme und Transporte der in den Städten benötigten Güter erforderlich. Ebenso werden energieintensive Infrastruktureinrichtungen wie Massentransportmittel notwendig. Demgegenüber könnten bei einer Dezentralisierung die größeren Entfernungen zu einem höheren Transportaufwand führen, wodurch letztlich mehr Energie benötigt wird. Allerdings wird dieser Effekt durch die Verstädterung überkompensiert. Empirisch zeigt sich der Zusammenhang in einer positiven Korrelation zwischen Urbanisierung und Energieverbrauch.¹¹¹ Mit dem Urbanisierungsgrad ist diese verbrauchsrelevante Entwicklung modellierbar.

¹⁰⁹ Vgl.: Schiffer, H.-W. (1997), S. 249.

¹¹⁰ Vgl.: Hoffmann, L. (1984), S. 178.

¹¹¹ Vgl.: Hoffmann, L. (1984), S. 178.

5.4 Industrie

Die Bedeutung der Energie ist in den verschiedenen Industriebereichen sehr unterschiedlich und schwierig zu quantifizieren. Der Energiegehalt von Vorleistungen muss ebenso berücksichtigt werden, wie energiebedingte Umweltschutzauflagen. Am ehesten lässt sich die Bedeutung der Energie mit dem Anteil der Energiekosten an den Herstellungskosten messen. Beispielsweise beträgt dieser Energiekostenanteil bei der Produktion von Zement und Aluminium über 30% sowie bei Stahl und Ziegelsteinen rund 20%.¹¹² Generell kann die gesamte Grundstoffindustrie als energieintensiv bezeichnet werden, deshalb ist sie besonders von der Energiepreisentwicklung abhängig.

Betrachtet man die Zusammensetzung des EEVs der Industrie nach Branchen, so entfielen im Jahr 2001 rund 60% des Gesamtverbrauchs auf drei Wirtschaftsbereiche des verarbeitenden Gewerbes: Chemische Industrie, Metallherzeugung und -bearbeitung, sowie Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden. Addiert man noch das energieintensive Papier- und Ernährungsgewerbe sowie die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen hinzu, so decken diese sechs Wirtschaftsbereiche der VGR rund 70% des gesamten industriellen EEVs ab.¹¹³

Die Entwicklung der Energienachfrage wird stark vom Wandel in der Wirtschaftsstruktur beeinflusst. Der Trend, weg von der Grundstoffindustrie und hin zum tertiären Sektor, reduziert die Energieintensität, da in den wachsenden Wirtschaftsbereichen des Dienstleistungs- und Informationssektors weniger Energie pro Einheit BWS eingesetzt wird als in der anteilig zurückgehenden und energieintensiven Grundstoffindustrie. Beim Industriesektor wird dieser intersektorale Effekt zusätzlich durch den intrasektoralen oder innerindustriellen Strukturwandel überlagert, das heißt durch Veränderungen innerhalb des Industriesektors. Würde beispielsweise unter der ceteris paribus Annahme die Eisen- und Stahlproduktion stagnieren, hingegen beim Maschinenbau ein starkes Wachstum eintreten, dann könnte die gesamte Energieintensität des Industriesektors deutlich gesenkt werden.¹¹⁴ Neben dem Wachstum der industriellen BWS und den Energiepreisen hat somit die Umgewichtung der unterschiedlich energieintensiven Industriebranchen starken Einfluss auf den sektoralen Energiebedarf.

¹¹² Vgl.: Schweizerischer Handels- und Industrie-Verein (1988), S. 7.

¹¹³ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2003a), o. S..

¹¹⁴ Vgl.: Hensinger, I., Pfaffenberger, W., Ströbele, W. (1998), S. 143.

Auf den Industriesektor entfielen im Jahr 2002 mit 79,6 Mio. t SKE rund 25% des gesamten EEVs.¹¹⁵ Dieser Anteil ging seit 1960 von über 48% kontinuierlich zurück. In den ABL reduzierte sich nach der 1. Ölpreiskrise 1973/74 der industrielle EEV auch absolut um rund ein Viertel, obwohl die BWS im gleichen Zeitraum anstieg.¹¹⁶ Der Rückgang des EEVs wurde von Veränderungen des Energieträgereinsatzes begleitet. Der Verbrauch von Mineralöl nahm überproportional ab, zugunsten von Erdgas und Strom. Vor allem die Zunahme des Elektrizitätsverbrauchs ist typisch für den Entwicklungsverlauf der Industrie. Denn „Strom wird in vielen industriellen Prozessen eingesetzt, die der Rationalisierung, Energieeinsparung, Qualitätssteigerung und auch der Verbesserung des Umweltschutzes dienen.“¹¹⁷

In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl neuer Maschinen und Verfahren entwickelt, die energiesparender sind als die alten. Deshalb ist es unstrittig, dass bei den industriellen Anwendungsbereichen die technologische Entwicklung kontinuierlich eine Effizienzverbesserung bewirkte. Beispielsweise erforderte die Eisenproduktion vor Beginn des 19. Jahrhunderts rund 400.000 Megakalorien pro Tonne, während die heutige Technik mit weniger als 5.000 Megakalorien auskommt.¹¹⁸ In fast allen Bereichen ist der Energieeinsatz pro Produkteinheit aufgrund des technischen Wandels rapide gesunken. Deshalb nahm der EEV der Industrie in den letzten Jahrzehnten so stark ab, ohne dass die industrielle Produktion eingeschränkt wurde. Dies zeigt sich auch in der gefallen Energieintensität, die 1960 doppelt so hoch war wie Mitte der 90er Jahre.¹¹⁹

Zu verdanken ist diese Entwicklung dem inter- und intrasektoralen Strukturwandel, bei dem besonders die energieintensiven Branchen der Industrie an Bedeutung verloren haben. Aber rund drei Viertel des Rückgangs der Energieintensität sind nach Angaben des BMWi auf technische Verbesserungen zurückzuführen. Deshalb erlangt der technologische Fortschritt im Industriebereich eine herausragende Bedeutung.

¹¹⁵ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2003), Tabelle 2.1.

¹¹⁶ Siehe Angaben in Tabelle A2 im Anhang.

¹¹⁷ Schiffer, H.-W. (1997), S. 247.

¹¹⁸ Vgl.: Hoffmann, L. (1984), S. 183.

¹¹⁹ Vgl.: BMWi (2001a), S. 13.

TEIL II Empirische Analyse

6. Datenbasis

Bei der Beschaffung der Daten für die verschiedenen relevanten Einflussgrößen musste auf viele unterschiedliche statistische Veröffentlichungen zurückgegriffen werden. Wenn möglich, wurden Zeitreihen des Statistischen Bundesamtes verwendet, um die Konsistenz der Datenbasis zu sichern und damit eine möglichst hohe Datenqualität zu gewährleisten. Gradtagzahlen werden nicht vom Statistischen Bundesamt erhoben. Sie sind im Prinzip vom Deutschen Wetterdienst (DWD) erhältlich, allerdings nur gegen eine Gebühr von 100 Euro pro Jahreswert.¹²⁰ Es konnte aber auf sekundäre Quellen zurückgegriffen werden, um die benötigte Zeitreihe der Gradtagzahlen zu erhalten.

Die Wiedervereinigung führte zu einer größeren Fläche des Bundesgebietes, wodurch sich die durchschnittliche jährliche Gradtagzahl von Deutschland ebenfalls verändert. Diesem Umstand wurde mit einer Ausweitung der zugrundeliegenden Messstationen von 15 auf 20 entsprochen. Seit 1991 werden fünf zusätzliche Stationen aus den NBL hinzugenommen, um eine breitere Basis zu erhalten. Wenn man die Wetterstation Berlin den NBL zurechnet, beträgt das Verhältnis der Stationen aus den ABL zu denen aus den NBL 14:6, was in etwa dem Flächenverhältnis von 2,3:1 entspricht.¹²¹

Alle Energieverbrauchswerte stammen aus den offiziellen Energiebilanzen für Deutschland, die von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) veröffentlicht werden. Die AGEB ist keine staatliche Institution, sondern eine selbstständige Arbeitsgruppe in der zurzeit drei Wirtschaftsforschungsinstitute und sechs Verbände aus der Energiewirtschaft vertreten sind.¹²² Lange Zeitreihen sind indes ebenfalls nicht kostenlos erhältlich. Deshalb mussten zum Teil auch die zur Analyse benötigten Energiedaten aus sekundären Veröffentlichungen zusammengestellt werden.

6.1 Zeithorizont der Daten

Ogleich für die meisten relevanten Größen Zeitreihendaten vorhanden sind, stimmt deren Zeitfenster selten perfekt überein. Daher kann für die empirische Analyse lediglich jenes Zeitintervall benutzt werden, das sich aus der Schnittmenge von allen

¹²⁰ Telefonische Auskunft von Frau Kovac (DWD/Essen), am 27.08.2003.

¹²¹ Vgl.: Christoffer, J. (1995), S. 155.

