

Entwicklung eines praxisorientierten und rechnergestützten Modells zur Prognose des deutschen Energieverbrauchs

Von der Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg
- Fachbereich 4 Wirtschafts- und Rechtswissenschaften -
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.)
genehmigte Dissertation

von

Kay Schlette

geb. am 22. August 1968 in Hamburg

II

Referent: Prof. Dr. W. Pfaffenberger – Universität Oldenburg

Koreferent: Prof. Dr. W. Ströbele – Universität Münster

Tag der Disputation: 21. April 1999

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG UND GANG DER UNTERSUCHUNG.....	1
1.2	BEGRIFFSBESTIMMUNGEN	2
1.2.1	Energieformen	2
1.2.2	Energiemodelle	3
1.3	ZIELSETZUNGEN DER ERSTELLER UND EMPFÄNGER VON ENERGIEPROGNOSEN.....	3
1.4	KURZKLASSIFIKATION BESTEHENDER ANSÄTZE ZUR ERSTELLUNG VON ENERGIEPROGNOSEN.....	6
1.4.1	Prognosen und Szenarien.....	6
1.4.2	Mentale Modelle, Simulationsmodelle und Optimierungsmodelle	9
1.4.3	Top-down vs. bottom-up-Modelle.....	10
1.4.4	Weitere Kriterien	11
2	DARSTELLUNG BESTEHENDER MODELLE.....	13
2.1	DAS IKARUS-INSTRUMENTARIUM	13
2.1.1	Modellphilosophie	13
2.1.2	Das IKARUS-LP-Modell	16
2.1.3	Die makroökonomische Einbettung von IKARUS.....	20
2.1.4	Sektorale Simulationsmodelle in IKARUS	26
2.1.5	Technikketten in IKARUS	27
2.2	DAS MODELLSYSTEM DER DEUTSCHEN SHELL AG.....	27
2.2.1	Modellphilosophie	28
2.2.2	Volkswirtschaftliche Parameter.....	30
2.2.3	Modell zur Bestimmung des Endenergieverbrauchs im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher	31
2.2.4	Industriemodell	35
2.2.5	Verkehrsmodell	37
2.2.6	Stromerzeugung.....	40
2.2.7	Sonstige Energieindustrien	42
2.2.8	Nichtenergetischer Verbrauch	42
2.2.9	Ermittlung des Primärenergiebedarfs und der CO ₂ -Emissionen	43
2.3	DAS MODELLSYSTEM DER HAMBURGISCHEN ELECTRICITÄTS-WERKE AG (HEW)	44
2.3.1	Modellphilosophie	44

IV

2.3.2 Volkswirtschaftliche Parameter.....	45
2.3.3 Ermittlung des Stromverbrauchs.....	45
2.3.4 Ermittlung des Fernwärmeverbrauchs.....	47
2.3.5 Ermittlung des Primärenergieverbrauchs	47
2.3.6 Ermittlung der Emissionen.....	48
2.4 DAS MODELL DER HAMBURGER GASWERKE GMBH (HEIN GAS)	49
2.4.1 Modellphilosophie.....	49
2.4.2 Haushaltskunden	49
2.4.3 Kleingewerbekunden.....	50
2.4.4 Industriekunden	50
2.4.5 Energieversorgungsunternehmen und sonstige Kunden.....	50
2.4.6 Verkehr.....	51
2.4.7 Weitere Absatzsegmente	51
2.5 KLIMASCHACH	51
3 KRITIK AN DEN ENERGIEMODELLEN.....	54
3.1 ENTWICKLUNG EINES KRITERIENSYSTEMS ZUR BEURTEILUNG VON ENERGIEMODELLEN	54
3.1.1 Der Nutzen von systematischen Energiemodellen	54
3.1.2 Beurteilung der Kosten.....	58
3.2 ANALYSE DER VORGESTELLTEN MODELLE	61
3.2.1 Kritik am Modellinstrumentarium IKARUS.....	61
3.2.2 Kritik am Modellsystem der Deutschen Shell.....	67
3.2.3 Kritik am Modellsystem der HEW.....	70
3.2.4 Kritik am Modell der Hamburger Gaswerke GmbH.....	72
3.2.5 Kritik am Klimaschach.....	73
3.3 VERGLEICH DER BEURTEILUNGEN DER BETRACHTETEN ENERGIEMODELLE .	74
4 ENTWICKLUNG EINES MODELLS ZUR PROGNOSTIZIERUNG DES DEUTSCHEN ENERGIEVERBRAUCHS	76
4.1 ZIELBESCHREIBUNG.....	76
4.2 ENTWICKLUNG DER GROBSTRUKTUR	79
4.2.1 Auswahl eines Modelltyps	79
4.2.2 Segmentierung des zu betrachtenden Energiemarkts	83
4.2.3 Modelloberfläche.....	91
4.3 ENTWICKLUNG DER FEINSTRUKTUR	92
4.3.1 Modellierung der Bevölkerungsentwicklung	92

4.3.2	Modellierung der wirtschaftlichen Entwicklung	96
4.3.3	Modellierung der Sektoren Haushalte, Kleinverbraucher und Militär	100
4.3.4	Modellierung des Sektors Industrie	115
4.3.5	Modellierung des Sektors Verkehr	119
4.3.6	Zusammenfassende Darstellung des Endenergieverbrauchs	126
4.3.7	Modellierung des nichtenergetischen Verbrauchs	127
4.3.8	Stromerzeugung	129
4.3.9	Sonstige Umwandlungsbereiche und andere Verluste	136
4.3.10	Primärenergieverbrauch	138
4.3.11	CO ₂ -Emissionen	141
4.3.12	Zusammenfassende Darstellung der Feinstruktur	144
4.4	BESCHREIBUNG DER MODELLOBERFLÄCHE	144
4.4.1	Beschreibung der Datei Ageb.xls	144
4.4.2	Beschreibung der Datei Mod.xls	147
4.5	KRITIK AM EIGENEN MODELL	149
5	PROGNOSE DES DEUTSCHEN ENERGIEVERBRAUCHS	152
5.1	RAHMENBEDINGUNGEN	152
5.2	BEVÖLKERUNG	152
5.3	WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG	154
5.4	MODELLIERUNG DES SEKTORS HAUSHALTE	155
5.5	MODELLIERUNG DES SEKTORS KLEINVERBRAUCHER INCL. MILITÄR	160
5.6	INDUSTRIE	162
5.7	VERKEHR	164
5.8	ENDENERGIEVERBRAUCH	168
5.9	NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH	169
5.10	STROMERZEUGUNG	171
5.11	SONSTIGE UMWANDLUNGSBEREICHE UND ANDERE VERLUSTE	173
5.12	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH	175
5.13	CO₂-EMISSIONEN	175
6	FAZIT	177
7	ANHANG	178
7.1	ANHANG 1: ENERGIETRÄGERLISTE IKARUS	178
7.2	ANHANG 2: INPUT-OUTPUT-ANALYSEN	180
7.3	ANHANG 3: EINHEITEN	181

7.4	ANHANG 4: SEKTORAGGREGIERUNG DES MIS-MODELLS	181
7.5	EXKURS: HISTORISCHE ENTWICKLUNG VON PROGNOSEMODELLEN	183

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Energiefluß im IKARUS-Energieflußmodell.....	17
Abbildung 2:	Überblick über das MIS-Modell	21
Abbildung 3:	MIS-IO-Tableau	22
Abbildung 4:	Das Modellsystem der Deutschen Shell AG	29
Abbildung 5:	Bevölkerungsmodell bei DSAG.....	30
Abbildung 6:	BIP-Modell bei DSAG	31
Abbildung 7:	Ermittlung der Beheizungsstruktur bei DSAG.....	32
Abbildung 8:	Spezifischer Energieverbrauch im HuK-Bereich bei DSAG	33
Abbildung 9:	Industriemodell bei DSAG.....	36
Abbildung 10:	Endenergieverbrauch Individualverkehr bei DSAG	38
Abbildung 11:	Güter- und öffentlicher Personentransport bei DSAG	40
Abbildung 12:	Stromerzeugung bei DSAG.....	41
Abbildung 13:	Nichtenergetischer Verbrauch bei DSAG	43
Abbildung 14:	Idealtypischer Vergleich zwischen tatsächlicher und prognostizierter Entwicklung des deutschen Primärenergieverbrauchs	55
Abbildung 15:	Kosten-Nutzen-Optimum und Nutzen-Optimum bei Energiemodellen..	78
Abbildung 16:	Bevölkerungsentwicklung Deutschland	93
Abbildung 17:	Bevölkerung relativ	94
Abbildung 18:	Reales Wirtschaftswachstum D.....	97
Abbildung 19:	BIP pro Kopf	97
Abbildung 20:	Struktur BIP	98
Abbildung 21:	EEV Haushalte	102
Abbildung 22:	EEV Haushalte für Raumwärme (real und temperaturbereinigt).....	106
Abbildung 23:	EEV Haushalte für Raumwärme (temperaturbereinigt).....	107
Abbildung 24:	EEV Haushalte für Raumwärme, temp.bereinigt (relativ)	107
Abbildung 25:	Anzahl Haushalte	108
Abbildung 26:	Personen pro Haushalt.....	109
Abbildung 27:	EEV Haushalte für Raumwärme (temperaturbereinigt) pro Haushalt ..	109
Abbildung 28:	Beheizungsstruktur.....	110
Abbildung 29:	Spez. Raumwärmeverbrauch pro Heizung.....	111

Abbildung 30:EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft & Licht.....	112
Abbildung 31:EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft & Licht pro Einwohner	113
Abbildung 32:EEV Kleinverbraucher incl. Militär	114
Abbildung 33:Spez. Energieverbrauch Kleinverbraucher	115
Abbildung 34:EEV Industrie	116
Abbildung 35:EEV Industrie nach Industriezweigen	117
Abbildung 36:Reales Wirtschaftswachstum alte Bundesländer: BIP vs. energieintensive Wirtschaftszweige	117
Abbildung 37:Spezifischer EEV Industrie	119
Abbildung 38:EEV Verkehr	120
Abbildung 39:EEV Verkehr nach Verkehrsarten (relativ)	120
Abbildung 40: Verkehrsleistung Personenverkehr und Güterverkehr.....	121
Abbildung 41:Personenverkehr pro Einwohner	123
Abbildung 42: Güterverkehrsleistung pro BIP	123
Abbildung 43:Spez. EEV Personenverkehr.....	124
Abbildung 44:Spez. EEV Güterverkehr	125
Abbildung 45:EEV	126
Abbildung 46:EEV nach Sektoren	127
Abbildung 47: Nichtenergetischer Verbrauch.....	128
Abbildung 48:Spezifischer nichtenergetischer Verbrauch D	128
Abbildung 49:Effektivität Stromerzeugung	134
Abbildung 50: Anteil Strom-Außenhandelsaldo am Input zur Stromerzeugung.....	135
Abbildung 51: Brennstoffeinsatz Stromerzeugung	136
Abbildung 52:Effektivität Umwandlungsbereich ohne Stromerzeugung.....	137
Abbildung 53: Verluste sonst. Umwandlungsbereich	138
Abbildung 54:PEV	139
Abbildung 55:PEV nach Sektoren.....	139
Abbildung 56:EEV/PEV.....	140
Abbildung 57:PEV / BIP (1991).....	140
Abbildung 58:PEV / Einwohner.....	141
Abbildung 59:Energiebedingte CO ₂ -Emissionen D	142
Abbildung 60:Spezifische CO ₂ -Emissionsfaktoren.....	143
Abbildung 61:Feinstruktur des Modells	144
Abbildung 62: Bevölkerungswachstum relativ	153

VIII

Abbildung 63: Bevölkerung	153
Abbildung 64: BIP-Wachstum	154
Abbildung 65: BIP-Struktur	154
Abbildung 66: Personen pro Haushalt.....	155
Abbildung 67: Anzahl Haushalte	156
Abbildung 68: EEV Haushalte für Raumwärme pro Haushalt	156
Abbildung 69: EEV Haushalte für Raumwärme, temp.bereinigt (relativ).....	157
Abbildung 70: EEV Haushalte für Raumwärme (temp.bereinigt)	158
Abbildung 71: EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft & Licht pro Kopf.....	158
Abbildung 72: EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft & Licht (relativ).....	159
Abbildung 73: EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft und Licht.....	159
Abbildung 74: EEV Haushalte	160
Abbildung 75: Spez. EEV Kleinverbraucher (incl. Militär).....	161
Abbildung 76: EEV Kleinverbraucher incl. Militär (relativ)	161
Abbildung 77: EEV Kleinverbraucher	162
Abbildung 78: Spez. EEV Industrie	163
Abbildung 79: EEV Industrie (relativ)	163
Abbildung 80: EEV Industrie.....	164
Abbildung 81: Personenverkehrsleistung pro Einwohner.....	165
Abbildung 82: Güterverkehrsleistung po BIP	165
Abbildung 83: Personenverkehrsleistung und Güterverkehrsleistung	166
Abbildung 84: Spez. EEV Personenverkehr	166
Abbildung 85: Spez. EEV Güterverkehr.....	167
Abbildung 86: EEV Verkehr (relativ).....	167
Abbildung 87: EEV Verkehr.....	168
Abbildung 88: EEV	168
Abbildung 89: EEV nach Sektoren	169
Abbildung 90: Spezifischer nichtenergetischer Verbrauch.....	170
Abbildung 91: NEV.....	170
Abbildung 92: Effektivität Stromerzeugung.....	171
Abbildung 93: Anteil Strom-Außenhandelsaldo am Input zur Stromerzeugung.....	172
Abbildung 94: Brennstoffeinsatz Stromerzeugung	172
Abbildung 95: Effektivität Umwandlungsbereich ohne Stromerzeugung	173
Abbildung 96: Verluste sonstige Umwandlungsbereiche (relativ).....	174

Abbildung 97: Verluste sonstige Umwandlungsbereiche.....	174
Abbildung 98: PEV	175
Abbildung 99: CO ₂ -Emissionen	176

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energietableau für Deutschland für 1987 in Mio. t SKE	52
Tabelle 2: CO ₂ -Emissions-Tableau für Deutschland in Mio. t CO ₂	53
Tabelle 3: Ex ante Nutzen von Energiemodellen.....	57
Tabelle 4: Ex ante Kosten von Energiemodellen.....	60
Tabelle 5: Vergleich von Nutzen und Kosten verschiedener Energiemodelle.....	74
Tabelle 6: Schema der Energiebilanz (bis 1994)	84
Tabelle 7: Volkswirtschaftliche Entstehungsrechnung	98
Tabelle 8: Annahme über die Aufteilung des Endenergieverbrauchs verschiedener Verkehrsarten auf Personen- und Güterverkehr	121
Tabelle 9: Stromerzeugung aus Kernkraft 1993 nach Substitutions- und nach Wirkungsgradprinzip in k t SKE.....	131
Tabelle 10: Wasserkraft- und Pumpspeicherwerke 1993 nach Substitutions- und nach Wirkungsgradprinzip in k t SKE.....	132
Tabelle 11: Stromerzeugung aus Klärschlamm, Müll u.a. 1993 nach Substitutions- und nach Wirkungsgradprinzip in kt SKE	132
Tabelle 12: Stromaußenhandelssaldo 1993 nach Substitutions- und nach Wirkungsgradprinzip in kt SKE.....	133
Tabelle 13: Schema einer Input-Output-Tabelle	180
Tabelle 14: Beispiel zur Input-Output-Tabelle	181
Tabelle 15: Sektoraggregation des MIS-Modells (Stand: Januar 1994)	181

Abkürzungsverzeichnis

AEEI	Autonomous energy efficiency increase
AHS	Außenhandelssaldo
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie

BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DSAG	Deutsche Shell Aktiengesellschaft
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EEV	Endenergieverbrauch
EFH	Einfamilienhaus
EV	Energieverbrauch
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
FIZ	Fachinformationszentrum
GEMIS	Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme
GREEN	General Equilibrium Environmental Model
GUS	Gemeinschaft unabhängiger Staaten
HEA	Hauptberatungsstelle für Energieanwendung
HEL	Leichtes Heizöl
HEW	Hamburgische Electricitätswerke GmbH
HGW	Hamburger Gaswerke GmbH
HLH	Heizung, Lüftung/Klima, Haustechnik
HuK	Haushalte und Kleinverbraucher
i.e.S.	im engeren Sinn
IKARUS	Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien
IO	Input-Output
i.w.S.	im weiteren Sinn
LP	Lineare Programmierung
MARKAL	Market Allocation
MFH	Mehrfamilienhaus
MIS	Makroökonomisches Informationssystem zur Analyse von CO ₂ -Reduktionsstrategien
NEV	Nicht-energetischer Verbrauch
OPEC	Organization of Petroleum Exporting Countries
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OR	Operations Research
Pkm	Personenkilometer
REN	Rationelle Energienutzung
RWE	Rheinisch - westfälische Elektrizitätswerke AG
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

STE	Systemforschung und technologische Entwicklung
tkm	Tonnenkilometer
TRW	Trade Relations Wirtschaftlichkeit
VdEW	Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VIK	Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft

1 EINLEITUNG

1.1 PROBLEMSTELLUNG UND GANG DER UNTERSUCHUNG

Langfristige Prognosen über den Energieverbrauch werden heute in Deutschland entweder unter Zuhilfenahme von komplexen mathematischen Verfahren (OR-Modelle, z.B. für IKARUS, MARKAL) erstellt oder unter Verwendung von Praktiker-Methoden, die möglicherweise nicht den wissenschaftlichen Anforderungen genügen. Häufig werden die Ergebnisse, die mit den komplexen mathematischen Modellen erzielt werden, auch nachträglich anhand eines vereinfachten Verfahrens per Hand korrigiert.

Was fehlt, ist ein Verfahren, das sowohl bestimmte wissenschaftliche Anforderungen erfüllt als auch so simpel ist, daß es in der Praxis kostengünstig eingesetzt werden kann. Nach einem solchen Verfahren soll in dieser Dissertation gesucht werden.

Nach einer Einleitung werden im zweiten Abschnitt im Rahmen einer Ist-Aufnahme die bestehenden Methoden zur Prognostizierung des Energieverbrauchs dargestellt. Den Praktiker-Methoden werden die OR-Modelle und ggf. noch andere Verfahren gegenübergestellt. Daran anschließend werden diese Methoden einer Kritik unterzogen.

Im dritten Abschnitt der Arbeit wird ein Anforderungsprofil an ein neues Verfahren zur Prognostizierung des Energieverbrauchs erstellt. Zu den wissenschaftlichen Anforderungen gehört insbesondere eine angemessene Untergliederung der Energieverbrauchssektoren evtl. in Abhängigkeit der Substituierbarkeit der Energieträger, die Berücksichtigung von wirtschaftspolitischen Entwicklungen sowie die Berücksichtigung der Unsicherheit. Bei den Anforderungen an die Praktikabilität sind wichtige Anforderungen die Kosten (Personal-, EDV-Kosten usw.) sowie die Wiederholbarkeit im Rahmen einer revolvierenden Planung. Ggf. wird aus diesen Kriterien ein Optimalitätskriterium für Prognosemodelle entwickelt.

Im vierten Abschnitt der Dissertation wird dann ein eigenes Modell zur Prognostizierung des Energieverbrauchs entwickelt.

Im fünften Abschnitt wird mit Hilfe dieses Modells beispielhaft eine Energieprognose erstellt.

Inwieweit das Modell die Anforderungen des dritten Abschnittes erfüllt, ist Untersuchungsgegenstand des fünften Abschnittes. Diese Untersuchung beinhaltet eine Kosten-

schätzung und eine Untersuchung der Ungenauigkeiten, die bereits bei der Schätzung entstehen.

1.2 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

1.2.1 Energieformen

In der Physik wird Energie definiert als die "Fähigkeit, Arbeit zu verrichten".¹ Im technisch-wirtschaftlichen Sprachgebrauch unterscheidet man üblicherweise weiter nach Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergie, die auf verschiedenen Trägern (Energieträger) gespeichert wird.²

Als Primärenergie wird der Energieinhalt von solchen Energieträgern (Primärenergieträger) bezeichnet, die in der Natur vorkommen. Regenerierbare Primärenergieträger erneuern sich ständig auf natürliche Weise (z.B. Biomasse, Windenergie), während sich nicht-regenerierbare oder fossile Energieträger nicht bzw. nur "in erdgeschichtlichen Zeiträumen"³ erneuern (z.B. Kohle, Mineralöl, Erdgas).

Wandelt man Primärenergieträger ein- oder mehrmals um, so ergeben sich Sekundärenergieträger (Bsp.: Strom, Benzin). Bei der zur Umwandlung nötigen Bearbeitung entstehen energetische Verluste.

Der Endverbraucher bezieht Endenergieträger, um seine Bedürfnisse nach Energie (z.B. Wärme, Licht) zu decken. Das können sowohl Primär-, als auch Sekundärenergieträger sein.

Er wandelt diese, wiederum unter Verlusten, durch verschiedene Geräte und Anlagen (z.B. Öfen, Motoren, Lampen) weiter um, um die Energie nutzen zu können, die ihm schließlich nach allen Umwandlungen zur Verfügung steht. Man bezeichnet diese auch als Nutzenergie.

¹ Dag Martinsen/ Manfred Walbeck: Aufbau eines Energiemodells, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Energieforschung aus technischer, ökonomischer, ökologischer und politischer Sicht, Jülich 1995, S. 452 ff., hier: S. 452

² Allerdings ist die Bezeichnung Nutzenergieträger unüblich. Vgl. zu den folgenden Begriffsbestimmungen Dietmar Winje/ Dietmar Witt: Energiewirtschaft, Handbuchreihe Energieberatung, Energiemanagement Bd. 2; Berlin/ Heidelberg 1991, S. 33 ff.

³ Dietmar Winje/ Dietmar Witt: Energiewirtschaft, Handbuchreihe Energieberatung, Energiemanagement Bd. 2; Berlin/ Heidelberg 1991, S. 34

Ein Teil der Primär- und Sekundärenergieträger wird in der chemischen Industrie als Rohstoff eingesetzt. Man bezeichnet diesen Verbrauch auch als nichtenergetischen Verbrauch.

1.2.2 Energiemodelle

Das Geschehen im Energiesektor einer Volkswirtschaft ist im allgemeinen sehr komplex. Sehr viele Akteure auf der Nachfrageseite stehen vielen Akteuren auf der Angebotsseite gegenüber. Sie treten teilweise direkt, teilweise über verschiedene zwischengeschaltete Marktstufen zueinander in Beziehung. Solche Beziehungen drücken sich u.a. in Energiebereitstellungs-, -versorgungs- und -nutzungsprozessen aus. Hinzu kommt, daß Energie in verschiedenen Formen (z.B. Licht, Wärme, mechanische Energie) und basierend auf verschiedenen Energieträgern (fossile und erneuerbare Energieträger) genutzt wird. Dadurch ergibt sich eine Vielzahl von möglichen Kombinationen.

Sinn eines Energiemodells ist es, dieses hochkomplexe System von Wirtschaftssubjekten, Energieformen und -trägern sowie Prozessen durchschaubar zu machen, indem eine vereinfachte Abbildung des Energiesektors einer oder mehrerer Volkswirtschaften erstellt wird. Auf Basis eines solchen Energiemodells können bestimmte Aussagen getroffen werden, z.B. über mögliche bzw. wahrscheinliche Entwicklungen in der Zukunft. Bei der Modellbildung ist darauf zu achten, daß nur diejenigen Informationen gefiltert werden, die im Hinblick auf ein bestimmtes Ziel oder ein Zielbündel, das mit der Erstellung des Modells verfolgt werden soll, relevant sind. Für den Energiebereich existiert bereits eine Vielzahl von Modellen, die teilweise auch die Wechselwirkungen zwischen Energiebereich, Umweltbereich und den anderen Bereichen der Volkswirtschaft berücksichtigen.

Im folgenden werden die verschiedenen Formen der bereits existierenden Prognosen und die ihnen zugrundeliegenden Modelle beschrieben.

1.3 ZIELSETZUNGEN DER ERSTELLER UND EMPFÄNGER VON ENERGIEPROGNOSEN

Die Zielsetzungen bei der Erstellung variieren erheblich, je nach Ersteller der Prognose. Für die Bundesrepublik Deutschland werden Energieprognosen von vielen ver-

schiedenen Einrichtungen erstellt. Diese Einrichtungen lassen sich i.w. zu 5 großen Gruppen zusammenfassen:⁴

- wissenschaftliche Forschungseinrichtungen, oft im Auftrag von Bund/ Ländern oder anderen
- Unternehmen und Verbände aus dem Bereich der Energiewirtschaft
- Umweltschutzeinrichtungen
- Endverbraucher
- sonstige Gruppen

Im folgenden werden die wichtigsten Beweggründe, die diese Gruppen mit der Erstellung von Energieprognosen verbinden, kurz dargestellt.

Die von öffentlichen Stellen in Auftrag gegebenen Prognosen bilden vor allem die Grundlage für die Absicherung der eigenen energiepolitischen Konzepte bzw. für die Weiterentwicklung dieser Konzepte. Die öffentliche Hand erstellt die Prognosen i.d.R. nicht selbst, sondern vergibt entsprechende Aufträge an wissenschaftliche Einrichtungen. In dieser Arbeit wird beispielhaft für eine solche Arbeit das IKARUS-Instrumentarium beschrieben (vgl. Kapitel 2.1), das zwar keine eigentliche Energieprognose im Sinne von Kapitel 1.4.1 darstellt, mit dem sich im Rahmen mehrerer Szenarien aber auch Aussagen über zukünftige Energieversorgungsstrukturen treffen lassen. Weitere Beispiele für solche Arbeiten, die von der öffentlichen Hand in Auftrag gegeben wurden, sind die Studien von Prognos⁵ oder der Gruppe 2010⁶, auf die in dieser Arbeit allerdings nicht ausführlich eingegangen wird.

Angesichts der Tatsache, daß viele gewerbliche Energieanbieter und sonstige Unternehmen aus dem Bereich der Energiewirtschaft ihre Prognosen nicht veröffentlichen, kann vermutet werden, daß für viele Industrieunternehmen das Interesse im Vorder-

⁴ Vgl. auch Hans Diefenbacher/ Jeffrey Johnson: Energy Forecasting in West Germany: Confrontation and Convergence, in: Thomas Baumgartner/ Atle Midttun (Hrsg.): The Politics of Energy Forecasting, Oxford 1987, S. 61 ff., hier: S. 63 f.

⁵ Konrad Eckerle u.a.: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020, Basel 1995

⁶ Günter Altner u.a.: Zukünftige Energiepolitik, Bonn 1995. Diese Studie wurde von der Niedersächsischen Energieagentur in Auftrag gegeben.

grund steht, sich eine Grundlage für die eigene strategische Planung zu schaffen. Da die Planungszeiträume in der Energiebranche mitunter sehr lang sind, umfassen diese Prognosen daher häufig einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten.⁷ Als Beispiele für solche unveröffentlichten Energieprognosen von Energieversorgungsunternehmen können die in den Kapiteln 2.3 und 2.4 beschriebenen Modellsysteme der Hamburgischen Electricitäts-Werke AG (HEW) und der Hamburger Gaswerke GmbH (HGW) herangezogen werden. Darüber hinaus ist davon auszugehen, daß die meisten Energieversorgungsunternehmen im Rahmen ihrer Absatz- und Produktionsplanung solche Energieprognosen erstellen.

Werden Energieprognosen veröffentlicht, dann werden die in den Energieprognosen getroffenen Aussagen von den Empfängern der Prognosen bei der Bildung eigener subjektiver Erwartungen berücksichtigt.⁸ Auf diese Weise verleihen oder entziehen Energieprognosen politischen Entscheidungsträgern Legitimität, engen deren Handlungsspielraum ein, mobilisieren die Bevölkerung und beeinflussen auch den Stil politischer Kommunikation (sog. Metakommunikationseffekt von Energieprognosen)⁹. Als Beispiel für Energieprognosen i.w.S., die von Energieversorgungsunternehmen erstellt werden, können vor allem die Studien der Esso AG¹⁰ und der Deutschen Shell AG angeführt werden. Die Methodik zur Erstellung der Szenarien der Deutschen Shell AG wird im Kapitel 2.2 dargestellt.

Diese Eigenschaft von Energieprognosen machen sich öffentliche Stellen, Industrieunternehmen und besonders Umweltschutzverbände zunutze. Wenn es den Prognostikern gelingt, daß die Empfänger ihre Erwartungen an die Erwartungen der Prognostiker anpassen, dann können sie so indirekt Einfluß auf die Energiepolitik und die Unterneh-

⁷ Die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Kraftwerken beträgt z.B. ca. 30 Jahre. Vgl. Johannes Ruhland: Quantitative Energiekrisenplanung, München 1987, S. 4

⁸ Nach der Hypothese rationaler Erwartungen richten die Wirtschaftssubjekte ihre subjektiven Erwartungen über die zukünftige Marktentwicklung an den in den Prognosemodellen mathematischen Erwartungswerten aus. Diese Hypothese geht zurück auf John F. Muth: Rational Expectations and the Theory of Price Movements, in: *Econometrica* Nr. 29, 1961, S. 315 ff.

⁹ Vgl. Birgitta Nedelmann: Die Eigendynamik in Prozessen der Prognoseerstellung, in: Manfred Härter (Hrsg.): *Energieprognostik auf dem Prüfstand*, Köln 1988, S. 63 ff., hier: S. 67 f.

¹⁰ Die letzten Energieprognosen tragen folgende Titel: Esso AG (Hrsg.): *Energieprognose '94 Mobil bleiben - Umwelt schonen*, Hamburg 1994; Esso AG (Hrsg.): *Energieprognose Moderne Heizung – aktiver Klimaschutz*, Hamburg 1995; Esso AG (Hrsg.): *Industrie verbraucht weniger Energie*, Hamburg 1996; Esso AG (Hrsg.): *Esso Energieprognose '97 Mehr Strom aus Gas*, Hamburg 1997.

mensstrategien ausüben.¹¹ Insofern haben Energieprognosen eine gewisse Eigendynamik, die allerdings dadurch abgeschwächt wird, daß ein Teil der Empfänger sein Verhalten der Prognose anpaßt, ein anderer die Prognose aber zum Anlaß nimmt, sich genau entgegengesetzt zur Prognose zu verhalten.¹²

Die Endverbraucher von Energie wollen vor allem eine Grundlage für die eigene Planung besitzen. Speziell bei gewerblichen Großabnehmern von Energie werden Fragen in dieser Richtung gestellt.

An sonstige Gruppen sind noch Parteien, Kirchen, Gewerkschaften und weitere Organisationen zu nennen; in diesen Bereichen werden Energieprognosen allerdings nur in unregelmäßigen Abständen erstellt.

1.4 KURZKLASSIFIKATION BESTEHENDER ANSÄTZE ZUR ERSTELLUNG VON ENERGIEPROGNOSEN

Die für die deutsche Energiewirtschaft erstellten Prognosen lassen sich nach Zielen und nach Mitteln unterscheiden. Um eine systematische Übersicht geben zu können, werden einige Kriterien ausgewählt. Dazu gehören:

- Ziel und Aussageart der Prognose
- Verwendete Modelltechnik
- Verwendete Blickrichtung
- weitere Kriterien

1.4.1 Prognosen und Szenarien

Wenn es in der Diskussion um die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Energiebedarfs und verschiedene verwandte Fragestellungen geht, dann wird eine Reihe von Begriffen häufig synonym verwendet, deren Wortinhalt zwar zum großen Teil, aber nicht völlig übereinstimmt. Zu diesen Begriffen gehören speziell "Energieprognose" und "Energieszenario". Diese Begriffe sollen im folgenden genauer erläutert werden.

¹¹ Vgl. Ekkehard Fulda: Die Wirkung von Energieprognosen - ihr informations- und kommunikationstheoretischer Kontext in methodologischer Perspektive, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognosen für die Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986, S. 39 ff., hier: S. 42

¹² Vgl. Birgitta Nedelmann: Die Eigendynamik in Prozessen der Prognoseerstellung, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognostik auf dem Prüfstand, Köln 1988, S. 63 ff., hier: S. 64

Mit dem Begriff "Energieprognose" wird die Frage beantwortet: Wie werden sich der Energiebedarf und andere Größen¹³ (Energieressourcen, Preisentwicklung, Konsumverhalten usw.) vermutlich entwickeln?¹⁴ Eine Prognose zeigt also diejenige Entwicklung auf, deren Eintreten der Prognoseersteller für am wahrscheinlichsten hält.

Unter konditionalen Prognosen versteht man dabei Aussagen nach dem Schema: Wenn Bedingung A erfüllt ist, dann wird Fall B eintreten. Kategorische Prognosen verzichten auf die Bedingung A und sagen aus, daß Fall B eintreten wird.

In einem Energieszenario wird die Frage beantwortet: Wie könnte sich der Energiebedarf unter der Annahme folgender Gegebenheiten entwickeln? Das Eintreten der Annahmen braucht dabei nicht wahrscheinlich zu sein; diese können frei gewählt werden.¹⁵

Daß in Szenarien hypothetische, nicht unbedingt wahrscheinliche, Annahmen getroffen werden, läßt sich mit der veränderten Zielsetzung von Szenarien erklären. Szenarien sollen dem Empfänger vor Augen halten, daß er seine Entscheidung z.B. über den Bau eines neuen Kraftwerks oder die Entscheidung über die Erhöhung der Mineralölsteuer unter Unsicherheit treffen muß. Durch klassische Prognosen, so die Anhänger von Szenarien, entsteht beim Entscheider zu leicht der Eindruck, daß er unter einer (wissenschaftlich abgesicherten) Kenntnis der Zukunft entscheide, die es in Wirklichkeit gar nicht gibt und auch nicht geben kann. Daher kommt es bei Szenarien auch nicht darauf an, möglichst präzise Vorhersagen der Zukunft abzugeben, da ja schon die Annahmen möglicherweise unreal sind. Vielmehr liegt der Zweck von Szenarien "darin, das Verständnis für diejenigen externen Kräfte zu erhöhen, die wichtig sind für die Entscheidungsvorbereitung und für die Entwicklung von Strategien."¹⁶

Prognosen und Szenarien sind nicht streng voneinander abgrenzbar. Es gibt viele Zwischenformen.

¹³ Vgl. Birgitta Nedelmann: Die Eigendynamik in Prozessen der Prognoseerstellung, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognostik auf dem Prüfstand, Köln 1988, S. 63 ff., hier: S. 67

¹⁴ Vgl. Hermann-Josef Wagner: Prognosen und Szenarien, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognosen für die Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986, S. 171 ff., hier: S. 173

¹⁵ Vgl. Hermann-Josef Wagner: Prognosen und Szenarien, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognosen für die Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986, S. 171 ff., hier: S. 173

¹⁶ Vgl. P.W. Beck: Strategic Planning in the Royal Dutch/ Shell Group, New Orleans 1977, S. 10, eigene Übersetzung

So werden Prognosen üblicherweise nicht kategorisch, sondern konditional, d.h. in Form von Wenn-Dann-Aussagen, formuliert. Die Fragestellung lautet dann: Wie *wird* sich der Energiebedarf vermutlich entwickeln, *wenn* folgende Annahmen zugrundeliegen? Implizit wird damit ausgesagt, daß sich die exogenen Größen des Modells, das der Prognose zugrundeliegt, auch ganz anders verhalten könnten als angenommen, daß es sich mithin nur um eine von unendlich vielen möglichen Entwicklungen in der Zukunft handelt.