¹²² Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (o. J.), S. 2.

benötigten Zeitreihen ergibt. Langfristige Untersuchungen für Deutschland sind zudem von einem Strukturbruch betroffen, der durch die Wiedervereinigung entstanden ist. Eine getrennte Betrachtung der NBL ab 1960 scheitert zumeist an fehlenden oder unvollständigen Daten über die ehemalige DDR. Nicht einmal für die ABL ist eine durchgängig separate Analyse möglich, weil die Angaben über den Energieverbrauch ab 1995 nur noch für Deutschland insgesamt vorliegen. Seitens der AGEb wird dies durch die fehlende Datenbasis entschuldigt, die eine getrennte Darstellung für die Alten und Neuen Bundesländer nicht mehr erlauben würde.¹²³ Um den aktuellen Bezug der Untersuchung nicht zu verlieren, muss ein Wechsel der Aggregationsbasis vom früheren Bundesgebiet auf Deutschland vorgenommen werden. Üblicherweise werden in der amtlichen Statistik die aggregierten Größen, wie beispielsweise das BIP, ab 1991 für Gesamtdeutschland ausgewiesen. Dieser Systematik wird in der folgenden empirischen Analyse entsprochen. Alle Zeitreihen weisen deshalb im Jahr 1991 einen Sprung auf. Grundsätzlich wird die Bundesrepublik Deutschland untersucht, das heißt bis zum Jahr 1990 ausschließlich, seit 1991 einschließlich der NBL.

Für einige Größen lagen keine aktuellen Angaben für das Jahr 2002 vor, weshalb auf das Zahlenmaterial für 2002 verzichtet werden musste. In dieser Analyse wird folglich der Zeitraum von 1960 bis 2001 mit insgesamt 42 jährlichen Beobachtungen untersucht. Alle verwendeten Zeitreihen sind vollständig im Anhang in Tabelle A2 aufgelistet.

6.2 Modifikation der Zeitreihen

Bei Variablen wie dem BIP oder der BWS ist eine Deflationierung der Daten erforderlich, um reale Größen zu erhalten. Andernfalls würden die allgemeinen Preissteigerungseffekte fälschlicherweise einen Einfluss auf die zu erklärende Variable, den Energieverbrauch, ausüben. Deshalb sind alle monetären Größen in konstanten Preisen von 1995 angegeben.

Bedingt durch die Umstellung auf das „Europäische System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen 1995“ (ESVG 95) sind konsistente Werte für das BIP erst ab dem Jahr 1970 verfügbar. Die Daten vor 1970 hat das Statistische Bundesamt bisher noch nicht an das ESVG 95 angepasst. Nach Auskunft des Statistischen Bundesamtes haben sich aber durch die konzeptionellen Neuerungen die jährlichen Steigerungsraten des

¹²³ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (o. J.), S. 2.

BIPs im Wesentlichen nicht verändert.¹²⁴ Unter Verwendung der ursprünglichen Wachstumsraten des BIPs konnten für 1960 bis 1969 die unrevidierten Werte in das ESVG 95 transformiert werden. Genauso wurde bei der BWS verfahren.

Der intersektorale Strukturwandel wird durch die Variablen Dienstleistungs- und Industrialisierungsgrad beschrieben. Sie sind definiert als die jeweilige BWS des sekundären beziehungsweise tertiären Sektors in Relation zur gesamten BWS. Zusammen mit dem theoretisch zu ermittelnden „Landwirtschaftsgrad“ addieren sich Dienstleistungs- und Industrialisierungsgrad immer zu 100%. Wegen des geringen Agraranteils von beispielsweise 1,3% im Jahr 2001,¹²⁵ verhalten sich Dienstleistungs- und Industrialisierungsgrad nahezu entgegengesetzt. Der beobachtete steigende Dienstleistungsgrad geht fast vollständig zu Lasten des Industrialisierungsgrads. Deshalb ist es ausreichend, entweder die eine oder die andere Größe in einem Modell zu verwenden. Daraus ergeben sich zwei Vorteile: Zum einen benötigt man nur eine Variable, um den Strukturwandel abzubilden. Zum anderen werden Multikollinearitätsprobleme vermieden, die dadurch zustande kommen, dass zwei oder mehrere Variablen hochgradig oder sogar perfekt korreliert sind. Dies ist beim Dienstleistungs- und Industrialisierungsgrad tatsächlich der Fall, wie sich leicht empirisch überprüfen lässt. Die Energiepreise sind mit Hilfe ausgewählter Indizes der Erzeugerpreise, auf Basis von 1995 (Statistisches Bundesamt: Fachserie 17, Reihe 2) in die Auswertung eingegangen. Ein Beispiel für einen Erzeugerpreisindex wäre der Index der Mineralölzeugnisse, der das ganze Spektrum der Mineralölprodukte wie Flüssiggas, schweres und leichtes Heizöl, Schmieröl, sowie alle Kraftstoffe umfasst.¹²⁶ Es handelt sich somit um den mit Marktanteilen gewichteten jährlichen Durchschnittspreis aller in dem Index zugrundegelegten Produkte. Besonders bei den leitungsgebundenen Energieformen, wie Elektrizität und Erdgas, gibt es große preisliche Differenzen durch Mengenrabatte oder Lieferungen an bestimmte Abnehmergruppen. Dies wird in den Preisreihen berücksichtigt, indem für die verschiedenen Nachfragesegmente wie Industrie, private Haushalte oder Landwirtschaft, Teilindizes gebildet werden. Damit wird eine differenzierte Betrachtung der Preisstrukturen ermöglicht.

¹²⁴ Telefonische Auskunft von Herrn H.-J. Gans (Statistisches Bundesamt/Wiesbaden), am 06.08.2003.

¹²⁵ Die Berechnung ist mit den Angaben in Tabelle A2 im Anhang erfolgt.

¹²⁶ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2003), S. 34.

Da der Energieverbrauch nicht durch die absolute Preisentwicklung, sondern durch die Entwicklung der Energiepreise relativ zur allgemeinen Preisentwicklung bestimmt wird, werden die Energiepreise in der folgenden empirischen Untersuchung in Relation zum allgemeinen Verbraucherpreisindex gesetzt. Sie sind somit als relative Preise aufzufassen.¹²⁷

7. Empirische Ergebnisse

Für die anschließende empirische Analyse zur Erklärung des Endenergieverbrauchs in Deutschland wurde die Statistiksoftware STATATM verwendet, mit dieser ist die Berechnung und die tabellarische Ergebnisdarstellung durchgeführt worden. Mit Methoden der multivariaten Regressionsrechnung wird die Stärke des Einflusses der verschiedenen Determinanten des Energieverbrauchs, die in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden, anhand ihrer Regressionskoeffizienten geschätzt.

7.1 Gesamtwirtschaftliche Analyse

Bei der Wahl des aussagefähigsten Modells wurden die verschiedensten Variablen auf ihren Erklärungsgehalt getestet, um den aggregierten EEV möglichst genau abzubilden. Es hat sich herausgestellt, dass der EEV in Deutschland zwischen 1960 und 2001 im Wesentlichen durch die in der Modellgleichung 7 verwendeten Größen bestimmt wird.

$$\begin{aligned} \text{eev}_t = & \alpha_0 + \alpha_{\text{temp}} \cdot \text{temp}_t + \alpha_{\text{bip/bev}} \cdot (\text{bip}_t / \text{bev}_t) + \alpha_{\text{dummy}} \cdot \text{dummy}_t \\ & + \alpha_{\text{dl_grad}} \cdot \text{dl_grad}_t + \alpha_{\text{elpr}} \cdot \text{elpr}_t + \alpha_{\text{oilpr}} \cdot \text{oilpr}_t + e_t \end{aligned} \quad , \quad (7)$$

mit:

eev	=	Endenergieverbrauch,
temp	=	Gradtagzahl,
bip/bev	=	BIP pro Kopf,
dummy	=	Wiedervereinigungs-Dummy,
dl_grad	=	Dienstleistungsgrad,
elpr	=	relativer Elektrizitätspreis,
oilpr	=	relativer Preis der Mineralölerzeugnisse,
e	=	Störgröße,
t	=	Zeitindex,
α_x	=	Regressionskoeffizienten.

¹²⁷ Vgl.: Erdmann, G. (1992), S. 222.

Das Schätzergebnis für die Modellgleichung 7 ist in Tabelle 2 abgebildet. In der ersten Spalte stehen die in Gleichung 5 verwendeten Größen, wobei unterhalb der abhängigen Variablen eev die unabhängigen Variablen folgen. Die zweite Spalte zeigt die OLS-Schätzwerte (Ordinary Least Squares) für die Regressionskoeffizienten α_0 bis α_{oilpr} . In der letzten Zeile steht der Schätzwert für die Konstante α_0 .

Tabelle 2: Schätzergebnis der gesamtwirtschaftlichen Modellgleichung 7.

Number of obs = 42
 F(6, 35) = 187.60
 Prob > F = 0.0000
 R-squared = 0.9698
 Adj R-squared = 0.9647
 Root MSE = 9.7548

eev	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
temp	0.02	0.01	3.31	0.002	0.009	0.036
bip/bev	14.19	1.31	10.86	0.000	11.532	16.832
dummy	74.91	10.93	6.85	0.000	52.719	97.105
dl_grad	-667.22	141.06	-4.73	0.000	-953.583	-380.850
elpr	-54.91	15.87	-3.46	0.001	-87.134	-22.692
oilpr	-0.37	8.18	-0.05	0.964	-16.979	16.239
cons	344.98	63.43	5.44	0.000	216.222	473.744

Quelle: Ergebnisdarstellung und Berechnung mit STATA™ 6.0.

Neben den Regressionskoeffizienten ist der dem Schätzwert zugehörige Standardfehler (standard error) angegeben. In der 4. Spalte folgen die t-Werte, die zur Bestimmung der statistischen Signifikanz der berechneten Koeffizienten verwendet werden. Ein Überschreiten des Betrags von 2 wird in der Ökonometrie als Faustregel für die Signifikanz der jeweiligen Koeffizienten angesehen.

In der letzten Spalte wird für jeden Koeffizienten das 95%-Konfidenzintervall berechnet, indem zum Regressionskoeffizienten ungefähr das 1,96-fache des Standardfehlers hinzuaddiert beziehungsweise abgezogen wird.¹²⁸ Im Fall des BIP pro Kopf liegen die Grenzen bei 11,532 und 16,832. Falls der Wert 0 innerhalb des Konfidenzintervalls liegt, kann man davon ausgehen, dass die entsprechende unabhängige Variable in der Grundgesamtheit keinen Einfluss auf den EEV besitzt. Dies ist nur für den relativen Preis der Mineralölerzeugnisse zutreffend, der sich zusätzlich mit einem t-Wert von $|0,05| < 2$ als statistisch insignifikant erweist.

¹²⁸ Vgl.: Kohler, U., Kreuter, F. (2001), S. 232.

Bevor man die Regressionskoeffizienten interpretiert, sollte man untersuchen, wie gut das Modell die beobachteten Daten erklärt. Links über der Tabelle wird in der ersten Zeile die Anzahl der Beobachtungen (number of observations) mit 42 angegeben, die sich aus dem gewählten Untersuchungszeitraum von 1960 bis 2001 ergeben.

„R-squared“ steht für den Determinationskoeffizienten r^2 und gibt das Verhältnis der durch das Modell erklärten quadrierten Residuen zu den insgesamt vorhandenen Residuen an. Der Wert von $r^2 = 0,9698$ bedeutet, dass rund 97% der Variation des EEVs mit dem Modell erklärt werden können. Fälschlicherweise werden Regressionsmodelle oft allein anhand der Höhe von r^2 beurteilt. Das ist nicht zulässig, weil durch die Hinzunahme weiterer unabhängiger Variablen das r^2 fast immer steigt.¹²⁹ Deshalb wird mit „Adj R-squared“ ein korrigiertes r^2 angegeben, das die Anzahl der Modellparameter und die Beobachtungseinheiten berücksichtigt.

Eine Alternative zu r^2 ist der „Root MSE“. Diese Maßzahl entspricht der Wurzel der durchschnittlichen Residuen des Modells und wird immer in der Einheit der abhängigen Variablen angegeben, deshalb ist er gut zu interpretieren. Einfach ausgedrückt besagt er, dass der durchschnittliche Fehler bei der Prognose des EEVs bei 9,75 Mio. t SKE liegt.

Die Angaben in der zweiten und dritten Zeile beantworten die Frage, ob das Regressionsmodell als Ganzes „signifikant“ ist. Die Prüfgröße $F(k-1, n-k)$ mit n = Anzahl der Beobachtungen und k = Anzahl der unabhängigen Parameter, folgt einer F-Verteilung und ist ein Signifikanztest für r^2 . Der Wert hinter „Prob > F“ gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der das berechnete r^2 möglich ist, wenn es in der Grundgesamtheit eigentlich den Wert 0 annimmt.

Für eine tiefergehende Beschreibung der Angaben, die das statistische Verfahren betreffen, sei an dieser Stelle auf alle gängigen Statistik-Lehrbücher verwiesen. Vielmehr soll jetzt das eigentliche Schätzergebnis, also die Werte der Regressionskoeffizienten, interpretiert werden.

In den Beobachtungszeitraum fällt die deutsche Wiedervereinigung, die in der Schätzung des Modells durch eine Dummy-Variable berücksichtigt wurde. Hierunter versteht man einen Parameter, der lediglich zwei Ausprägungen mit den Werten 0 oder 1 besitzt. Der Wiedervereinigungs-Dummy enthält den Wert 1 ab dem Jahr 1991, ansonsten den Wert 0, da für alle Modellparameter ab 1991 Daten für Gesamtdeutschland verwendet wurden. Mit einem t-Wert von 6,85 erweist sich dieser Dummy

¹²⁹ Vgl.: Kohler, U., Kreuter, F. (2001), S. 193.

als statistisch signifikant, er überschreitet den Betrag von 2 erheblich. In anderen Worten: Die Wiedervereinigung hatte, wie bereits aus Abbildung 2 im 3. Kapitel offensichtlich wurde, eine signifikante Erhöhung des EEVs in Deutschland verglichen mit dem früheren Bundesgebiet zur Folge. Der Regressionskoeffizient für den Dummy schätzt diese Differenz auf 74,91 Mio. t SKE.

Während der Faktor Temperatur einen kleinen, aber statistisch signifikanten Einfluss ausübt, erweist sich das BIP pro Kopf als die dominierende Größe unter den verwendeten Determinanten. Die Erhöhung des BIP pro Kopf um eine Einheit, führt zu einer Erhöhung des EEVs um 14,19 Mio. t SKE. Eine Einheit entspricht 1000 Euro pro Kopf, weil für das BIP die Einheit Milliarden Euro beziehungsweise für die Bevölkerung Millionen Einwohner gewählt wurde.

Dass mit immer weiter steigendem BIP pro Kopf der Energieverbrauch nicht ins Unermessliche wächst, dafür sorgen zwei Faktoren. Zunächst haben steigende Energiepreise einen verbrauchsreduzierenden Einfluss, wenngleich dieser Effekt in diesem Beispiel nur für die relativen Elektrizitätspreise, nicht aber für die Mineralölerzeugnisse signifikant ist. Zudem hat der merklich stattfindende Strukturwandel, weg von der Industrie- und hin zur Dienstleistungsgesellschaft, eine signifikant dämpfende Wirkung auf den EEV. Eine Erhöhung des Dienstleistungsgrads um einen Prozentpunkt sorgt für die Reduktion der Endenergie um: $0,01 \cdot (-667,22) = -6,6722$, also rund 6,7 Mio. t SKE.

7.1.1 Logarithmierte Darstellung des Modells

Im Allgemeinen sind absolute Angaben über den EEV wenig aussagekräftig. Nicht nur im Hinblick auf eine bessere Interpretation der Regressionskoeffizienten wäre es sinnvoller, Aussagen über relative Größenänderungen treffen zu können. Daher wird das obige Modell aus interpretatorischen Zwecken abgewandelt. Die berücksichtigten Determinanten aus Gleichung 7 werden aber beibehalten, um die Struktur des ursprünglichen Modells nicht zu verändern. Dies führt zum zweiten Modell, das – wegen dem korrespondierenden Charakter der beiden Modelle – auf die vorherige Gleichung 7 zurückzuführen ist:

$$\ln(eev_t) = \beta_0 + \beta_{temp} \cdot \ln(temp_t) + \beta_{bip/bev} \cdot \ln(bip_t/bev_t) + \beta_{dummy} \cdot dummy_t \\ + \beta_{dl_grad} \cdot dl_grad_t + \beta_{elpr} \cdot \ln(elpr_t) + \beta_{oilpr} \cdot \ln(oilpr_t) + e_t \quad . \quad (8)$$

Werden insbesondere der EEV und das BIP pro Kopf logarithmiert, dann kann der Regressionskoeffizient $\beta_{\text{bip/bev}}$ als Elastizität interpretiert werden. Durch die partielle Ableitung des logarithmierten EEVs nach dem logarithmierten BIP pro Kopf ergibt sich Gleichung 9:

$$\beta_{\text{bip/bev}} = \frac{\partial \ln(\text{eev})}{\partial \ln(\text{bip/bev})} = \frac{\partial \text{eev}}{\partial (\text{bip/bev})} \cdot \frac{\text{bip/bev}}{\text{eev}} \quad (9)$$

Bekanntermaßen entspricht der Ausdruck auf der rechten Seite der Gleichung einer Elastizität. Der Schätzwert für den Koeffizienten $\beta_{\text{bip/bev}}$ gibt daher die prozentuale Änderung des Energieverbrauchs infolge der einprozentigen Veränderung des BIP pro Kopf an.

Da man solche aussagefähigen Angaben auch gerne für die Preiseinflüsse und für die Gradtagzahlen treffen möchte, wurden die entsprechenden Variablen ebenfalls logarithmiert. Auf die Logarithmierung der Variable Dienstleistungsgrad konnte verzichtet werden, weil diese bereits eine relative Größe darstellt und in Prozent angegeben wird. Ebenso macht es inhaltlich und bei der Interpretation keinen Sinn den Dummy für die Wiedervereinigung zu logarithmieren.

Die Ergebnisse des zweiten Modells sind in Tabelle 3 dargestellt, die im Aufbau der bereits beschriebenen Tabelle 2 entspricht.