Umgekehrt fließen auch bei Szenarien häufig eigene Vorstellungen des Szenarienerstellers über mögliche Entwicklungen in der Zukunft ein. In den Energieszenarien der Deutschen Shell AG werden z.B. regelmäßig zwei Annahmebündel gegenübergestellt, die auf einer optimistischen und einer pessimistischen Sichtweise bzgl. verschiedener gesamtwirtschaftlicher oder gesellschaftlicher Entwicklungen basieren. Wenn unabhängig von den Annahmen dann sehr ähnliche Ergebnisse eintreten, dann erhält man eine sog. robuste Lösung mit hoher prognostischer Sicherheit. Einer solchen robusten Lösung kommt quasi Prognosecharakter zu. Im allgemeinen werden die Szenarienannahmen aber bewußt so gewählt sein, daß sich gegensätzliche Ergebnisse ergeben. Wenn der Empfänger eine Prognose anhand der ihm vorgelegten Szenarien anstellen will, dann muß er selbst entscheiden, welches Annahmebündel am wahrscheinlichsten ist.

Prognosen und Szenarien ähneln sich also in ihren Aussagen. Mit beiden Methoden werden mit Hilfe eines Modells Aussagen über künftige Entwicklungen bestimmter Größen im Energiebereich einer Volkswirtschaft getroffen. Diese Aussagen werden i.d.R. in konditionaler Form getroffen. Der einzig wesentliche Unterschied zwischen Prognosen und Szenarien besteht darin, daß die Einschätzung darüber, welche Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmten Annahmen zuzuordnen ist, bei Prognosen beim Ersteller liegt und bei Szenarien auf den Empfänger überwältigt wird.

Im folgenden wird der Begriff Prognose i.w.S. als Oberbegriff für alle zukunftsbezogenen Betrachtungen bezüglich des Energieverbrauchs und verwandter Größen verwendet. Wenn im folgenden von Energieprognosen i.e.S. die Rede ist, dann sind damit konditional formulierte, deterministische, quantitative, annahmebestimmte Prognosen gemeint, wenn nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist.

1.4.2 Mentale Modelle, Simulationsmodelle und Optimierungsmodelle

Um eine Prognose abgeben zu können, muß die Komplexität der Realität mittels eines Modells reduziert werden. Das kann generell auf zwei Arten geschehen: Entweder der Prognostiker schätzt anhand eines mentalen Modells oder er systematisiert seine Überlegungen mit Hilfe bestimmter Verfahren.

Unter mentalen Modellen werden hier alle die Ansätze zusammengefaßt, bei denen die Erfahrung bzw. die Intuition des Prognostikers eine große Rolle spielt. Dabei wird die Komplexität der Wirklichkeit sehr stark reduziert.

Bei den öffentlich diskutierten Energieprognosen für die deutsche Energieversorgung stehen systematische Überlegungen im Vordergrund. Es wird versucht, so weit wie möglich auf grobe subjektive Einschätzungen des Prognostikers zu verzichten oder diese zumindest in andere Bereiche zu verlagern, wo eine Einschätzung subjektiv leichter fällt. Informationen werden unter Verwendung formaler Methoden so verarbeitet, daß sich die Prognose quasi als Lösung einer mathematischen Aufgabe ergibt.

Beide Methoden lassen sich nicht klar voneinander abgrenzen, sondern stellen Extremfälle dar. So verlassen sich Praktiker meistens nicht nur auf ihr Gefühl, sondern berücksichtigen aktuelle Entwicklungen systematisch. Umgekehrt kommen Theoretiker nicht ohne Intuition aus, wenn es um die Festlegung der Annahmen, ihrer Wirkungen auf das Modell oder überhaupt die Festlegung des Modells als Ganzem geht.¹⁷

Innerhalb der systematischen Modelle sind im wesentlichen zwei Modellansätze zu unterscheiden: Optimierungsmodelle und Simulationsmodelle.

Simulationsmodellen und Optimierungsmodellen unterscheiden sich bezüglich ihrer Zielsetzung, ihrer Verwendung und den ihnen zugrundeliegenden Methoden.¹⁸

Mit Hilfe von Simulationsmodellen kann der Einblick in das Systemverhalten verbessert werden, mögliche künftige Zustände und Veränderungen im Zeitablauf lassen sich damit beschreiben. Simulationsmodelle haben also primär deskriptiven Charakter. Mathematisch werden Simulationsmodelle durch Annahmen einer Kombination von

¹⁷ Vgl. Jürgen Rehm/ Wolfgang Servay: Der intuitive Kern von Energieprognosen, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognostik auf dem Prüfstand, Köln 1988, S.31 ff., hier: S. 33 f.

¹⁸ Vgl. Douglas Hill: Simulation Aspects of Normative Models in Energy Planning, in: Energy Systems Group, Risø National Laboratory (Hrsg.): The Use of Simulation Models in Energy Planning, Risø International Conference, Risø 9-11 May 1983, S. 387 ff., hier: S. 387

beeinflussenden Parametern gesteuert. Es können verschiedene mathematische Verfahren eingesetzt werden, allerdings nicht die Optimierungsmethode.¹⁹

Optimierungsmodelle zielen darauf ab, diejenige Systemkonfiguration oder das Systemverhalten zu ermitteln, das im Hinblick auf ein gewähltes Ziel optimal ist. Als Ziel kann z.B. die Minimierung der Gesamtkosten der Energieversorgung, die Minimierung der Gesamtemissionen oder die Maximierung des Anteils eines oder mehrerer Energieträger gewählt werden.²⁰ Die Zielfunktion in einem Optimierungsmodell kann sowohl linear als auch nicht-linear sein. Indem mit Optimierungsmodellen optimale Zustände ausgewählt werden, eignen sie sich speziell zur Vorbereitung von Entscheidungen. Optimierungsmodelle haben daher primär normativen Charakter.

1.4.3 Top-down vs. bottom-up-Modelle

Um den Primärenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland zu prognostizieren, wird in den Energiemodellen i.d.R. der Energiefluß beschrieben. Es gibt hier zwei Arten der Herangehensweise.²¹

Im ersten Ansatz wird der gesamte Energieverbrauch in die verschiedenen Verbrauchssektoren untergliedert. Diese Sektoren sind üblicherweise Industrie, Verkehr, Haushalte und Kleinverbraucher sowie ggf. Militär. Wenn entsprechende Daten vorhanden sind, erfolgt innerhalb dieser Sektoren eine weitere Disaggregation nach Nutzungsarten, z.B. Raumwärme oder Personenkilometer, und Verwendungsbereiche, z.B. Wohnungstypen oder Verkehrsmittel. Es werden bestimmte volkswirtschaftliche Randbedingungen (z.B. Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftswachstum) zugrundegelegt und dann auf der disaggregierten Ebene Schätzungen durchgeführt, aus denen sich dann durch Addition der Primärenergiebedarf ergibt. Wegen des Ansatzes, vom Allgemeinen

¹⁹ Vgl. Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelling of Energy-Related Emissions on a National and Global Level - An Overview of Selected Approaches, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Bd. 15/1994, Jülich 1994, S. 3 ff., hier: S. 12

²⁰ Vgl. Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelling of Energy-Related Emissions on a National and Global Level - An Overview of Selected Approaches, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Bd. 15/1994, Jülich 1994, S. 3 ff., hier: S. 12

²¹ Vgl. im folgenden Tyll Weber-Carstanjen: Wie wird die voraussichtliche Entwicklung der Energietechnik in Energiebedarfsprognosen berücksichtigt?, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognostik auf dem Prüfstand, Köln 1988, S. 127 ff., hier: S. 128 f.

zum Detail zu disaggregieren, bezeichnet man diese Art der Herangehensweise auch als Top-Down-Approach.

Im zweiten Ansatz wird umgekehrt vom Detail zum Allgemeinen aggregiert. Die vom Energieverbraucher verwendeten Techniken werden abgebildet und ihre Eigenschaften für die Zukunft anhand von Ingenieurschätzungen analysiert, erweitert um einige Zusatzannahmen. So müssen etwa zusätzlich zur Schätzung, daß Autos im Jahr 2020 beispielsweise 6 Liter/100 km verbrauchen werden, weitere Informationen zum Verhalten (Kaufrends hin zu Groß- oder Kleinwagen, Fahrverhalten) und bestimmte Randbedingungen (Tempolimits, Verkehrsflußsteuerungen) berücksichtigt werden. Die verschiedenen Einzelverbräuche werden nun zum Gesamtenergieverbrauch aggregiert. Man bezeichnet diese Art des Ansatzes daher auch als Bottom-Up-Approach.

In der Praxis schwindet der Unterschied zwischen Bottom-Up- und Top-Down-Approach. Die volkswirtschaftlichen Modelle werden um Technikbetrachtungen erweitert, um auf der disaggregierten Ebene genauere Schätzungen abgeben zu können und die Ingenieure betten ihre Schätzergebnisse in volkswirtschaftliche Modelle ein.

1.4.4 Weitere Kriterien

Es gibt noch verschiedene andere Kriterien, anhand derer sich Energieprognosen i.w.S. klassifizieren lassen. Es gibt:

- deterministische und stochastische Prognosen
- qualitative und quantitative Prognosen
- annahme- und ergebnisbestimmte Prognosen
- statische, quasi-dynamische und dynamische Prognosen

Stochastische oder probabilistische Prognosen enthalten Aussagen wie: Mit einer Wahrscheinlichkeit von x % wird (die Bedingung A und damit) Fall B eintreten. Bei deterministischen Prognosen hält der Prognostiker das Eintreten von Fall B für am wahrscheinlichsten.

Bei quantitativen Prognosen legt sich der Prognostiker auf eine Zahl fest, bei qualitativen Prognosen wird nur die grobe Entwicklung vorausgesagt.

Bei annahmebestimmten Prognosen werden zunächst die Bedingungen (z.B. Brutto-sozialprodukt) ausgewählt und dann werden die Ergebnisse (z.B. Energieverbrauch)

darauf aufbauend ermittelt. Bei ergebnisbestimmten Prognosen werden zunächst die Ergebnisse nach wünschenswerten Vorstellungen (normativ) festgelegt, um dann erst zu ermitteln, welche Annahmewerte zur Erreichung dieser Ziele führen.²²

Je nachdem, wie der Faktor Zeit in den Prognosen berücksichtigt wird, spricht man von statischen, komparativ-statischen und dynamischen Betrachtungen. In statischen Betrachtungen wird zu einem bestimmten Zeitpunkt eine Momentaufnahme durchgeführt. Die Zeit ist eine Konstante. Bei komparativ-statischen oder quasi-dynamischen Modellen werden mehrere Perioden betrachtet. Die Zeit wird als Parameter berücksichtigt. In dynamischen Modellen ist die Zeit eine stetig differenzierbare Variable, andere Größen hängen funktional von ihr ab.²³

²² Vgl. Michael Kraus: Zur Problematik von Voraussagen im Energiebereich, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognosen für die Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986, S. 15 ff., hier: S. 21

²³ Vgl. hierzu: Bernhard Felderer/ Stefan Homburg: Makroökonomik und neue Makroökonomik, 5. Aufl., Berlin/ Heidelberg/ New York 1991, S. 14 f. und Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelling of Energy-Related Emissions on a National and Global Level - An Overview of Selected Approaches, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Bd. 15/1994, Jülich 1994, S. 3 ff., hier: S. 11

2 DARSTELLUNG BESTEHENDER MODELLE

Im folgenden werden verschiedene Modelle vorgestellt, mit deren Hilfe sich mittel- bis langfristige Prognosen i.w.S. über die Entwicklung des Energieverbrauchs erstellen lassen. Dabei wird zunächst beispielhaft ein Modellsystem dargestellt, das im wissenschaftlichen Bereich entwickelt wird. Im Anschluß daran werden drei Simulationsansätze von verschiedenen Energieversorgungsunternehmen beschrieben. Schließlich wird noch ein kleines Modell erläutert, mit dem Prognosen i.w.S. in spielerischer Form erstellt werden können.

Die Auswahl an Energiemodellen wird hier bewußt knapp gehalten; es existiert darüber hinaus noch eine Vielzahl weiterer Typen; insbesondere wird im folgenden kein allgemeines Gleichgewichtsmodell (z.B. GREEN) oder ein Stoffstromansatz (z.B. GEMIS) vorgestellt.

2.1 DAS IKARUS-INSTRUMENTARIUM

Das IKARUS-Projekt war Februar 1996 noch nicht abgeschlossen; im folgenden wird das IKARUS-Modellinstrumentarium in der Form beschrieben, wie es bis Februar 1996 implementiert war.

2.1.1 Modellphilosophie

IKARUS (Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien) ist ein Projekt, das im Oktober 1990 vom BMFT (jetzt: BMBF) initiiert wurde, und zwar mit dem Ziel, "Instrumente für die Entwicklung von Strategien zur Reduktion energiebedingter Klimagasemissionen in Deutschland bereitzustellen."²⁴ Hintergrund ist die Verpflichtung der Bundesregierung, die nationalen CO₂-Emissionen zwischen 1987 und 2005 um mindestens 25 % zu reduzieren²⁵. 1991 wurde diese Verpflichtung verschärft, indem als Basisjahr 1990 gewählt wurde. Zusätzlich hat die Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 % bis 2020 gefordert. An dem Projekt ist neben dem BMBF als

²⁴ Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelle (TP1), in: VDI-Berichte Nr. 1043/1993, S. 23 ff., hier: S. 24

²⁵ Vgl. Jürgen-Friedrich Hake u.a.: IKARUS: An Energy-Economy Model to Reduce Energy-Related Greenhouse Gas Emissions in Germany, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Bd. 15/1994, Jülich 1994, S. 213 ff., hier: S. 214

Projektkoordinator eine Vielzahl weiterer deutscher Forschungseinrichtungen beteiligt.²⁶

Das IKARUS-Instrumentarium besteht aus 2 Komponenten: einer Datenbank, die vom FIZ Karlsruhe implementiert wurde, und einem System von Modellen, das von der Programmgruppe STE des Forschungszentrums Jülich selbst entwickelt bzw. dessen Entwicklung durch STE begleitet wurde. Die Datenbank umfaßt Technikdaten und Rahmendaten zur wirtschaftlichen Entwicklung. Sie fließt in aggregierter Form als Input in die verschiedenen Modelle ein.

Mit Hilfe des Modellsystems und der Datenbank werden die Vorgänge in der deutschen Energiewirtschaft systematisch und umfassend abgebildet. Auch der Rest der Wirtschaft, der in Wechselbeziehung mit der Energiewirtschaft steht, wird einbezogen.

Folgende Komponenten sind Bestandteile des Modellsystems:

- ein Energieflußmodell,
- ein Modell zur Einbettung des Energiesektors in die gesamtwirtschaftliche Entwicklung und
- diverse Detailmodelle für bestimmte Sektoren

Daneben besteht die Möglichkeit, Technikketten zu bilden und zu untersuchen.

Im folgenden werden die einzelnen Komponenten des Modellsystems näher beschrieben.

²⁶ Das sind im einzelnen:

- AGEP, Oldenburg
- DIW, Berlin
- FfE, München
- FIZ Karlsruhe, Karlsruhe
- Forschungszentrum Jülich GmbH - Programmgruppe STE, Jülich
- Forschungszentrum Jülich GmbH - Programmgruppe TFF, Jülich
- IER, Stuttgart
- ISI, Karlsruhe
- TU München - Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik, München
- TÜV Rheinland, Köln

und daneben diverse Unterauftragnehmer

Vgl. Jürgen-Friedrich Hake u.a.: IKARUS: An Energy-Economy Model to Reduce Energy-Related Greenhouse Gas Emissions in Germany, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Bd. 15/1994, Jülich 1994, S. 213 ff., hier: S. 215

Kern des Modellsystems ist das PC-gestützte Energieflußmodell. Dieses folgt dem bottom-up-Ansatz. Einzelne Techniken aus der aggregierten Datenbank werden für die drei Referenzjahre 1989, 2005 und 2020 zu einer Energieversorgungsstruktur zusammengestellt, die in Abhängigkeit von einer angenommenen Minderung der Schadstoffemissionen, insbesondere von CO₂, kostenminimal ist. Die Darstellung erfolgt für die Jahre 1989 und 2005 noch getrennt für West- und Ostdeutschland; für das Jahr 2020 sind nur noch aggregierte Werte berücksichtigt.

Das Energieflußmodell basiert auf einem LP-Ansatz. Als Ziel wurde bislang die Minimierung der Kosten gewählt, die bei der Versorgung der Volkswirtschaft mit Energie entstehen. Als zentrale Nebenbedingung wurde die Senkung der energiewirtschaftlich bedingten Emissionen an Spurengasen, vor allem an CO₂, gewählt. Möglich ist auch der umgekehrte Ansatz, nämlich eine Optimierung der CO₂-Emissionen bei vorgegebenen Gesamtkosten der deutschen Energieversorgung.

Von zwei Techniken, die bis auf die Kosten die gleichen Eigenschaften haben, wird bei Verwendung eines LP-Ansatzes grundsätzlich zu 100 % die kostengünstigere ausgewählt. Dieses im Modell angenommene rationale Verhalten der Wirtschaftssubjekte ist in der Realität in dieser reinen Form nicht zu beobachten. In der Realität gibt es häufig politische, technische, psychologische oder sonstige Gründe, die der Verwirklichung der kostengünstigsten Lösung entgegenstehen. Vor dem Hintergrund, daß es praktisch unmöglich ist, das menschliche Verhalten präzise abzubilden, ist die Einschränkung der Modellersteller des IKARUS-LP-Modells zu verstehen, daß die Ergebnisse von LP-Rechnungen nur als "Zielvorgabe an die Politik"²⁷ zu interpretieren seien.

Eine Reihe von Größen wird dem Optimierungsmodell exogen vorgegeben, z.B. die Nachfragemengen und die Importpreise für Energieträger. Die für diese Größen gewählten Werte müssen aus makroökonomischer Sicht widerspruchsfrei sein. Es muß aber nicht nur der Dateninput für das Optimierungsmodell makroökonomisch konsistent sein; auch beim Datenoutput muß eine Überprüfung aus volkswirtschaftlicher Sicht erfolgen. So ist etwa a priori nicht sichergestellt, daß der Kapitalstock für die Investitionen ausreicht, die durchgeführt werden müssen, um die Technikstruktur vorzuhalten, die sich als Optimum aus einem Lauf des Optimierungsmodells ergibt.

²⁷ Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelle (TP1), in: VDI-Berichte Nr. 1043/1993, S. 23 ff., hier: S. 26

Hilfestellung bietet hier das makroökonomische Informationssystem (MIS-Modell), mit dem sich die Ergebnisse des Energiemodells aus gesamtwirtschaftlicher Sicht absichern lassen. Zwischen beiden Modellen findet keine automatische Übertragung der Ergebnisse statt, die Daten müssen manuell übertragen werden (soft-link).

Kern des MIS-Modells ist ein dynamisches nachfragegesteuertes Input-Output-Modell. Damit läßt sich allgemein veranschaulichen, wie sich das Gesamtaufkommen aus inländischer Produktion und Importen auf einzelne Gütergruppen verteilt, wie die Güter verwendet werden und welche Einkommen so in den einzelnen Produktionssektoren entstehen. Mit Hilfe dieses Modells können "Auswirkungen exogener Änderungen der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage auf makroökonomische Größen" ermittelt werden.²⁸

Als drittes Element des Modellsystems sind die Simulationsmodelle zu nennen, die für die Bereiche entwickelt wurden, in denen der Anteil an der Emission von Klimagasen besonders hoch ist oder bei denen ein deutlicher Beitrag bei der Einsparung erwartet wird. Dieses sind die Bereiche Strom/Fernwärme, Verkehr und Raumwärme.²⁹

Schließlich lassen sich verschiedene Technikketten bilden und zusammen bilanzieren. Im folgenden werden diese Modellelemente genauer beschrieben.

2.1.2 Das IKARUS-LP-Modell

Wie beschrieben, wird im Energieflußmodell der Energiefluß der Bundesrepublik Deutschland vom Primärenergieverbrauch (regenerierbare, nicht regenerierbare Energieträger) über die verschiedenen Formen der Umwandlung und Verteilung bis hin zum Nutzenergieverbrauch in Form verschiedener Energiedienstleistungen dargestellt.³⁰

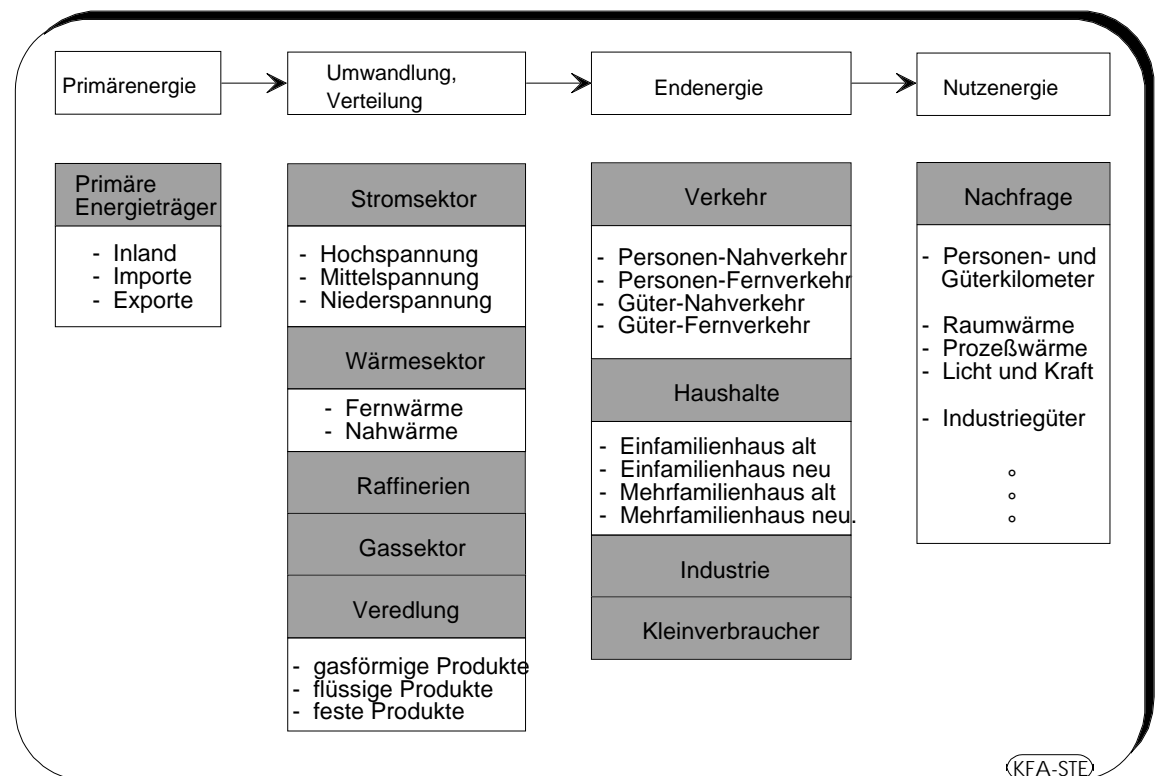
Der Energiefluß wird über die Verknüpfung von 10 Hauptsektoren, die wiederum in mehrere Untersektoren aufgeteilt sind, abgebildet. Die einzelnen Sektoren sowie die grobe Struktur ihrer Verknüpfung sind in Abbildung 1 dargestellt.

²⁸ Claudia Kemfert/ Wilhelm Kuckshinrichs: Das makroökonomische Informationssystem MIS, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Energieforschung aus technischer, ökonomischer, ökologischer und politischer Sicht, 1. Jülicher Ferienkurs 4.-13. Oktober 1995, S. 477 ff., hier: S. 477

²⁹ Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelle (TP1), in: VDI-Berichte Nr. 1043/1993, S. 23 ff., hier: S. 25

³⁰ vgl. Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelle (TP1), in: VDI-Berichte Nr. 1043/1993, S. 23 ff., hier: S. 26 f.

Abbildung 1: Energiefluß im IKARUS-Energieflußmodell



Quelle: Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe STE (Hrsg.): IKARUS-Teilprojekt 1: Modelle, 2. Zwischenbericht, Jülich 1993, S. 7,³¹

Der Dateninput in das Modell umfaßt die Bereiche Techniken und Energieträger.

Von den klimarelevanten Emissionen sind folgende in das IKARUS-Modell aufgenommen worden: CO₂, CO, NO_x, SO₂, CH₄, N₂O, C_xH_y außer CH₄, stratosphärischer Wasserdampf und FCKW. Neben den Emissionen der Umwandlungstechniken sind auch diejenigen Emissionen dokumentiert, die vor dem Import von Energieträgern nach Deutschland anfallen.

Das LP-Modell besteht formal aus 3 Elementen: Zielfunktion, Nebenbedingungen sowie Nichtnegativitätsbedingungen, die streng genommen Bestandteil der Nebenbedingungen sind. Im folgenden werden diese Elemente kurz erläutert.³²

³¹ Für eine genauere Beschreibung der verschiedenen Sektoren im IKARUS-Modell vgl. z.B. Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelle (TP1), in: VDI-Berichte Nr. 1043/1993, S. 23 ff., hier: S. 27 f.

³² Zur formalen Darstellung des Modells vgl. Dag Martinsen/ Manfred Walbeck: Aufbau eines Energie-modells, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Energieforschung aus technischer, ökonomischer, ökologischer und politischer Sicht, 1. Jülicher Ferienkurs 4.-13. Oktober 1995, Jülich 1995, S. 452 ff., hier: S. 464 f., und Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) (Hrsg.): IKARUS - Teilprojekt 1: Modelle - 2. Zwischenbericht,

Die Elemente haben die folgende Form:

$$\text{Zielfunktion: } \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \rightarrow \min$$

$$\text{Nebenbedingungen: } \sum_{i=1}^n a_{ji} \cdot x_i \geq b_j \text{ für alle } j$$

Nichtnegativitätsbedingungen: $x_i \geq 0$ für alle i

Die einzelnen Variablen bedeuten:

x_j	Optimierungsvariable einer Technik
c_j	Kostenkoeffizient einer Technik
a_{ij}	Matrixkoeffizienten unterschiedlichster Art
b_i	Konstanten der rechten Seite
i	Technik-Index
j	Index für Nebenbedingungen

Im LP-Modell wurde die Minimierung der Kosten des gesamten Energiesystems, bestehend aus dem Barwert des Produkts von Kostenkoeffizient c_j und Optimierungsvariable x_j als Zielfunktion gewählt.

Als Optimierungsvariablen werden die Energieumwandlungstechniken gewählt.

In den Kostenkoeffizienten pro Technik werden sowohl die Betriebskosten, als auch die Kapazitätskosten incl. der Entsorgungskosten berücksichtigt. Die Kapazitätskosten werden anteilig auf die Nutzungsdauer umgelegt. Im einzelnen werden folgende Größen bei der Ermittlung des Kostenkoeffizienten berücksichtigt: Baukosten, Entsorgungskosten, Fixkosten des Betriebs, variable Kosten des Betriebs, Bauzeit, ökonomische Lebensdauer, Außerbetriebnahmezeit sowie Diskontrate.³³

Um die Nebenbedingungen modellieren zu können, werden vielerlei Informationen über die verwendeten Umwandlungstechniken sowie über die verwendeten Energieträ-

Jülich 1993, S. 15 f. Eine gute Einführung in LP-Modelle bietet Manfred Walbeck u.a.: Energie und Umwelt als Optimierungsaufgabe, Berlin/ Heidelberg/ New York 1988, S. 10 ff.

ger verwendet. Die im Modell berücksichtigten Energieträger sind gegliedert in die Obergruppen Steinkohle und -produkte, Braunkohle und -produkte, Bioöl/ Mineralöl und -produkte, Erdgas und sonstige Gase, sonstige feste Produkte, Kernbrennstoffe, Elektrizität, Fern- und Nahwärme, Dampf, Müll, Regenerative Energie, Wasserstoff, Alkohole und Biomasse. Innerhalb dieser Obergruppen werden die Energieträger weiter unterteilt, so ist z.B. Elektrizität weiter unterteilt nach Hoch-, Mittel-, Niederspannung sowie einem Spannungsmix. Insgesamt ergeben sich auf diese Weise ca. 90 Energieträger, die hinsichtlich folgender Merkmale beschrieben werden: Heizwert, Brennwert, Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoff- und Schwefelgehalt sowie spezifischer CO₂-Faktor. Die Dokumentation der Eigenschaften dieser Energieträger wurden mit Industrieverbänden und dem Umweltbundesamt abgestimmt.³⁴

Jede Form der Energieumwandlung ist durch bestimmte Merkmale gekennzeichnet. Zu diesen Merkmalen gehören insbesondere der Wirkungsgrad einer Umwandlung, gemessen an den spezifischen Energiein- und outputs, sowie die mit der Umwandlung verbundenen Kosten und Emissionen. Der Wirkungsgrad einer Umwandlung wird durch die energetischen In- und Outputströme der Technik bestimmt. In diesem Zusammenhang spielt das Platzhalterkonzept eine wesentliche Rolle. Danach werden bestimmte Techniken nicht fest miteinander verbunden, sondern nur durch ihre energetischen Input- und Outputströme definiert. Durch diese Art der Verbindung mehrerer Techniken (einschließlich Importen) und mehrerer Sektoren mittels Restriktions- und Bilanzgleichungen wird sichergestellt, daß sich eine sinnvolle Struktur der Energieversorgung ergibt, daß also z.B. Rohöl als wesentlicher Einsatz für eine Raffinerie verwendet wird und nicht etwa Braunkohle. Indem die spezifischen In- und Outputs eines Platzhalters verändert werden, läßt sich so auch technischer Fortschritt darstellen. Die Aufschlüsselung der verschiedenen Techniken geht so weit, daß z.B. die verschiedenen Anlagen auf einer Raffinerie beschrieben werden. Auch Maßnahmen zur Energieeinsparung (z.B. durch Wärmedämmung) sind für jeden Sektor als eigene Technik mit aufgenommen

³³ Zur genauen Ermittlung des Kostenkoeffizienten pro Technik vgl. Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) (Hrsg.): IKARUS - Teilprojekt 1: Modelle - 2. Zwischenbericht, Jülich 1993, S. 15 f.

³⁴ Die Energieträgerliste ist in Anhang 1 wiedergegeben.

worden. Auf diese Weise sind ca. 2000 verschiedene Techniken erfaßt und dokumentiert worden.³⁵

Mit Hilfe von weiteren Nebenbedingungen wird sichergestellt, daß die mit Hilfe des Modells gefundene optimale Technikstruktur bestimmte technische, politische oder sonstige Gegebenheiten berücksichtigt. Eine solche Nebenbedingung ist z.B. die Obergrenze für den Einsatz der Kernenergie zur Stromerzeugung oder die Untergrenze für den Einsatz der heimischen Steinkohle.

Eine weitere spezifische Ausprägung der Schranken (Right-hand-side-Variablen) b_i besteht in den Größen, die die Energienachfrage beschreiben. Eine andere Ausprägung ist in der CO₂-Beschränkung zu sehen.

Die Nicht-Negativitätsbedingungen sind schließlich nötig, um zu interpretierbaren Ergebnissen zu gelangen.

2.1.3 Die makroökonomische Einbettung von IKARUS

Die im LP-Modell nicht berücksichtigten volkswirtschaftlichen Entwicklungen werden mit Hilfe des makroökonomischen Informationssystems MIS näher untersucht. Ein Überblick über die Modellstruktur ist in Abbildung 2 wiedergegeben.

Kern des MIS-Modells ist ein dynamisches nachfragegesteuertes Input-Output-Modell, abgebildet in Abbildung 3. Für die Zieljahre 2005 und 2020 können im Modell mehrere Szenarien berechnet werden.³⁶ Als wirtschaftliches Referenz-Szenario benutzt MIS dabei die gesamtdeutsche Energieprognose der Prognos AG aus dem Jahr 1991³⁷.

Im IO-Modell werden die Outputs und Inputs jedes Sektors der Volkswirtschaft in Geldeinheiten betrachtet. Output eines Sektors sind die Güter, die entweder als Input in einen anderen Sektor fließen oder zur Befriedigung der Endnachfrage in den Bereichen Haushalten (Konsum), Unternehmen (Investitionen), Staat (Staatsverbrauch) oder im

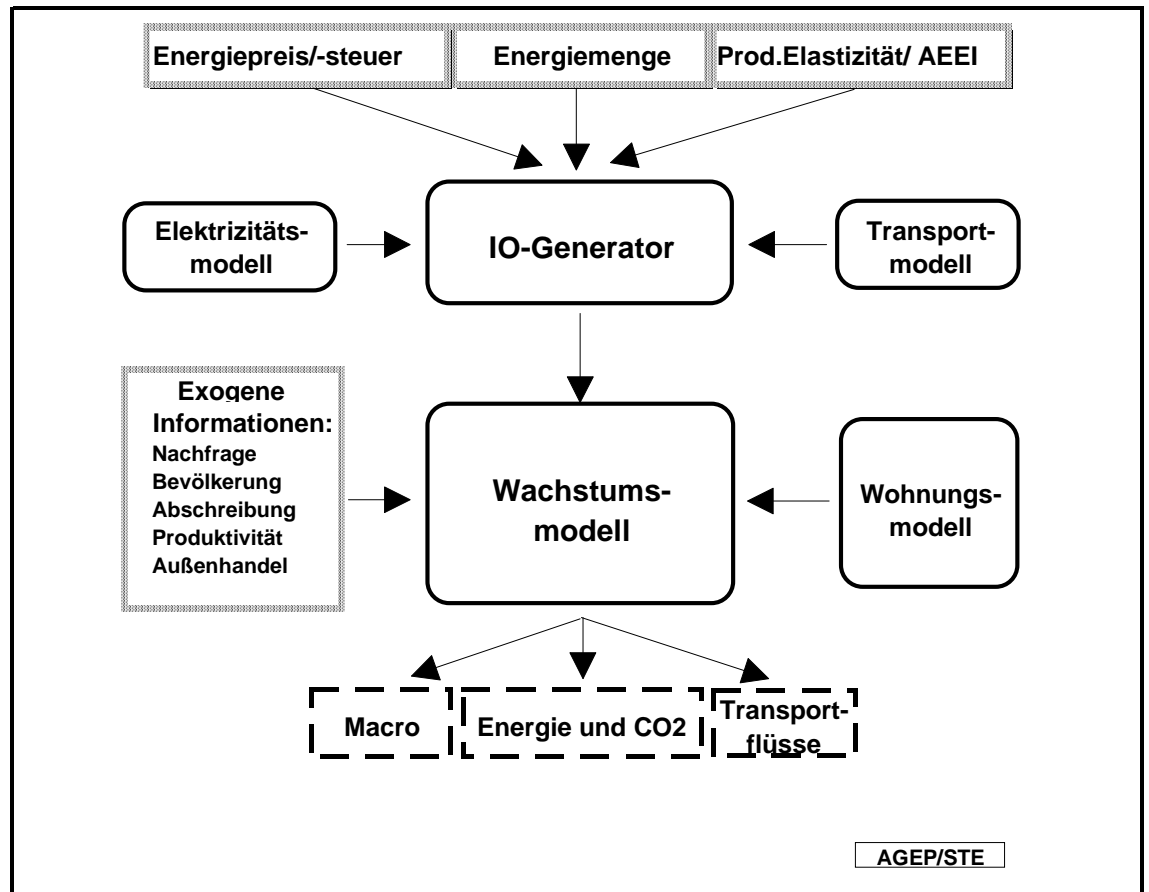
³⁵ Stand: Januar 1994, vgl. Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) (Hrsg.): IKARUS - Teilprojekt 1: Modelle - 3. Zwischenbericht, Jülich 1994, S. 3

³⁶ Vgl. Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelle (TP1), in: VDI-Berichte Nr. 1043/1993, S. 23 ff., hier: S. 33

³⁷ Deren Titel lautet: Konrad Eckerle/ Peter Hofer/ Klaus P. Masuhr: Die energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010 unter Einbeziehung der fünf neuen Bundesländer, Basel 1991

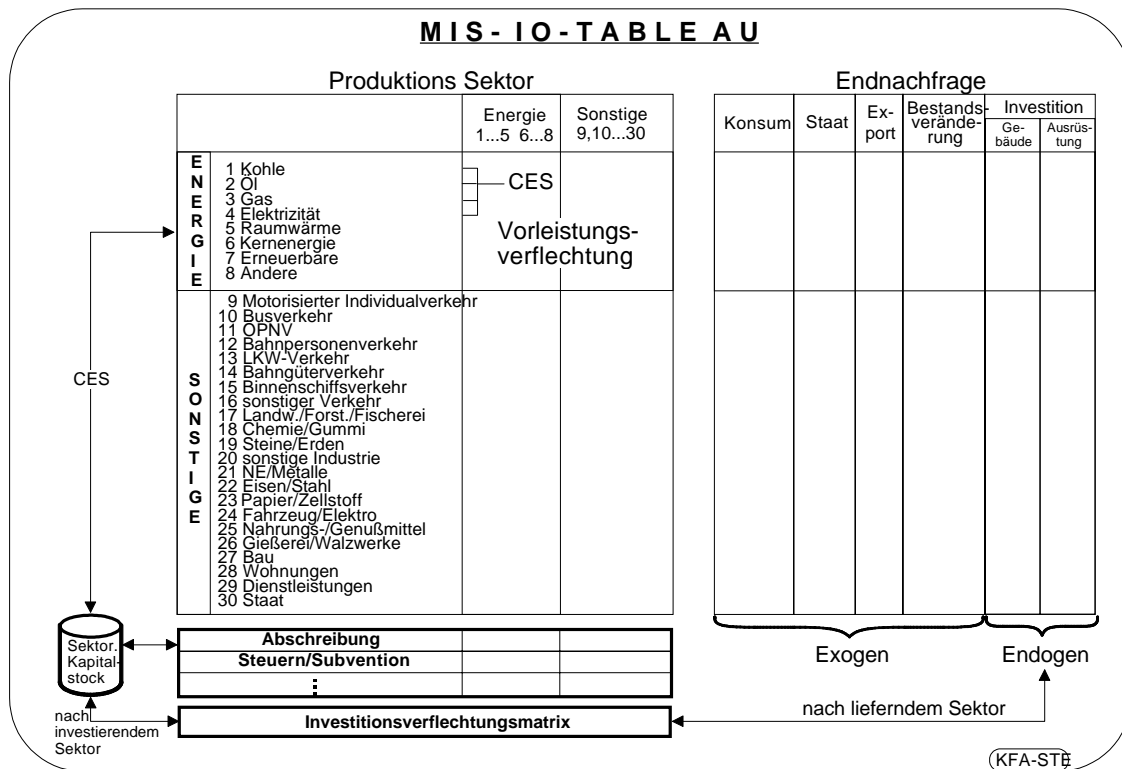
Ausland (Export) verwendet werden. Der Input des Input-Output-Modells umfaßt Abschreibungen, indirekte Steuern abzüglich Subventionen, Löhne, Gewinne und Importe. Mit dem IO-Modell soll die Höhe der verschiedenen Inputs errechnet werden. Dazu müssen Teile der Endnachfrage exogen, d.h. vom Modellbenutzer, vorgegeben werden. Die Eingaben umfassen den Konsum, die Staatsnachfrage sowie den Export. Die Investitionsnachfrage, getrennt nach Gebäude- und Ausrüstungsinvestitionen, wird endogen, d.h. im Modell, bestimmt. Zwischen Inputs und Outputs eines Sektors stehen die Produktionsbeziehungen der Volkswirtschaft, die mit Hilfe eines Teils der Input-Output-Tabelle, der Vorleistungsmatrix, abgebildet werden.