Tabelle 3: Schätzergebnis der logarithmierten Modellgleichung 8.

```
Number of obs =      42
F(  6,      35) =  304.96
Prob > F       =  0.0000
R-squared      =  0.9812
Adj R-squared  =  0.9780
Root MSE     =  0.0326
```

ln_eev	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_temp	0.31	0.08	3.64	0.001	0.136	0.480
ln_bip/bev	1.08	0.06	18.71	0.000	0.962	1.196
dummy	0.30	0.03	8.87	0.000	0.231	0.368
dl_grad	-2.94	0.40	-7.40	0.000	-3.744	-2.132
ln_elpr	-0.20	0.05	-3.80	0.001	-0.303	-0.092
ln_oilpr	-0.02	0.03	-0.49	0.624	-0.080	0.048
cons	9.01	0.88	10.18	0.000	7.202	10.792

Quelle: Ergebnisdarstellung und Berechnung mit STATA™ 6.0.

Die Schätzung des zweiten Modells aus Gleichung 8 ergibt qualitativ dieselben Resultate. Wiederum sind alle betrachteten Variablen statistisch signifikant, bis auf den relativen Preis der Mineralölerzeugnisse. Erwartungsgemäß hat die Wiedervereinigung zu einem erhöhten Energiebedarf geführt. Da die Dummy-Variable ab dem Jahr 1991 um eine Einheit steigt, schätzt dessen Regressionskoeffizient den erhöhten EEV bedingt durch die Wiedervereinigung auf 30% ($=1 \cdot 0,3$).

Die klimatische Veränderung, gemessen mit Hilfe der Variable „temp“, hat mit einem t-Wert von 3,64 einen statistisch signifikanten Einfluss auf den EEV. Kältere und wärmere Jahre, mit unterschiedlich langen Heizperioden, wechseln aber in unregelmäßiger Folge, weshalb die Gradtagzahlen eine hohe Volatilität aufweisen. Eine Steigerung um ein Prozent hat in dem Untersuchungszeitraum zu einer durchschnittlichen Erhöhung des Energieverbrauchs im Umfang von 0,31% geführt. Folgerichtig hat ein Rückgang der Gradtagzahlen eine gegenläufige Wirkung auf den EEV, mit gleichem Ausmaß.

Der dominante verbrauchssteigernde Einfluss geht nach wie vor von dem BIP pro Kopf aus. Eine Erhöhung um ein Prozent würde zu einer überproportionalen Steigerung der Energienachfrage um 1,08% führen, wenn alle anderen Faktoren, insbesondere die verbrauchssenkenden Determinanten, unverändert blieben.

Dank der dämpfenden Wirkung der relativen Elektrizitätspreise, bei denen eine Erhöhung um ein Prozent zu einer Reduktion des Energieverbrauchs um 0,2% führt, sowie des strukturellen Wandels zur Dienstleistungsgesellschaft, ergibt sich letztlich eine deutlich unterproportionale Zunahme des Energiebedarfs im Vergleich zum Wachstum des BIP pro Kopf. Hierbei hat der Dienstleistungsgrad den stärksten verbrauchsmindernden Effekt. Aus einer Erhöhung des Dienstleistungsgrads um einen Prozentpunkt resultiert eine Reduktion des EEVs um 2,94%.

Auffällig ist in diesem Zusammenhang, dass nur für die Elektrizitätspreise ein gesamtwirtschaftlicher Effekt nachgewiesen werden konnte. Es wurde eine Vielzahl weiterer Energiepreise wie für Erdgas, Heizöl oder Kraftstoffe untersucht. Ein empirisch messbarer Einfluss war jedoch nicht feststellbar. Alle Preisvariablen außer den Elektrizitätspreisen haben keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den aggregierten EEV, wie sich bei zusätzlichen Analysen herausstellte. Scheinbar gibt es keine sofortigen Substitutionsreaktionen oder Nachfragerückgänge in Folge von Preissteigerungen von Heizöl oder Mineralöl.

Ohne großen finanziellen Aufwand lassen sich beispielsweise die Heizkosten auch nur begrenzt reduzieren. Zudem haben sich die Fahrgewohnheiten im Kfz-Bereich als relativ kostenunempfindlich erwiesen.¹³⁰ Eine schrittweise Reduktion des gewohnten Energiekonsums, verbunden mit einer sparsameren Nutzung der Energiedienstleistungen, ist nicht zu erkennen.

Auch der Versuch, die energetische Wirkung der sektoralen Faktoren, wie beispielsweise Wohnfläche pro Kopf, sowie durchschnittliche Haushaltsgröße oder Kfz-Bestand und Fahrleistung, im gesamtwirtschaftlichen Rahmen zu ermitteln, ist an der Insignifikanz der Variablen gescheitert.

7.1.2 Überprüfung der empirischen Ergebnisse

Ein Modell ist immer nur so gut, wie es die tatsächliche Entwicklung abbilden kann. Deshalb sollte der Realitätsbezug von Modellschätzungen immer überprüft werden, indem das Schätzergebnis mit der tatsächlichen Entwicklung des EEVs verglichen wird. Dies wird für die Modellgleichung 8 durchgeführt. In der folgenden Überprüfung wird die Entwicklung im Zeitraum von 1960 bis 1990 untersucht, wodurch der Strukturbruch in Folge der Wiedervereinigung außen vor gelassen werden kann.

Die Gradtagzahlen werden in der Überprüfung nicht berücksichtigt, weil sie um ihren langfristigen Mittelwert schwanken und durchschnittlich kein Wachstum aufweisen. Zwischen 1960 und 1990 hat sich das BIP pro Kopf mit durchschnittlich über 2,7% sowie der Dienstleistungsgrad mit rund 0,5% pro Jahr erhöht. Hingegen sind die relativen Elektrizitätspreise jährlich um mehr als 0,5% gesunken.¹³¹ Durch Multiplikation dieser Durchschnittswerte mit den jeweiligen geschätzten Regressionskoeffizienten ergibt sich Gleichung 10, wobei $\tilde{\epsilon}\tilde{\epsilon}\tilde{\nu}$ die durchschnittlich geschätzte jährliche Veränderung des EEVs zwischen 1960 und 1990 darstellt.

$$2,7\% \cdot \beta_{\text{bip/bev}} + 0,5\% \cdot \beta_{\text{dl_grad}} + (-0,5\%) \cdot \beta_{\text{elpr}} = \tilde{\epsilon}\tilde{\epsilon}\tilde{\nu} \quad (10)$$

Werden für die Regressionskoeffizienten die entsprechenden Schätzwerte aus Tabelle 3 eingesetzt, ergibt sich ein geschätztes jährliches Wachstum des EEVs von rund 1,6%:

$$2,7\% \cdot 1,08 + 0,5\% \cdot (-2,94) + (-0,5\%) \cdot (-0,2) \approx 1,6\% \quad . \quad (11)$$

¹³⁰ Vgl.: Axel Springer Verlag AG (2000), S. 4.

¹³¹ Die Berechnungen sind mit den Angaben in Tabelle A2 im Anhang erfolgt.

In der Realität ist der EEV mit einer Steigerungsrate von rund 1,9% pro Jahr gewachsen, womit das Modell als realitätskonform bezeichnet werden darf. Bei der Überprüfung von kürzeren Zeitintervallen fällt die Differenz zwischen Schätzergebnis und tatsächlicher Entwicklung teilweise noch geringer aus.

Abschließend bleibt zu klären, ob die bei Zeitreihen typischerweise auftretenden Phänomene wie Autokorrelation beziehungsweise Scheinkorrelation bei der Schätzung des Regressionsmodells aus Gleichung 8 vorliegen. Ein mit STATA™ berechneter Wert der Durbin-Watson Statistik von nahezu 2 weist daraufhin, dass keine Autokorrelation 1. Ordnung vorliegt. Mit Hilfe des Dickey-Fuller Tests kann zudem nachgewiesen werden, dass es sich bei den obigen Modellen um sogenannte kointegrierende Beziehungen handelt und somit nicht um Scheinkorrelationen. Diese Korrelationen können dadurch zustande kommen, wenn Größen wie das BIP pro Kopf oder der EEV mit der Zeit immer weiter ansteigen. Der Dickey-Fuller Test prüft für das Regressionsmodell aus Gleichung 8, ob die Residuen eine Einheitswurzel (unit root) enthalten. Mit einer geringeren Irrtumswahrscheinlichkeit als 5% ist das nicht der Fall, wie das in der letzten Zeile der Tabelle 4 aufgeführte Ergebnis von 2,12% des Dickey-Fuller Tests zeigt.

Tabelle 4: Dickey-Fuller Test für die Modellgleichung 8.

Dickey-Fuller test for unit root		Number of obs		=	41
		----- Interpolated Dickey-Fuller -----			
	Test	1% Critical	5% Critical	10% Critical	
	Statistic	Value	Value	Value	

Z(t)	-3.180	-3.641	-2.955	-2.611	

* MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0212

Quelle: Ergebnisdarstellung und Berechnung mit STATA™ 6.0.

7.2 Sektorale Analyse

Ein generelles Problem bei hochaggregierten Einflussgrößen auf der Makroebene besteht darin, dass möglicherweise unterschiedliche Entwicklungen in den einzelnen Verbrauchssektoren stattgefunden haben, die sich eventuell kompensieren. Die Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Größen kann unter Umständen von sektoralen Faktoren beeinflusst werden, die nicht erkannt werden können.¹³² Darunter leidet die inhaltliche Aussagefähigkeit und es besteht eine erhöhte Gefahr von Fehlinterpretationen.

Eine Möglichkeit, dies zu umgehen und trotzdem eine gesamtwirtschaftliche Aussage treffen zu können, wäre die separate Untersuchung aller Sektoren und eine anschließende Aggregation der Einzelergebnisse. Dies erfordert aber eine erheblich größere Datenbasis, die für viele Einflussgrößen gar nicht vorhanden ist.

Als Beispiel für eine sektorale Untersuchung wird im Folgenden für den Sektor Industrie eine multivariate Regressionsanalyse durchgeführt. Wiederum konnte eine Modellgleichung gefunden werden, die alle wesentlichen Einflussgrößen des Energieverbrauchs der Industrie beinhaltet:

$$\ln(\text{eev-ind}_t) = \gamma_0 + \gamma_{\text{dummy}} \cdot \text{dummy}_t + \gamma_{\text{bws-ind}} \cdot \ln(\text{bws-ind}_t) + \gamma_{\text{techn}} \cdot \text{techn}_t + \gamma_{\text{elpr}} \cdot \ln(\text{elpr-ind}_t) + e_t, \quad (12)$$

mit:

eev-ind	=	Endenergieverbrauch der Industrie,
dummy	=	Wiedervereinigungs-Dummy,
bws-ind	=	Bruttowertschöpfung der Industrie,
techn	=	technologischer Fortschritt der Industrie,
elpr-ind	=	relativer Elektrizitätspreis der Industrie,
e	=	Störgröße,
t	=	Zeitindex,
γ_x	=	Regressionskoeffizienten.

Aus interpretatorischen Gründen werden die Bruttowertschöpfung, der Elektrizitätspreis sowie der EEV der Industrie in logarithmierter Form angegeben, wodurch sich, wie bei dem vorherigen Modell, das Schätzergebnis qualitativ nicht ändert.

¹³² Vgl.: Diekmann, J. et al. (1999), S. 75.

Der EEV der Industrie, die abhängige Variable, enthält den Energiebedarf des produzierenden Gewerbes, ohne den Verbrauch der Bauwirtschaft.¹³³ Aus Konsistenzgründen ist es unumgänglich, diesen Umstand auch bei der BWS zu berücksichtigen. Deshalb wurde von der gesamten industriellen BWS der Anteil des Baugewerbes herausgerechnet. Unter der Variablen „bws-ind“ wird im weiteren Verlauf immer die BWS der Industrie ohne der Bauwirtschaft verstanden.

Auch bei den Strompreisen musste eine Anpassung vorgenommen werden. Weil sich die Stromkonditionen der Industrie erheblich von dem durchschnittlichen Elektrizitätspreis aus dem gesamtwirtschaftlichen Modell unterscheiden, wurde der „Index der Elektrizitätspreise bei Abgabe an gewerbliche Betriebe“ verwendet.¹³⁴ Um einen relativen Preis zu erhalten, wurde der Index nicht in Relation zu dem Verbraucherpreisindex gesetzt, sondern das Verhältnis zu dem allgemeinen Erzeugerpreisindex wurde analysiert, weil dieser relative Preis besser für die Industrie geeignet ist.

In Tabelle 5 sind für den Untersuchungszeitraum von 1960 bis 2001 die Schätzwerte von Gleichung 12 abgebildet, wobei der bereits bekannte Tabellenaufbau beibehalten wurde. Alle verwendeten Variablen haben einen betragsmäßig größeren t-Wert als zwei und keines der 95%-Konfidenzintervalle enthält den Wert Null, wodurch die statistische Signifikanz als gesichert gilt. Anhand des Dickey-Fuller Tests und der Durbin-Watson Statistik konnte für das Industriemodell nachgewiesen werden, dass keine Schein- und Autokorrelationen vorliegen.

Tabelle 5: Schätzergebnis des sektoralen Modells.

Number of obs = 42
 F(4, 37) = 100.79
 Prob > F = 0.0000
 R-squared = 0.9159
 Adj R-squared = 0.9069
 Root MSE = .02465

ln_eev-ind	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
dummy	0.10	0.02	6.09	0.000	0.066	0.132
techn	-0.02	0.01	-17.52	0.000	-0.025	-0.012
ln_bws-ind	0.99	0.05	19.53	0.000	0.887	1.093
ln_elpr-ind	-0.26	0.05	-4.72	0.000	-0.370	-0.148
cons	43.04	2.26	19.02	0.000	38.453	47.624

Quelle: Ergebnisdarstellung und Berechnung mit STATA™ 6.0.

¹³³ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (o. J.), S. 5.

¹³⁴ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2003), S. 92.

Die Interpretation der Angaben über die statistischen Kenngrößen wurden bereits im gesamtwirtschaftlichen Rahmen angesprochen, deshalb kann direkt zu den Schätzwerten der Regressionskoeffizienten in der zweiten Spalte von Tabelle 5 übergegangen werden. Im sektoralen Modell beziffert der Koeffizient des Wiedervereinigungs-Dummys die Verbrauchssteigerung der Endenergie zwischen 1990 und 1991 auf 10% ($=1 \cdot 0,1$). Somit kann der Wiedervereinigung auf industrieller Ebene ein 10%-iger Anstieg der Energienachfrage zugeschrieben werden. Der prozentuale Zuwachs ist aber deutlich geringer als es im gesamtwirtschaftlichen Modell der Fall war.

Eine plausible Erklärung liefert der Umstand, dass die Wiedervereinigung erst ab dem Jahr 1991 in dem Modell berücksichtigt wurde. Zu diesem Zeitpunkt hatten viele der energieintensiveren Betriebe aus der ehemaligen DDR aber ihre Produktion bereits eingestellt. Im gesamtwirtschaftlichen Modell ist eine Erhöhung des EEVs von 30% in Folge der Wiedervereinigung zustande gekommen, während dieser Anstieg im Industriesektor lediglich 10% beträgt. Dies kann auch mit dem überdurchschnittlichen Verbrauchszuwachs in den Sektoren GHD und Haushalte begründet werden.

Für den Industriesektor ist die Neuentwicklung und Optimierung von Betriebsabläufen bedeutsam. Nur durch Einsatz der modernsten Technologie und den neuesten Produktionsprozessen bleiben die Unternehmen, insbesondere aus der Industrie, langfristig erfolgreich. Bei der Verwendung neuer Geräte und Anlagen kann eine Verbesserung der Energieeffizienz erwartet werden. Ebenso spielt für den Industriebereich die Forschung und Entwicklung auch unter energetischen Gesichtspunkten eine große Rolle, weshalb eine Variable mit in das Modell integriert wurde, die diesem Umstand gerecht wird.

Die Schwierigkeit eine empirisch messbare Größe zu finden, die den technologischen Fortschritt approximiert, wurde bereits in Kapitel 4.5 angedeutet. Da es generell schwierig ist, den technologischen Fortschritt adäquat zu modellieren und abzubilden, behilft man sich in der Wissenschaft häufig mit einem Hilfskonstrukt. Hierbei wird der exogene beziehungsweise autonome technologische Fortschritt anhand des linearen Zeittrends identifiziert. Mit der Variable „techn“ wird diese Entwicklung in dem Industriemodell beschrieben. Sie hat sich mit einem t-Wert von $|17,52|$ als statistisch signifikant erwiesen. Entsprechend dem in Tabelle 5 angegebenen Schätzwert von $-0,02$ reduziert sich der EEV durch autonomen technologischen Fortschritt um durchschnittlich 2% pro Jahr.

Gegensätzlich verhält sich die BWS, die einprozentige Ausweitung führt zu einer fast gleich hohen Verbrauchssteigerung ($0,01 \cdot 0,99 \approx 0,01$). Wenn nur die beiden Variablen BWS der Industrie und technologischer Fortschritt berücksichtigt werden, könnte die industrielle Wertschöpfung jedes Jahr um 2% zulegen, ohne eine Zunahme des Energieverbrauchs zu erzeugen.

Diese Annahme des industriellen Wachstums entspricht der Realität und ist durchaus mit dem beobachteten Strukturwandel vereinbar. Denn der steigende Dienstleistungsgrad besagt, dass der tertiäre Sektor überproportional gegenüber den beiden anderen Sektoren zunimmt, was einer Ausweitung des produzierenden Gewerbes nicht widerspricht. Dass kein gleichförmiger Anstieg von BWS und EEV der Industrie eintritt, verhindert neben dem technologischen Fortschritt der relative Elektrizitätspreis. Eine Strompreiserhöhung von einem Prozent verringert den EEV um durchschnittlich 0,26%. Für den Beobachtungszeitraum konnte somit festgestellt werden, dass steigende relative Elektrizitätspreise für gewerbliche Betriebe einen verbrauchssenkenden Einfluss auf den Energieverbrauch des produzierenden Gewerbes ausüben. Ebenso der jährliche technologische Fortschritt, durch eine effizientere Energienutzung.