Abbildung 2: Überblick über das MIS-Modell



Quelle: Claudia Kemfert/ Wilhelm Kuckshinrichs: Das makroökonomische Informationssystem MIS, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Energieforschung aus technischer, ökonomischer, ökologischer und politischer Sicht, 1. Jülicher Ferienkurs 4.-13. Oktober 1995, S. 477 ff., hier: S. 478

Abbildung 3: MIS-IO-Tableau



Quelle: Claudia Kemfert/ Wilhelm Kuckshinrichs: Das makroökonomische Informationssystem MIS, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Energieforschung aus technischer, ökonomischer, ökologischer und politischer Sicht, 1. Jülicher Ferienkurs 4.-13. Oktober 1995, S. 477 ff., hier: S. 480, deutsche Fassung

Die Volkswirtschaft wird im Modell in 30 Sektoren gegliedert: 8 Energiesektoren und 22 Nichtenergiesektoren, darunter 8 Verkehrssektoren. Die Aufgliederung lehnt sich an die IO-Tabelle des Statistischen Bundesamtes von 1988 für Westdeutschland an, energie- und emissionsintensive Sektoren wurden allerdings stärker detailliert berücksichtigt. Zwei Sektoren "Raumwärme" und "Motorisierter Individualverkehr" wurden zusätzlich als Produktionssektoren eingeführt.³⁸

Bei statischer Betrachtung ergibt sich die Lösung eines Input-Output-Systems aus folgender Bedingung: Der Output eines Sektors fließt einerseits als Vorleistung in andere Sektoren und wird andererseits zur Befriedigung der Endnachfrage verwendet. Diese besteht wiederum aus den Größen Konsum, Investitionen, Staatsnachfrage und Exporte. In Gleichungsform läßt sich dieser Sachverhalt folgendermaßen darstellen:³⁹

³⁸ Eine Übersicht über die Sektoren ist im Kapitel 7.4 wiedergegeben.

³⁹ Vgl. im folgenden Claudia Kemfert/ Wilhelm Kuckshinrichs: MIS - A Model-Based Macroeconomic Information System For Energy Analysis in Germany, Discussion Paper No. V-153-95, Wirtschafts-

$X = AX + Y$ mit X : Output, A : Koeffizientenmatrix und Y : (exogen vorgegebene) Endnachfrage.

Auflösung nach X ergibt: $X[I - A] = Y \Leftrightarrow X = [I - A]^{-1} Y$ mit I : Identitätsmatrix und $[I - A]^{-1}$: inverse Leontief-Matrix. Die letzte Gleichung bedeutet, daß es möglich ist, den Output einer Volkswirtschaft zu bestimmen, wenn die Endnachfrage und die Koeffizientenmatrix gegeben sind. In diesem Fall sind die Input-Output-Koeffizienten der betrachteten Periode konstant, d.h. Inputs und Outputs unterliegen konstanten Verhältnissen (Leontief-Produktionsfunktion).

Mit dem MIS-Modell werden längerfristige Betrachtungen angestellt. Langfristig sind die Produktionskoeffizienten einer Volkswirtschaft aber nicht konstant wie in der Leontief-Produktionsfunktion angenommen. Sie ändern sich statt dessen im Zeitablauf z.B. aufgrund veränderter Inputpreise oder durch technischen Fortschritt.

Ein weiterer Kritikpunkt am statischen Ansatz ist, daß die Folgereaktionen nicht berücksichtigt sind, die durch eine Änderung der Endnachfrage hervorgerufen werden. Eine solche Folgereaktion wäre etwa eine Änderung in der Produktion sowie daraus resultierende Einkommens- und Beschäftigungseffekte, die durch zusätzliche Staatsausgaben in Form eines Arbeitsbeschaffungsprogramms hervorgerufen werden. So stellen z.B. die Investitionen als Bestandteil der Endnachfrage eine exogene Größe dar, obwohl sie maßgeblich durch den Strukturwandel der Wirtschaft und damit auch durch die Höhe der Endnachfrage beeinflusst werden.⁴⁰

Im MIS-Modell wurde aus diesen Gründen nicht der oben beschriebene statische, sondern ein dynamischer Ansatz gewählt. Die Investitionen werden modelltechnisch endogenisiert und die Produktionskoeffizienten variabel gestaltet.

Die Investitionen sind einerseits Bestandteil der Nachfrage, andererseits erhöhen sie den Kapitalbestand der Produktionssektoren und damit die Produktionsmöglichkeiten. Damit deckt der Output eines Sektors X in einer Periode t bereits drei Größen ab: erstens den Bedarf an Vorleistungen durch andere Sektoren AX , zweitens die Endnachfrage

wissenschaftliche Diskussionsbeiträge der Carl v. Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg 1995, S. 17 f.

⁴⁰ Vgl. Wolfgang Pfaffenberger/ Wolfgang Ströbele: Makroökonomisches Informationssystem Ikarus, Band 1, Beschreibung des Modells MIS, Version 4, Oldenburg 1995, S. 20 ff.

ge ohne Investitionen Y und drittens den Bedarf an Investitionen S , der sich als Differenz zwischen den Kapitalstöcken zweier Perioden zuzüglich der Abschreibungen ergibt.

Die Gleichung erweitert sich so zu $X_t = AX_t + S_{t+1} - S_t + Y_t$.

Unterstellt man ein linear-proportionales und zeitunabhängiges Verhältnis zwischen Kapitalstock und Bruttoproduktion gemäß $S_t = BX_t$ mit B : Matrix der Kapitalkoeffizienten, dann ergibt sich die mathematische Lösung im dynamischen Fall aus:

$$X_t = [B^{-1}(I - A + B)]^t (X_0 - X_0^*) + X_0^*$$
 mit X_0^* spezielle Lösung für einen gegebenen Output und eine gegebene Endnachfrage

MIS basiert auf einem davon abweichenden Lösungsverfahren. Danach werden die Investitionen mittels eines iterativen Verfahrens endogen errechnet. In einem ersten Schritt werden für die Investitionen fiktive Werte angenommen. Daraus wird in einem zweiten Schritt im Investitionsmodell der Kapitalbedarf errechnet, der in einem dritten Schritt in die Investitionsgüternachfrage der Sektoren umgerechnet wird. Diese werden nun anstelle der ursprünglich verwendeten fiktiven Werte verwendet, und das Modell wird neu gestartet. Die Schritte 2 und 3 werden solange wiederholt, bis die Abweichung unterhalb einer geforderten Genauigkeitsgrenze liegt.

Das Input-Output-Modell ist dynamisch konsistent, da es einen Abgleich zwischen Stromgrößen wie Bruttoinlandsprodukt, Investitionen, Beschäftigte usw. und Bestandsgrößen wie dem Kapitalstock durchführt. Der Abgleich erfolgt durch eine endogene Bestimmung der Bestandsveränderungen im Ausrüstungs- und Gebäudekapitalstock, die sich aufgrund der Differenz zwischen Bruttoinvestitionen und Abschreibungen im Sinne physischer Abgänge ergibt.

Der Benutzer hat im Modell folgende Vorgaben zu machen:

- Komponenten der Nachfrage
- Importquote
- Abschreibungsraten
- Arbeitsproduktivität

- Bevölkerung und Erwerbspersonen

Da MIS nachfragegesteuert ist, kommt den Endnachfragesektoren besondere Bedeutung zu. Exogen sind zu bestimmen: der Konsum, die Staatsnachfrage sowie der Export. Mit dieser Philosophie wird nicht unterstellt, "daß die exogene Nachfrage nun tatsächlich immer und vorrangig den volkswirtschaftlichen Entwicklungsprozeß steuert."⁴¹ Trotzdem kommt der Nachfrage im Modell eine hohe Bedeutung zu. Durch den Konsum kommt etwa zum Ausdruck, in welchen Produktionsbereichen der Volkswirtschaft noch unbefriedigte Konsumentenwünsche vorliegen bzw. erweckt werden. Nachfrage, Angebot und das Erwecken von Konsumentenwünschen hängen eng zusammen, so daß Annahmen über die Nachfrage auch Betrachtungen des Angebots mit einschließen müssen. Die Nachfrage des Staates ist abhängig von der erwarteten Deregulierung und Privatisierung in verschiedenen Bereichen. Außerdem stehen die Produkte des Staates teilweise in Konkurrenz, teilweise in komplementärer Beziehung zu privaten Produkten. Die Nachfrage des Sektors Export hängt wesentlich von der wirtschaftlichen Aktivität der Bundesrepublik, aber auch anderer Länder ab. Hier spielen auch politische Faktoren eine Rolle.

Die Eingabe der Nachfrage erfolgt auf zwei Ebenen. Auf der aggregierten Ebene muß für die gesamte exogene Nachfrage eine Wachstumsrate eingegeben werden. Auf der darunter liegenden Ebene müssen für die verschiedenen Nachfragekomponenten Wachstumsraten oder -elastizitäten (Verhältnis der Wachstumsrate eines Sektors zur Gesamtnachfrage) eingegeben werden.

Für die Importquote der Volkswirtschaft können in den Zielperioden 2005 und 2020 Vorgaben gemacht werden. Die Importquote ist definiert als $m = \frac{M}{M + W}$ mit m: Importquote, M: Importe und W: Wertschöpfung.

Für die Abschreibungsdauern der Kapitalgüter müssen für die verschiedenen Sektoren Vorgaben gemacht werden. Bei einer solchen Schätzung ist zu berücksichtigen, daß eine Verkürzung der Lebensdauer tendenziell eine Intensivierung der Ersatzinvestitionen und gleichzeitig eine Senkung des Kapitalbestands bewirkt.

⁴¹ Wolfgang Pfaffenberger/ Wolfgang Ströbele: Makroökonomisches Informationssystem Ikarus, Band 1, Beschreibung des Modells MIS, Version 4, Oldenburg 1995, S. 24

Die Arbeitsproduktivität ist im Modell in Form einer linearen Funktion $\pi = \alpha + \beta g_w$ berücksichtigt. Danach wird unterstellt, daß die Arbeitsproduktivität π umso höher ist, je stärker das Wachstum g eines Produktionssektors w ist. Die Parameter α und β können vom Benutzer vorgegeben werden, ebenso wie das Maximum μ .

Für die Bevölkerungsentwicklung wird im Referenzfall die Verwendung der siebten und für den Wachstumsfall die der achten koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes vorgeschlagen. Darüber hinaus kann der Benutzer andere Annahmen über die Bevölkerungsentwicklung treffen.

Die Investitionen werden im MIS-Modell nach Ersatz- und Nettoinvestitionen unterteilt. Die Nettoinvestitionen hängen ab von der Wachstumsrate der Wertschöpfung und dem jeweiligen Kapitalkoeffizienten. Die Ersatzinvestitionen lassen sich ermitteln anhand des Kapitalstocks der zu betrachtenden Periode sowie der Abschreibungsraten.

Neben dem Input-Output-Modell gibt es weitere Modelle im Rahmen des MIS. Mit Hilfe des IO-Generators soll der Benutzer neue Input-Output-Koeffizienten-Matrizen erstellen und so den Technikwandel abbilden. MIS stellt eine bestimmte Anzahl an solchen Matrizen bereit, um die Standard-Szenarien abzudecken. Im Kapitalstockmodell werden die Bestände an Kapital fortgeschrieben. Dazu werden sowohl die Lieferungen an diejenigen Sektoren abgebildet, die Investitionsgüter produzieren als auch die Produktionskapazitäten. Im Nachfragemodell hat der Benutzer die Möglichkeit, eigene Vorstellungen über bestimmte Substitutionsvorgänge, den Strukturwandel oder die Dynamik dabei in bestimmten Sektoren einzugeben. Im Energiemodell schließlich werden die Energieverbrauchswerte in grober Untergliederung nach Energieträgern ausgewiesen. Dieses geschieht anhand von Energieproduktivitätskennzahlen, die entweder per Trendfortschreibung oder aus dem Technikmodell gewonnen werden.

2.1.4 Sektorale Simulationsmodelle in IKARUS

Bei vielen Fragen, die einzelne Sektoren betreffen, ist das Optimierungsmodell nicht detailliert genug. Es wird daher in den Bereichen Strom/Fernwärme, Raumwärme und Verkehr durch sektorale Simulationsmodelle ergänzt. Die Ergebnisse dieser Simulationsmodelle können zur Modifizierung des Dateninputs für das Optimierungsmodell eingesetzt werden.

Im Raumwärmemodell wird der Gebäudebestand systematisch abgebildet. Das Modell liefert den Nutzwärme- und damit den Heizenergiebedarf pro Gebäudetyp sowie die damit verbundenen Kosten und Emissionen. Mit Hilfe dieses Modells können die möglichen Einsparpotentiale von Emissionsminderungsmaßnahmen (z.B. Wärmedämmung, Ersatz von alten Heizungskesseln durch neue) untersucht werden.

Im Strom-/Fernwärmemodell wird die öffentliche Strom- und Fernwärmeversorgung detailliert betrachtet. Ausgehend von den Anforderungen der Verbraucher (Energiemenge, zeitliche Verteilung) wird über den Transport und die Verteilung auf den Erzeugungsanlagenbestand zurückgerechnet. Der Bedarf muß, unterteilt nach Spannungs- und Wärmeebenen, angebotsseitig durch bestehende oder neu zu bauende Kraftwerke gedeckt werden. Der Kraftwerkspark wird nach einer bestimmten Reihenfolge (merit order) im Modell nach und nach zur Deckung des Energiebedarfs eingesetzt. Nach der Auswahl der einzusetzenden Kraftwerkstypen ergibt sich der Primärenergiebedarf einschließlich der Emissions- und Kostenbilanzen. Das Strom-/Fernwärmemodell bezieht sich nicht nur auf die drei im Optimierungsmodell betrachteten Jahr 1989, 2005 und 2020, sondern auch auf die Jahre dazwischen.

Das Verkehrsmodell besteht aus zwei Teilen. In einem ersten Teil werden, abhängig von Fahrzwecken, Beständen, Verkehrsarten, Besetzungszahlen, Fahrzyklen sowie Straßenarten, der Energieverbrauch sowie die Emissionen errechnet. In einem zweiten Teil wird die dadurch erforderliche Infrastruktur ermittelt.

2.1.5 Technikketten in IKARUS

Neben dem Optimierungsmodell, der gesamtwirtschaftlichen Einbettung und den Simulationsmodellen existiert noch ein viertes Element des Instrumentariums, die Technikketten. Der Benutzer kann mit den im Optimierungsmodell beschriebenen Technikplatzhalter, die durch stoffliche bzw. energetische In- und Outputs sowie spezifische Emissionen und Kosten charakterisiert und hinterlegt sind, Ketten bilden und diese als Aggregat analysieren und anderen Technikketten gegenüberstellen.

2.2 DAS MODELLSYSTEM DER DEUTSCHEN SHELL AG

Zunächst wird die Philosophie des Modellsystems der DSAG dargestellt, um daraufhin auf die Ermittlung der wichtigsten Parameter einzugehen.

2.2.1 Modellphilosophie

Beim Modellsystem der Deutschen Shell AG zur Erstellung von Langfrist-Energieszenarien handelt es sich um ein top-down Simulationsmodell mit qualitativen Ansätzen.⁴²

Im gesamten Modell werden nur die vier Grundrechenarten verwendet. Das ist möglich, weil das Modell mengenorientiert ist und Preisentwicklungen nur indirekt, d.h. über andere Modellgrößen, betrachtet werden. Dieses ist möglich aufgrund folgender Annahmen:

- Die Preiselastizität der Nachfrage ist in den meisten Energieverbrauchssektoren niedrig. Solange sich die Energiepreise nur wenig ändern, sind die Auswirkungen auf die Energienachfrage daher zu vernachlässigen.
- Eine signifikante Veränderung der Energiepreise (z.B. durch die Erhöhung der Steuer- und Abgabenbelastung auf Energie oder durch die Erhöhung der Disziplin in der OPEC) kann im Rahmen eines Szenarios unterstellt werden. Nun ist aber weder die genaue Höhe des zukünftigen Preises bekannt noch die Preiselastizität, die sich bei einer solch signifikanten Preisänderung einstellen würde. Die Schätzung des Preises einerseits und die Schätzung der Preiselastizität andererseits stellt daher einen Umweg dar, der die Einschätzung der zukünftigen Menge nicht erleichtert. Von daher kann auf diesen Umweg auch verzichtet werden und die Menge kann direkt geschätzt werden.

In Abbildung 4 ist das Modellsystem der Deutschen Shell AG im Überblick dargestellt.

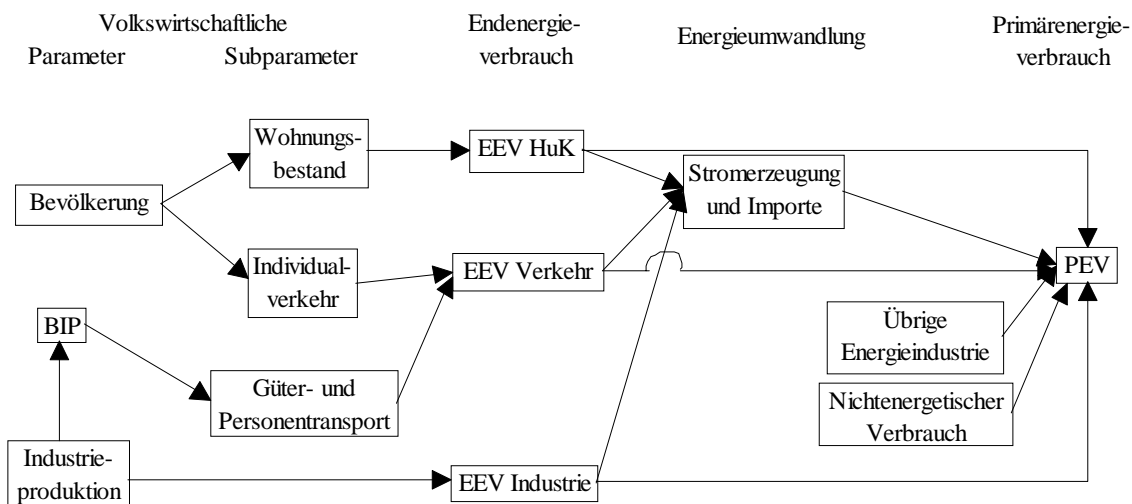
Dem Modell liegt die zentrale Annahme zugrunde, daß energiewirtschaftliche Entwicklungen, die in einem Verbrauchssektor ablaufen, grundsätzlich unabhängig sind von Entwicklungen in einem anderen Sektor. Das Modell basiert auf einer Reihe von Lotus 1-2-3-Kalkulationsblättern, von denen bestimmte Felder miteinander verknüpft sind. Grundsätzlich sind diese Kalkulationsblätter so angeordnet, daß jeweils im linken Teil die jährlichen Daten aus der Vergangenheit dokumentiert sind, während im rechten

⁴² Das folgende Kapitel basiert auf zwei Gesprächen mit Hn. Bernhard Westinner, Deutsche Shell AG, Abt. TRW, am 23.4.1996 und mit Herrn Roland-Helmut Bueb, Deutsche Shell AG, Abt. TRW, am 02.05.1996

Teil die Einschätzung über die zukünftigen Jahre erfolgt. Um die Einschätzung des Energiebedarfs in der Zukunft zu erleichtern, wird versucht, bestimmte Zeitreihen von Kennzahlen auszuwählen, deren weitere Entwicklung in der Zukunft berechenbar erscheint.

Die Kalkulationsblätter beinhalten Schätzungen über die Entwicklung der volkswirtschaftlichen Parameter und Subparameter, Berechnungen über die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den Bereichen Haushalte/ Kleinverbraucher, Industrie, Verkehr und nichtenergetischer Verbrauch sowie Berechnungen über die Entwicklungen im Umwandlungssektor und hier besonders im Stromsektor. In einem weiteren Kalkulationsblatt werden die Einzelergebnisse verdichtet und um bestimmte noch fehlende Angaben ergänzt, so daß sich als Ergebnis der geschätzte Primärenergieverbrauch ergibt. Abhängig vom Primärenergieverbrauch und von den verwendeten Techniken werden schließlich die CO₂-Emissionen errechnet.

Abbildung 4: Das Modellsystem der Deutschen Shell AG



Quelle: Deutsche Shell AG (Hrsg.): Höhere Effizienz bremst Verbrauch, Hamburg 1993, S. 6

Ausgangspunkt des Modells sind zwei Szenarien, in denen eine Kombination von Werten der wichtigsten volkswirtschaftlichen Parameter (Bevölkerung, Wirtschaftswachstum, Industrieproduktion, Größenordnung des Ölpreises u.a.) und verschiedener qualitativer Determinanten wie Umweltschutzgesetzgebung, politische Einflüsse und weiterer angenommener Ereignisse zusammengefaßt werden. Die Grundphilosophie in diesen Szenarien (z.B. freier Welthandel vs. Blockdenken) übernimmt die Deutsche

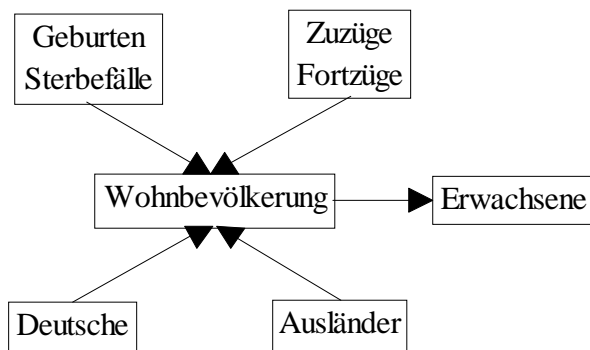
Shell AG dabei von der Konzernzentrale und verfeinert die Annahmen speziell für Deutschland.

Soweit für West- und Ostdeutschland noch stark unterschiedliche Werte bei bestimmten Kennzahlen vorliegen, wird in den verschiedenen Tabellen regional getrennt.

2.2.2 Volkswirtschaftliche Parameter

Eine der zentralen volkswirtschaftlichen Parameter für die beiden Szenarien ist die jeweilige Höhe der erwachsenen Wohnbevölkerung. Im Modell wird die Entwicklung getrennt nach natürlicher Bevölkerungsentwicklung (Geburten und Sterbefälle) und Außenwanderungen (Zu- und Fortzüge). Insbesondere die Zu- und die Fortzüge hängen dabei stark von den wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen ab und sind somit Bestandteil der Szenarienannahmen. Wegen der unterschiedlichen demographischen Daten zwischen Deutschen und Ausländern an der Wohnbevölkerung werden diese getrennt geführt. Das Schema des Bevölkerungsmodells ist in Abbildung 5 dargestellt.

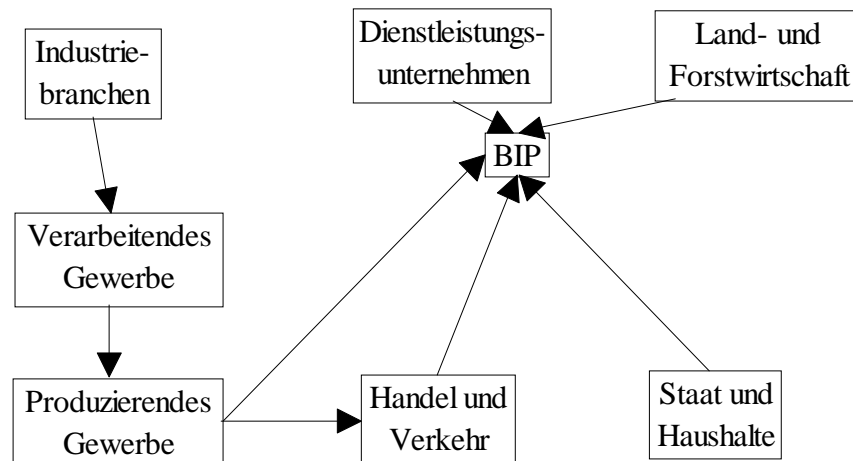
Abbildung 5: Bevölkerungsmodell bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Roland-Helmut Bueb, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 02.05.1996

Eine weitere wichtige Determinante des Modells ist die Wachstumsrate des Brutto- sozialprodukts. Diese ergibt sich im Shell-Ansatz durch eine Aggregation der Wachstumsraten in den einzelnen Wirtschaftssektoren Land- und Forstwirtschaft, Industrie, Dienstleistungen und Staat/ Haushalte.⁴³ Ein Teil der Dienstleistungen, nämlich der Bereich Handel und Verkehr, ist dabei in Abhängigkeit von der industriellen Produktion gesetzt. Vgl. hierzu auch Abbildung 6.

Abbildung 6: BIP-Modell bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Roland-Helmut Bueb, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 02.05.1996

2.2.3 Modell zur Bestimmung des Endenergieverbrauchs im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher

Innerhalb des HuK-Sektors ist besonders die Beheizung von Wohnungen als energieintensivster Verbrauchsart von Interesse. Die Ermittlung des hier nötigen Endenergiebedarfs erfolgt in zwei Schritten.

- In einem ersten Schritt wird die Beheizungsstruktur der Wohnungen ermittelt.
- In einem zweiten Schritt wird der Bedarf an Energie zur Beheizung eines Wohnungstyps ermittelt.
- Im dritten Schritt wird der so ermittelte Energiebedarf zur Beheizung aggregiert und um weitere Energiebedarfsmengen im Wohnungsbereich ergänzt, so daß sich insgesamt der Endenergieverbrauch im Haushalts- und Kleinverbraucherbereich ergibt.

Im folgenden werden diese Schritte nacheinander dargestellt.

2.2.3.1 Beheizungsstruktur

Zur Ermittlung der Beheizungsstruktur wird zunächst die Anzahl der nötigen Wohnungen ermittelt. Eine präzisere Darstellung anhand der Quadratmeter wird mangels

⁴³ analog zu Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.3 Hauptbericht, Stuttgart 1996

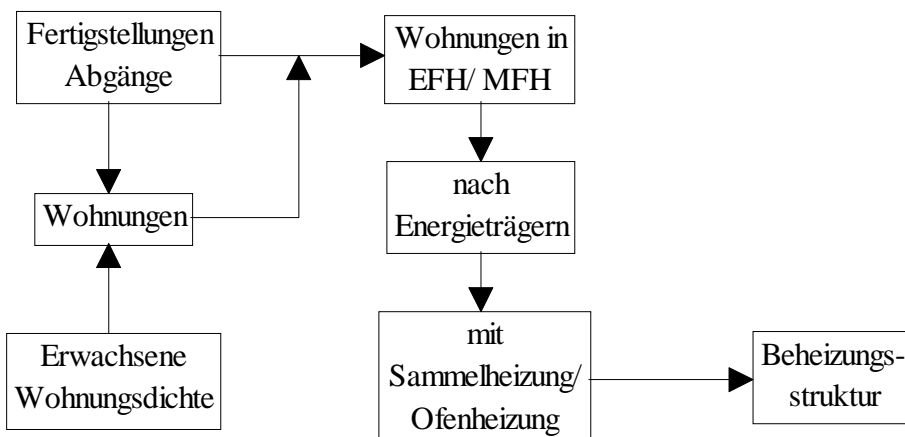
vorhandener Daten als nicht sinnvoll empfunden.⁴⁴ Die Ermittlung der Anzahl der Wohnungen geschieht zur besseren Überprüfung auf zwei Arten.

Erstens wird die im Bevölkerungsmodell errechnete Höhe der erwachsenen Wohnbevölkerung mit der geschätzten Wohnungsdichte (Wohnungen pro 1000 Erwachsene) multipliziert.

Zweitens läßt sich die Anzahl der Wohnungen aus den angenommenen Zu- und Abgängen errechnen. Für die Abgänge wird der Quotient aus Abgängen und Wohnungsbestand der vergangenen Jahre gebildet und für die Zukunft fortgeschrieben. Der Neubau an Wohnungen muß von der Größenordnung her durch die wirtschaftliche Entwicklung in der Baubranche gerechtfertigt sein und wird geschätzt.

Die so ermittelte Anzahl der Wohnungen muß nach beiden Rechnungen übereinstimmen. Solange Abweichungen entstehen, werden die Annahmen entsprechend verändert.

Abbildung 7: Ermittlung der Beheizungsstruktur bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Roland-Helmut Bueb, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 02.05.1996

Nachdem so der zukünftige Wohnungsbestand ermittelt wurde, wird der Wohnungsbestand nach Beheizungsarten aufgeschlüsselt. Dazu werden die Wohnungen weiter unterteilt nach Häuserart (Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser), nach Energieträgern (Heizöl, Erdgas, Strom, Fernwärme, Flüssiggas, sonstige) sowie nach Beheizungsart

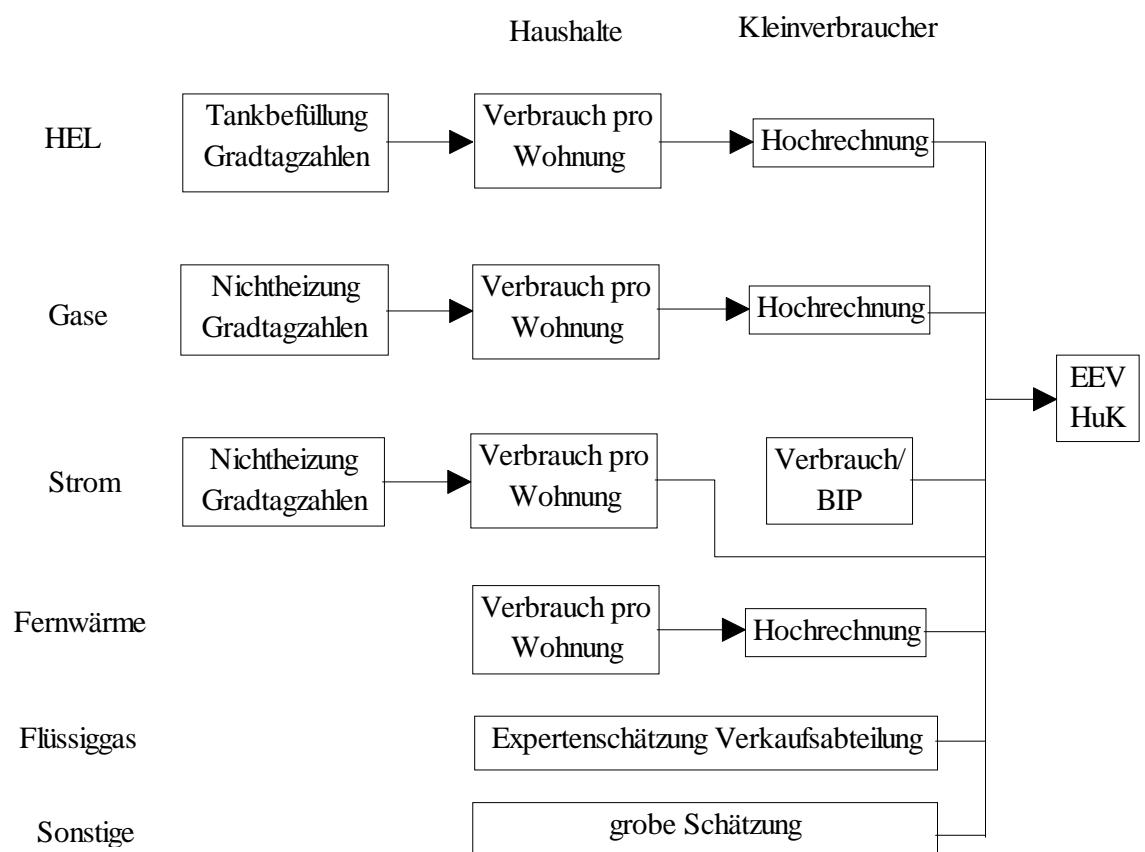
⁴⁴ Die Datenlage für die Haushalte und Kleinverbraucher ist generell verbesserungswürdig. So fehlen z.B. gesicherte Angaben über die Aufteilung innerhalb der Wohnungen zwischen beheizten und unbeheizten Flächen

(Einzel-, Sammelheizung). Für jede dieser Kombinationen wird die Anzahl der Wohnungen in den vergangenen Jahren analysiert. Anhand der Neubauten erhält man ein Indiz, wie sich der Wohnungsbestand von der Beheizung her entwickeln wird. Unter Berücksichtigung von Sättigungseffekten wird dann die Beheizungsstruktur für die Zukunft ermittelt, vgl. Abbildung 7.