Wie sich bei der sektoralen Analyse gezeigt hat, reagiert die Industrie auf Preiserhöhungen mit einer größeren Reduktion der entsprechenden Endenergie als es im gesamtwirtschaftlichen Modell der Fall war. Somit ist die Industrie preissensitiver als die restlichen Konsumenten. Zudem sind im Jahr 2002 mit rund 70% des gesamten Stromverbrauchs die Industrie und der Sektor GHD die größten Nachfragegruppen.¹³⁵ Auf steigende Elektrizitätspreise kann die Industrie zum Beispiel mit sparsameren Anlagen, einer Prozessoptimierung oder dem Bau eigener Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Koppelung entgegenwirken, was schließlich den EEV verringert. Als letzte Maßnahme ergibt sich die Standortverlagerung in Länder mit billigeren Strompreisen für industrielle Großkunden, wie im benachbarten Frankreich.¹³⁶

¹³⁵ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2003), Tabelle 2.5.

¹³⁶ Vgl.: BMWi (2002), S. 37.

8. Zusammenfassung

Die in dieser Arbeit durchgeführte empirische Analyse der den Endenergieverbrauch (EEV) in Deutschland beeinflussenden Größen zeigt, dass das BIP pro Kopf im Untersuchungszeitraum von 1960 bis 2001 die größte verbrauchssteigernde Wirkung hat. Den Schätzergebnissen des im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Regressionsmodells zur Erklärung des gesamtwirtschaftlichen EEVs ist zu entnehmen, dass die einprozentige Erhöhung des BIP pro Kopf zu einem 1,08%-igen Anstieg des EEVs führt. *Ceteris paribus* würde daher ein Wachstum der Wirtschaft zu einem überproportionalen Anstieg des EEVs führen.

Die tatsächlich aber feststellbare Entkoppelung des Wirtschaftswachstums vom Energieverbrauch ist auf die dämpfende Wirkung des Strukturwandels von der Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft zurückzuführen. Im geschätzten Energienachfragemodell für Gesamtdeutschland erwies sich der Regressionskoeffizient für den Dienstleistungsgrad mit einem Wert von $-2,94\%$ als signifikant negativ. Die Verdrängung des sekundären Sektors zugunsten des tertiären Sektors ist folglich aus energiepolitischer Sicht als günstig zu bewerten.

Laut dem signifikant negativen Einfluss des Elektrizitätspreises auf den EEV von $-0,2\%$ würden höhere Energiepreise den EEV bremsen. Ist politisch eine Senkung des Energieverbrauchs erwünscht, könnte man auf die Lenkungswirkung einer Energiesteuer zurückgreifen. Der verbrauchssenkende Effekt auf die Energienachfrage scheint gemäß der Modellschätzung jedoch gering zu sein. Seit Ende der 80er Jahre sind allerdings fallende relative Energiepreise zu verzeichnen.¹³⁷ Im gesamten Zeitraum von 1960 bis 2001 sind die Elektrizitätspreise um durchschnittlich $1,6\%$ pro Jahr gefallen.¹³⁸ Deshalb ist davon auszugehen, dass die Preiseffekte eher eine verbrauchssteigernde Wirkung auf den Energieverbrauch hatten. Trotz fallender Elektrizitätspreise und einem nur mäßig steigenden Dienstleistungsgrad in den letzten Jahren des Untersuchungszeitraums, war der Entkoppelungsprozess auch weiterhin zu beobachten.

Auch die Temperatur hat in dem Untersuchungszeitraum einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch: Eine Erhöhung der Gradtagzahlen um 1% führt zu einem Anstieg des EEVs von $0,31\%$. Da eine jährliche Schwankung der Gradtagzahlen von

¹³⁷ Vgl.: Diekmann, J. et al. (1997), S. 74.

¹³⁸ Siehe Angaben in Tabelle A2 im Anhang.

10% keine Seltenheit ist, können die Witterungsverhältnisse in Zeiten von geringem Wirtschaftswachstum zur entscheidenden Bestimmungsgröße des Energieverbrauchs werden. Eine temperaturbereinigte Analyse des Energieverbrauchs, wie es teilweise in wissenschaftlichen Beiträgen praktiziert wird, hat deshalb sicherlich seine Berechtigung.¹³⁹

Ein Modell ist immer nur so gut, wie es der Realität entspricht. Deshalb sollte das Ergebnis von Modellschätzungen immer überprüft werden, indem es mit der tatsächlich eingetretenen Entwicklung verglichen wird. Während die Gradtagzahlen in der Überprüfung nicht berücksichtigt werden müssen, weil sie um ihren langfristigen Mittelwert schwanken und durchschnittlich kein Wachstum aufweisen, stieg das BIP pro Kopf zwischen 1960 und 1990 mit durchschnittlich 2,7% an. Ebenso der Dienstleistungsgrad, dieser erhöhte sich um rund 0,5% pro Jahr. Die relativen Elektrizitätspreise sind dagegen jährlich um mehr als 0,5% gesunken.¹⁴⁰ Durch Multiplikation dieser Durchschnittswerte mit den jeweiligen geschätzten Regressionskoeffizienten ergibt sich ein geschätztes jährliches Wachstum des EEVs von rund 1,6%. In der Realität ist der EEV mit einer Steigerungsrate von rund 1,9% pro Jahr gewachsen. Wegen der relativ geringen Differenz von Schätzwert und tatsächlicher Entwicklung, kann das Modell als realitätskonform bezeichnet werden.

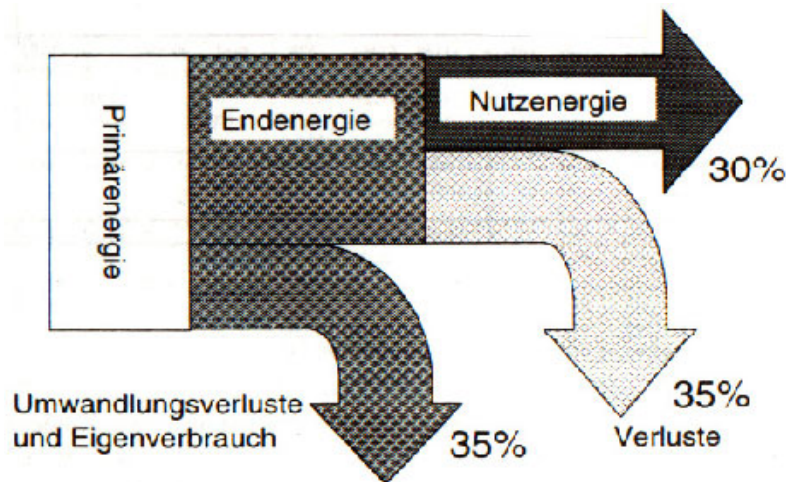
Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die gesamtwirtschaftlich beobachtbare Entkoppelung des Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum vor allem auf den Wandel von der Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft zurückzuführen ist. Auf den Energiepreis wirkende Instrumente wie Steuern oder Preise für CO₂-Zertifikate haben scheinbar nur einen moderat dämpfenden Einfluss auf den Energieverbrauch.

¹³⁹ Vgl.: Wittke, F., Ziesing, H.-J. (2003), S. 86.

¹⁴⁰ Die Berechnungen sind mit den Angaben in Tabelle A2 im Anhang erfolgt.

Anhang

Abbildung A1: Umwandlungsverluste.



Quelle: Hensinger, I., Pfaffenberger, W., Ströbele, W. (1998), S. 24.

Tabelle A1: Gliederung der Wirtschaftsbereiche in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung.

Sektorale Zuordnung nach der Systematik der Wirtschaftszweige 1993		
Primärer Sektor	Sekundärer Sektor	Tertiärer Sektor
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: - Land- und Forstwirtschaft - Fischerei und Fischzucht	Produzierendes Gewerbe: - Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden - Verarbeitendes Gewerbe - Energie- und Wasserversorgung - Baugewerbe	Dienstleistungsbereiche: - Handel, Reparatur von Kraftfahrzeugen und Gebrauchsgütern - Gastgewerbe - Verkehr und Nachrichtenübermittlung - Kredit- und Versicherungsgewerbe - Grundstückswesen, Vermietung, Unternehmensdienstleister - Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung - Erziehung und Unterricht - Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen - Sonstige öffentliche und private Dienstleister - Häusliche Dienste

Quelle: Vgl.: Statistisches Bundesamt (2001a), S. 261-264.

Tabelle A2: Verwendete Zeitreihen bei den Regressionsmodellen.