2.2.3.2 Spezifischer Heizenergieverbrauch

Von der Beheizungsstruktur wird auf die Höhe des HuK-Endenergieverbrauchs geschlossen, indem zweifach unterteilt wird. Die erste Unterteilung erfolgt nach Haushalten einerseits und Kleinverbrauchern andererseits und die zweite Unterteilung wird nach Energieträgern vorgenommen, wie aus Abbildung 8 deutlich wird.

Abbildung 8: Spezifischer Energieverbrauch im HuK-Bereich bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Roland-Helmut Bueb, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 02.05.1996

Um zunächst einen Anhaltspunkt zu bekommen, inwieweit die Energienachfrage im letzten verfügbaren Jahr bestimmten Schwankungen unterlag, wird das Marktvolumen in den vergangenen Jahren um die Wettereinflüsse und um die Bestandsveränderungen beim Heizöl bereinigt.

Das Konzept der Gradtagzahlen funktioniert dabei folgendermaßen: Die Gradtagzahl ist definiert als die tägliche Abweichung zwischen 20 °C und der gemessenen Höchsttemperatur, sofern diese unter 15 °C liegt, summiert über die Tage in einer zu bestimmenden Periode, z.B. in einem Jahr. DSAG bezieht monatlich vom Deutschen Wetterdienst in Offenbach die Gradtagzahlen für 11 Städte und errechnet dann den Durchschnitt für Deutschland. Aus einem Vergleich der jährlichen Gradtagzahlen mit dem langjährigen Durchschnitt läßt sich erkennen, ob etwa eine erhöhte Nachfrage nach Heizenergie im letzten Jahr wetterbedingt war oder auf andere Einflüsse zurückzuführen ist. DSAG bereinigt im Modell diese wetterbedingten Nachfrageschwankungen.

Für die Heizölbestände verwendet DSAG Angaben von einer Marktforschungsgesellschaft⁴⁵, die stichprobenartige Befragungen durchführt.

Um eine erste grobe Annäherung an den spezifischen Energieverbrauch pro Energieträger zu erhalten, entnimmt DSAG den Haushaltsverbrauch der Vorjahre aus den Tabellen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen für die wichtigsten Energieträger (Heizöl, Gas, Strom, Fernwärme).

Der so ermittelte spezifische Energieverbrauch ist aber noch zu grob; er variiert noch stark in Abhängigkeit von der Beheizungsart (Einzel-/ Sammelheizung) und vom Haustyp (EFH, MFH). Für Erdgas und Heizöl kann sich DSAG hier auf Aussagen der jeweiligen Verkaufsabteilungen stützen, für die restlichen Energieträger sind genauere Aussagen noch nicht möglich.

Auf diese Weise ergibt sich der Heizenergiebedarf für die Haushalte. Um den gesamten Energiebedarf der Haushalte zu erfassen, müssen noch die Energiemengen hinzugerechnet werden, die nicht für die Beheizung verwendet werden, insbesondere bei Erdgas (z.B. Gasherd, Warmwasserbereitung) und Strom (elektrische Geräte, Warmwasserbereitung). Für die Vergangenheit ergeben sich diese Mengen aus der Differenzrechnung zwischen Gesamtenergieverbrauch und Verbrauch für die Beheizung.⁴⁶ Die Einschätzung über die zukünftige Entwicklung der nicht zur Beheizung eingesetzten Energiemengen erfolgt wegen des Arbeitsaufwands in aggregierter Form.

⁴⁵ GFM-GETAS, Hamburg

⁴⁶ Die Angaben über die zur Beheizung eingesetzte Energiemenge entnimmt DSAG Angaben der VdEW: Die öffentliche Elektrizitätsversorgung, 1994

Das Kleingewerbe ist ein Restposten. Er umfaßt alle Betriebe, die nicht zur Industrie zu zählen sind, aber auch keinen Haushaltscharakter haben (Bsp.: öffentliche Gebäude wie Krankenhäuser oder Schulen, Wäschereien usw.). Die Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs ist daher außerordentlich schwierig.

Für das Kleingewerbe orientiert sich die Verbrauchsentwicklung im DSAG-Modell bei den meisten Energieträgern daher an der Verbrauchsentwicklung im Haushaltssektor. Nur für Strom wird ein funktionaler Zusammenhang zwischen BIP-Wachstum und Energieverbrauch angenommen. Die Ursache dafür liegt in der Historie der Modellentwicklung: Früher nahm man an, daß Strom im Kleinverbraucher-Sektor weitgehend für Arbeitsprozesse verwendet wird und daß deren Ausmaß wiederum in engem Zusammenhang mit der BIP-Entwicklung steht.

Durch die Aggregation des Endenergieverbrauchs in den Haushalten und bei den Kleinverbrauchern ergibt sich schließlich der gesamte Endenergieverbrauch im HuK-Sektor.

2.2.4 Industriemodell

Die Ermittlung des Endenergieverbrauchs für den Bereich Industrie erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird die Höhe des Endenergieverbrauchs insgesamt ermittelt. Im zweiten Schritt wird dieser Endenergieverbrauch auf die einzelnen Energieträger verteilt (modal split), vgl. Abbildung 9.

Die Höhe des Energieverbrauchs ergibt sich aus der Multiplikation der Höhe der industriellen Nettoproduktion und dem spezifischen Energieverbrauch pro Energiebranche.

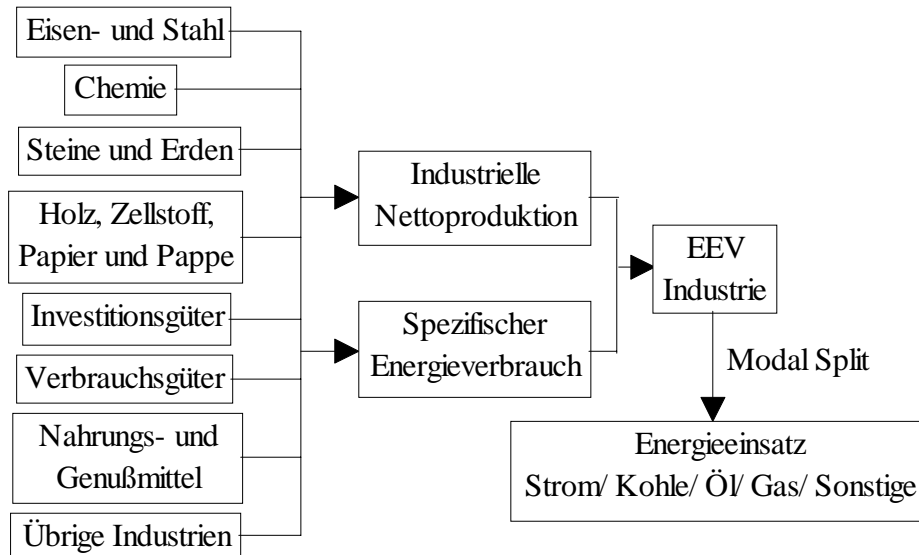
Die Wachstumsraten der industriellen Nettoproduktion werden im BIP-Modell anhand von Einschätzungen aus Fachzeitschriften usw. geschätzt.

Die Höhe des spezifischen Energieverbrauchs ist in jeder Branche, sogar für jeden Prozeß verschieden. Anstatt jede Technik einzeln darzustellen, beschränkt sich DSAG auf die Betrachtung einiger weniger Techniken. Das Vorgehen wird im folgenden am Beispiel des Industriezweigs Eisenschaffende Industrie dargestellt.

Der wichtigste Prozeß innerhalb der Eisenschaffenden Industrie ist die Erzeugung von Rohstahl, wenn man die Wertschöpfung und die eingesetzte Energiemenge be-

trachtet. Der zur Erzeugung von Rohstahl nötige spezifische Energieverbrauch unterscheidet sich je nach Einsatz von Roheisen (Oxygenstahl) oder Elektrostahl (besteht aus Roheisen und Schrott) als Input. Für beide spezifischen Energieverbrauchsarten können Informationen aus den Fachzeitschriften oder durch Befragungen beim Industrieverband beschafft werden.

Abbildung 9: Industriemodell bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Bernhard Westinner, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 23.4.1996

Nachdem nun die einzelnen spezifischen Energieverbräuche geklärt sind, kommt es für die Einschätzung des zukünftigen Energieverbrauchs der Eisenschaffenden Industrie darauf an, wie hoch zukünftig die Anteile von Roheisen und Elektrostahl zur Produktion von Rohstahl sein werden.

Zur Abbildung dieser Frage werden drei Kennzahlen verwendet:

- die Gesamt-Wertschöpfung des Industriezweiges pro produzierter Tonne Rohstahl,
- das Verhältnis von Elektrostahl zu Rohstahl sowie
- das Verhältnis von Roheisen zu Rohstahl.

Die Veränderung dieser Kenngrößen muß geschätzt werden anhand von Informationen der Verbände, durch Literaturangaben oder durch Befragungen.

Zur Deckung des Energiebedarfs der Eisenschaffenden Industrie kommen grundsätzlich nicht alle Energieträger in Betracht. Z.Z. werden im wesentlichen wahlweise Öl oder Kohle eingesetzt; die anderen Energieträger scheidet aus Kostengründen (z.B. Erdgas) oder aus technischen Gründen (z.B. Kernkraft, Fernwärme) aus. Die Entscheidung darüber, welcher Energieträger in der Zukunft verstärkt zum Einsatz kommt, hängt maßgeblich von der Höhe der Energieträgerpreise und insbesondere vom Ölpreis ab.

Auf diese Weise ergibt sich die Höhe des Endenergieverbrauchs der eisenschaffenden Industrie pro Energieträger. Für die anderen Industriezweige funktioniert das Verfahren analog. Shell trennt nach den Industriezweigen Eisenschaffende Industrie, Chemische Industrie, Steine und Erden, Holz/ Zellstoff/ Papier und Pappe, Investitionsgüterindustrie, Verbrauchsgüterindustrie, Nahrungs-/ Genußmittelindustrie sowie Übrige Industrien und stellt darüber hinaus eine Kontrollrechnung über alle Industriezweige in aggregierter Form an.

2.2.5 Verkehrsmodell

Das Verkehrsmodell ist bei der Deutschen Shell AG als Mineralölkonzern naturgemäß relativ ausführlich.

DSAG unterteilt zwischen (motorisiertem) Individualverkehr und dem Transport von Gütern und Personen.

2.2.5.1 Individualverkehr

Die Höhe des jährlichen Kraftstoffverbrauchs im motorisierten Individualverkehr hängt ab von folgenden Determinanten:

- Bestand an zugelassenen Pkws, aufgeteilt nach Antriebsart (Otto-/ Dieselmotor, sonstiges)
- spezifischer Pkw-Verbrauch (Kraftstoffverbrauch für eine bestimmte Strecke, z.B. in l / 100 km)
- jährliche Fahrleistungen.

Der Pkw-Bestand hängt rechnerisch ab von den jährlichen Neuzulassungen und Löschungen. Diese Größen hängen wiederum ab vom jährlichen Ersatzbedarf sowie von den Netto-Neuzugängen.

Ersatzbedarf von Pkws ergibt sich dann, wenn Pkws ihre Nutzungsdauer erreicht haben. Die Höhe des Ersatzbedarfs wird in Tabellen anhand der Neuzulassungen der Vergangenheit ermittelt. Dabei wird angenommen, daß die Pkw-Flotte nach dem Ende der Nutzungsdauer erneuert werden muß.

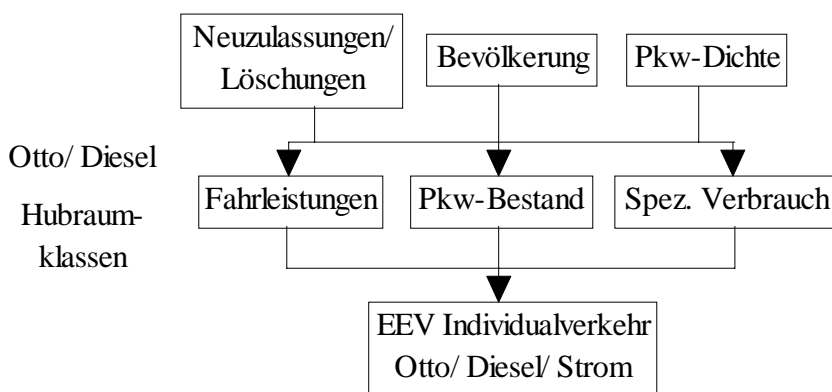
Die Höhe der Netto-Neuzulassungen hängt ab von der Höhe der erwachsenen Bevölkerung (aus dem Bevölkerungsmodell) und von der Pkw-Dichte, die ihrerseits insbesondere von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängt. Auch Sättigungsüberlegungen spielen hier eine Rolle.

Beide Größen zusammen - Neuzulassungen und Löschungen - ergeben den Pkw-Bestand. Dieser wird nach Alter, Hubraumklassen und Antriebsarten gegliedert.

Abhängig von den Anteilen der verschiedenen Antriebsarten und von den Hubraumklassen wird der spezifische Kraftstoffverbrauch für die Vergangenheit ermittelt. Der spezifische Kraftstoffverbrauch pro Pkw-Typ wird für die Zukunft anhand der Angaben der Automobilhersteller eingeschätzt.

Die jährlichen Fahrleistungen pro Pkw hängen eng zusammen mit der wirtschaftlichen Entwicklung und nehmen üblicherweise in den beiden Szenarien verschiedene Werte an.

Abbildung 10: Endenergieverbrauch Individualverkehr bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Bernhard Westinner, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 23.4.1996

Insgesamt läßt sich durch die Multiplikation des Pkw-Bestands mit dem spezifischen Verbrauch (abhängig von der Altersstruktur, der Antriebsart und den Hubraumklassen) und den jährlichen Fahrleistungen der Endenergieverbrauch im motorisierten Indivi-

dualverkehr bestimmen. Grafisch ist diese Vorgehensweise in Abbildung 10 veranschaulicht.

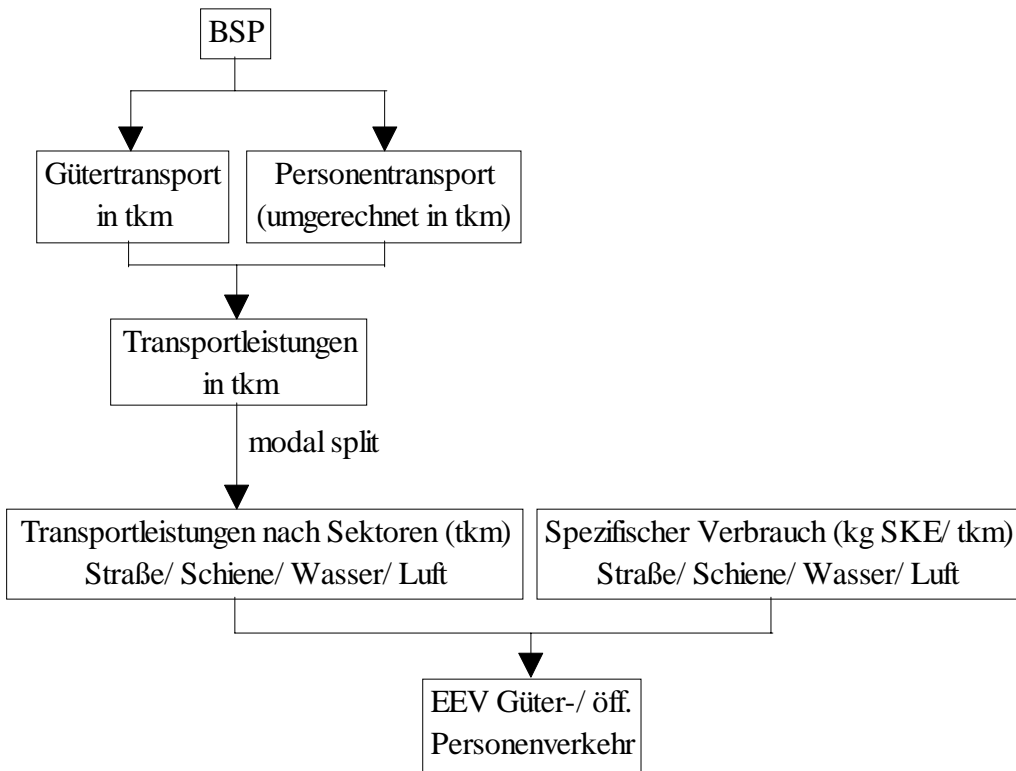
2.2.5.2 Gütertransport und öffentlicher Personentransport

Die zweite Komponente des Endenergieverbrauchs im Verkehr liegt im Transport von Gütern und im nicht-individuellen Personenverkehr (öff. Personentransport).

Zur Modellierung dieses Bereichs wird angenommen, daß Güter- und Personentransportleistungen abhängen von der wirtschaftlichen Entwicklung. Das Volumen der Transportleistungen wird jeweils geschätzt.⁴⁷ Aus Vereinfachungsgründen wird die Personenverkehrsleistung von Personenkilometer in Tonnenkilometer umgerechnet (z.B. 1 Person = 100 kg). Die so errechnete Gesamtverkehrsleistung wird nach Verkehrssektoren (Straße, Schiene, Wasser, Luft) aufgeteilt. Die Änderung der Anteile der einzelnen Verkehrsträger am Gesamtvolumen wird im Rahmen der Szenarien geschätzt. Aus der Multiplikation mit dem spezifischen Verbrauch (z.B. in kg SKE/ tkm) ergibt sich der EEV für den Güter- und den öffentlichen Personenverkehr.

⁴⁷ Literatur: DIW: Verkehrstaschenbuch

Abbildung 11: Güter- und öffentlicher Personentransport bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Bernhard Westinner, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 23.4.1996

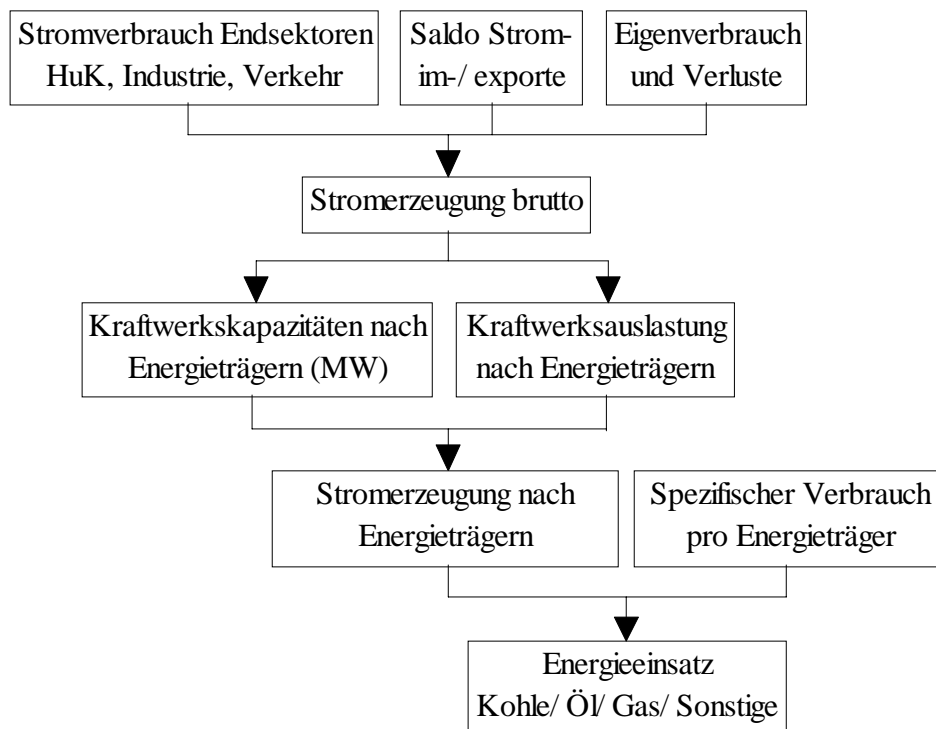
Um zum Endenergieverbrauch für den Verkehr zu kommen, werden nun noch die Anteile der einzelnen Energieträger zur Deckung des gesamten Verkehrsaufkommens geschätzt. Als Ergebnis erhält man den Endenergieverbrauch Verkehr, vgl. Abbildung 11.

2.2.6 Stromerzeugung

Eingangsgrößen in das Teilmodell für die Stromerzeugung sind die Zwischenergebnisse für den Endenergieverbrauch an Strom aus den anderen Teilmodellen für die Bereiche HuK, Industrie und Verkehr.

Um zur Brutto-Strommenge zu kommen, die im Inland produziert werden muß, muß zur Summe der Endenergieverbräuche der Saldo aus Stromim- und -exporten sowie der Eigenverbrauch und die Leitungsverluste addiert werden, die zu schätzen sind. Anhaltspunkte über die Höhe dieser Posten erhält Shell durch VIK oder VdEW.

Abbildung 12: Stromerzeugung bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Bernhard Westinner, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 23.4.1996

Zur Erzeugung der Brutto-Strommenge müssen ausreichend Kapazitäten vorhanden sein. Wird eingeschätzt, daß das für die Zukunft nicht der Fall ist, dann muß eine Verteilung auf die zur Stromerzeugung einzusetzenden Energieträger anhand der Kapazitäten und der Auslastungsgrade im Kraftwerkssektor vorgenommen werden. Zur Zeit wird der Strombedarf Deutschlands folgendermaßen gedeckt: Im Grundlastbereich wird im wesentlichen Braunkohle und Kernkraft eingesetzt, im Mittellast ist dies im wesentlichen die Steinkohle und zur Deckung der Spitzenlast die übrigen Energieträger wie Öl, Gas und Wasserkraft. Z.Z. herrscht bei DSAG die Einschätzung vor, daß für diese Struktur der Stromerzeugung zukünftig keine nennenswerten Unterkapazitäten bestehen werden, so daß der Engpaß Kapazität nicht berücksichtigt zu werden braucht.

Nachdem die Verteilung der Stromerzeugung auf die Kraftwerkstypen erfolgt ist, müssen noch die Wirkungsgrade der Kraftwerke berücksichtigt werden, um den Energieeinsatz pro Energieträger zu erhalten. Die dazu nötigen Daten entnimmt DSAG der Fachliteratur. Vgl. hierzu Abbildung 12.

2.2.7 Sonstige Energieindustrien

Die sonstigen Umwandlungsbereiche (Raffinerien, Fernwärme, Gasveredelung usw.) werden in einem eigenen Modell betrachtet. Hier kommt es vor allem auf die Höhe der Verluste an, die bei der Umwandlung von einer Energieform in die nächste entsteht.

Die Einschätzung über die Wirkungsgrade in diesen Bereichen erfolgt in aggregierter Form.

2.2.8 Nichtenergetischer Verbrauch

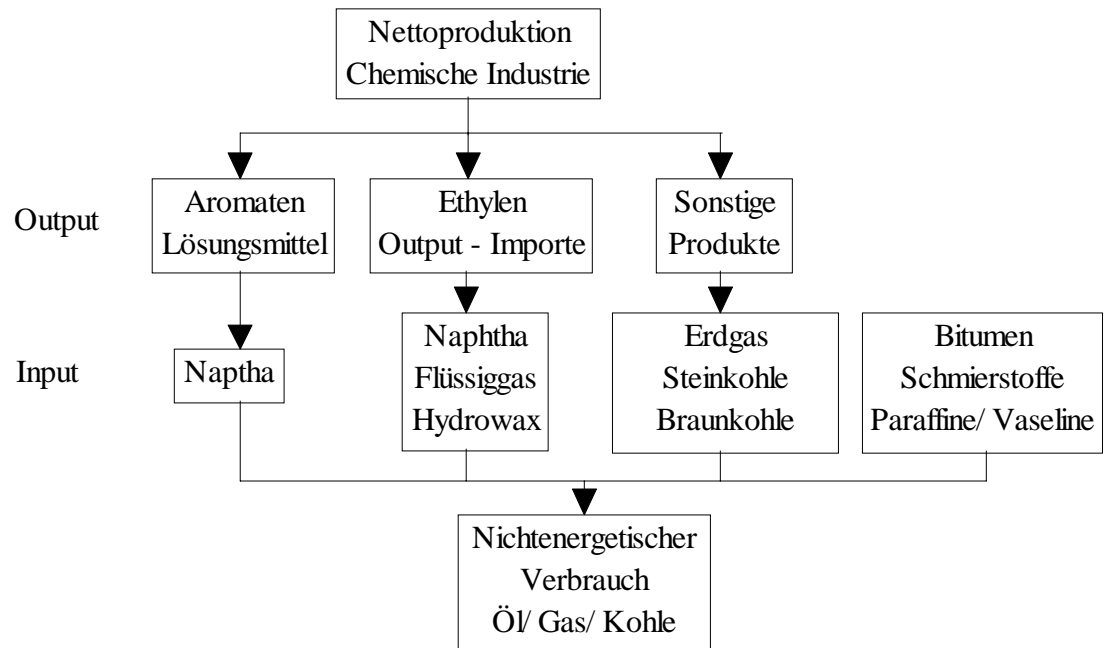
Der nichtenergetische Verbrauch findet im wesentlichen in der chemischen Industrie statt.

Im Modell wird angenommen, daß ein Teil des nichtenergetischen Verbrauchs von Energieträgern eng mit der Höhe des Wachstums der Nettoproduktion der chemischen Industrie zusammenhängt; ein anderer Teil ist davon weitgehend unabhängig.

Die Produktion in der chemischen Industrie, zu deren Zweck Energieträger als Rohstoff Einsatz finden, sind im wesentlichen Aromaten und Lösungsmittel sowie Ethylen. Im Produktionsprozeß wird zur Herstellung von Aromaten und Lösungsmitteln Naphtha eingesetzt; zur Produktion von Ethylen wird Naphtha, Flüssiggas und Hydrowax eingesetzt. Die Entwicklung der Effizienz in den Produktionsprozessen wird fortgeschrieben. Der Teil des nichtenergetischen Verbrauchs, der nicht auf den Energieträger Mineralöl entfällt, wird aggregiert betrachtet.

Bei bestimmten Mineralölprodukten ist die Zuordnung zum Index der Nettoproduktion der chemischen Industrie nicht so stark ausgeprägt, so daß für diese Produkte (Bitumen, Schmierstoffe, Paraffine/ Vaseline) eigene Betrachtungen angestellt werden.

Abbildung 13: Nichtenergetischer Verbrauch bei DSAG



Quelle: Information von Herrn Roland-Helmut Bueb, DSAG, Abt. TRW, Hamburg, 02.05.1996

Die Höhe der Produktion in der chemischen Industrie entnimmt Shell den Prognosen des Verbands der chemischen Industrie VCI sowie von Mitarbeitern der DSAG-Tochtergesellschaft Deutsche Shell Chemie AG, Eschborn.

Dabei ist die Abgrenzung der VDI-Statistik anders als die der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, so daß DSAG nur die Dynamik aus den VDI-Prognosen übernimmt, nicht aber die Abgrenzung selbst.

Eine Veranschaulichung dieser Vorgehensweise findet sich in Abbildung 13.

2.2.9 Ermittlung des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen

Die Höhe des Primärenergiebedarfs ergibt sich bei DSAG als Summe aus den Primärenergieverbräuchen in den Sektoren HuK, Industrie, Verkehr sowie aus den Umwandlungsverlusten und dem nichtenergetischen Verbrauch.

An die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs schließt sich die Ermittlung der CO₂-Emissionen an. Die Höhe der CO₂-Emissionen wird im DSAG-Modell ermittelt, indem der Primärenergieverbrauch pro Energieträger mit energieträgerspezifischen Faktoren multipliziert und anschließend addiert wird.

2.3 DAS MODELLSYSTEM DER HAMBURGISCHEN ELECTRICITÄTS-WERKE AG (HEW)

2.3.1 Modellphilosophie

Aufgrund von Demarkations- und Konzessionsverträgen hatten die HEW zum Zeitpunkt der Befragung am 3.7.1996⁴⁸ ein geschlossenes Versorgungsgebiet in Hamburg. Die Auswirkungen der Einigung auf EU-Ebene über die Liberalisierung im Strommarkt waren noch nicht in das Modell eingearbeitet.

Die HEW erstellen zweimal pro Jahr eine Absatzmengenschätzung für das Hamburger Gebiet über die nächsten 10 Jahre. Wegen der besonderen Marktstruktur ist die Absatzmenge der HEW nahezu identisch mit den Endenergieverbrauchsmengen für die Energieträger Strom und Fernwärme in Hamburg. Eine Differenz in Höhe von 3 % der Verbrauchsmenge ergibt sich durch Eigenerzeugung. Die Absatzmengenschätzungen für Strom und Fernwärme fließen ein in die jeweilige Lastschätzung, die Erlösplanung und die Erzeugungs-/ Kapazitätsplanung pro Produkt. Letztere beinhaltet eine Abschätzung des Primärenergieverbrauchs der HEW.

Die HEW erstellen kein komplettes Energiemodell über alle Energieträger; es werden lediglich die Energieträger Strom und Fernwärme betrachtet. Um mit Hilfe des Absatzmodells die Verkaufserlöse ermitteln zu können, werden die Kunden nicht, wie bei vielen anderen Modellen üblich, in die Gruppen "Haushalte und Kleinverbraucher", "Industrie" und "Verkehr" unterteilt, sondern nach Vertragstypen (Preiskategorien). Darüber hinaus wird für die technische Planung eine Unterteilung nach Spannungsebenen (Hoch-, Mittel-, Niederspannung) vorgenommen.

Beim Absatzplanungsmodell der HEW handelt es sich um ein quasi-dynamisches Simulationsmodell mit Top-Down-Approach. Im Modell wird an vielen Stellen mit Extrapolation, ergänzt um eigene Annahmen, gearbeitet. Das Modell ist an vielen Stellen nicht rechnergestützt. Insbesondere die Regressionen bestimmter Größen werden teilweise auf Millimeterpapier gezeichnet. Wie auch bei DSAG wird keine Preiskompo-

⁴⁸ Das folgende Kapitel basiert auf einem Gespräch mit Herrn Gunther Rost, HEW, Abt. VP, und Frau Sönnichsen, HEW, Abt. VP, am 3.7.1996 mit dem Schwerpunkt Absatzplanung, und auf einem weiteren Gespräch mit Herrn Dieter Nitz, HEW, Abt. EV, am 15.8.1996 mit dem Schwerpunkt Produktionsplanung.

nente der Energieträger in die Endenergieverbrauchsabschätzung einbezogen; es handelt sich um eine reine Mengenbetrachtung.

Beim Produktionsplanungsmodell handelt es sich ebenfalls ein quasi-dynamisches Simulationsmodell mit Top-Down-Approach und mit nur impliziter Berücksichtigung der Preise. Allerdings sind hier die Zeitintervalle stark verfeinert. Darüber hinaus basiert das Modell auf FORTRAN-gestützten Rechenalgorithmen.

2.3.2 Volkswirtschaftliche Parameter

Die Ist-Entwicklung der Bevölkerung entnehmen HEW Angaben des Statistischen Landesamtes und eigener Schätzungen. Die Informationen aus externen Bevölkerungsprognosen (z.B. durch das Statistische Landesamt oder durch Prognos) fließen in die eigene Prognose ein.

Die Einschätzung der zukünftigen BIP-Wachstumsraten erfolgt anhand eigener Einschätzungen.

2.3.3 Ermittlung des Stromverbrauchs

2.3.3.1 Haushaltsbereich ohne Beheizung

Die Ermittlung des zukünftigen Stromverbrauchs erfolgt anhand zweier Berechnungen.

Ausgangspunkt der Berechnungen ist die Anzahl der Kassenzahlen⁴⁹, die im Vertrieb bekannt ist. Die zukünftige Entwicklung der Kassenzahlen wird anhand einer groben Extrapolation abgeschätzt. Bei dieser Schätzung werden speziell die geschätzten Entwicklungen über die Bevölkerungsentwicklung und die Anzahl der Bewohner pro Wohnung berücksichtigt.

Zweitens wird der spezifische Stromverbrauch pro Kassenzahl ermittelt. Auch hier wird eine Extrapolation betrachtet; allerdings fließen hier umfangreiche Daten bzgl. der spezifischen Energieverbräuche pro Wohnung in die Betrachtung ein. Die Daten wurden anhand von Kundenbefragungen ermittelt. Jedes elektrische Gerät (Herde, Geschirrspüler, Kühl-/ Gefrierschränke incl. Kombinationen, Waschmaschinen, Wäsche-

⁴⁹ Die Anzahl der Kassenzahlen unterscheidet sich von der Anzahl der Kunden, da ein Kunde mehrere Kassenzahlen besitzen kann, wenn er z.B. mehrere Wohnungen besitzt

trockner usw.) wird eigens bzgl. des spezifischen Energieverbrauchs untersucht. In diese Untersuchung fließen auch die Auswirkungen der Entwicklungen bei der Altersstruktur der Wohnungen, der Altersstruktur der Bevölkerung, den Zu- und Fortzügen, des Gerätealters, des Sättigungsgrades bei der Ausstattung mit elektrischen Haushaltsgeräten usw. ein. Darüber hinaus erfolgt ein Abgleich mit anderen Untersuchungen.

2.3.3.2 Nachtspeicherheizung

Der Strombedarf der Nachtspeicherheizungen wird durch eine Beobachtung der Entwicklung der Zahl der Anlagen bei den Kunden, der Kapazität dieser Anlagen (sog. Anschlußwert) und des spezifischen Verbrauchs ermittelt. Das dabei verwendete Verfahren ist im Prinzip extrapolativ. Hilfsgröße ist dabei die Benutzungsdauer (pro Jahr in %), multipliziert mit dem Anschlußwert. Den geplanten Benutzungsdauern liegen normale Außentemperaturen bzw. Witterungsverhältnisse zugrunde; sie werden durch Regressionsrechnungen ermittelt.

2.3.3.3 Industrielle Großkunden

Die HEW besitzt eine überschaubare Reihe von Großkunden. Die Einschätzung der zukünftigen Abnahmen dieser Kunden erfolgt durch die Kundenbetreuer, d.h. die Vertriebsingenieure, der HEW. Das gilt auch für die Abnahmen der Deutschen Bahn und des Hamburger Verkehrsverbunds.

2.3.3.4 Kleinverbrauchergeschäft

Ca. 40 % des Stromabsatzes der HEW entfällt auf das Kleinverbrauchergeschäft. Darunter versteht man bei HEW zum großen Teil Dienstleistungsbetriebe, aber auch kleinere oder mittelgroße Industriebetriebe. In der Vergangenheit konnte ein enger Zusammenhang zwischen dem allgemeinen Wirtschaftswachstum und dem Stromverbrauch dieser Betriebe beobachtet und mit Hilfe einer Regression analysiert werden. Mit Hilfe von Koeffizienten wird die künftige Entwicklung unter bestimmten Annahmen über das Wirtschaftswachstum ermittelt.

2.3.3.5 Blockheizkraftwerke

In den letzten Jahren erzeugten vor allem gewerbliche HEW-Sondervertragskunden Strom verstärkt in Eigenfertigung, vor allem durch Blockheizkraftwerke. HEW-Absatzmenge und Stromverbrauch in Hamburg unterscheiden sich um diese Größe, so daß bei der Absatzplanung die Eigenfertigung zunächst eliminiert werden muß. Der

Umfang der Eigenerzeugung in Blockheizkraftwerken wird separat geschätzt. Hier sind die HEW auf Angaben der Betreiber solcher BHKWs und wiederum auf die Einschätzung der Kundenbetreuer angewiesen. Um zum Stromverbrauch zu kommen, sind die BHKW-Einflüsse schließlich mengenmäßig in die Resultate einzubeziehen.

2.3.4 Ermittlung des Fernwärmeverbrauchs

Das Fernwärmemodell der HEW fällt bedeutend kleiner aus als das Strommodell, da es für Fernwärme nur einige wenige Anwendungsbereiche gibt: Beheizung bei Haushalten und Kleinverbrauchern und Prozeßwärme für die Industrie.

Die Anzahl der HuK-Wohneinheiten, die mit Fernwärme versorgt werden, ist in Hamburg eine Zielvorgabe, die mit dem Rathaus "ausgehandelt" wird.⁵⁰ Die Anzahl der Wohneinheiten wird multipliziert mit der spezifischen Fernwärmeverkaufsmenge pro Wohneinheit. Diese ergibt sich wiederum aus einer Multiplikation zweier Größen: der stündlichen Heizwasserdurchflußmenge pro Wohneinheit, ausgedrückt in l/h und dem spezifischen Wärmeverkauf (-bedarf) in kWh pro Liter Heizwasserdurchfluß. Der spezifische Wärmeverkauf ist eine technische Größe; die Heizwasserdurchflußmenge der Wohnung wird anhand einer Regression für die Vergangenheit ermittelt und für die Zukunft fortgeschrieben.

Für den Industriebereich erfolgt eine Einschätzung wiederum individuell anhand der einzelnen Großkunden. Die dazu nötigen Informationen werden von den HEW-Kundenbetreuern gesammelt und dann ausgewertet.

2.3.5 Ermittlung des Primärenergieverbrauchs

Der Primärenergieverbrauch der HEW wird im Rahmen der Produktionsplanung ermittelt. Diese wird im folgenden kurz beschrieben.

Grundlage der Produktionsplanung ist der jährliche Absatz an Strom und Fernwärme, der im Rahmen der Absatzplanung ermittelt wurde (s.o.). Die Absätze werden um die jeweiligen Leitungsverluste korrigiert, so daß sich die jährlich ins Netz einzuspeisenden Mengen ergeben. Der Absatz an Strom und Fernwärme ist nicht über das Jahr hinweg konstant, sondern ändert sich im Lauf der verschiedenen Jahreszeiten, im Lauf der Wo-

⁵⁰ Telefax von Herrn Gunther Rost am 19.9.1996, S. 3

che und im Lauf des Tages. Daneben können Strukturveränderungen beim Absatz eine Rolle spielen (z.B. während der Schulferien). Die Angabe des Jahresabsatzes allein reicht also nicht aus, um die bereitzuhaltende Kapazität ermitteln zu können. Daher werden die Absatzintervalle in FORTRAN-Modellen bis auf Halbstundenintervalle verfeinert. Der Absatz läßt sich nach dieser Verfeinerung in Lastkurven darstellen.

Der Absatz muß mit Hilfe des eigenen Kraftwerksparks oder durch Mengenausgleich mit anderen Energieversorgungsunternehmen gedeckt werden. Zunächst wird simuliert, welche Kraftwerke wie eingesetzt werden müssen, um den Bedarf an Fernwärme zu decken (Kraftwerkseinsatzplanung). Dazu werden der Reihe nach diejenigen Kraftwerke mit den geringsten variablen Kosten, hauptsächlich den Brennstoffkosten, ausgewählt. Beim Einsatz von Heizkraftwerken fallen Fernwärme und Strom in Kuppelproduktion an. Bei der Ermittlung der Bedarfsdeckung von Strom stehen die in Heizkraftwerken produzierten Mengen an Strom daher fest.

Im Rahmen der Einsatzplanung für Strom werden nun die restlichen Kraftwerke aus dem gegebenen Kraftwerkspark ausgewählt, um den Strombedarf für Grund-, Mittel- und Spitzenlast decken zu können. Hier gehen die HEW wiederum nach dem Kostenzuwachsverfahren vor. Vorab feststehende Änderungen im Kraftwerkspark (Neubau, Ersatz durch andere Kraftwerkstypen, wartungsbedingte Stillstände usw.) werden bei diesen Überlegungen berücksichtigt. Nachdem ermittelt worden ist, welche Kraftwerke mit welcher Leistung eingesetzt werden, kann der Brennstoffeinsatz ermittelt werden, der gleichzeitig dem Primärenergieverbrauch entspricht. Dieses geschieht individuell pro Kraftwerk anhand des jeweiligen Wirkungsgrades. Der auf diese Weise ermittelte Brennstoffeinsatz stellt keine Prognose dar, sondern ist vielmehr eines von mehreren Szenarien.

2.3.6 Ermittlung der Emissionen

Ausgehend vom Brennstoffeinsatz werden mit fixen Koeffizienten die Emissionen an CO_2 , SO_2 , NO_x , Stäuben und Flugaschen sowie sonstigen Rückständen errechnet.

2.4 DAS MODELL DER HAMBURGER GASWERKE GMBH (HEIN GAS)

2.4.1 Modellphilosophie

Auch die Hamburger Gaswerke hatten zum Zeitpunkt der Befragung am 18.7.1996⁵¹ ein geschlossenes Versorgungsgebiet. Wie bei den HEW ist die Absatzmenge auch bei den HGW wegen der besonderen Marktstruktur identisch mit den Endenergieverbrauchsmengen für Erdgas. Ausgehend von den Absatzmengenprognosen wird die Planung der Beschaffung durchgeführt.

Die Hamburger Gaswerke planen ihren Absatz für 5 Jahre im voraus. Dabei wird für jede Kundengruppe getrennt vorgegangen.

Vom Prinzip her ähneln sich das HGW- und das HEW-Modell sehr. Das HGW-Modell ist auch ein quasi-dynamisches Simulationsmodell mit Top-Down-approach. Im Modell wird an vielen Stellen mit Extrapolation, ergänzt um eigene Annahmen, gearbeitet. Es wird keine Preiskomponente der Energieträger in die Endenergieverbrauchsabschätzung einbezogen; es handelt sich um eine reine Mengenbetrachtung.

In allen Betrachtungen wird der Einfluß des Wetters auf die vergangenen Absatzmengen eliminiert. In der Zukunft wird von Jahresdurchschnittstemperaturen ausgegangen. Diese Jahresdurchschnittstemperaturen werden in unregelmäßigen Abständen an die sich im Zeitablauf verändernden Klimabedingungen angepaßt.

2.4.2 Haushaltskunden

Für Haushaltskunden (Tarif- und Sondervertragskunden) wird die Entwicklung bei der Anzahl der Kunden fortgeschrieben. Werden besondere Umstände deutlich, die darauf schließen lassen, daß sich die Anzahl der Kunden anders entwickelt als die, die sich aufgrund der Fortschreibung ergibt, dann wird die Fortschreibung entsprechend nach unten oder nach oben korrigiert. Solche Umstände können z.B. die Entstehung eines Neubaugebietes, die Änderung der politischen Rahmenbedingungen (z.B. wärmeversorgte Bebauungsplangebiete, Solaranlagen usw.) oder die Veränderung des Absatzgebietes (durch Aufhebung der Demarkation im Rahmen der Liberalisierung des EU-

⁵¹ Das folgende Kapitel basiert auf einem Gespräch mit Herrn Andreas Jordan, HGW, Abt. W 2.4, und Herrn Rowedder, HGW, Abt. V24, am 18.7.1996

Energierechts) sein. Außerdem fließen in diese Überlegungen die Entwicklung bei den Neubauten ein. Schließlich werden Sättigungseffekte berücksichtigt.

Um den Gesamtabsatz errechnen zu können, wird die Anzahl der Kunden mit dem spezifischen Verbrauch pro Kunde multipliziert. Der spezifische Verbrauch ist empirisch ermittelt. Er hängt insbesondere ab von den Gewohnheiten der Verbraucher (energiebewußtes Verhalten) und den technischen Möglichkeiten (Nutzungsgrad der Heizanlagen usw.). In der Vergangenheit konnte beobachtet werden, daß sich zwei konträre Entwicklungen gegenseitig aufheben: Zum einen verringert sich der spezifische Endenergieverbrauch durch die Verwendung effizienterer Techniken, z.B. durch den Einsatz der Brennwerttechnik (Verwendung der Wärme des Abgases). Zum anderen ändern sich die Verbrauchergewohnheiten. Der Trend geht hin zum Verbrauch von mehr Fläche pro Person (Single-Haushalte) und zu einem weniger energiesparorientierten Verhalten der Verbraucher (höhere Komfortansprüche, höherer Warmwasserverbrauch).

2.4.3 Kleingewerbekunden

Die Entwicklung bei den kleingewerblichen Kunden wird nach der gleichen Methode eingeschätzt wie die bei den Haushaltskunden. Die geschätzte Anzahl der Kunden wird mit dem spezifischen Verbrauch multipliziert. Als besondere Einflußgrößen, um die die fortgeschriebene Entwicklung nach oben oder nach unten korrigiert werden kann, ist hier insbesondere die Konjunktur zu nennen.

2.4.4 Industrikunden

Der Verbrauch der Industrikunden und speziell der Großverbraucher in diesem Bereich ist einerseits an Daten wie Entwicklung der Konjunktur und Auftragslage gekoppelt, andererseits sind die so ermittelten Daten sehr unsicher, weil das Verhalten eines einzelnen Kunden in diesem Bereich eine große Auswirkung auf den Gesamtabsatz haben kann. Aus diesem Grund müssen Ankündigungen von Betrieben bezüglich ihres Erdgasverbrauchs mit viel Fingerspitzengefühl beurteilt werden.

2.4.5 Energieversorgungsunternehmen und sonstige Kunden

Kommunale Energieversorgungsunternehmen stellen ein weiteres größeres Absatzsegment der HGW dar. Diese Kunden werden ähnlich pro Einzelfall abgeschätzt wie die Industrikunden. Speziell in diesen Bereichen herrscht zum Zeitpunkt der Befragung einige Unsicherheit durch die Auswirkungen der Liberalisierung der Gaswirtschaft.

2.4.6 Verkehr

Im Verkehrsbereich kann eine Absatzprognose nur aufgrund einer groben Schätzung erfolgen. Das Potential, das Erdgas in naher Zukunft im Straßenverkehr hat, wird als hoch eingeschätzt. Die Umsetzbarkeit, auch aufgrund politischer Vorgaben, wird als gering eingeschätzt. Aus ökologischen Gründen traut man Erdgas allerdings eine Nischenrolle insbesondere beim öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) zu. Erdgas könnte hier speziell bei der Betankung von Bussen eine Rolle spielen.

2.4.7 Weitere Absatzsegmente

Weitere Absatzsegmente der HGW sind der Wärmebereich und der Bereich der öffentlichen Verwaltung.

Der Wärmebereich wird in der HGW-Statistik und in der Absatzprognose unter einer eigenen Rubrik geführt. Hinter der Bezeichnung Wärme verbirgt sich die Dienstleistung der HGW, Wärme, d.h. Nutzenergie, zur Verfügung zu stellen. Diese Dienstleistung wird hauptsächlich für Privathaushalte und Mieter von Wohnungen größerer Vermieter (z.B. Saga), erbracht. Vermehrt wurden in den letzten Jahren auch Gewerbe- und Industriekunden gewonnen. Der Kessel zur Erhitzung etwa des Wasserkreislaufs im Haushaltsbereich ist im Absatzsegment Wärme im Eigentum von HGW. In den anderen Absatzsegmenten liefern die HGW nur Erdgas an die Kunden; die Umwandlung von Erdgas in Wärme ist in diesen Bereichen den Kunden überlassen. Aus diesem Grunde erfolgt die Einschätzung der zukünftigen Entwicklung im Wärmebereich analog zum Haushalts- und Industriebereich.

Der Verbrauch des öffentlichen Dienstes wird fortgeschrieben und korrigiert um Entwicklungen, die sich aus bestehenden Trends, etwa bzgl. weiterer Privatisierungsanstrengungen, ableiten lassen.

2.5 KLIMASCHACH

Bei Praktiker-Modellen steht die Wirtschaftlichkeit der Modellerstellung und -pflege selbst im Vordergrund. Sie kommen daher häufig ohne hohe Komplexität aus. Extrem einfache Modelle zur Prognostizierung des Energieverbrauchs sind sog. expert guesses

oder educated guesses. Ein Beispiel für eine solche Hilfestellung zur Prognose ist das Klimaschach-Modell, das im folgenden vorgestellt wird.⁵²

Im Klimaschach-Modell werden nur 6 verschiedene Energieträger berücksichtigt: Steinkohle, Braunkohle, Öl, Gas, Kernkraft und regenerative Energieträger. Es gibt nur 3 Energieverwendungszwecke: Stromerzeugung, Individualverkehr und sonstiger Verbrauch, insbesondere Raumwärme. Trennt man nach dem Verbrauch in den neuen und den alten Bundesländern, kommt man so auf 36 Energieverbrauchswerte, die es zu ermitteln gilt. Im Individualverkehr wird praktisch nur Mineralöl eingesetzt und die Kernenergie wird nur zur Stromerzeugung verwendet; es bleiben noch 24 unsichere Werte.

In Tabelle 1 ist das Energietableau nach dieser Systematik für das Jahr 1987 dargestellt.

Tabelle 1: Energietableau für Deutschland für 1987 in Mio. t SKE

	Alte Bundesländer			Neue Bundesländer			Summe
	Strom- erzeugung	Individual- verkehr	Sonstiger Verbrauch	Strom- erzeugung	Individual- verkehr	Sonstiger Verbrauch	
Steinkohle	46	0	18	1	0	5	70
Braunkohle	27	0	4	44	0	37	112
Mineralöl	8	62	65	2	8	4	149
Erdgas	22	0	56	5	0	10	93
Kern- energie	42	0	0	4	0	0	46
Erneuer- bare	8	0	1	1	0	1	11
Summe	153	62	144	57	8	57	481

Quelle: Knut Kübler: Klimaschach in Deutschland: Matt oder Remis?, in: ZfE 4/92, S. 283 ff., hier: S. 284

Um Klimaschach zu spielen, gehe man nun folgendermaßen vor: Man lege ein Zieljahr fest (z.B. 2005) und überlege sich, welche Werte man in die Tabelle einträgt. Dabei gehe man von denjenigen Werten aus, deren Prognose subjektiv unproblematisch ist und fülle die Tabelle bis auf 2 Werte aus, deren Ermittlung besonders schwer ist. (In dieser Vorgehensweise liegt die eigentliche Neuigkeit im Modell.)

Die Prognose steht und fällt mit der Eintragung dieser verschiedenen Werte in die Tabelle. Hier muß man sich - genauso wie in umfangreicheren Prognosen auch - Gedan-

⁵² Vgl. im folgenden Knut Kübler: Klimaschach in Deutschland: Matt oder Remis?, in: ZfE 4/92, S. 283 ff.

ken machen um politische Rahmenbedingungen, Ölpreise, Bevölkerungsentwicklungen, Wirtschaftswachstum, Verhaltensmusteränderungen usw.

Tabelle 2: CO₂-Emissions-Tableau für Deutschland in Mio. t CO₂

	Alte Bundesländer			Neue Bundesländer			Summe
	Strom- erzeugung	Individual- verkehr	Sonstiger Verbrauch	Strom- erzeugung	Individual- verkehr	Sonstiger Verbrauch	
Steinkohle	124	0	48	2	0	13	187
Braunkohle	87	0	12	141	0	121	361
Mineralöl	17	137	143	4	17	9	327
Erdgas	36	0	92	8	0	16	152
Summe	264	137	295	155	17	159	1027

Quelle: Knut Kübler: Klimaschach in Deutschland: Matt oder Remis?, in: ZfE 4/92, S. 283 ff., hier: S. 284

Man lege ein CO₂-Emissionsziel fest (z.B. 25 % zwischen 1987 bzw. '90 und 2005, wie von der Bundesregierung gefordert) und die letzten 2 Verbrauchswerte ergeben sich automatisch in der Höhe, wie noch Emissionen anfallen dürfen. Die Emissionsbilanz für 1987 ist in Tabelle 2 dargestellt. Dabei werden feste CO₂-Emissionswerte für jeden Primärenergieverbrauch unterstellt. Wenn die resultierenden Größen aus Sicht des Anwenders Sinn machen ("matt"), ist die Tabelle fertig. Wenn nicht ("remis"), muß die Tabelle noch einmal von vorn ausgefüllt werden.

3 KRITIK AN DEN ENERGIEMODELLEN

Nachdem im vorangegangenen Kapitel einige Energiemodelle beispielhaft dargestellt wurden, werden diese nun einer kritischen Betrachtung unterzogen. Im folgenden wird zunächst ein Kriteriensystem entwickelt, anhand dessen sich die verschiedenen Modelle beurteilen lassen.⁵³ In einem zweiten Schritt werden dann die in Abschnitt 2 exemplarisch dargestellten Modelle anhand des Kriteriensystems einzeln beurteilt,⁵⁴ bevor dann in einem dritten Schritt eine vergleichende Darstellung der Kritik an allen Modellen erfolgt.

3.1 ENTWICKLUNG EINES KRITERIENSYSTEMS ZUR BEURTEILUNG VON ENERGIEMODELLEN

Energiemodelle stiften im Vergleich zu mentalen Modellen einen bestimmten Nutzen, sie verursachen aber auch Kosten. Für den Einsatz in der Praxis ist das Verhältnis entscheidend. Im folgenden sollen zunächst die Nutzensgesichtspunkte, anschließend die Kostenblöcke analysiert werden, um daran anschließend ein Kriteriensystem aufbauen zu können.

3.1.1 Der Nutzen von systematischen Energiemodellen

Bei der Erstellung von Modellen wird generell ein Ausschnitt aus der Realität vereinfacht abgebildet, um das eigene Verständnis für die Zusammenhänge in der Realität zu erhöhen und so bestimmte Fragestellungen besser beantworten zu können.⁵⁵ Eine Fragestellung dieser Art lautet etwa: Wie hoch wird der deutsche Primärenergieverbrauch in Zukunft sein und mit welchen Energieträgern wird der Bedarf voraussichtlich gedeckt werden? Auf diese Weise kann eine Grundlage geschaffen werden, um Entscheidungen im Bereich der öffentlichen oder unternehmerischen Planung vorzubereiten.

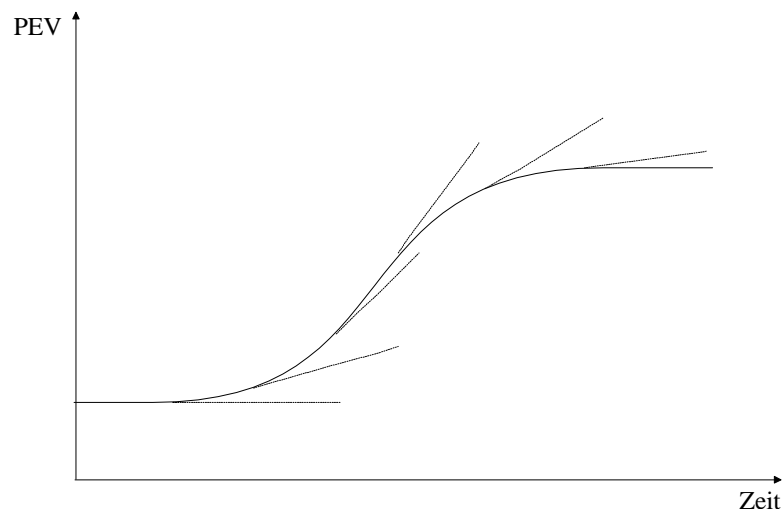
Der Nutzen, der sich dadurch ergibt, daß zur Prognose des PEV kein mentales, sondern ein systematisches Modell verwendet wird, läßt sich ex post messen als Reduzierung der Abweichung der prognostizierten von der tatsächlich eingetretenen PEV-Menge. Bei einem Vergleich zwischen prognostizierten und tatsächlich eingetretenen

⁵³ Vgl. zu diesem Abschnitt auch Kay Schlette: Analyse des IKARUS-Optimierungsmodells anhand verschiedener Praktikabilitätskriterien, Studie der AGEP Oldenburg im Auftrag von STE, Hamburg 1996, S. 3 ff. (unveröffentlicht)

⁵⁴ Für die Beurteilung des IKARUS-Instrumentariums vgl. Kay Schlette: a.a.O., S. 9 ff.

Primärenergieverbrauchsmengen für die alten Bundesländer zeigt sich, daß die tatsächliche Entwicklung des PEV nur selten richtig eingeschätzt wurde. So wurde der zukünftige PEV in den 50er Jahren eher unter-, in den 60er und 70er Jahren eher über- und in den 80er Jahren wieder eher unterschätzt, vgl. Abbildung 14. Außerdem gibt es bestimmte Ereignisse, die sich auch mit Hilfe des besten Prognosemodells nicht vorhersehen lassen, wie z.B. die Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten, die Ölpreiskrisen oder die Einführung der Anti-Baby-Pille mit dem daraus resultierenden Geburtenrückgang. Viele Energieprognosen waren daher "bereits kurz nach ihrer Fertigstellung Makulatur"⁵⁶. Von daher muß bezweifelt werden, daß durch den Einsatz von systematischen Energiemodellen ex post ein Nutzen entsteht.

Abbildung 14: Idealtypischer Vergleich zwischen tatsächlicher und prognostizierter Entwicklung des deutschen Primärenergieverbrauchs



Quelle: Manfred Härter (Hrsg.): Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogener Aussagen: exemplarisch untersucht an Energie"prognosen" für den Bereich der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt am Main/ Bern/ New York 1985, S. 25

Obwohl Energieprognosen ex post also einen geringen Nutzen haben, zeigt sich am Aufwand, der in der Bundesrepublik und andernorts zur Modellentwicklung betrieben wird, daß nach wie vor das Bedürfnis seitens der Entscheidungsträger in Wirtschaft und Politik besteht, sich bei den zu treffenden Entscheidungen auf eine Grundlage, d.h. auf

⁵⁵ Vgl. Abschnitt 1.2.2

⁵⁶ Rudolf K.-H. Dennerlein: Energieverbrauch privater Haushalte, Augsburg 1989, S. 6; dort Verweis auf H.-J. Wagner: Prognosen und Szenarien - Überlegungen zur Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogenen Aussagen im Energiebereich, in: Manfred Härter (Hrsg.): Energieprognosen für die Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986, S. 171 ff., hier: S. 177. Eine Übersicht über die Schätzfehler der

ein systematisches Modell und nicht nur auf das eigene mentale Modell, stützen zu können. Man erhofft sich dadurch eine Erweiterung des Verständnisses für die Zusammenhänge in der Energiewirtschaft und hofft, dadurch bessere Entscheidungen treffen zu können. Diesen Nutzen kann man als ex ante-Nutzen bezeichnen.

Der ex ante-Nutzen von Energiemodellen ist von Modell zu Modell unterschiedlich. Im folgenden wird versucht, eine Übersicht über Kriterien zu geben, die den ex ante-Nutzen eines Energiemodells zur Prognose des Energieverbrauchs maßgeblich beeinflussen.

Die Systemelemente und ihre Beziehungen zueinander sollten in sich konsistent beschrieben sein. Die Ergebnisse sollten reproduzierbar sein.

Die Realität sollte auf ein zieladäquates Maß reduziert sein. Dies bezieht sich sowohl auf den Umfang des verwendeten Datenmaterials als auch auf den Detailgrad der Modellformulierung. Hierbei ist zu beachten, daß der "funktionale Zusammenhang zwischen geleistetem Aufwand und prognostischem Erfolg dem allgemeinen ökonomischen Gesetz vom abnehmenden Grenzertrag unterliegt."⁵⁷

Ein weiteres Nutzenkriterium stellt der Realismus der Modellstruktur dar, d.h. "die relative Nähe der mathematischen Form zur Situation [in der Realität], die modelliert wird"⁵⁸. Wie realistisch die ausgewählte Modellstruktur ist, läßt sich am besten erst im Nachhinein beurteilen. Allerdings kann ex ante schon die Glaubwürdigkeit der Modellstruktur beurteilt werden.

Durch die Verwendung systematischer Modelle lassen sich Sensitivitätsanalysen und mehrere Fälle (Szenarien) durchspielen. Dadurch wird einerseits das eigene Verständnis über die Realität erhöht. Andererseits lassen sich auf diese Weise Lösungen finden, bei

Vergangenheit findet sich bei Michael Kraus: Energieprognosen in der Retrospektive, Diss., Karlsruhe 1988. Zur historischen Entwicklung von Energieprognosen vgl. auch die Ausführungen im Anhang

⁵⁷ Manfred Härter: Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogener Aussagen - exemplarisch untersucht an Energie"prognosen" der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt (M)/ Bern/ New York 1985, S. 88

⁵⁸ J. M. Mulvey: How Should We Compare Forecasting Models when they Differ?, in: W. T. Ziemba/ S. L. Schwartz (Hrsg.): Energy Policy Modeling: United States and Canadian Experiences, Vol II: Integrative Energy Policy Models, Hingham (MA) 1980, S. 238 ff., hier: S. 240; eigene Übersetzung

denen kleine Variationen der Inputgrößen vergleichsweise kleine Änderungen bei den Outputgrößen bewirken (robuste Lösungen).⁵⁹

Neben diesen inhaltlichen Anforderungen sind diverse Kriterien zu nennen, die sich auf die Benutzerfreundlichkeit des Modells beziehen. Hier ist zum einen die Transparenz des Modells⁶⁰ zu nennen: Die Modellinputs sollten gut dokumentiert sein; der Weg von den Modellinputs zu den Modelloutputs sollte nachvollziehbar sein; schließlich sollten auch die Modellergebnisse allen Benutzern verständlich sein bzw. interessierten Laien verständlich erklärt werden können. Bei Rechnungen verschiedener Szenarien mit einem Modell sollten die Auswirkungen von Änderungen bei den Inputgrößen auf die Outputgrößen verständlich sein.

Zum zweiten sollte die Benutzung des Energiemodells bedienerfreundlich sein.⁶¹ Die (Online-) Dokumentation sollte vollständig und klar sein, und sofern das Modell rechnergestützt ist, sollte das Programm widerstandsfähig gegenüber Bedienungsfehlern der Benutzer sein.

Tabelle 3: Ex ante Nutzen von Energiemodellen

Ex ante Nutzen von Energiemodellen

Konsistenz der Beschreibung von Systemelementen und deren Beziehungen
 Reduktion der Realität auf zieladäquates Maß
 Glaubwürdigkeit der Modellstruktur (Realismus)
 Möglichkeit der Erstellung von Szenarien und Sensitivitätsanalysen
 Transparenz der Modellinputs, -outputs und des Rechenweges
 Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche: Dokumentation, online-Hilfe, Resistenz gegen Fehleingaben
 Beitrag zur Versachlichung der öffentlichen Diskussion über Umwelt- und Energiefragen durch Quantifizierung der Aussagen
 Erleichterung der interdisziplinären Kommunikation z.B. zwischen Ökonomen, Ingenieuren, Ökologen und Informatikern

Quelle: Kay Schlette: Analyse des IKARUS-Optimierungsmodells anhand verschiedener Praktikabilitätskriterien, Studie der AGEP Oldenburg im Auftrag von STE, Hamburg 1996, S. 5 (unveröffentlicht), Erweiterungen

⁵⁹ World Bank/ United Nations Development Program (UNDP)/ Bilateral Aid/ Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP) (Hrsg.): Assessment of Personal Computer Models for Energy Planning in Developing Countries, o.O. 1991, S. 7

⁶⁰ Vgl. World Bank/ United Nations Development Program (UNDP)/ Bilateral Aid/ Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP) (Hrsg.): Assessment of Personal Computer Models for Energy Planning in Developing Countries, o.O. 1991, S. 7

⁶¹ Vgl. World Bank/ United Nations Development Program (UNDP)/ Bilateral Aid/ Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP) (Hrsg.): Assessment of Personal Computer Models for Energy Planning in Developing Countries, o.O. 1991, S. 7

Mit Hilfe von systematischen Modellen werden überwiegend quantifizierte Aussagen getroffen. Sofern die Ergebnisse veröffentlicht werden, kann dadurch ein Beitrag geleistet werden zur Versachlichung der öffentlichen Diskussion über Umwelt und Energiefragen. Auch kann so die interdisziplinäre Kommunikation z.B. zwischen Ökonomen, Ingenieuren, Ökologen und Informatikern erleichtert werden.⁶²

3.1.2 Beurteilung der Kosten

Die Erstellung von systematischen Modellen zur Prognostizierung des Primärenergieverbrauchs bringt nicht nur Vorteile mit sich, sondern auch verschiedene Nachteile, die sich in Form von Kosten quantifizieren lassen.

Die Kosten lassen sich unterteilen in ex post- und ex ante-Kosten.

Ex post können solche Kosten aus den Fehlentscheidungen resultieren, die aufgrund falscher Voraussagen getroffen werden. Diese Kosten zu messen, ist allerdings mangels geeigneter Daten sehr schwer. An dieser Stelle soll darauf nicht weiter eingegangen werden.

Auch ex ante, d.h. schon bei der Erstellung und bei der Anwendung von systematischen Energiemodellen, entstehen Kosten. Für den Empfänger eines Modells sind beide Teile von Bedeutung, da sich die Kosten der Erstellung i.d.R. im Preis des Modells widerspiegeln.⁶³ Im folgenden werden die einzelnen Komponenten der Kosten dargestellt.⁶⁴

Innerhalb des Kostenblocks für die Modellentwicklung machen vor allem die Personalkosten einen größeren Anteil aus; daneben fallen Materialkosten (Kosten für Hard- und Software) sowie sonstige Kosten (Verwaltungskosten, Kosten für Vertrieb usw.) an.

⁶² Vgl. Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelling of Energy-Related Emissions on a National and Global Level - An Overview of Selected Approaches, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Bd. 15/1994, Jülich 1994, S. 3 ff., hier: S. 9 f.

⁶³ Das ist bei vielen Modellen allerdings nicht der Fall, da diese häufig nicht kommerziell vermarktet werden. Statt dessen kursieren diese innerhalb von Unternehmen oder Einrichtungen, wo es über die interne Leistungsverrechnung allerdings auch Möglichkeiten zur Preisbestimmung eines Modells gibt, oder sie werden von wissenschaftlichen Einrichtungen angeboten, die die Modelle nicht verkaufen.

⁶⁴ Vgl. im folgenden: O. Herrmann: Kalkulation von Softwareentwicklungen, München/ Wien 1983, S. 62, zitiert nach: Jörg Biethahn/ Harry Muksch/ Walter Ruf: Ganzheitliches Informationsmanagement, Band I: Grundlagen, München/ Wien 1990, S. 206

Die Personalkosten hängen ab vom Funktionsumfang, den das Modell abdecken soll und, vom Umfang der im Modell verwendeten Daten und von weiteren Aspekten.

Als Beispiel für eine Anforderung, die den Funktionsumfang und damit die Personalkosten bei der Entwicklung direkt erhöht, kann die Portabilität, d.h. die Lauffähigkeit eines Modells auf verschiedenen Rechnerarchitekturen, genannt werden. Auch die Benutzerfreundlichkeit des Programms (online-Hilfe usw.) beeinflusst den Funktionsumfang.

Generell gilt: Je größer der Datenumfang ist, der im Modell berücksichtigt werden soll, desto höher sind die Kosten zur Aufstellung des Modells. Ist das Modell relativ grob und kann dabei auf Einzelheiten verzichtet werden, dann können die Daten häufig ohne großen Aufwand über öffentlich zugängliche Quellen beschafft werden. Gehen die Fragen, die mit dem Modell beantwortet werden sollen, stärker ins Detail, sinkt tendenziell die Qualität der bereits vorhandenen Daten, so daß eine eigene Datensammlung nötig wird. Diese kann im Extremfall so lange dauern, daß die gesammelten Daten bei Abschluß der Erfassung bereits veraltet sind. Der Aufwand für die Modellentwicklung ist bei wenigen Variablen zunächst gering. Werden mehr und mehr Variablen integriert, dann erhöhen sich die Anforderungen an die Modellqualität bzgl. Modellstruktur, Dokumentation usw.

Zu den weiteren Einflußfaktoren, die die Personalkosten bei der Erstellung beeinflussen, gehören der Schwierigkeitsgrad (Komplexität) und der Innovationsgrad sowohl des verwendeten Modells selbst als auch der Entwicklungssoftware. Daneben ist auch die Qualität des Personals entscheidend. Neben der Erfahrung des Personals im Umgang mit Energiemodellen und den zu ihrer Erstellung nötigen Techniken (Programmiersprachen usw.) zählen zu den Anforderungen: eine gewisse Kontinuität in der Beschäftigung, ein gutes Arbeitsklima, ein hoher Ausbildungsstand sowie ausreichende räumliche Voraussetzungen. Darüber hinaus hat die Organisation des Entwicklungsteams einigen Einfluß auf die Personalkosten. Hier ist besonders darauf zu achten, daß keine größeren zeitlichen, räumlichen oder personalmäßigen Brüche bei der Erstellung entstehen, um größere Abstimmungsprozesse zu vermeiden.

Je mehr Personal notwendig wird, desto stärker wird die Notwendigkeit zu Abstimmprozessen, so daß die Personalkosten bei größeren Modellen überproportional zunehmen dürften.

An Materialkosten kommen insbesondere die Kosten für Computer (Hardware und Software) in Betracht, wenn Büromaterial und -ausstattung als ohnehin gegeben vorausgesetzt werden.

An sonstigen Kosten sind insbesondere der Verwaltungsaufwand sowie die Kosten des Vertriebs zu nennen.

Nachdem die Kosten für die Entwicklung dargestellt wurden, werden im folgenden die Kostenkomponenten dargestellt, die während des Einsatzes eines Modells beim Nutzer entstehen.

Tabelle 4: Ex ante Kosten von Energiemodellen

Kosten von Energiemodellen

a: Kosten für Entwicklung

Funktionsumfang (z.B. Beantwortung der Kernfragen, Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche, schnelle Änderbarkeit von Daten und Modellstrukturen, Portabilität)

Datenumfang

Innovationsgrad Entwicklungssoftware

Qualität des Entwicklerpersonals (Erfahrung, Kontinuität, Ausbildungsstand usw.)

Organisation des Entwicklungsteams

Materialkosten: Hardware/ Software

Sonstige Kosten: Verwaltung, Vertrieb

b: Kosten für Einsatz

Aufwand für Modellinstallation (Auto-Setup, Portabilität)

Einarbeitung in Modellstruktur (Qualität der Dokumentation, Online-Hilfe)

Bekanntheitsgrad der formalen Methoden im Modell

Daten: Notwendigkeit zur Eingabe, Überprüfung

Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche

Flexibilität für Daten- und Modellstrukturänderungen

Quelle: Kay Schlette: Analyse des IKARUS-Optimierungsmodells anhand verschiedener Praktikabilitätskriterien, Studie der AGEF Oldenburg im Auftrag von STE, Hamburg 1996, S. 5 (unveröffentlicht)

Die Kosten des Einsatzes von Energiemodellen hängen wesentlich ab vom Aufwand für die Modellinstallation, von der Einarbeitungszeit und von der erforderlichen Zeit und dem Material, die zur Beantwortung der Fragestellungen des Benutzers, etwa zur Prognose des zukünftigen Energieverbrauchs unter bestimmten Bedingungen oder zur Entwicklung von Klimagasreduktionsstrategien, notwendig ist. Die Einarbeitungszeit wird insbesondere beeinflusst einerseits durch die Modell- und die Datenstruktur und somit durch die Komplexität des Modells und andererseits durch die Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche des Modells sowie durch die Qualität der Dokumentation. Ob das Modell flexibel gestaltet wurde, was die leichte Änderung von Modelldaten und -strukturen angeht, ist ein wesentliches Qualitätskriterium. Dieses ist besonders dann wichtig, wenn mit einem Modell nicht nur zu einem bestimmten Zeitpunkt Rechnungen

durchgeführt werden sollen, sondern es an aktuelle Entwicklungen in der Realität angepaßt werden soll (revolvierende Planung).