Jahr	PEV ¹	Endenergieverbrauch ¹				relativer Elektrizitäts- preis ²	relativer Preis der Mineralöl- erzeugnisse ³	relativer Elektrizitäts- preis der Industrie ⁴
		insgesamt	darunter:					
			Industrie	Verkehr	Haushalte und GHD			
		Mio. t SKE				1995=100		
1960	211,5	145,7	70,7	22,6	52,4	1,36	1,08	1,10
1961	215,7	149,8	71,0	24,3	54,5	1,32	1,05	1,09
1962	231,3	162,8	71,6	25,9	65,3	1,28	1,04	1,08
1963	248,9	176,4	72,3	27,4	76,7	1,24	1,00	1,07
1964	257,1	180,2	77,4	29,3	73,5	1,21	0,90	1,06
1965	264,6	184,2	78,7	30,2	75,3	1,19	0,84	1,05
1966	266,7	184,6	76,0	31,9	76,7	1,16	0,81	1,05
1967	266,8	185,0	75,4	32,1	77,5	1,14	0,88	1,06
1968	288,5	198,5	81,3	33,8	83,4	1,12	0,86	1,07
1969	315,0	217,4	86,9	36,1	94,4	1,08	0,79	1,04
1970	336,8	230,4	90,8	39,5	100,1	1,05	0,79	1,01
1971	339,4	230,7	88,2	42,5	100,0	1,02	0,83	1,00
1972	354,3	240,0	89,6	44,5	105,9	1,03	0,76	1,07
1973	378,5	253,9	95,6	45,7	112,6	1,01	0,87	1,04
1974	365,9	243,6	95,7	43,8	104,1	1,01	1,14	0,98
1975	347,7	234,0	84,0	46,2	103,8	1,12	1,07	1,08
1976	370,3	248,9	88,3	48,5	112,1	1,12	1,10	1,09
1977	372,3	249,3	88,1	51,2	110,0	1,09	1,05	1,07
1978	389,0	259,5	88,6	54,2	116,7	1,11	1,01	1,09
1979	408,2	269,3	92,1	56,1	121,1	1,09	1,22	1,07
1980	390,2	256,9	88,1	56,8	112,0	1,08	1,43	1,01
1981	374,1	246,4	84,7	54,9	106,8	1,14	1,63	1,02
1982	361,5	235,0	76,9	55,2	102,9	1,18	1,57	1,05
1983	364,7	236,0	75,8	56,3	103,9	1,18	1,48	1,06
1984	376,1	245,5	78,0	58,1	109,4	1,18	1,50	1,05
1985	385,0	252,1	78,0	58,4	115,7	1,19	1,53	1,05
1986	386,9	257,1	75,1	61,6	120,4	1,22	1,03	1,11
1987	388,0	256,7	75,0	63,8	117,9	1,25	0,96	1,17
1988	389,8	253,8	76,6	66,5	110,7	1,24	0,88	1,16
1989	382,8	246,4	77,9	67,9	100,6	1,22	1,01	1,14
*1990	392,2	253,5	76,9	71,3	105,3	1,16	1,05	1,10
1991	498,5	319,7	91,9	82,9	144,9	1,11	1,09	1,05
1992	488,4	311,4	87,4	86,0	138,0	1,07	1,04	1,04
1993	488,1	315,1	83,0	88,6	143,5	1,04	0,99	1,04
1994	483,9	310,7	84,0	87,1	139,6	1,02	1,03	1,03
1995	486,9	318,1	84,4	89,2	144,5	1,00	1,00	1,00
1996	503,1	330,6	82,7	89,6	158,3	0,89	1,06	0,89
1997	498,6	325,5	83,2	90,2	152,1	0,88	1,07	0,88
1998	495,5	322,3	81,8	91,8	148,7	0,86	0,96	0,87
1999	488,7	317,3	81,4	94,9	141,0	0,82	1,06	0,89
2000	490,0	315,4	82,3	93,8	139,3	0,69	1,38	0,75
2001	498,4	323,4	80,8	92,2	150,4	0,70	1,32	0,75

*bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.

² Elektrizitätspreisindex in Relation zum allgemeinen Verbraucherpreisindex.

³ Index der Mineralölerzeugnisse in Relation zum allgemeinen Verbraucherpreisindex.

⁴ Elektrizitätspreisindex der gewerblichen Betriebe in Relation zum allgemeinen Erzeugerpreisindex.

Quellen: ¹ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2003), Tabelle 2.1, Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (2003b), Tabelle 1.

^{2,3,4} Vgl.: Statistisches Bundesamt: Fachserie 17, Reihe 2 (div. J.), div. S., Statistisches Bundesamt (1999), S. 55, Statistisches Bundesamt (2002e), S. 14.

Fortsetzung **Tabelle A2:** Verwendete Zeitreihen bei den Regressionsmodellen.

Jahr	BIP ¹	Bruttowertschöpfung ²					Einwohner ³	Gradtag- zahlen ⁴
		insgesamt	darunter:					
			Land- und Forstwirt- schaft, Fischerei	Produzierendes Gewerbe		Dienst- leistungs- bereiche		
			insgesamt	Bau- gewerbe				
	Mrd. Euro (in Preisen von 1995)						Mio.	
1960	581,3	530,8	10,73	240,4	57,3	279,7	55,43	3704
1961	608,2	554,9	9,83	252,3	59,9	292,8	56,18	3575
1962	636,5	579,6	10,54	263,4	62,4	305,7	56,84	4226
1963	654,5	596,3	10,89	268,8	63,8	316,6	57,39	4200
1964	698,0	635,5	10,68	292,2	72,0	332,7	57,97	3887
1965	735,4	669,5	10,16	309,6	74,8	349,8	58,62	4052
1966	755,9	689,6	10,69	316,2	77,6	362,7	59,15	3682
1967	753,6	689,7	11,59	306,8	74,3	371,3	59,29	3560
1968	794,7	730,6	12,31	330,4	73,9	387,9	59,50	3817
1969	854,0	785,2	11,98	362,2	75,4	411,0	60,07	3976
1970	897,0	823,5	12,36	381,6	78,6	429,5	60,65	3962
1971	926,7	847,0	12,60	384,8	84,1	449,6	61,28	3712
1972	964,8	883,4	12,26	397,4	89,2	473,8	61,70	3991
1973	1008,8	925,1	13,17	416,2	90,0	495,7	61,99	3778
1974	1013,4	934,2	13,75	409,1	82,0	511,4	62,07	3537
1975	1002,8	919,4	13,28	386,1	76,1	520,1	61,85	3590
1976	1052,9	965,3	13,03	409,9	79,0	542,3	61,57	3758
1977	1084,9	996,3	13,70	419,1	80,6	563,5	61,42	3620
1978	1117,4	1027,3	14,10	423,9	81,7	589,3	61,35	4028
1979	1163,9	1071,7	13,63	442,9	84,7	615,2	61,38	4004
1980	1178,7	1084,8	13,87	440,5	85,2	630,3	61,54	4045
1981	1180,0	1088,9	13,81	431,2	82,3	644,0	61,66	3833
1982	1170,7	1085,0	15,90	421,1	78,6	648,1	61,60	3606
1983	1188,9	1100,2	14,85	424,9	80,3	660,5	61,38	3640
1984	1222,5	1133,1	15,64	436,5	80,9	681,0	61,13	3946
1985	1249,3	1162,4	14,68	447,0	76,9	700,8	60,98	4086
1986	1279,5	1191,5	16,05	450,1	78,0	725,4	61,01	3974
1987	1298,3	1208,5	14,85	446,4	76,6	747,3	61,08	4112
1988	1346,8	1254,8	15,77	461,0	78,7	778,1	61,45	3485
1989	1399,5	1308,6	16,29	483,8	82,4	808,5	62,06	3392
*1990	1479,6	1382,3	17,41	504,3	85,7	860,6	63,25	3387
1991	1710,8	1598,3	20,08	559,6	103,3	1018,6	79,98	3838
1992	1749,1	1635,0	21,27	556,8	110,8	1057,0	80,59	3514
1993	1730,1	1619,2	21,72	525,8	110,5	1071,7	81,18	3747
1994	1770,7	1655,0	20,59	542,9	116,8	1091,5	81,42	3434
1995	1801,3	1690,4	21,59	542,4	114,1	1126,5	81,66	3690
1996	1815,1	1709,6	23,02	528,4	109,4	1158,2	81,90	4203
1997	1840,4	1742,1	22,94	536,5	107,8	1182,7	82,05	3668
1998	1876,4	1782,6	23,51	541,1	105,7	1218,0	82,03	3573
1999	1911,1	1818,8	24,32	535,1	105,4	1259,4	82,09	3386
2000	1968,5	1884,9	24,22	555,6	102,6	1305,1	82,19	3249
2001	1979,6	1903,9	24,51	548,2	95,8	1331,2	82,34	3693

*bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.

Quellen: ¹ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2002b), S. 6, Statistisches Bundesamt (2002d), S. 15.² Vgl.: Statistisches Bundesamt (2002b), S. 40, Statistisches Bundesamt (1992), S. 19 ff.³ Vgl.: Statistisches Bundesamt (2002c), S. 44.⁴ Vgl.: Christoffer, J. (1995), S. 157, Christoffer, J. (1996), S. 31, Deutscher Verband Flüssiggas e.V. (o. J.), Tabelle 11.