3.2 ANALYSE DER VORGESTELLTEN MODELLE

Die in Kapitel 2 vorgestellten Modelle werden im folgenden anhand der in Kapitel 3.1 entwickelten Nutzen- und Kostenkriterien getestet.

Die Beurteilung ist dabei naturgemäß subjektiv. Bei einem anderen zugrundeliegendem Wertesystem ist es daher problemlos möglich, zu anderen Bewertungen zu gelangen.

3.2.1 Kritik am Modellinstrumentarium IKARUS

IKARUS besteht aus einer Reihe von Modellen, die zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses Kapitels⁶⁵ noch nicht alle implementiert waren. Im folgenden wird daher der Schwerpunkt der Betrachtungen auf das IKARUS-Optimierungsmodell gelegt.

Modellinkonsistenzen können sich im IKARUS-Modellsystem aus mehreren Gründen ergeben. Erstens ist die Wechselwirkung zwischen Nutzenergienachfrage und Technikbestand im IKARUS-Modell nicht ausreichend berücksichtigt worden. Im IKARUS-Optimierungsmodell wird die Nachfrage an Nutzenergie vorgegeben; mit Hilfe des Modells sollen dann kosten- oder emissionsoptimale Techniken ausgewählt werden. Die Auswahl der Techniken hängt aber nicht nur von der angenommenen Nutzenergienachfrage ab; sie beeinflusst diese ihrerseits. Es kann daher passieren, daß die Nachfrage nach Nutzenergie im technischen Optimum von der ursprünglich angenommenen Nutzenergienachfrage abweicht. Dieses Problem läßt sich bedingt lösen, indem die so errechnete Nutzenergienachfrage anstelle der ursprünglich angenommenen als Input in das Modell einfließt und dann der Modellauf neu gestartet wird. Sofern die Ergebnisse konvergieren, müssen diese Arbeitsschritte solange wiederholt werden (Iteration), bis die Abweichungen zwischen den in zwei Läufen errechneten Nutzenergienachfrage unterhalb einer festgelegten Grenze liegt. Bei diesem Prognoseprozeß ergibt sich die Lösung als Gleichgewichtslösung. Dabei ergeben sich allerdings zwei neue Probleme: Einerseits müssen die Lösungen nicht konvergieren. An dieser Stelle soll darauf aber nicht näher

⁶⁵ Herbst 1996

eingegangen werden.⁶⁶ Andererseits ergibt sich das Problem, daß sich auch die Preise der Techniken bei einer veränderten Nachfrage nach Nutzenergie ändern können. Auch die Preise müßten daher angepaßt werden.

Zweitens wird im IKARUS-Optimierungsmodell eine Reihe von Bounds eingesetzt, die den Lösungsraum eines Optimierungsmodells einengen. Ein Beispiel dafür ist der angenommene Einsatz von heimischer Steinkohle zur Stromerzeugung. Wenn hier allein nach Kostengesichtspunkten entschieden würde, dann würde im Optimierungsmodell bei den derzeitigen Preisverhältnissen keine Kohle eingesetzt werden. Da aber die Verstromung von heimischer Steinkohle ein Politikum ist, muß an dieser Stelle ein Bound gesetzt werden. An dieser Stelle findet dann keine Optimierung mehr statt; der Bound fließt in die Lösung des Optimierungsmodells ein. Damit ist die Lösung des Optimierungsmodells aber vom Benutzer vorgegeben; er muß sich außerhalb des Modells um eine Lösung kümmern.⁶⁷ Bei diesen Betrachtungen außerhalb des eigentlichen Modells könnten sich Inkonsistenzen ergeben; an dieser Stelle soll aber keine ausführliche Prüfung erfolgen, ob diese Inkonsistenzen tatsächlich auftreten.

Drittens ist bei der großen Anzahl an Beziehungen, die im Modell zu berücksichtigen sind, die Wahrscheinlichkeit groß, daß bei der Datensammlung und -erfassung Fehler gemacht wurden, die zu Inkonsistenzen innerhalb des Modells führen. Ob tatsächlich Fehler gemacht wurden und welche Auswirkungen diese Fehler haben, soll an dieser Stelle nicht weiter untersucht werden.

Das IKARUS-Modell beinhaltet Angaben über ca. 2500 verschiedene Technikplatzhalter. Dadurch ergeben sich mehr als 20.000 Koeffizienten. Um Wege aufzuzeigen, wie die Emissionen von klimarelevanten Gasen reduziert werden können, hätten allerdings deutlich weniger Energietechniken ausgereicht. STE hatte ursprünglich ca. 500 Techni-

⁶⁶ Mit diesen Fragestellungen beschäftigt sich z.B. Martin Wietschel: Zur kosteneffizienten Minderung von CO₂-Emissionen für Optionen der Energieversorgungs- und Energienachfrageebene - Entwicklung eines partiellen Gleichgewichtsmodells, (Diss.), Karlsruhe 1994, S. 104 f.

⁶⁷ Vgl. Kay Schlette: Analyse des IKARUS-Optimierungsmodells anhand verschiedener Praktikabilitätskriterien, Studie der AGEF Oldenburg im Auftrag von STE, Hamburg 1996 (unveröffentlicht), S. 8 f.

ken anvisiert, mußte die Anzahl der Techniken aber auf Wunsch der anderen Teilprojekte ausdehnen.⁶⁸

Im Optimierungsmodell werden die Kosten der gesamten Energieversorgung minimiert. Dabei wird grundsätzlich unterstellt, daß sich alle Wirtschaftssubjekte rational verhalten. Das grundsätzliche rationale Verhalten ist in der Realität nur teilweise zu beobachten. So werden Haushalte etwa durch Werbung beeinflusst, und einige persönlichen Ziele von Managern (Macht, Ansehen, Einfluß) laufen denjenigen der Unternehmen zuwider. Im Ergebnis dürfen die Kosten nicht als einziges Entscheidungskriterium herangezogen werden; die grundsätzliche Annahme des rationalen Verhaltens muß sozusagen nachträglich durch die Verwendung verschiedener Bounds und Teilmodelle wieder aufgeweicht werden. Denkbar ist auch die Wahl eines anderen Optimierungskriteriums wie z.B. Nutzenmaximierung, aber dadurch ergeben sich vielfältige Meßprobleme. Die Minimierung der Emissionen reicht nicht als alleiniges Optimierungskriterium aus, da dadurch nicht einmal annäherungsweise das Verhalten der Wirtschaftssubjekte abgebildet wird.

Da ein festes Ordnungskriterium besteht, sind die Ergebnisse des Optimierungsmodells grundsätzlich reproduzierbar. Eine Ausnahme ergibt sich dann, wenn der Lösungsraum so eingeschränkt wird, daß die Begrenzung des Lösungsraums parallel zur Zielfunktion liegt. In diesem Fall ergibt sich keine eindeutige Lösung, sondern eine Vielzahl von Lösungen. Immerhin ist auch diese Lösungsmenge problemlos reproduzierbar.

Die Erstellung von Szenarien ist elementarer Bestandteil der Modellphilosophie. Sensitivitätsanalysen lassen sich erstellen, indem mehrere Szenarien erstellt werden, die bzgl. eines oder mehrerer Parameter voneinander abweichen, und dann die Ergebnisse miteinander verglichen werden.

Die Transparenz des Modells muß als niedrig eingestuft werden. Die Modellannahmen und -ergebnisse können zwar angezeigt werden; da allerdings im Optimierungsmodell keine Beziehung zwischen den drei Berichtsjahren 1989, 2005 und 2020 hergestellt wird, ist das Nachvollziehen der Ergebnisse für die beiden in der Zukunft liegenden

⁶⁸ Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) - Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) (Hrsg.): IKARUS - Teilprojekte 1: Modelle - 2. Zwischenbericht, Jülich 1993, S. 12

Jahre schwierig. Auch ist das Nachvollziehen der Beziehungen der Techniken zueinander sehr mühsam. So umfaßt die grafische Veranschaulichung der Beziehungen zwischen den verschiedenen Techniken drei Bände.⁶⁹ Es ist auch sehr zeitaufwendig, den Rechenweg gedanklich nachzuvollziehen wegen der vielen Nebenbedingungen, die Bestandteil des Modells sind. Schließlich ist die Interpretation der Modellergebnisse vor allem durch die hohe Anzahl der verwendeten Techniken nicht einfach.⁷⁰

Die Oberfläche des Modells ist selbsterklärend. Der Benutzer wird über Menüleisten durch das Modell geführt. Er kann sich Daten anzeigen lassen oder ändern und sie zusätzlich durch Kopie in andere Windows-Programme wie Excel weiterverarbeiten. Der Anwender benötigt für die Arbeit mit dem Modell keinerlei Programmiererfahrung. Die Vielzahl von Variablen braucht der Benutzer nicht mit Namen zu kennen; für jede Variable ist ein Hilfetext mit der Langbezeichnung angegeben. Darüber hinaus existiert für das Modell eine ausführliche Dokumentation, die an einigen Stellen allerdings noch weiter verfeinert werden könnte, z.B. im Hinblick auf die Abbildung der Kraft-Wärme-Kopplung. Eine online-Hilfe ist für das Modell nicht vorhanden. Bei der Eingabe von falschen oder unplausiblen Daten gibt das Modell keine Fehlermeldung aus.

Am IKARUS-Projekt ist eine Vielzahl von Forschern unterschiedlicher Disziplinen beteiligt. Von daher wird die interdisziplinäre Kommunikation schon vom Ansatz her gefördert. Erste Ergebnisse von IKARUS wurden im Frühjahr 1996 in einer Fachzeitschrift veröffentlicht,⁷¹ allerdings mit geringer Resonanz.

Der Funktionsumfang des IKARUS-Modellinstrumentariums orientiert sich eng an der Zielvorgabe. Es lassen sich Energie-, Emissions- und Kostenbilanzen getrennt nach

⁶⁹ P. Jagodzinsky/ W. Krüger/ D. Martinsen/ M. Walbeck: IKARUS - Dokumentation des Optimierungsmodells - Anhang 1: Strukturbilder - Teil 1: Primäre Energieträger und Umwandlungssektoren, Interner Bericht KFA-STE-IB-6/95, Jülich 1995

P. Jagodzinsky/ W. Krüger/ D. Martinsen/ M. Walbeck: IKARUS - Dokumentation des Optimierungsmodells - Anhang 1: Strukturbilder - Teil 2: Endverbrauchersektoren, Interner Bericht KFA-STE-IB-6/95, Jülich 1995

P. Jagodzinsky/ W. Krüger/ D. Martinsen/ M. Walbeck: IKARUS - Dokumentation des Optimierungsmodells - Anhang 1: Strukturbilder - Teil 3: Oberstruktur (Logistik), Interner Bericht KFA-STE-IB-6/95, Jülich 1995

⁷⁰ Vgl. Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) - Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) (Hrsg.): IKARUS - Teilprojekte 1: Modelle - 2. Zwischenbericht, Jülich 1993, S. 12

Verbrauchssektoren und nach Energieträgern anzeigen. Auch die einzelnen Techniken und Technikketten lassen sich gesondert anzeigen.

Das im IKARUS-Projekt verwendete Datenvolumen ist so umfangreich, daß die Erfassung und die Einarbeitung der Daten in das Modell mehrere Jahre in Anspruch nahm. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der ersten Ergebnisse im Jahr 1996 sind die Daten des Ausgangsjahres 1989 speziell für die neuen Bundesländer daher schon wieder veraltet, so daß beabsichtigt ist, das Basisjahr demnächst zu aktualisieren.

Die zur Erstellung des Modells eingesetzte Software-Technologie orientierte sich jeweils am neuesten Stand der Technik, um eine ansprechende Benutzeroberfläche generieren zu können.

Das Personal, das mit der Erstellung der IKARUS-Modelle betraut war, besteht vielfach aus promovierten Ökonomen, Ingenieuren oder Naturwissenschaftlern mit meist langjähriger Erfahrung in der Entwicklung von Energiemodellen. In den ersten Phasen des Projektes war einige Fluktuation bei den Wissenschaftlern zu verzeichnen;⁷² danach bestand ausreichend Kontinuität beim Personal.

Die Entwicklung des IKARUS-Modellinstrumentariums und die Eingabe der Modelldaten erfolgte räumlich getrennt durch eine Vielzahl deutscher Forschungseinrichtungen. Dadurch wurde ein erheblicher Abstimmtaufwand erforderlich, der bei weniger Stellen sicherlich geringer gewesen wäre.

Die verschiedenen IKARUS-Modelle sind sämtlich PC-lauffähig. Die Materialkosten für Hardware und Software halten sich daher in Grenzen.

Die Verwaltungskosten für die Entwicklung des Optimierungsmodells hängen speziell ab vom Personalaufwand, sind aber als durchschnittlich zu bezeichnen. Vertriebskosten sind bis Ende 1996 noch nicht angefallen.

Insgesamt müssen die Kosten für die Erstellung des IKARUS-Instrumentariums als sehr hoch bezeichnet werden.

⁷¹ Hans-Joachim Gerster: IKARUS: Erste Ergebnisse einer CO₂-Reduktionsstrategie für das Jahr 2005 - Potentiale und gesamtwirtschaftliche Mehrkosten für die alten Bundesländer, in: ET (46) 4/1996, S. 200 ff.

Beim Einsatz des Modells fallen Kosten in unterschiedlicher Höhe an.

Die Installation des Modells erfolgt über eine Setup-Routine. Eine Übertragung des Modells von einem PC auf einen anderen ist daher ohne weiteres möglich, und die Installationskosten sind sehr gering.

Die Einarbeitung in die Modellstruktur ist sehr zeitaufwendig, was nicht an der vorhandenen Dokumentation, sondern in erster Linie an der Komplexität des Modells liegt. Die Einrichtung einer Online-Hilfe, die die Einarbeitung erleichtern würde, ist geplant.

Wer das IKARUS-Instrumentarium sinnvoll nutzen will, benötigt umfangreiche Kenntnisse über Energiewirtschaft und -technik sowie einige Erfahrung im Umgang mit Energiemodellen. IKARUS war zu Anfang des Projekts nicht nur für Experten im Umgang mit solchen Modellen gedacht, sondern darüber hinaus auch für einen weiter gefaßten Kreis mit Grundkenntnissen in Energiewirtschaft und -technik. Für diesen weiter gefaßten Kreis kann die Erfahrung im Umgang mit der linearen Programmierung und den anderen im IKARUS-Projekt verwendeten formalen Methoden nicht vorausgesetzt werden. Speziell für diesen Benutzerkreis ist daher einige Einarbeitungszeit notwendig.

Die Daten brauchen vom Benutzer nicht in das IKARUS-Modell eingegeben zu werden. Das Nachvollziehen und Überprüfen sämtlicher Daten durch den Benutzer wäre sehr zeitaufwendig.

Die Bedienung des Modells durch den Benutzer ist, wie oben ausgeführt, komfortabel, so daß die hierdurch verursachten Einsatzkosten gering sind.

Die Flexibilität des Modells bzgl. Daten- und Strukturänderungen ist unterschiedlich. Die Veränderung einzelner Daten oder Datenbündel ist wegen der verwendeten Szenariotechnik nicht aufwendig. Die Forderung, das Basisjahr jedes Jahr neu anzupassen, um so zu einer revolvierenden Planung zu kommen, zieht dagegen wegen des großen Umfangs des Datenvolumens einen hohen Aufwand nach sich. Wegen der hohen Komplexität des Modells wäre auch eine Änderung der gesamten Modellstruktur oder wesentlicher Teile davon sehr aufwendig.

⁷² Mündliche Information von Herrn Dr. Wilhelm Kuckshinrichs, STE, am 19.2.1996

3.2.2 Kritik am Modellsystem der Deutschen Shell

Das Modell ist in sich größtenteils konsistent. Die einzelnen Systemelemente sind in Form von Zeitreihen abgebildet. Die einzelnen Preise für Energieträger und Techniken sind nicht innerhalb des Modells abgebildet, so daß Betrachtungen nötig werden, die nur außerhalb des Modells vorgenommen werden können.

Die Realität wird auf ein Maß reduziert, das für die Erstellung von Szenarien angemessen erscheint. Speziell in den Teilmodellen für die Industrie und für den Umwandlungsbereich werden nur wenige Größen analysiert, von denen ein direkter Zusammenhang mit der zu erklärenden Größe angenommen wird. Im Haushaltsbereich ist eine stärkere Aggregation vorstellbar. Das Verkehrsmodell ist ziemlich umfangreich; dieses ist vor dem Hintergrund der mittel- und langfristigen Produktionsplanung zu sehen, die sich an den Szenarien orientiert.

Das Verhalten der Wirtschaftssubjekte ist im Shell-Modell nicht grundsätzlich vorgegeben wie etwa im Optimierungsmodell des IKARUS-Instrumentariums. Vielmehr ist das Verhalten der Wirtschaftssubjekte ein entscheidender Bestandteil der Szenarienannahmen. Da die Szenarien in sich konsistent scheinen, muß die Glaubwürdigkeit des Shell-Modells als hoch eingeschätzt werden.

Szenarien können mit dem Shell-Modell erstellt werden. Die Werte sämtlicher Variablen lassen sich ändern, so daß die Erstellung von Sensitivitätsanalysen ohne weiteres möglich ist.

Die exogenen Parameter werden im Shell-Modell in die Kalkulationsblätter eingetragen, die abhängigen ergeben sich durch Verknüpfung der entsprechenden Felder. Dadurch sind sowohl Modellinputs als auch -outputs leicht nachvollziehbar. Die Rechenwege lassen sich nachvollziehen, indem für jedes Feld der Tabelle die zum Feld gehörige Rechenformel angezeigt wird. Das kann mühselig sein, wenn verschiedene Zwischenrechnungen mit Hilfsfeldern angestellt werden, im wesentlichen aber ist der Rechenweg durch diese Art Programm sehr transparent.

Eine genaue Dokumentation des Modells existiert nicht; auch ist keine online-Hilfe zum Modell verfügbar. Allerdings existieren zu den meisten Eingaben kurze Beschreibungen. Bei Fehleingaben in ein Feld gibt das Tabellenkalkulationsprogramm eine

Fehlermeldung für dieses Feld sowie alle anderen Felder, die sich auf dieses beziehen, aus.

Die in den Shell-Szenarien getroffenen Aussagen werden quantifiziert und in Form einer Broschüre veröffentlicht. Neben den Prognosen von Prognos und Esso finden die Shell-Szenarien große Beachtung in der Presse. Sie leisten dadurch einen erheblichen Beitrag in der öffentlichen Diskussion.

Der Schwerpunkt in den Betrachtungen der Shell liegt eindeutig auf energiewirtschaftlichen Fragestellungen. Mit den Shell-Szenarien ist nicht originär beabsichtigt, die interdisziplinäre Kommunikation zu stärken. Durch die große Bedeutung der Szenarien in der öffentlichen Diskussion dürfte eine solche Vereinheitlichung der Sprache jedoch trotzdem erreicht werden.

Der Funktionsumfang erscheint insgesamt angemessen. Die in der Broschüre behandelten Fragen werden angemessen beantwortet. Das Modell basiert auf Tabellen, die unter dem PC-Tabellenkalkulationsprogramm Lotus-1-2-3 für Windows laufen. Das Modell nutzt daher die Vorteile, die mit der Nutzung eines Tabellenkalkulationsprogramms verbunden sind. Daten und Modellstrukturen lassen sich leicht ändern und solange das Tabellenkalkulationsprogramm weiterentwickelt und vom Benutzer jeweils die aktuelle Version installiert wird, entspricht die Oberfläche jeweils dem Stand der Technik und der Programmierer des Modells kann sich auf die eigentliche Modellierung konzentrieren. Ein Nachteil der Verwendung eines Tabellenkalkulationsprogramms ist darin zu sehen, daß das Modell nur auf solchen Rechnern laufen, die mit der Tabellenkalkulation ausgerüstet ist. Da nicht vorgesehen ist, daß das Modell außerhalb der volkswirtschaftlichen Abteilung der Deutschen Shell eingesetzt wird, ist diese Tatsache jedoch kein Problem beim Modelleinsatz. In Lotus-1-2-3 gibt es darüber hinaus auch die Möglichkeit, Grafiken zu erstellen. Auch diese Option wird im Modell genutzt.

Der Datenumfang orientiert sich pragmatischerweise an der jeweiligen Verfügbarkeit der Daten. Er ist insgesamt als angemessen zu bezeichnen, auch wenn in Teilbereichen vielleicht eine höhere Aggregation ausreichend gewesen wäre.

Der Innovationsgrad der Entwicklungssoftware ist niedrig. Tabellenkalkulationsprogramme sind seit mehr als einem Jahrzehnt auf dem Markt. Sie sind ständig weiterentwickelt worden, so daß von geringen Kosten ausgegangen werden kann.

In der Deutschen Shell werden seit Anfang der 70er Jahre Energieszenarien entwickelt. Shell kann daher auf eine lange Erfahrung zurückblicken. Die Energieszenarien werden von drei Mitarbeitern, die in einer Abteilung (Abt. TRW) organisiert sind, entwickelt, was von der Aufbauorganisation her sehr überschaubar ist. Die Fluktuation innerhalb der Abteilung ist relativ zu anderen Abteilungen niedrig. Ausbildungsstand, Arbeitsklima und räumliche Voraussetzungen sind gut. Die Qualität des Entwicklerpotentials ist daher insgesamt als sehr hoch einzuschätzen.

Die Materialkosten für Hardware und Software sind gering. Pro Mitarbeiter sind ein PC sowie eine Version Lotus-1-2-3 nötig.

Da das Modell nur auf den Rechnern innerhalb der Abteilung TRW in der Deutschen Shell eingesetzt wird, fallen Entwicklung und Benutzung des Modells personell zusammen. Für eine Installation der Tabellenkalkulationsprogramms gibt es ein Auto-Setup, die einzelnen Modelldateien werden auf externen Datenträgern (Diskette usw.) gesichert.

Eine online-Hilfe oder eine ausführliche Modellbeschreibung existiert nicht.

Die im Modell verwendeten formalen Methoden beschränken sich weitestgehend auf die 4 Grundrechenarten.

Die im Modell verwendeten Daten müssen für jedes Jahr aktualisiert werden. Über die Zeit ergibt sich so eine große Sammlung an Zeitreihen. Eine systemseitige Überprüfung der Daten auf Plausibilität erfolgt nicht; diese ergibt sich aber optisch durch Betrachtung der Grafiken, die über die Zeitreihen gelegt sind.

Wegen der Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche sind die Einsatzkosten relativ gering. Der größte Teil der Arbeit entfällt darauf, in sich konsistente Szenarien zu schaffen.

Tabellenkalkulationen sind darauf ausgerichtet, daß Datenänderungen schnell verarbeitet werden können. Auch die Änderung von Modellstrukturen ist durch Änderung der entsprechenden Tabellen ohne großen Aufwand möglich, so daß das Modell insgesamt als flexibel eingeschätzt werden kann.

3.2.3 Kritik am Modellsystem der HEW

Speziell im Absatzplanungsmodell kann von Werten, die mit Hilfe von Extrapolation gewonnen werden, abgewichen werden. Die Einschätzung erfolgt dann auf Basis mentaler Modelle. Ob es dadurch effektiv zu Inkonsistenzen kommt, kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden; die Gefahr ist jedoch vorhanden. Das Produktionsplanungsmodell kommt ohne mentale Modelle aus; hier ist die Gefahr von Inkonsistenzen dieser Art daher nicht gegeben.

Das Aggregationsniveau im Modell ist sehr hoch; explizit findet im Modell eine Beschränkung auf wenige Einflußgrößen statt.

Im HEW-Modell wird das Verhalten der Wirtschaftssubjekte in die Annahmen verlagert. Im Absatzmodell ergibt sich der Verbrauch in einem Sektor häufig als Bedarf, multipliziert mit dem spezifischen Verbrauch. Die Modellstruktur kann daher als realistisch eingeschätzt werden.

Da ein Teil des Absatzplanungsmodells auf gedanklichen Ansätzen beruht, können Sensitivitätsanalysen für einige Parameter praktisch nur unter hohem Aufwand erstellt werden. Auch ist es dadurch praktisch unmöglich, vollständige Szenarien zu erstellen. Im Produktionsplanungsmodell können Szenarien ohne Probleme erstellt werden, indem verschiedene Annahmen über die Kapazitäten oder über die Kosten der verschiedenen Anlagen getroffen und im Anschluß daran das Modell neu gestartet wird. Dadurch werden für diesen Bereich auch Sensitivitätsanalysen möglich.

Die Transparenz der Inputs und der Outputs sowie des Rechenwegs ist unterschiedlich. Inputs und Outputs des Absatzplanungsmodells sind in Form von Tabellen dokumentiert; soweit ist Transparenz gegeben. An den Stellen, wo im Modell aufgrund von modellexogenen Überlegungen von den per Extrapolation errechneten Werten abgewichen wird, ist der Weg von den Inputs zu den Outputs nicht transparent. Im Produktionsplanungsmodell ist der Rechenweg über die FORTRAN-Modelle schriftlich dokumentiert und somit nachvollziehbar.

Das Modell basiert auf Tabellenkalkulationsblättern, mentalen Modellen, Tabellen und Grafiken in Papierform sowie auf FORTRAN-Programmen. Die Tabellen mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms zu pflegen, ist generell nicht aufwendig. Aufwendig wird allerdings die Einarbeitung der Ergebnisse aus den mentalen Modellen und

der Ergebnisse aus den Tabellen und Grafiken in Papierform, wenn sichergestellt werden soll, daß die Ergebnisse konsistent sind. Die Pflege von Programmen, die in Programmiersprachen 3. Ordnung geschrieben sind, ist relativ aufwendig; dieser Nachteil muß durch entsprechende Erfahrung der Programmierer kompensiert werden.

Das Absatzplanungsmodell ist nicht schriftlich dokumentiert; auch eine online-Hilfe zu den verschiedenen Feldern im Modell existiert nicht. Allerdings existieren zu den meisten der Tabellenfelder kurze Beschreibungen.

Ein Beitrag zur öffentlichen Diskussion wird nur indirekt geleistet, indem der Hamburger Senat Einsicht in die Modellergebnisse nehmen kann. Eine Veröffentlichung der Modellergebnisse in den Medien findet nicht statt. Ein Beitrag zur Erleichterung der Diskussion zwischen verschiedenen Disziplinen wird innerhalb des Hauses HEW geleistet; außerhalb kann eine solche Diskussion mangels Veröffentlichung des Modells nicht stattfinden.

Der Funktionsumfang des Modellsystems ist gering. Die Kernfragen - wieviel Strom und Fernwärme wird in jedem Absatzsegment verbraucht und wie können die HEW diese Nachfrage decken? - werden beantwortet. Die Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche ist relativ gering. Daten können relativ leicht geändert werden; allerdings sind dann umfangreiche Neubewertungen bei den mentalen Modellen nötig. Die Modellstrukturen können schnell geändert werden. Die Anforderungen an die Hardware und die Software sind wegen der geringen Größe des Modells eher niedrig. Insgesamt sind die Kosten für die Entwicklung der Modelle daher niedrig.

Der schriftlich fixierte Datenumfang ist im Vergleich zu anderen Modellen sehr gering.

Das Personal hat eine große Erfahrung im Umgang mit den Modellen aufzuweisen und hat einen hohen Ausbildungsstand. Die Modellentwicklung und -pflege findet im wesentlichen in zwei Abteilungen innerhalb der HEW statt, die organisatorischen Probleme sind daher eher gering. Das Arbeitsklima und die räumlichen Voraussetzungen sind in beiden Abteilungen gut.

Die Anforderungen an die Hardware sind unterschiedlich. Das Absatzplanungsmodell wird auf PC bzw. mit Papier und Bleistift erstellt; die Hardwarekosten sind in die-

sem Bereich daher sehr niedrig. Das Produktionsplanungsmodell der HEW wird auf einem Großrechner gerechnet; die Hardwarekosten sind hier entsprechend hoch. Der Innovationsgrad der verwendeten Software ist gering: Tabellenkalkulationsprogramme sind seit einem guten Jahrzehnt im Einsatz, FORTRAN seit mehreren.

Da das Modell nicht vertrieben wird, fallen in diesem Bereich keine Kosten an. Über die Höhe der Verwaltungskosten liegen keine Angaben vor.

Eine Weitergabe der Programme an Dritte ist nicht vorgesehen; eine entsprechende Installationsroutine gibt es daher nicht.

Obwohl zum Absatzplanungsmodell weder eine Dokumentation noch eine online-Hilfe existieren, ist die Einarbeitung in die Struktur des Absatzplanungsmodells nicht aufwendig. Die Einarbeitung in das Produktionsprogrammplanungsmodell erfordert dagegen mehr Zeit; insbesondere ist es aufwendig, das FORTRAN-Coding nachzuvollziehen.

In beiden Modellen werden im wesentlichen nur die 4 Grundrechenarten verwendet; eine Einarbeitung in anspruchsvolle formale Methoden entfällt daher.

Die Daten können ständig korrigiert werden. Eine Überprüfung der Daten auf Plausibilität findet bei der Eingabe nicht statt.

Die Benutzerfreundlichkeit des Modells ist zwar gering; wegen des geringen Funktions- und Datenumfangs beim Absatzmodell und der vorhandenen Erfahrung bei den HEW-Mitarbeitern im Umgang mit FORTRAN sind die entsprechenden Kosten beim Einsatz der Modelle aber trotzdem gering.

Im Absatzplanungsmodell können Daten und Modellstrukturen ohne weiteres geändert werden. Im Produktionsplanungsmodell können die Daten ebenfalls leicht geändert werden; die Modellstruktur ist allerdings durch die Verwendung von FORTRAN relativ fest vorgegeben.

3.2.4 Kritik am Modell der Hamburger Gaswerke GmbH

Wie in Kapitel 2.4.1 dargelegt wurde, ist das Modell der HGW dem HEW-Absatzplanungsmodell strukturell sehr ähnlich, wenn das HGW-Modell auch stärker

rechnergestützt ist als das HEW-Modell. Von daher wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Kritik verzichtet.

3.2.5 Kritik am Klimaschach

Wie in Kapitel 2.5 dargestellt wurde, ist das Klimaschach-Spiel kein Modell im eigentlichen Sinn, da der überwiegende Teil der Prognosearbeit außerhalb des Spiels erfolgen muß. Insbesondere ist nicht gewährleistet, daß die einzelnen Überlegungen in sich stimmig sind.

Die Realität ist im Klimaschach-Modell in sehr komprimierter Form abgebildet. Insbesondere die Beschränkung auf nur 3 Energieverbrauchsarten ist zumindest ungewohnt. Andererseits soll mit dem Ansatz nur verdeutlicht werden, wie die Emissionen grundsätzlich von der Höhe des Energieverbrauchs abhängen und daß eine Auswahlentscheidung getroffen werden muß. Dieses Ziel wird durch das Klimaschachspiel erreicht.

Die Modellstruktur besteht praktisch nur aus zwei Tableaus, die mit einer festen Relation miteinander verknüpft sind. Annahmen über das Verhalten werden nicht durch die Struktur vorgegeben. Von daher ist die Modellstruktur an sich realistisch.

Möglichkeiten zur Erstellung von Szenarien bestehen. Da in die Spieltabelle keine Inputgrößen eingehen, können allerdings keine Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden.

Die Eingabe der Parameter sowie des Rechenwegs sind nicht in der Tabelle dokumentiert. Es ist daher nicht nachvollziehbar, ob die Einträge in die Tabelle überhaupt plausibel sind. Innerhalb des Ansatzes ist die Transparenz sehr hoch, da es sich von der Überleitung vom Energietableau zum Emissionstableau nur um eine einfache Verknüpfung handelt.

Eine Dokumentation des Spiels ist mit dem vorliegenden Artikel vorhanden. Es bleibt dem Leser überlassen, ob er das Spiel mit Bleistift und Papier spielt oder ob er sich eine Kalkulationstabelle erstellt. Von daher hängt es vom Leser ab, wie komfortabel er sich seine Spieloberfläche gestaltet.

Ein Beitrag zur Versachlichung der Diskussion wird mit dem Modell nur bedingt geleistet, da es dem Leser generell freigestellt ist, in welcher Höhe er den Energiever-

brauch annimmt und wie er diesen decken läßt. Auch realitätsferne Lösungen sind grundsätzlich mit dem Spiel möglich.

Das Spiel ist grundsätzlich als 1-Personen-Spiel angelegt. Von daher kann erst gar keine interdisziplinäre Kommunikation aufkommen.

Die Kosten für die Entwicklung sind minimal. Im Extremfall genügen ein Blatt Papier, ein Bleistift und vielleicht noch ein Taschenrechner. Die Daten werden mit dem Spiel nicht mitgeliefert, abgesehen von den spezifischen Emissionsfaktoren. Die Qualität des Entwicklers kann je nach seinen persönlichen Voraussetzungen unterschiedlich sein.

Auch die Benutzung des Modells ist nicht aufwendig. Für die Einarbeitung reicht das Lesen des Artikels. Zur Bearbeitung der Tabellen muß der Benutzer nur die 4 Grundrechenarten beherrschen. Die eigentliche Schwierigkeit bei der Bearbeitung liegt in der Eingabe der Daten, und hier hat der Benutzer erheblichen Aufwand, weil mit dem Spiel abgesehen vom Tableau des Ausgangsjahres keine Anhaltspunkte für zukünftige Entwicklungen mitgeliefert werden.

3.3 VERGLEICH DER BEURTEILUNGEN DER BETRACHTETEN ENERGIEMODELLE

Wie im letzten Abschnitt gezeigt wurde, haben die betrachteten Energiemodelle sehr unterschiedliche Nutzen- und Kostenhöhen. Im folgenden werden die verschiedenen Beurteilungen noch einmal nebeneinander gestellt. Dabei werden die Modelle der HEW und der HGW aus Vereinfachungsgründen zusammengefaßt. Die Bewertung anhand der Kategorien ist dabei rein subjektiv und nur als grobe Einschätzung zu verstehen; eine Bewertung anhand fest vorgegebener Bewertungsgrenzen müßte an anderer Stelle erfolgen.

Tabelle 5: Vergleich von Nutzen und Kosten verschiedener Energiemodelle

Ex ante Nutzen von Energiemodellen	IKARUS	Shell	HEW/HGW	Klimaschach
Konsistenz der Beschreibung von Systemelementen und deren Beziehungen	-	+	-	--
Reduktion der Realität auf zieladäquates Maß	--	+	-	--
Glaubwürdigkeit der Modellstruktur (Realismus)	-	++	++	++
Möglichkeit der Erstellung von Szenarien und Sensitivitätsanalysen	++	++	--	o
Transparenz der Modellinputs, -outputs und des Rechenweges	--	+	o	--
Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche: Dokumentation, online-Hilfe, Resistenz gegen Fehleingaben	++	o	-	++

Ex ante Nutzen von Energiemodellen	IKARUS	Shell	HEW/HGW	Klimaschach
Beitrag zur Versachlichung der öffentlichen Diskussion über Umwelt- und Energiefragen durch Quantifizierung der Aussagen	+	++	-	o
Erleichterung der interdisziplinären Kommunikation z.B. zwischen Ökonomen, Ingenieuren, Ökologen und Informatikern	+	o	+	-
<u>Kosten von Energiemodellen</u>				
<u>a: Kosten für Entwicklung</u>				
Funktionsumfang (z.B. Beantwortung der Kernfragen, Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche, schnelle Änderbarkeit von Daten und Modellstrukturen, Portabilität)	+	++	++	++
Datenumfang	--	+	++	++
Innovationsgrad Entwicklungssoftware	?	++	++	?
Qualität des Entwicklerpersonals (Erfahrung, Kontinuität, Ausbildungsstand usw.)	++	++	++	?
Organisation des Entwicklungsteams	o	++	+	?
Materialkosten: Hardware/ Software	++	++	O	++
Sonstige Kosten: Verwaltung, Vertrieb	o	?	?	++
<u>b: Kosten für Einsatz</u>				
Aufwand für Modellinstallation (Auto-Setup, Portabilität)	++	?	?	o
Einarbeitung in Modellstruktur (Qualität der Dokumentation, Online-Hilfe)	o	-	O	++
Bekanntheitsgrad der formalen Methoden im Modell	für Experten: ++, für Laien: o	++	++	++
Daten: Notwendigkeit zur Eingabe, Überprüfung	-	+	+	--
Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche	++	+	+	--
Flexibilität für Daten- und Modellstrukturänderungen	--	+	+	++

Quelle: eigene Darstellung

Legende: ++ Kriterium sehr gut erfüllt, + Kriterium gut erfüllt, o Kriterium erfüllt, - Kriterium teilweise erfüllt, -- Kriterium nicht erfüllt

4 ENTWICKLUNG EINES MODELLS ZUR PROGNOSTIZIERUNG DES DEUTSCHEN ENERGIEVERBRAUCHS

Im folgenden wird ein Modell entwickelt, auf dessen Grundlage ein bundesweit operierendes Energieversorgungsunternehmen seine strategische Absatz- und Produktionsmengenplanung vornehmen kann.

Die Modellerstellung erfolgt dabei in folgenden Phasen:⁷³

- Zielbeschreibung
- Entwicklung der Grobstruktur des Modells
- Entwicklung der Feinstruktur des Modells
- Modellanwendung

In der ersten Phase wird das Ziel, das mit Hilfe des Modells erreicht werden soll, genau beschrieben. Die Anforderungen an den Modellinhalt müssen in dieser Phase deutlich werden.

In der zweiten Phase wird die grobe Struktur des Modells entwickelt. Dazu gehören die Auswahl eines der in Kapitel 1.4 aufgelisteten Typen von Modellen sowie eine erste Entwicklung von einzelnen Modulen im Modell. Außerdem ist in dieser Phase eine Entscheidung darüber zu treffen, welche Oberfläche für das Modell gewählt werden soll.

In der dritten Phase wird die Feinstruktur entwickelt. Für die einzelnen Subsysteme werden Parameter ausgewählt und die Daten hierzu gesammelt. Das System wird mathematisch abgebildet und in Software für die in der ersten Phase beschlossene Oberfläche umgesetzt. In dieser Phase ist auch zu entscheiden, ob und wie die verschiedenen Zusammenhänge im Modell veranschaulicht werden sollen. Schließlich wird das Modell hier einer Kritik unterzogen.

⁷³ Vgl. in abgewandelter Form: Jürgen-Friedrich Hake u.a.: Modelling of Energy-Related Emissions on a National and Global Level - An Overview of Selected Approaches, in: Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.): Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Bd. 15/1994, Jülich 1994, S. 3 ff., hier: S. 10

4.1 ZIELBESCHREIBUNG

Generell muß sich das im folgenden zu erstellende Modell an demselben Kriterienkatalog messen lassen, anhand dessen auch die anderen Modelle beurteilt wurden. Mit dem Modell soll also das Ziel verfolgt werden, den in Abschnitt 3.1 aufgestellten Kriterienkatalog bestmöglich zu erfüllen.

In Abschnitt 3.1 wurde als Oberkriterium angesehen, daß mit dem Modell das Kosten-Nutzen-Optimum erreicht wird. Wie dieses Optimum erreicht werden kann, wird im folgenden kurz erörtert. Dabei sollen für Nutzen und Kosten keine absoluten Werte ermittelt werden; eine entsprechende empirische Messung dürfte auch sehr schwierig sein. Aber es sollen trotzdem einige Überlegungen angestellt werden, ob sich eine optimale Größe eines Modells finden läßt.

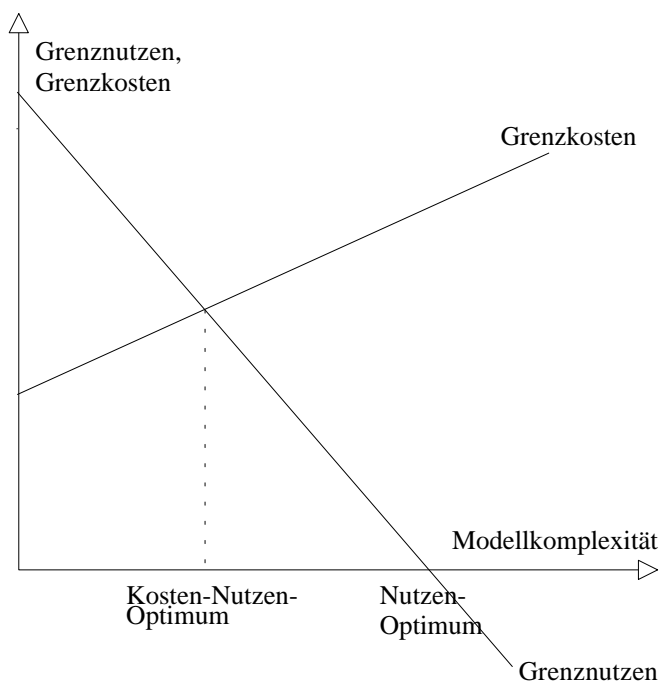
Werden in Modellen nur sehr wenige Determinanten aufgenommen, dann müssen viele Überlegungen außerhalb des Modells, in mentaler oder anderer Form, betrachtet werden. Der Nutzenzuwachs gegenüber rein mentalen Modellen ist zunächst gering. Werden wenige relevante Determinanten aufgenommen, kann sich das Verständnis für die Zusammenhänge erhöhen. Gleichzeitig sind Modelle dieser Größenordnung noch übersichtlich, so daß von vornherein alternative Rechenwege auf ihre Plausibilität hin überprüft werden können. Werden weitere Determinanten hinzugefügt, dann besteht die Gefahr, daß das Modell unübersichtlich wird; ein Front-End-Denken, d.h. die Nachvollziehbarkeit des Rechenwegs, wird schwieriger. Ein großer Teil der investierten Arbeitszeit wird hier nicht mehr auf die eigentliche Modellanwendung verwendet, sondern die Anstrengungen werden darauf gerichtet, das Modell zum Laufen zu bringen und die zunächst nicht transparenten Modellergebnisse zu deuten. Ein weiterer Nachteil größerer Modelle besteht in der erhöhten Schwierigkeit, Sensitivitätsanalysen erstellen zu können, um so die Unsicherheit der Prognose einerseits aufgrund der Daten und andererseits aufgrund der Modellstruktur einschätzen zu können.⁷⁴ Die Abbildung der Realität ist zwar bei größeren Determinanten genauer, gleichzeitig steigt aber auch die Unsicherheit bezüglich der Daten. Schließlich können die Ergebnisse der Modellrechnungen und die Rechenwege den Adressaten der Modelle schlechter kommuniziert werden. Ein Modell

⁷⁴ Vgl. Lincoln E. Moses: Energy Models: Complexity, Documentation, and Simplicity, in: Robert M. Thrall/ Russell G. Thompson/ Milton L. Holloway (Hrsg.): Large Scale Energy Models. Prospects and Potential, Boulder (Colorado), 1983, S. 5 ff., hier: S. 7

muß "genügend komplex sein, um den jeweiligen Sachverhalt hinreichend erfassen zu können, andererseits muß dieses genügend vereinfacht sein, um es bei noch vertretbarem Aufwand erstellen und durchspielen zu können".⁷⁵

Der Nutzen also steigt bei zunehmender Größe des Modells zunächst, dann fällt er wieder. Es spricht vieles dafür, "daß der funktionale Zusammenhang zwischen geleistetem Aufwand und prognostischem Erfolg dem allgemeinen ökonomischen Gesetz vom abnehmenden Grenzertrag unterliegt".⁷⁶

Abbildung 15: Kosten-Nutzen-Optimum und Nutzen-Optimum bei Energiemodellen



Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an William Alonso: Predicting Best with Imperfect Data, in: Journal for the American Institute of Planners, 34. Jg., 1968, S. 248 ff., hier: S. 251, zitiert nach Manfred Härter: Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogener Aussagen - exemplarisch untersucht an Energie"prognosen" der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt (M)/ Bern/ New York 1985, S. 89

⁷⁵ Vgl. Sergio Koreisha/ Robert Stobaugh: Harvard Energie Report, Gütersloh 1980, S. 357, zitiert nach Manfred Härter: Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogener Aussagen - exemplarisch untersucht an Energie"prognosen" der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt (M)/ Bern/ New York 1985, S. 91

⁷⁶ Manfred Härter: Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogener Aussagen - exemplarisch untersucht an Energie"prognosen" der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt (M)/ Bern/ New York 1985, S. 88. Vgl. auch Kay Schlette: Analyse des IKARUS-Optimierungsmodells anhand verschiedener Praktikabilitätskriterien, Studie der AGEF Oldenburg im Auftrag von STE, Hamburg 1996 (unveröffentlicht), S. 5 ff.

Die ex ante Kosten eines Energiemodells sind umso höher, je mehr Variablen verwendet werden. Die Einarbeitung in das Modell dauert länger. Die Eingabe von Daten dauert länger, insbesondere wenn diese noch nicht vollständig in der Entwicklungsphase erfolgt ist. Schließlich werden auch die Auswertungen der Modellergebnisse komplizierter und erfordern daher mehr Aufwand. Mit zunehmender Modellgröße nehmen die beschriebenen Probleme überproportional zu, so daß zu vermuten ist, daß die Grenzkostenfunktion steigend verläuft.

Das Nutzen-Optimum eines Modells ergibt sich unter den genannten Bedingungen bei mehr Variablen als das Kosten-Nutzen-Optimum, vgl. Abbildung 15. Für die Erstellung eines Modells sind daher nur so viele Variablen zu berücksichtigen, bis das Kosten-Nutzen-Optimum erreicht ist. Dabei ist der Prognoseaufwand auf diejenigen Parameter zu konzentrieren, die prägenden Einfluß auf die nachgelagerte Entscheidung haben.

Im folgenden wird versucht, dieses Kosten-Nutzen-Optimum zu finden.

4.2 ENTWICKLUNG DER GROBSTRUKTUR

Aus den Vorgaben, welche Ziele mit Hilfe des Modells erreicht werden sollen, wird nun in einem zweiten Schritt eine Definition des Systems abgeleitet.

Dazu wird zunächst ein Modelltyp ausgewählt; dann wird der zu betrachtende Markt nach verschiedenen Kriterien abgegrenzt und schließlich wird die Oberfläche für das Modell ausgewählt.

4.2.1 Auswahl eines Modelltyps

In Kapitel 1.4 wurden Energiemodelle in diverse Kategorien eingeteilt. Bevor mit der Modellierung begonnen werden kann, muß zunächst eine daraus zielorientiert ausgewählt werden.

Mit dem Modell soll eine Grundlage für die betriebliche Planung eines Energieversorgungsunternehmens gelegt werden. Dazu sind diejenigen Entwicklungen zugrundezulegen, die der Modellersteller für am wahrscheinlichsten hält. Das Modell sollte also in erster Linie Prognose-Charakter haben. Für den Fall, daß sich der Modellersteller über die Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Ereignisse unsicher ist oder Sensivitäten ermitteln will, sollte allerdings die Möglichkeit bestehen, mehrere Varianten durchzurechnen.

Wenn Entscheidungen von Energieversorgungsunternehmen vorbereitet und zumindest erleichtert werden sollen, dann müssen insbesondere die Modellergebnisse kommunizierbar sein. Außerdem sollten die Modellannahmen und die Modellstruktur leicht nachvollziehbar und reproduzierbar sein. Es ist daher eine gewisse Systematik erforderlich, was rein mentale Modelle grundsätzlich ungeeignet erscheinen läßt.

Für die Entscheidung, ob ein Simulationsmodell oder ein Optimierungsmodell verwendet werden sollte, gilt diese Überlegung entsprechend. Optimierungsmodelle sind sehr transparent, solange nur sehr wenige Variablen verarbeitet werden. Wenn in einem Optimierungsmodell aber eine bestimmte Anzahl an Variablen und Nebenbedingungen überschritten wird, dann sinkt die Transparenz sehr schnell. Weiterhin wird in Optimierungsmodellen unterstellt, daß energiewirtschaftliche Entscheidungen grundsätzlich unter rein rationalen Gesichtspunkten getroffen werden. Da in der Realität zu beobachten ist, daß diese Annahme so nicht zutrifft, müssen die Lösungsräume von Optimierungsmodellen eingeschränkt werden, wozu wiederum mentale Modelle oder Simulationsmodelle nötig sind. Wegen der geforderten Transparenz des Modells wird daher ein Simulationsmodell ausgewählt.

Ob ein Modell top-down oder bottom-up geführt wird, ist in erster Linie eine Frage der Schwerpunktsetzung. Bei stärkerer Gewichtung des technischen Fortschritts als Grundlage für die Entwicklung der Energiewirtschaft bietet sich ein Bottom-Up-Modell an. Umgekehrt ist bei stärkerer Berücksichtigung von makroökonomischen und anderen übergreifenden Einflußfaktoren ein Top-Down-Modell vorzuziehen. Im folgenden wird der Top-Down-Ansatz gewählt. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, daß sich Entscheidungen von Wirtschaftssubjekten nicht in erster Linie am technisch Möglichen ausrichten, sondern an ihren wirtschaftlichen Präferenzen. In Teilbereichen deckt sich die wirtschaftliche Präferenz mit dem Nachvollziehen des technischen Fortschritts, beispielsweise im Kraftwerksbau. Um den technischen Fortschritt angemessen berücksichtigen zu können, wird der Top-Down-Ansatz in den einzelnen Untermodellen daher um technische Betrachtungen ergänzt.

In diesem Zusammenhang muß auch die Entscheidung getroffen werden, ob das Modell angebots- oder nachfrageorientiert strukturiert sein soll. Gegenwärtig besteht in Deutschland kein Mangel an Versorgung mit Energie, die Versorgung orientiert sich in erster Linie an der Nachfrage. Die statistische Reichweite der fossilen Energieträger ist

so hoch, daß in den nächsten 20-25 Jahren keine natürliche Verknappung zu erwarten ist. So reichen die heute weltweit nachgewiesenen Reserven an Erdöl aus, um den heutigen Verbrauch gut 40 Jahre lang zu decken. Auch bei den anderen fossilen Energieträgern ist in absehbarer Zeit kein natürlicher Engpaß zu erwarten; die Reserven an Erdgas reichen über 65 und die an Kohle weit über 200 Jahre.⁷⁷ Eine Einschränkung ist allerdings darin zu sehen, daß ein erheblicher Teil der Weltreserven an Erdöl und Erdgas auf eine kleine Anzahl politisch labiler Staaten im mittleren Osten und in den GUS-Staaten entfällt.⁷⁸ Trotz des Abbaus der Abhängigkeit vom Öl aus dem mittleren Osten und eines gegenüber den 70er Jahren deutlich verbesserten Krisenmanagements ist daher eine politisch motivierte Energieverknappung seitens der Förderländer nicht auszuschließen.⁷⁹ Im folgenden wird jedoch weiterhin davon ausgegangen, daß eine solche Energieverknappung nicht eintritt, so daß sich das Angebot an Energie weiterhin an der Nachfrage ausrichtet und nicht umgekehrt. Das Modell wird also nachfragegesteuert sein. Im Modell wird dementsprechend zunächst die Endenergienachfrage in den verschiedenen Verbrauchssektoren ermittelt, um dann nach den Verlusten im Umwandlungssektor die Primärenergienachfrage zu erhalten. Wie hoch die Nachfrage nach Endenergie sein wird, hängt ab insbesondere von demographischen, makroökonomischen und technischen Parametern (Umwandlung von End- in Nutzenergie) sowie von den rechtlichen Rahmenbedingungen. Auf die Einzelheiten für jeden Verbrauchssektor wird bei der Modellierung eingegangen.

Die Unsicherheit läßt sich im Prognosemodell generell auf mehrere Arten abbilden. Bei einer stochastischen Prognose ergeben sich dabei zusätzliche Probleme, denn die Trefferwahrscheinlichkeit einer Prognose ist entgegengesetzt zu ihrem Informationsgehalt, wie folgendes Zitat verdeutlicht:

”Wenn ich eine nach streng ökonomischen Methoden abgesicherte Prognose für das nächste Jahr gebe, dann sagt mir diese Problemprognose nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsberechnung: ‘Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % wird im nächsten Jahr das Sozialprodukt zwischen

⁷⁷ Vgl. BP (Hrsg.): BP Statistical Review of World Energy 1996, London 1996, S. 4, 9, 20, 25, 30, 32. Pro Energieträger ergibt sich die Reichweite durch die Division der weltweit nachgewiesenen Reserven durch den weltweiten Verbrauch 1995 bzw. bei Kohle durch die weltweite Produktion.

⁷⁸ Vgl. Deutsche Shell AG (Hrsg.): Perspektiven für Erdöl und Erdgas im 21. Jahrhundert, Aktuelle Wirtschaftsanalysen, Heft 27, 10/1996, S. 7

⁷⁹ Vgl. Heinz-Jürgen Schürmann: Politische Energieverknappung?, in: Handelsblatt vom 1.8.1996

- 4 % und + 10 % wachsen.' Damit kann ich natürlich gar nichts anfangen, sondern ich muß mich schon zu einer etwas härteren Aussage bekennen."⁸⁰

Dieser Gegensatz ist nur teilweise durch den Fortschritt an Erkenntnissen zu überwinden. Im Sinne der Klarheit der Ergebnisse und der Einfachheit des Modells wird auf eine verkomplizierende Darstellung der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten verzichtet, es wird also eine deterministische Prognose erstellt.

Damit ein Energieversorgungsunternehmen Entscheidungen treffen kann, sind sowohl qualitative Informationen als auch der quantitative Hintergrund dazu nötig. Vor dem Hintergrund, daß der mit Hilfe dieses Modells erstellten Prognose erhebliche Unsicherheit anhaftet, ist der Schwerpunkt nicht auf die Exaktheit der Zahl zu legen. Es geht im Sinne des ex ante-Nutzens nur darum, das Verständnis für die Zukunft zu erhöhen und eine ungefähre Vorstellung davon zu bekommen, was alles in der Zukunft möglich ist. Insofern wird zwar ein quantitatives Modell erstellt, aber es werden in jedem zu untersuchenden Teilbereich nur einige wenige Einflußgrößen dargestellt. An die Bearbeitung der Prognose muß sich eine ausführliche qualitative Deutung anschließen.

Da mit Hilfe dieses Modells nicht nur die Produktions-, sondern auch die Absatzplanung erstellt werden soll, sollte das Modell nicht ergebnisbestimmt sein, sondern sich statt dessen an den Annahmen orientieren.

Schließlich ist zu entscheiden, ob das Modell statisch, quasi-dynamisch oder dynamisch aufgebaut sein soll. Die Entscheidung hierüber hängt insbesondere vom statistischen Datenmaterial ab. Die Energiestatistiken Deutschlands beziehen sich jeweils auf Jahreszeiträume, sind daher diskret. Da Trends im wesentlichen nur aus Entwicklungen in der Vergangenheit abgeleitet werden können, ist nicht nur ein Basisjahr zu berücksichtigen, sondern eine Reihe von Jahren. Aus diesem Grund wird ein quasi-dynamisches Modell gewählt.

⁸⁰ Rolf Kregel: Ökonomische Strukturen der Zukunft, in: Die Frage nach europäischer Zukunftsforschung - Symposium veranstaltet vom Zentrum Berlin für Zukunftsforschung in Zusammenarbeit mit der Kommission der Europäischen Gemeinschaften unter der wissenschaftlichen Leitung von K.W. Deutsch und Meinolf Dierkes, Berlin 1976, S. 117 ff., hier: S. 143, zitiert nach: Manfred Härtel: Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogener Aussagen - exemplarisch untersucht an Energie"prognosen" der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt (M)/ Bern/ New York 1985, S. 45.

4.2.2 Segmentierung des zu betrachtenden Energiemarkts

Energie ist ein knappes Gut, mithin gibt es in Deutschland einen Markt dafür. Um den Energieverbrauch analysieren und prognostizieren zu können, bietet es sich daher an, den zugrundeliegenden Markt zu segmentieren.

Dazu werden folgende Kriterien verwendet:⁸¹

- Institutioneller Ansatz (wer verbraucht Energie?)
- Deckung über Energieträger (in welcher Form?)
- Geographischer Ansatz (wo?)
- Zeitliche Komponente (wann?)
- Verhaltensbezogener Ansatz (warum?)

4.2.2.1 Marktsegmentierung nach dem institutionellen Ansatz

Nach dem institutionellen Ansatz wird der deutsche Energiemarkt üblicherweise in eine Reihe von Endenergieverbrauchssektoren und Umwandlungssektoren unterteilt.

In den Statistiken der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen wird dieser institutionelle Ansatz ebenfalls verwendet; hier wird zwischen der Primärenergiebilanz (Zeilen-Nr. 1-8), der Umwandlungsbilanz (Zeilen-Nr. 8-47) und dem Endenergieverbrauch (Zeilen-Nr. 50-80) unterschieden, vgl. Tabelle 6. Nichtenergetischer Verbrauch und Statistische Differenzen sind dabei nicht genau einem Teil der Energiebilanz zuzuordnen.

Für ein nachfrageorientiertes Modell kann die Primärenergiebilanz im Modell vernachlässigt werden, denn die Beschaffung von Energie stellt nicht den Engpaß dar.

Innerhalb des Endenergieverbrauchs machten Haushalte, Kleinverbraucher und Militär 1996 zusammen knapp die Hälfte des Endenergieverbrauchs aus. Der Endenergieverbrauch der Haushalte betrug danach 100,1 Mio. t SKE, derjenige der Kleinverbraucher 56,7 Mio. t SKE und derjenige der militärischen Dienststellen 1,1 Mio. t SKE, während

⁸¹ Diese Marktsegmentierungskriterien sind an die klassischen Kriterien angelehnt, die vor allem zur Marktsegmentierung von Endkunden im Marketing verwendet werden. Hier wird unterschieden nach demographischen, geographischen, psychographischen und verhaltensbezogenen Ansätzen, vgl. z.B. Philip Kotler/ Friedhelm Bliemel: Marketing-Management, 8. Aufl., Stuttgart 1995, S. 430 f. Der Energiemarkt ist hingegen mehrstufig und besteht nachfrageseitig aus mehreren unterschiedlichen Kundengruppen, weswegen statt des demographischen Ansatzes ein institutioneller gewählt wird.

der gesamte Endenergieverbrauch 328,5 Mio. t SKE ausmachte.⁸² Das Militär hat als Energieverbraucher also eine verhältnismäßig geringe Bedeutung, ab 1995 wird diese Größe auch nicht mehr eigens in den Energiebilanzen aufgeführt. Wenn davon ausgegangen werden kann, daß sich daran in den nächsten Jahren nichts ändert, dann erscheint es sinnvoll, die Haushalte gesondert zu betrachten und Kleinverbraucher und Militär zusammenzufassen.

Tabelle 6: Schema der Energiebilanz (bis 1994)

Zeilen-Nr.		Position
1		Energiegewinnung im Inland
2	+	Einfuhr
3	+	Bestandsentnahmen
4	=	Energieaufkommen im Inland
5	-	Ausfuhr
6	-	Hochseebunkerungen
7	-	Bestandsaufstockungen
8	=	Primärenergieverbrauch im Inland
9-22	-	Umwandlungseinsatz
23-36	+	Umwandlungsausstoß
37-45	-	Eigenverbrauch im Energiesektor
46	-	Fackel- und Leitungsverluste
47	=	Energieangebot im Inland
48	-	Nichtenergetischer Verbrauch
49	+/-	Statistische Differenzen
50	=	Endenergieverbrauch
51-73	-	Übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe
74-78	-	Verkehr
79	-	Haushalte und Kleinverbraucher (teilweise getrennt)
80	-	Militärische Dienststellen

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Die andere Hälfte des Endenergieverbrauchs entfiel 1996 auf den Verkehr und auf die Industrie, in der Energiebilanz bezeichnet als übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe; diese Sektoren sind daher getrennt zu berücksichtigen.

Während die statistischen Differenzen im Rahmen der Verluste bei der Umwandlung berücksichtigt werden können, wird der nichtenergetische Verbrauch eigens betrachtet.

Im Rahmen der Umwandlungsbilanz ist mengenmäßig vor allem die Erzeugung von Strom von Bedeutung. Eine Aufschlüsselung der Verluste in den sonstigen Umwand-

⁸² Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 1996 – Berechnungen auf Basis des Wirkungsgradansatzes – vorläufige Angaben, Stand: 15. Juli 1997, Berlin/ Köln 1997 (unveröffentlicht)

lungsbereichen (Mineralölverarbeitung, Fernwärmeerzeugung, Erzeugung künstlicher Gase, Fackel- und Leitungsverluste, Bewertungsdifferenzen, statistische Differenzen usw.) erscheint angesichts der Vielzahl von kleineren Positionen nicht sinnvoll. Diese Positionen werden daher in einer Größe zusammengefaßt.

4.2.2.2 Deckung der Nachfrage nach Energie über Energieträger

Der Markt für einen Energieträger ist nicht in sich abgeschlossen. Statt dessen bestehen langfristig Substitutionsbeziehungen zwischen den verschiedenen Energieträgern. Mit dem Modell sollen daher einerseits die Nachfrage nach Energie und andererseits die Deckung dieser Nachfrage über die verschiedenen Energieträger ermittelt werden können. Bei den verschiedenen Energieträgern wird üblicherweise bei einer aggregierten Betrachtung zwischen Steinkohle, Braunkohle, sonstigen festen Brennstoffen, Mineralöl, Gasen und den aus diesen Energieträgern gewonnenen Produkten sowie Strom, Fernwärme, Kernkraft, Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie unterschieden.⁸³

In den meisten Marktsegmenten ist zu beobachten, daß die Bedeutung von Stein-, Braunkohle und festen Brennstoffen schwindet. Im Modell können diese Energieträger daher in aggregierter Form betrachtet werden; nur bei der Berechnung der Emissionen ist wegen des stark unterschiedlichen spezifischen CO₂-Gehalts bei der Verbrennung eine Aufteilung sinnvoll. Wind- und Sonnenenergie leisten bislang nur einen geringen Beitrag zur Stromerzeugung; da die Tendenz bei diesen Energieträgern aber steigend ist, sollten sie im Teilmodell für den Umwandlungssektor berücksichtigt werden.

4.2.2.3 Geographischer Ansatz

Wenn der Energieverbrauch in Deutschland geschätzt werden soll, dann ergibt sich insbesondere die Frage, in welcher Art und Weise die Energiewirtschaft der neuen Bundesländer berücksichtigt werden soll. Prinzipiell ergeben sich hier mehrere Möglichkeiten. Für den Zeitraum, in dem Energiebilanzen für die neuen Bundesländer nach dem

⁸³ Darüber hinaus gehende Aufteilungen sind im Modell nicht vorgesehen, können aber zusätzlich eingebaut werden, in der Datei Ageb.xls wurden zusätzlich zu den obigen Energieträgern noch die Gase eingehender betrachtet; es wurde eine Aufschlüsselung der Gase nach Naturgasen (Erd- und Erdölgas, Gruben- und Klärgas) und künstlichen Gasen (Flüssiggas, Raffinerie- und Gichtgas, Kokei- und Stadtgas) vorgenommen; außerdem wurde das Mineralöl noch nach Heizöl leicht, Heizöl schwer und sonstigen Mineralölen unterteilt.

Schema der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen erstellt wurden (1970-94)⁸⁴, könnten die neuen Bundesländer getrennt von den alten betrachtet werden.

Dabei ergeben sich einige Vor-, aber auch einige Nachteile. Von Vorteil dürfte insbesondere sein, daß die Sammlung der Daten damit halbwegs vollständig ist. Nur so läßt sich etwa der Zusammenbruch bei der ostdeutschen Industrie nach der Wende oder ihren Wiederaufbau danach im Modell darstellen, mit den damit verbundenen Auswirkungen auf den Energieverbrauch. Ob sich aus der Entwicklung in der ehemaligen DDR viele brauchbare Rückschlüsse auf Ereignisse nach der Wende ziehen lassen, muß bezweifelt werden; dazu waren die Wirtschaftssysteme zu verschieden.

Wenn man mit einer weniger umfangreichen Datensammlung auskommen will, dann ließe sich auch die Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland darstellen, also bis zur Wiedervereinigung nur in den alten, danach einschließlich der neuen Bundesländer. Dadurch ergibt sich bei der Datensammlung nur ein Bruch in 1990/91 statt zwei Brüche in 1969/70 und 1994/95.

Um Vor- und Nachteile beider Alternativen vereinen zu können wird im Modell folgendermaßen verfahren. Grundsätzlich wird die Bundesrepublik Deutschland dargestellt, d.h. bis zum Jahr 1990 ausschließlich, seit 1991 einschließlich der neuen Bundesländer.⁸⁵

4.2.2.4 Berücksichtigung der zeitlichen Komponente

Damit das Modell bei strategischen Entscheidungen von Nutzen ist, muß im Modell ein Zeitraum überblickt werden können, in dem sich die direkten Auswirkungen dieser Entscheidungen abspielen. In der Energiewirtschaft werden solche strategischen Entscheidungen häufig über einen Zeitraum von 20-25 Jahren oder noch mehr geschlossen. Beispiele dafür sind die langfristigen Bezugsverträge in der Erdgaswirtschaft, der Lebenszyklus eines Kraftwerks oder aktuell der Bau von Anlagen zur Erzeugung von So-

⁸⁴ Hans-Joachim Ziesing: Entwicklung des Energieverbrauchs und seiner Determinanten in der ehemaligen DDR, Berlin 1991; Jochen Hesselbach: Gesamtbilanz Energie 1990 – Wirtschaftsraum der fünf neuen Länder in der Bundesrepublik Deutschland, herausgegeben vom Institut für Energetik, Leipzig 1991

⁸⁵ Darüber hinaus können im Rahmen von Sonderbetrachtungen die neuen Bundesländer getrennt untersucht werden; die energiestatistischen Daten der ehemaligen DDR wurden in der Datei Ageb.xls gesammelt.

larzellen, bei denen erst ab dem Jahr 2020 mit Wettbewerbsfähigkeit gerechnet wird.⁸⁶ Von daher erscheint ein Planungszeitraum von 20-25 Jahren, also von heute bis zum Jahr 2020, angemessen. Wenn über diesen Zeitraum hinweg Planungen durchgeführt werden sollen, dann ist als Hintergrund dazu sicherlich die Vergangenheit von Nutzen. Wenn aber die Vergangenheit Anhaltspunkte oder Denkanstöße liefern soll für zukünftige Entwicklungen, dann sollte auch ein möglichst großer Zeitraum dargestellt werden. Da es Energiebilanzen seit 1950 gibt, erscheint es sinnvoll, die Vergangenheit seit diesem Basisjahr als Hintergrund abzubilden.

Bei der Zeitachse ist einerseits das zu berücksichtigen, was in Statistiken vorhanden ist und andererseits, was sinnvoll geschätzt werden kann. Statistisch wird jedes Jahr in der Energiebilanz erfaßt; für die letzten Jahre existieren dabei vorläufige Zahlen, die auf Anfrage herausgegeben werden.⁸⁷ Auch wenn eine Fortschreibung der Daten aus der Vergangenheit für die Zukunft nicht angemessen ist, so sollten diese Daten doch im Modell dargestellt werden, damit der Modellersteller ein Gefühl dafür bekommt, welche jährlichen Änderungen bestimmter Größen in der Vergangenheit möglich waren und welche in der Zukunft möglich sein könnten. Für die Zukunft ist eine jährliche Schätzung schwierig. Mit zunehmender zeitlicher Entfernung zur Gegenwart dürfte die Sicherheit abnehmen, mit der eine solche Prognose erstellt wird. Im Modell werden daher die ersten Jahre einzeln betrachtet, während, von Ausnahmen abgesehen, die weiteren Jahre in 5-Jahreszeiträumen zusammen betrachtet werden.

4.2.2.5 Verhaltensbezogener Ansatz

Die Energiewirtschaft als Segment der Volkswirtschaft ist nicht in sich abgeschlossen. Es gibt eine Reihe von Determinanten, die Einflüsse auf den Energieverbrauch haben. Welche Determinanten in das Modell einfließen, ist generell jedem Prognostiker frei überlassen. Es gibt aber eine Reihe von Determinanten, die in viele Energieprognosen einfließen - von der also die herrschende Meinung der Prognostiker der Meinung ist, daß sie einen relevanten Einfluß auf den Energieverbrauch haben. Im folgenden wird zunächst eine Reihe von Determinanten präsentiert, die häufig in Energieprognosen berück-

⁸⁶ Vgl. o.V.: Deutschland rückt bei Solarenergie in die Weltspitze, in: Handelsblatt vom 4.11.1997

⁸⁷ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

sichtigt werden, um dann daraus eine für das Modell zieladäquate Auswahl treffen zu können.

Bei folgenden Größen wird im allgemeinen ein erheblicher Einfluß auf das Energieverbrauchs-niveau und die Struktur der Energieversorgung vermutet:⁸⁸

- Demographische Entwicklung
- Wirtschaftswachstum, speziell Beitrag der energieintensiven Industriezweige zur gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung
- verfügbares Einkommen, daraus resultierende Effekte auf den Gerätebestand und dessen Nutzung
- Preise der verschiedenen Energieträger, insbesondere von Rohöl
- politische Rahmenbedingungen
- technischer Fortschritt im Hinblick auf Erhöhung der Energieeffizienz
- Erreichen von Sättigungsgrenzen in einzelnen Energieverwendungssektoren.

Vor dem Hintergrund, daß die Grenznutzenfunktion in Abhängigkeit von der Anzahl der betrachteten Determinanten sinkt, sollen nur diejenigen Determinanten berücksichtigt werden, deren zusätzliche Berücksichtigung eine erhebliche Qualitätssteigerung des Modells nach sich zieht und bei denen die Kosten möglichst gering sind. Das bedeutet vor allem, daß die entsprechenden Daten kontinuierlich über einen längeren Zeitraum erfaßt und öffentlich zugänglich sein müssen.

Der Einfluß der Bevölkerungsgröße besonders auf Teile des Energiebedarfs ist unbestritten. Die Entwicklung dieser Größe ist bei den Geburten und den Sterbefällen relativ gut vorhersehbar, so daß diese Größe Einfluß finden sollte im Modell. Die Prognose des Wanderungssaldos ist schwieriger und hängt mit den Annahmen über die wirtschaftlichen Bedingungen im In- und im Ausland sowie mit politischen Entscheidungen zusammen.