Literaturverzeichnis

- Axel Springer Verlag AG (Hrsg.): Energie. Hamburg (2000).
- Bauerschmidt, R.: Direkter und indirekter mengenmäßiger Energie- und Arbeitseinsatz nach Sektoren. In: Hauff, V. (Hrsg.): Energie – Wachstum – Arbeitsplätze (Argumente in der Energiediskussion, Band 4/5). Villingen (1978), S. 271-298.
- Baumert, M.: Entwicklungen im bundesdeutschen Energieverbrauch. Eine deterministische Untersuchung energierelevanter Nachfragegruppen. Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionsbeiträge der Universität Oldenburg, Diskussionspapier Nr. V-135-94, Oldenburg (1994).
- Binder, K., G.: Grundzüge der Umweltökonomie. München (1999).
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Bundesbericht Forschung 2000. Bonn (2000).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 2002/2003. 31. Jahrgang, Hamburg (2002).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Energiebericht: Nachhaltige Energiepolitik für eine zukunftsfähige Energieversorgung. Berlin (2001).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Energieforschung: Investition in die Zukunft. Berlin (2001a).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Zahlen und Fakten: Energie Daten 2002 – Nationale und internationale Entwicklungen. Wernigerode (2002).
- Christoffer, J.: Die Jahresgradtagzahl von Deutschland. In: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Band 46 (1995), Nr. 3, S. 149-157.
- Christoffer, J.: Analyse der winterlichen Gradtagzahlen von 1991/92 bis 1995/96. In: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Band 47 (1996), Nr. 12, S. 28-31.
- Diekmann, J. et al.: Energiepreise als Standortfaktor für die deutsche Wirtschaft. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Sonderheft 162, Berlin (1997).
- Diekmann, J. et al.: Energie-Effizienz-Indikatoren: statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis. Heidelberg (1999).
- Döring, W.: Vorwort. In: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Energiebericht 2001. Stuttgart (2002).
- Erdmann, G.: Energieökonomik: Theorie und Anwendung. Zürich-Stuttgart (1992).

- Flath, K.: Energiebedarf, Wirtschaftswachstum, Beschäftigung – aus der Sicht der Bundesregierung. In: Hauff, V. (Hrsg.): Energie – Wachstum – Arbeitsplätze (Argumente in der Energiediskussion, Band 4/5). Villingen (1978), S. 49-66.
- Flauser, J., Krieger, R.: Welt ohne Licht. In: Handelsblatt, Nr. 187 (29.9.2003), S. 6.
- Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler – Wirtschafts-Lexikon. 3. Band, 14. Auflage, Wiesbaden (1997).
- Heinloth, K.: Die Energiefrage: Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten. Braunschweig-Wiesbaden (1997).
- Hensinger, I., Pfaffenberger, W., Ströbele, W.: Energiewirtschaft: Einführung in Theorie und Politik. München-Wien (1998).
- Hoffmann, Lutz: Energieverbrauch und wirtschaftliche Entwicklung. In: Helmstädter, W. (Hrsg.): Die Bedingungen des Wirtschaftswachstums in Vergangenheit und Zukunft. Tübingen (1984), S. 167-185.
- Kohler, U., Kreuter, F.: Datenanalyse mit Stata: Allgemeine Konzepte der Datenanalyse und ihre praktische Anwendung. München-Wien (2001).
- Kriegsmann, K.-P., Neu, A., D.: Sektoraler Strukturwandel und Energieverbrauch. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft (1980), Nr. 3, S. 216-231.
- Leiner, B.: Europäische Wirtschaftsstatistik. 3. Auflage, München-Wien (1997).
- Meißner, W., Fassing, W.: Wirtschaftsstruktur und Strukturpolitik. München (1989).
- Mineralölwirtschaftsverband e.V. (Hrsg.): Mineralöl-Zahlen 2002. Ribbesbüttel (2003).
- Morasch, K.: (Hrsg.): Wirtschaftsordnungs- und Prozesspolitik: Skript zur Vorlesung im Hauptstudium. Augsburg (1998).
- Müller, W., Stoy, B.: Wachstum ohne mehr Energie? In: Wirtschaftsdienst, 58. Jahrgang (1978), Nr. 7, S. 327-332.
- Neu, A., D.: Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch – eine Strategie der Energiepolitik? Kieler Diskussionsbeiträge Nr. 52, Kiel (1978).
- Piller, T.: Italien drohen Milliarden Schäden. In: FAZ, Nr. 162 (16.7.2003), S. 13.
- Prognos AG (Hrsg.): Energieprognose. Stuttgart (1984).
- RWE AG – energiewirtschaftlicher Arbeitskreis (Hrsg.): Weltenergiereport 2001: Chancen und Risiken der zukünftigen Weltenergieversorgung. Krefeld (2001).
- RWE AG – energiewirtschaftlicher Arbeitskreis (Hrsg.): Weltenergiereport 2002: Energietransport: Schlüssel zu einer sicheren Versorgung. Essen (2002).
- Schiffer, H.-W.: Energiemarkt Bundesrepublik Deutschland. 6. Auflage, Köln (1997).
- Schiffer, H.-W.: Energiemarkt Deutschland. 8. Auflage, Köln (2002).

-
- Schiffer, H.-W.: Deutscher Energiemarkt 2002. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 53. Jahrgang (2003), Nr. 3, S. 168-179.
- Schmitt, D., Schürmann, H., J.: Die unterstellte Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch – keine neue Alternative. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft (1978), Nr. 2, S. 147-155.
- Schmoranz, I.: Die Energienachfrage privater Haushalte: Ein integrierter thermoökonomischer Ansatz. Wirtschaftswissenschaftliche Beiträge, Band 95, Heidelberg (1994).
- Schweizerischer Handels- und Industrie-Verein (Hrsg.): Energie – Lebensnerv der Wirtschaft. Zürich (1988).
- Setzer, M.: Wirtschaftliche Entwicklung und Energieintensitäten: Zur Theorie und Empirie der Determinanten der Energieintensität. Hochschulschriften, Band 45, Diss. Technische Hochschule Darmstadt, Marburg (1998).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe S.18 Ergebnisse für Wirtschaftsbereiche (Branchenblätter) 1960 bis 1991. Stuttgart (1992).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 17 Preise, Reihe 7. S.1 Preisindizes für die Lebenshaltung – Lange Reihen –. Stuttgart (1999).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit 1999, Reihe 1 Gebiet und Bevölkerung. Stuttgart (2001).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.3 Konten und Standardtabellen 2000 – Hauptbericht. Stuttgart (2001a).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit 2001, Reihe 3 Haushalte und Familien. Stuttgart (2002).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 5 Bautätigkeit und Wohnungen, Reihe 3 Bestand an Wohnungen 31. Dezember 2001. Stuttgart (2002a).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe S.21 Revidierte Ergebnisse 1970 bis 2001. Stuttgart (2002b).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 2002 für die Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart (2002c).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen: Wichtige Zusammenhänge im Überblick. Wiesbaden (2002d).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 17 Preise, Reihe 7 Preisindizes für die Lebenshaltung 2001. Stuttgart (2002e).

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 17 Preise, Reihe 2 Preise und Preisindizes für gewerbliche Produkte (Erzeugerpreise) 2002. Stuttgart (2003).

Wittke, F., Ziesing, H.-J.: Kühle Witterung treibt Primärenergieverbrauch in die Höhe. In: DIW Wochenbericht, 69. Jg. (2002), Nr. 7, S. 109-118.

Wittke, F., Ziesing, H.-J.: Schwache Konjunktur und milde Witterung drücken Primärenergieverbrauch. In: DIW Wochenbericht, 70. Jg. (2003), Nr. 6, S. 85-95.

Internet

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen – AGEb (Hrsg.): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2002. Berlin-Köln (2003).

Unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/gesamt.pdf>

Am: 01.10.2003

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen – AGEb (Hrsg.): Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträgern nach dem Wirkungsgradansatz in Mill. t SKE. Ohne Ort (1997).

Unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/pev_wirkungsgradansatz.pdf

Am: 15.09.2003

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen – AGEb (Hrsg.): Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. Ohne Ort (ohne Jahr).

Unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/VorwortA.pdf>

Am: 15.09.2003

Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder – VGR d L (Hrsg.): Bruttoinlandsprodukt in Preisen von 1995 in Deutschland 1991 bis 2002 nach Bundesländern. Ohne Ort (2003).

Unter: http://www.statistik-bw.de/Arbeitskreis_VGR/tab02.asp

Am: 01.10.2003

Deutscher Verband Flüssiggas e.V. (Hrsg.): Tabelle 11: Gradtagzahlen – Primärenergie – Flüssiggasabsatz: Entwicklung der Gradtagzahlen zum Flüssiggasabsatz. Berlin (o. J.).

Unter: <http://www.dvfg.de/frames/verba/tabellen/tabelle11.html>

Am: 15.09.2003

Mineralölwirtschaftsverband e.V. (Hrsg.): Welche Faktoren bestimmen den Benzinpreis? Hamburg (2003).

Unter: <http://www.mwv.de/Preisfaktoren.html>

Am: 17.09.2003

Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (Hrsg.): Bruttostromerzeugung aller Kraftwerke. Essen-Köln (2003).

Unter: <http://www.kohlenstatistik.de/ftp/STRAK.XLS>

Am: 15.10.2003

Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (Hrsg.): Primärenergieverbrauch (PEV). Essen-Köln (2003a).

Unter: <http://www.kohlenstatistik.de/ftp/PEV-S.XLS>

Am: 20.09.2003

Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (Hrsg.): Struktur des Energieverbrauchs. Essen-Köln (2003b).

Unter: <http://www.kohlenstatistik.de/ftp/STRUKTUR.XLS>

Am: 20.09.2003

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Direkter Energieverbrauch nach Wirtschaftsbereichen. Wiesbaden (2003a).

Unter: <http://www.destatis.de/basis/d/umw/ugrtab3.htm>

Am: 10.11.2003

Verband der Elektrizitätswirtschaft – VDEW – e.V. (Hrsg.): Endenergieverbrauch in Deutschland 2001. Frankfurt a. M. (2002).

Unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/M_23_2002.pdf

Am: 22.08.2003