⁸⁸ Vgl. auch Dieter Schmitt/ Helmut Düngen: 3.1.5. Die Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland, in: Hans Michaelis/ Carsten Salander (Hrsg.): Handbuch Kernenergie, 4. Aufl., Frankfurt am Main 1995, S. 174 ff., hier: S. 198

Die wirtschaftliche Entwicklung beeinflußt die Nachfrage nach Energie. Inwieweit die energieintensiven Wirtschaftszweige einen besonderen Einfluß ausüben auf den Energieverbrauch, ist im Rahmen der Entwicklung der Feinstruktur zu klären.

Das verfügbare Einkommen beeinflußt den Bestand an Geräten bzw. dessen Nutzung; damit ist allerdings noch nichts über die Höhe des Energieverbrauchs gesagt. Wenn man alle genannten Größen berücksichtigen will, dann ergibt sich eine sehr komplexe Modellierung; es wären dann das verfügbare Einkommen beispielsweise der Haushalte und Kleinverbraucher, der funktionale Zusammenhang zwischen Einkommen, Gerätebestand und Nutzungsgrad, der jeweilige Nutzungsgrad selbst sowie der spezifische Energieverbrauch pro Gerät und pro Nutzungsgrad zu untersuchen. Neben der Komplexität, die diese Art von Modellierung mit sich bringt, dürfte sie vor allem an der mangelnden Datenlage für die meisten der Größen scheitern. Das verfügbare Einkommen wird daher in diesem Modell nur indirekt berücksichtigt.

Die Frage, in welcher Form die Preise der verschiedenen Energieträger Einfluß haben auf den jeweiligen Verbrauch, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Bei vielen Bereichen in der Energiewirtschaft ist die Nachfrage in Grenzen eher preisunelastisch. Das hat mehrere Ursachen: Energie läßt sich nur begrenzt einsparen; auch ist eine Substitution von einem Energieträger zu einem anderen zumindest kurzfristig vielfach unmöglich. Tatsächlich weisen entsprechende empirische Untersuchungen zum Zusammenhang etwa zwischen Benzinpreis und Absatz nur schwache Zusammenhänge nach. Langfristig ist die Preiselastizität der Nachfrage höher; aber es bestehen große Schwierigkeiten, den Zusammenhang zwischen Energiepreisen einerseits und Absatzmengen andererseits empirisch zu messen und in einer Energieprognose zu verarbeiten. Daneben ergibt sich das Problem, die Energiepreise selbst vorherzusagen; in der Vergangenheit entwickelten sich die Energiepreise fast völlig chaotisch. Vor diesem Hintergrund vereinfacht sich das Prognoseproblem nicht, wenn die zukünftige Energienachfrage vorhergesagt werden soll.

Aus diesen Gründen soll im weiteren von einer genauen Darstellung der zukünftigen Preisentwicklungen im Energiebereich abgesehen werden. Die Höhe der Energiepreise wird nur indirekt eine Rolle spielen, weil starke Energiepreisveränderungen wahrscheinlich nur exogen erfolgen können, wenn man davon ausgeht, daß die statische Reichweite

der fossilen Energieträger ausreichend für die Deckung des Bedarfs in den nächsten Jahrzehnten ist.⁸⁹

Wesentlich für die zukünftige Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland sind die von der Politik vorgegeben Rahmenbedingungen. Folgende große Ziele der deutschen Energiepolitik sind zu nennen:⁹⁰

- Sicherstellung eines gewissen Maßes an energetischer Autarkie
- Umweltschutz
- Preiswerte Energieversorgung

Zur energiepolitischen Autarkie gehört insbesondere die Protektion der heimischen Steinkohle vor internationalem Wettbewerb, die Förderung des Abbaus von in Deutschland vorkommenden Energieträgern (Braunkohle, Erdgas, Wasserkraft), die Minderung des Einflusses der OPEC auf die deutsche Energieversorgung und die Rücksichtnahme auf Interessen deutscher Energiekonzerne etwa bei Fragen der internationalen Wettbewerbsintensivierung. In diesem Zusammenhang werden seit Jahren besonders die Themen Subventionierung des Steinkohleabbaus und Verlust an Arbeitsplätzen diskutiert.

Zum Oberziel Umweltschutz in der Energieversorgung fällt insbesondere die Senkung der Emissionen klimarelevanter Gase, insbesondere von CO₂, die Förderung regenerativer Energieträger (Sonne, Wind, Biomasse), sowie die Förderung von Energiesparmaßnahmen bzw. der rationellen Energienutzung (REN). Daneben ist hier die Debatte um die Umweltverträglichkeit der Kernenergie zu nennen.

Das Ziel der preiswerten Energieversorgung steht teilweise im Gegensatz zum Umweltschutzziel, und so gilt dieses Ziel praktisch nur für den Bereich der Versorgung der industriellen Großkunden im Rahmen der Standortdebatte. Hier ist besonders die aktuelle Diskussion um die Liberalisierung des europäischen Marktes für Strom und Gas zu nennen, die immer noch nicht ihren endgültigen Abschluß gefunden hat.

⁸⁹ Vgl. Kapitel 4.2.1

⁹⁰ Hans Michaelis: 3.2.1 Energiepolitik - allgemeine Vorbemerkungen, in: Hans Michaelis/ Carsten Salander (Hrsg.): Handbuch Kernenergie, 4. Aufl., Frankfurt am Main 1995, S. 201 ff., hier: S. 202 f.

All diese politischen Einflußfaktoren sind höchst unsicher zu bestimmen und daher sollte es im Modell prinzipiell möglich sein, neben der wahrscheinlichsten Konstellation weitere Szenarien durchzuspielen.

Politische Entscheidungen sind aber nicht nur Einflußfaktoren für die Energiewirtschaft; die Entwicklung in der Energiewirtschaft beeinflußt ihrerseits die Politik. Das gilt auch für die Diskussion über die Umweltverträglichkeit der Energiewirtschaft. Im Modell wird daher zumindest eine Größe herausgegriffen, anhand derer die Umweltverträglichkeit der Energiewirtschaft gemessen wird. In der öffentlichen Diskussion spielt hier vor allem der CO₂-Ausstoß eine Rolle. Durch die Berücksichtigung weiterer Stoffemissionen wie z.B. NO_x, SO_x und Staub im Modell dürfte keine entscheidende Verbesserung des Modells erreicht werden, da die Reaktionsmuster der Politik auf diese anderen Emissionen ähnlich sein dürften wie auf die an CO₂. Auf eine gesonderte Betrachtung dieser Emissionen wird daher im Modell verzichtet.

Der technische Fortschritt zur Erhöhung der Energieeffizienz muß in einem Modell über die deutsche Energieversorgung berücksichtigt werden. In vielen Teilen des Modells wird daher der spezifische Energieverbrauch zu berücksichtigen sein, der ein Maßstab für die Effizienz der zur Energieumwandlung benötigten Techniken ist.

Auch die Sättigung, die in bestimmten Bereichen der deutschen Volkswirtschaft zu beobachten ist, ist zu berücksichtigen, allerdings nicht als eigener Teil des Modells, sondern implizit bei der Anwendung des Modells.

4.2.2.6 Marktanteil

Die Absatzplanung eines Energieversorgers richtet sich nach dem Marktvolumen, also der in Deutschland verbrauchten Menge an Energie, und dem Marktanteil, den das Unternehmen erwartet. Im zu entwickelnden Modell wird zunächst auf die Einbeziehung des Marktanteils verzichtet; der Marktanteil muß aber jederzeit vom Benutzer des Modells einbezogen werden können.

4.2.3 Modelloberfläche

Als Oberfläche ist eine gängige Software zu wählen; die Hardware soll sich am Vorhandenen orientieren. An die Benutzerfreundlichkeit sind hohe Anforderungen zu stellen. Für die Oberfläche des Modells ist ein Programm zu wählen, mit dem sich Tabellen und

Grafiken flexibel erstellen lassen. Außerdem sollte das Programm einen hohen Verbreitungsgrad haben, so daß sich im Sinne einer Grenzkostenbetrachtung durch die Anwendung des Energiemodells keine zusätzlichen Probleme mit Hard- oder Software ergeben. Im Modell wird daher die neueste Version von Microsoft Excel (Excel 97 incl. Service Pack Nr. 1) als marktgängigstem Programm verwendet.

4.3 ENTWICKLUNG DER FEINSTRUKTUR

Nachdem im vorigen Kapitel die Grobstruktur entwickelt wurde, wird im folgenden die Feinstruktur des Modells dargestellt.

Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben wurde, setzt sich das Gesamtmodell aus mehreren Teilmodellen zusammen. Diese sind: a) die Rahmenbedingungen (Bevölkerung und Wirtschaftswachstum), b) die verschiedenen Energieverbrauchssektoren und c) die Höhe der Emissionen an CO₂.

Beim Energieverbrauch sind folgende Teile zu modellieren:⁹¹

- Haushalte
- Kleinverbraucher und Militär
- Industrie
- Verkehr
- Nichtenergetischer Verbrauch
- Stromerzeugung
- Sonstige Umwandlung

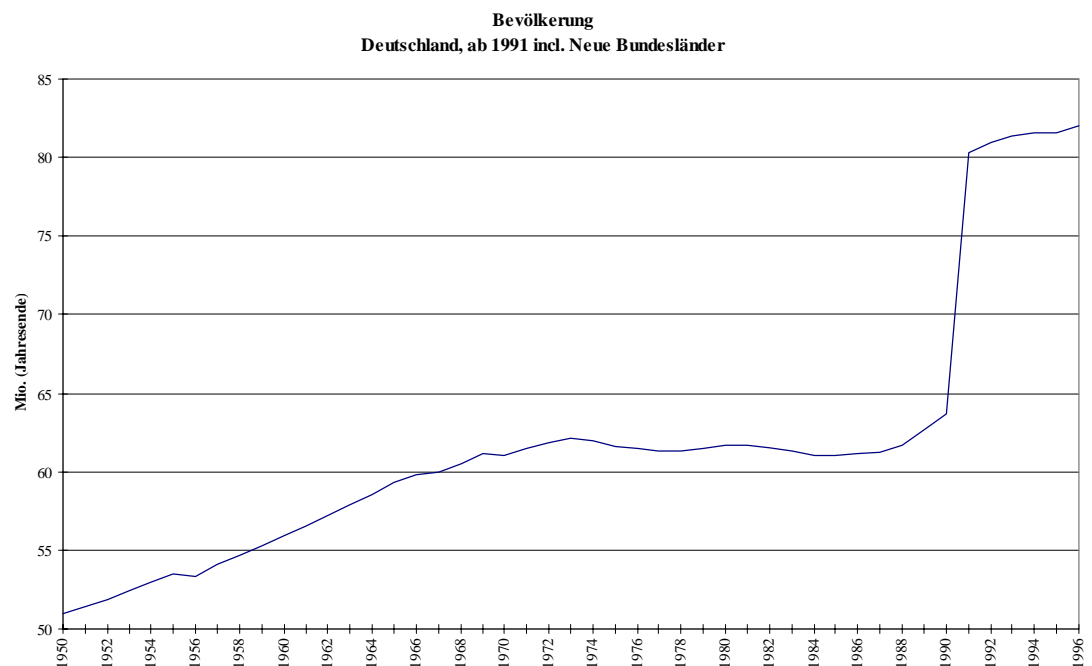
Haushalte, Kleinverbraucher, Militär, Industrie und Verkehr werden dabei in einer Summe als Endenergieverbrauch ausgewiesen; alle Positionen zusammen ergeben dann den Primärenergieverbrauch, der ebenfalls in einem Blatt im Modell ausgegeben wird.

4.3.1 Modellierung der Bevölkerungsentwicklung

In Abbildung 16 ist die Entwicklung der Bevölkerung in Deutschland (seit 1991 incl. der neuen Bundesländer) dargestellt.

⁹¹ Vgl. Kapitel 4.2.2.1

Abbildung 16: Bevölkerungsentwicklung Deutschland



Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 1 Gebiet und Bevölkerung, Stuttgart 1997, Tabelle „Bevölkerung nach Altersgruppen“, o.S.

Die Bevölkerungszahl kann sich von Jahr zu Jahr prinzipiell nur aufgrund folgender Motive verändern:⁹²

- Geburten
- Sterbefälle
- Zu- und Abwanderungen (Migrationssaldo)

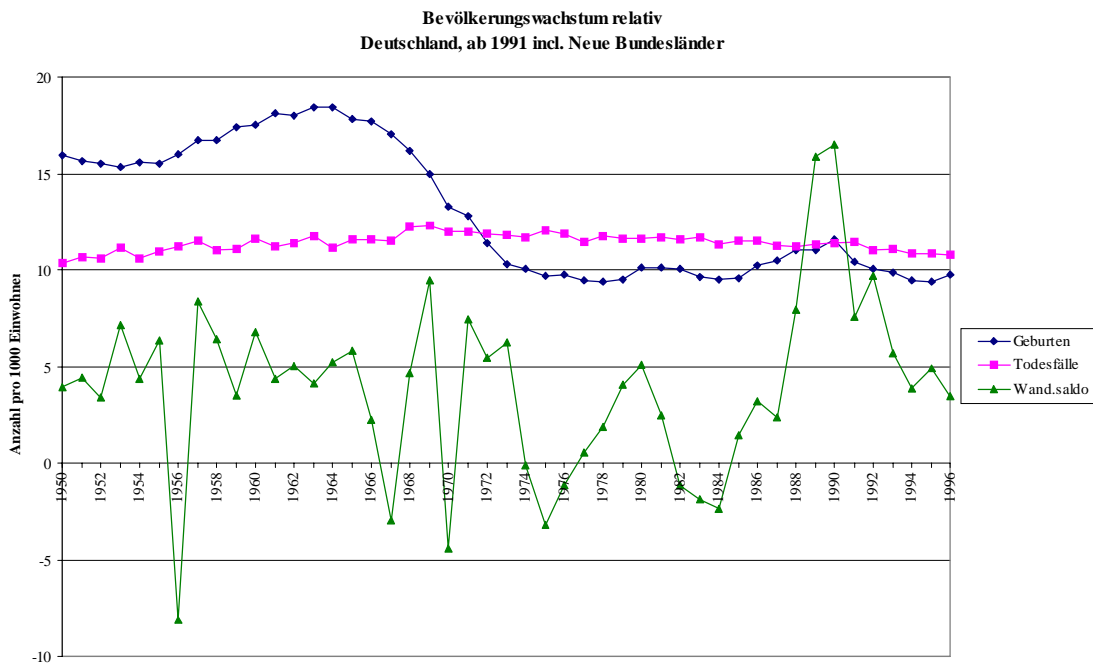
Darüber hinaus können durch Gebietsveränderungen wie z.B. durch den Beitritt des Saarlandes 1957 oder der ehemaligen DDR 1990 oder durch Umstellungen in der Definition der statistischen Begriffe Änderungen eintreten.

Die absolute Höhe der Geburten und der Sterbefälle ist bei der Prognose wenig hilfreich, da bei diesen beiden Größen ein Zusammenhang besteht zur Bevölkerungsanzahl. Was den Migrationssaldo angeht, so wird dieser auch ins Verhältnis zur Bevölkerung

⁹² Vgl. zur gesamten Problematik von Bevölkerungsvorausschätzungen Manfred Bretz: Bevölkerungsvorausschätzungen - statistische Grundlagen und Probleme, in: Wirtschaft und Statistik Nr. 4/1986, S. 233 ff.

gesetzt, damit die genannten Größen einheitlich darstellbar sind. In Abbildung 17 ist die Entwicklung der verschiedenen Größen veranschaulicht.

Abbildung 17: Bevölkerung relativ



Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 1 Gebiet und Bevölkerung, Stuttgart 1997, Tabellen „Bevölkerung nach Altersgruppen“ und „Eheschließungen, Geborene und Gestorbene“, o.S.; eigene Berechnungen

Bei den Geburten verläuft die Entwicklung im wesentlichen kontinuierlich, allerdings mit zwei entscheidenden Einschränkungen. Erstens ist nach einem andauernden Anstieg der Geburten bis Mitte der 60er Jahre ein deutlicher Rückgang bis Mitte der 70er Jahre zu beobachten. Dieser ist in erster Linie auf die Einführung sicherer Verhütungsmethoden zurückzuführen (Pillenknick). Nach einem allmählichen Wiederanstieg der Geburten bis zum Ende der 80er Jahre kommt es zu einem erneuten Einbruch, der sich fast ausschließlich in den neuen Bundesländern im Zuge der deutschen Wiedervereinigung vollzieht. Dort sinkt die Anzahl der Geburten in nur 5 Jahren (von 1988 bis 1993) um mehr als die Hälfte.

Die Entwicklung bei den Sterbefällen verläuft kontinuierlich; größere Sprünge sind seit 1950, dem Beginn der Datenbasis, nicht zu beobachten. Im gesamten Zeitraum er-

höhte sich die Lebenserwartung stetig.⁹³ Der Anteil der über 65-Jährigen an der Gesamtbevölkerung erhöhte sich stetig bis zum Ende der 70er Jahre, bis er sich dann auf einem Niveau von 15 % einpendelte. Erst Mitte der 90er Jahre ist wieder ein leichter Anstieg zu beobachten. Im Ergebnis ist die Zahl der Todesfälle seit den 70er Jahren nahezu konstant geblieben.

Die dritte Größe, der Wanderungssaldo, verläuft sprunghaft und ist durch gesamtwirtschaftliche Entwicklungen und politische Entscheidungen zu erklären. Diese Größe ist problematisch, da nur ein Teil der Zu- und Wegzüge offiziell registriert und damit statistisch erfaßt wird. Die Migration im Jahr 1991 umfaßt sowohl die Zu- und Abwanderungen aus den alten und den neuen Bundesländern und ist somit mit den Jahren 1992 und folgende vergleichbar.

Die Entwicklung der Bevölkerung wird regelmäßig von verschiedenen Einrichtungen geschätzt. Bei bestehenden Energiemodellen werden davon insbesondere die Vorausberechnungen des statistischen Bundesamtes⁹⁴ und die Schätzungen von eurostat⁹⁵ beachtet. Auch in diesen Statistiken werden Annahmen getroffen bzgl. Geburten- und Sterbeentwicklung sowie Migrationssalden.

Im Modell wird nun folgender Weg gewählt, um die drei Entwicklungen abzuschätzen. Wie oben beschrieben, ergibt sich die Bevölkerung B am Ende eines Jahres i aus der Höhe der Bevölkerung am Jahresanfang $i-1$, zuzüglich der Geburten G und des Migrationssaldos M abzüglich der Sterbefälle S in diesem Jahr.

$$B_i = B_{i-1} + G_i - S_i + M_i$$

Von diesen Größen sind B_i , G_i und S_i jeweils vom statistischen Bundesamt verfügbar. Die Restgröße M_i ergibt sich im Modell aus den anderen Größen.

⁹³ vgl. Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 1.S.2 Allgemeine Sterbetafel für die Bundesrepublik Deutschland (Gebietsstand vor dem 3.10.1990) 1986/88, Wiesbaden 1991, S. 25 f. und Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 1996 für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 1996, S. 77

⁹⁴ o.V.: Entwicklung der Bevölkerung bis 2040, Ergebnis der achten koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung, in: Wirtschaft und Statistik 7/1994, S. 497 ff.

⁹⁵ Eurostat (Hrsg.): Bevölkerungsstatistik 1995, Themenkreis 3 - Bevölkerung und soziale Bedingungen, Reihe A - Jahrbücher und jährliche Statistiken, Luxemburg 1995, S. 188 ff.

Die absolute Höhe der Geburten, der Sterbefälle und des Migrationssaldos läßt sich schwer schätzen, daher wird diese jeweils in Relation gesetzt zur Höhe der Bevölkerung. Um handlichere Größen zu haben, werden die Quotienten jeweils mit 1000 multipliziert.

$$g_i = \frac{G_i}{B_{i-1}} \cdot 1000$$

$$s_i = \frac{S_i}{B_{i-1}} \cdot 1000$$

$$m_i = \frac{M_i}{B_{i-1}} \cdot 1000$$

Die Größen g_i , s_i und m_i werden jeweils geschätzt. Implizit wird damit angenommen, daß zwischen der Geburtenrate bzw. der Sterberate im laufenden Jahr ein Zusammenhang besteht mit der Bevölkerungszahl des Vorjahres.

Damit ergeben sich die entsprechenden absoluten Zahlen zu:

$$G_i = \frac{g_i \cdot B_{i-1}}{1000}$$

$$S_i = \frac{s_i \cdot B_{i-1}}{1000}$$

$$M_i = \frac{m_i \cdot B_{i-1}}{1000}$$

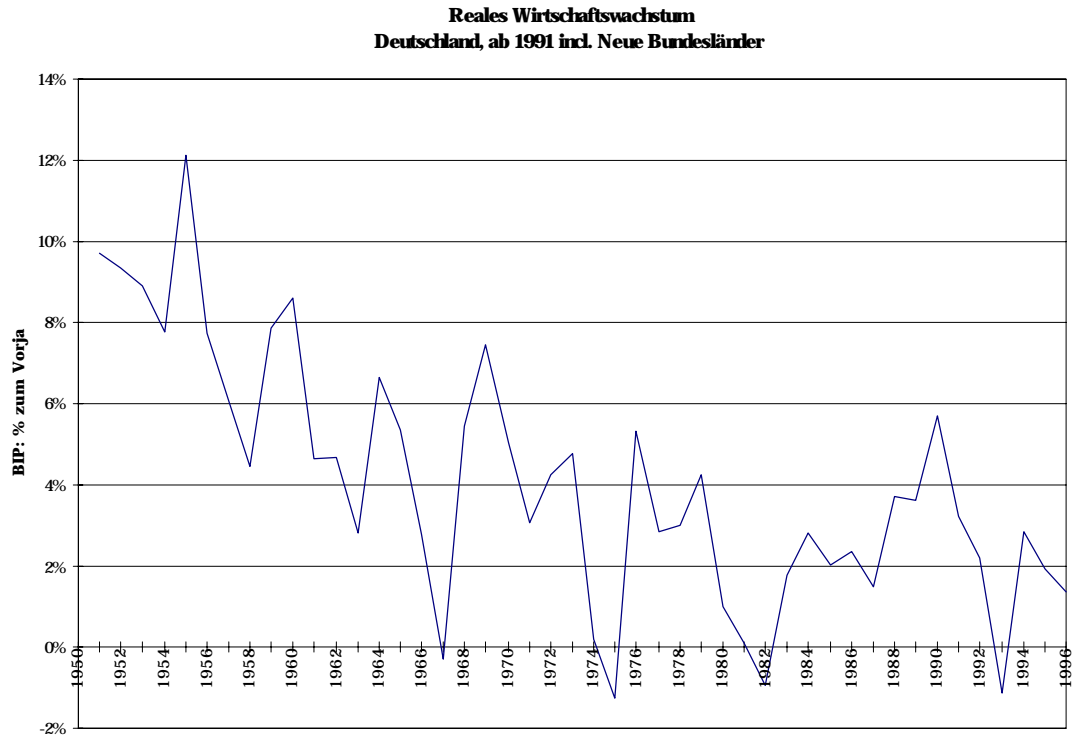
Für die Bevölkerungszahl im laufenden Jahr erhält man durch Einsetzen:

$$B_i = B_{i-1} \cdot \left(1 + \frac{1}{1000} \cdot (g_i - s_i + m_i) \right)$$

4.3.2 Modellierung der wirtschaftlichen Entwicklung

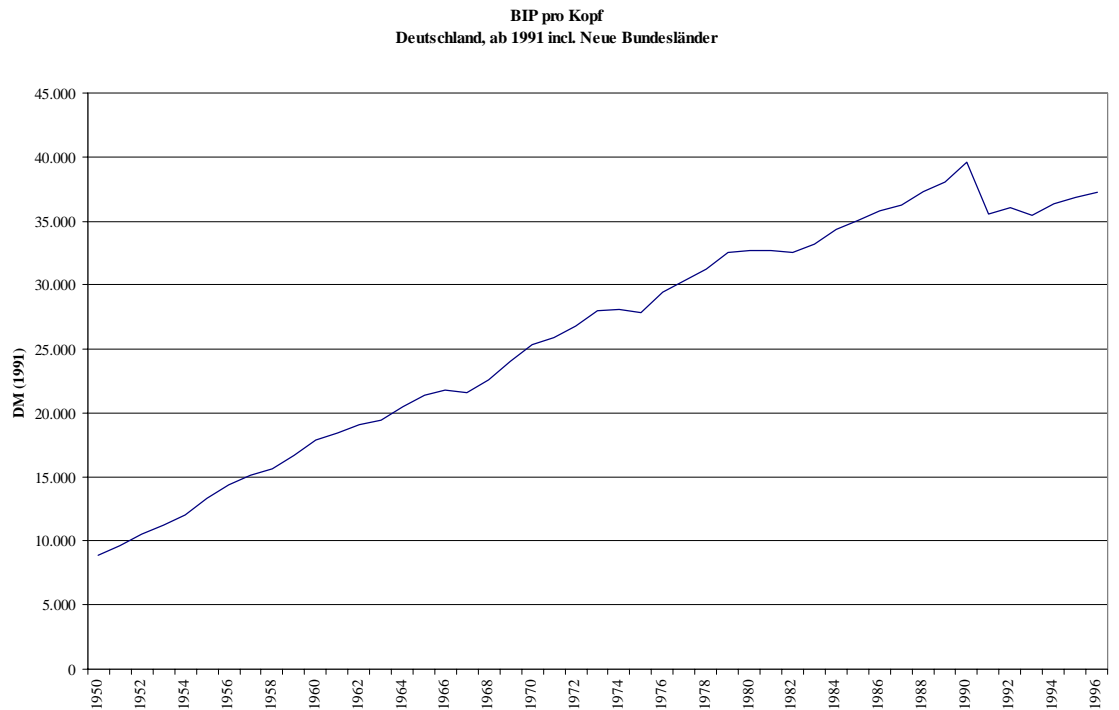
Als Maß für die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland wird das Bruttoinlandsprodukt gewählt. Die jährlichen Veränderungen dieser Größe sind in Abbildung 18 dargestellt. Dabei bezieht sich das BIP-Wachstum 1991 auf die Veränderung zwischen dem BIP von 1990 auf 1991 in den alten und den neuen Bundesländern.

Abbildung 18: Reales Wirtschaftswachstum D



Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.2 Vorbericht, Stuttgart 1997, Tabelle "Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen, Bruttoinlandsprodukt", o.S.

Abbildung 19: BIP pro Kopf



Quelle: eigene Darstellung

Um die Gefahr zu verringern, daß Schätzungen über das Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung zueinander inkonsistent sind, ist im Modell das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf angegeben und grafisch veranschaulicht (vgl. Abbildung 19).

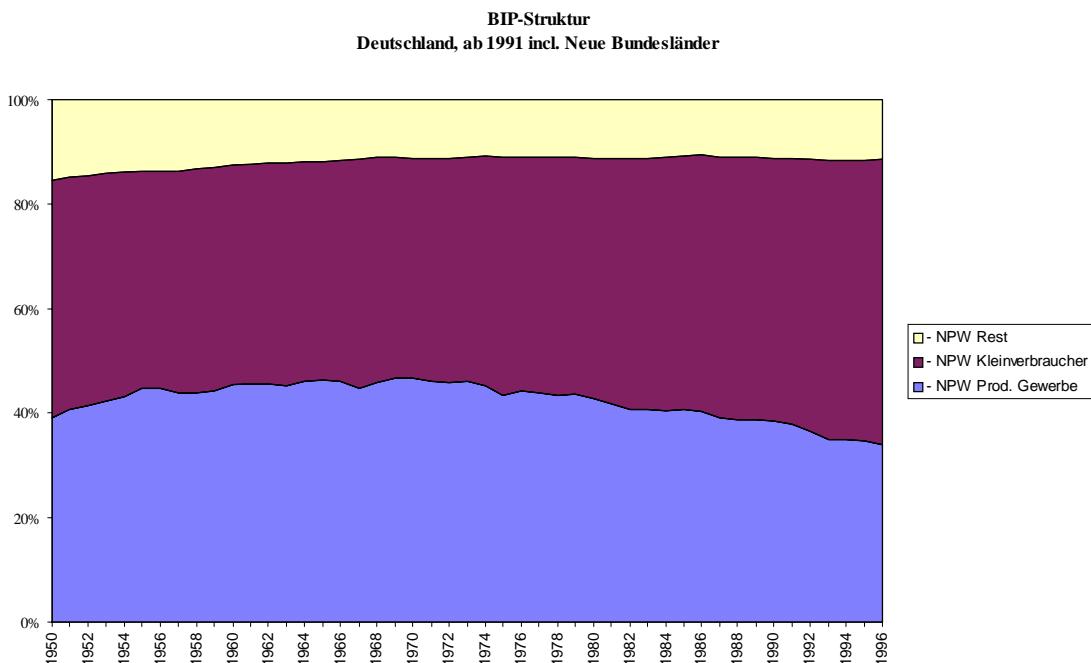
In Tabelle 7 ist die Entstehungsrechnung des Bruttoinlandsprodukts innerhalb der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung dargestellt.

Tabelle 7: Volkswirtschaftliche Entstehungsrechnung

Produktionswerte
- Vorleistungen
= Bruttowertschöpfung (unbereinigt) = Nettoproduktionswerte (unbereinigt)
- Unterstellte Entgelte für Bankdienstleistungen
= Bruttowertschöpfung (bereinigt) = Nettoproduktionswerte (bereinigt)
+ Nichtabzugsfähige Umsatzsteuer
+ Einfuhrabgaben
= Bruttoinlandsprodukt

Quelle: Franz Haslinger: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 5. Aufl., München/Wien 1990, S. 70

Abbildung 20: Struktur BIP



Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.2 Vorbericht, Stuttgart 1997, Tabelle “Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen, Bruttoinlandsprodukt”, o.S.; eigene Berechnungen

Das Wachstum des BIP verläuft nicht gleichmäßig über alle Wirtschaftssektoren hinweg. Im Modell werden daher die Anteile der Sektoren am BIP gesamt dargestellt. Dabei werden die drei Sektoren a) produzierendes Gewerbe, b) Land- und Forstwirtschaft,

Handel, Dienstleistungen und Staat, hier bezeichnet als Kleinverbraucher, und c) der Rest, d.h. Verkehr / Nachrichtenübermittlung, private Haushalte / private Organisationen ohne Erwerbscharakter und die Korrekturposten unterstellte Entgelte für Bankdienstleistungen, nichtabziehbare Umsatzsteuer und Einfuhrabgaben, berücksichtigt. Die entsprechenden statistischen Daten für die Bundesrepublik sind in Abbildung 20 abgebildet.

Über diese Darstellung der Wirtschaftssektoren hinaus ist eine Darstellung im Modell schwierig. Für die neuen Bundesländer seit 1991 und auch für die jeweils aktuellen Jahre der alten Bundesländer veröffentlicht das statistische Bundesamt bislang nur Daten auf einem aggregierten Niveau, d.h. nur für die folgenden Wirtschaftszweige:

1. Land-/Forstwirtschaft und Fischerei,
2. Produzierendes Gewerbe,
 - Energie- und Wasserversorgung, Bergbau
 - Verarbeitendes Gewerbe
 - Baugewerbe
3. Handel und Verkehr
 - Handel
 - Verkehr
4. Dienstleistungsunternehmen
 - Kreditinstitute und Versicherungsunternehmen⁹⁶
 - Wohnungsvermietung incl. Nutzung durch Eigentümer
 - Sonstige Dienstleistungsunternehmen
5. Staat, private Haushalte und private Organisationen ohne Erwerbscharakter
 - Staat⁹⁷
 - private Haushalte und private Organisationen ohne Erwerbscharakter
 - Private Haushalte (häusliche Dienste)
 - Private Organisationen ohne Erwerbscharakter

Nur für die Jahre, in denen endgültige Zahlen existieren, werden darüber hinaus Werte für jeden einzelnen Wirtschaftszweig berichtet.

⁹⁶ Teilweise werden Kreditinstitute und Versicherungsunternehmen in der vorläufigen Statistik getrennt dargestellt.

⁹⁷ Teilweise werden Gebietskörperschaften und Sozialversicherung noch extra ausgewiesen.

Im Laufe der weiteren Modellentwicklung wird zu prüfen sein, inwieweit eine stärkere Unterteilung des Wirtschaftswachstums nötig ist.

4.3.3 Modellierung der Sektoren Haushalte, Kleinverbraucher und Militär

Bevor mit der Modellierung begonnen werden kann, muß zunächst die bestehende Datenbasis aufbereitet werden. Anschließend wird für die Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher/Militär die Feinstruktur des Modells entwickelt.

4.3.3.1 Aufbereitung der Datenbasis

In den Energiebilanzen bis 1994 wird der Endenergieverbrauch von Haushalten und Kleinverbrauchern nicht einzeln, sondern nur in einer Summe ausgewiesen; das Militär dagegen wird eigens angegeben.⁹⁸ In den Auswertungstabellen zur Energiebilanz wird die Position Haushalte und Kleinverbraucher seit 1973 weiter nach Haushalten einerseits und Kleinverbrauchern andererseits getrennt. Darüber hinaus wurde der Energieverbrauch dieses Postens in zwei Untersuchungen weiter nach Haushalten und Kleinverbraucher aufgeteilt, und zwar seit dem Jahr 1960.⁹⁹

Während in der Energiebilanz in Einheiten von 1000 t SKE gearbeitet wird, wird der Energieverbrauch in den Auswertungstabellen in Einheiten von 100.000 t SKE angegeben, so daß sich hier Rundungsdifferenzen ergeben können. Im Modell werden diese Rundungsdifferenzen nicht bei den Haushalten, sondern bei den Kleinverbrauchern incl. Militär gezeigt. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, daß der Posten Kleinverbraucher sowieso schon ein Konglomerat von verschiedenen Positionen darstellt.

In der Energiebilanz selbst wird bislang nicht angegeben, wofür Haushalte und Kleinverbraucher (incl. Militär) die abgelieferten Mengen an Energie verbrauchen. Dieses wird im Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen ermittelt. Die Ergebnisse dieses Arbeitskreises werden sowohl von der RWE Energie AG in Essen

⁹⁸ Ab 1995 werden voraussichtlich Haushalte in einer Position und Kleinverbraucher und Militär in einer zweiten Position gezeigt. Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Vorwort zu den Energiebilanzen vom Bilanzjahr 1995 an, Entwurf des DIW, Berlin 1995 (unveröffentlicht), S. 4

⁹⁹ Paul H. Suding: Strukturen des Energieverbrauchs der Haushalte und Kleinverbraucher, München 1982 und DIW, EWI, RWI (Hrsg.): Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986

als auch vom Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen selbst veröffentlicht¹⁰⁰, wobei die Zahlen teilweise leicht voneinander abweichen. Während es bei den westdeutschen Haushalten seit 1960 Daten über den Endenergieverbrauch nach Verwendungsart gibt¹⁰¹, sind diese Zahlen für die Kleinverbraucher (incl. Militär) in den alten Bundesländern erstmalig 1978 und dann wieder seit 1982 erhoben worden. Bis einschließlich 1995 existieren darüber hinaus keine Daten für die neuen Bundesländer. So ergeben sich konsistente Datenreihen einerseits für die Haushalte und andererseits für die Kleinverbraucher und das Militär zusammen für die Zeit von 1980 bis 1993 für die alten Bundesländer und ab 1996 für alte und neue Bundesländer zusammen. Es fehlen also für die Jahre 1991-93 die Angaben zu den Verwendungszwecken der Haushalte und Kleinverbraucher in den neuen Bundesländern und für die Jahre 1994 und 1995 die entsprechenden Angaben für ganz Deutschland.

4.3.3.2 Modellierung des Sektors Haushalte

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Sektors Haushalte verläuft sehr uneinheitlich, wie in Abbildung 21 deutlich wird.

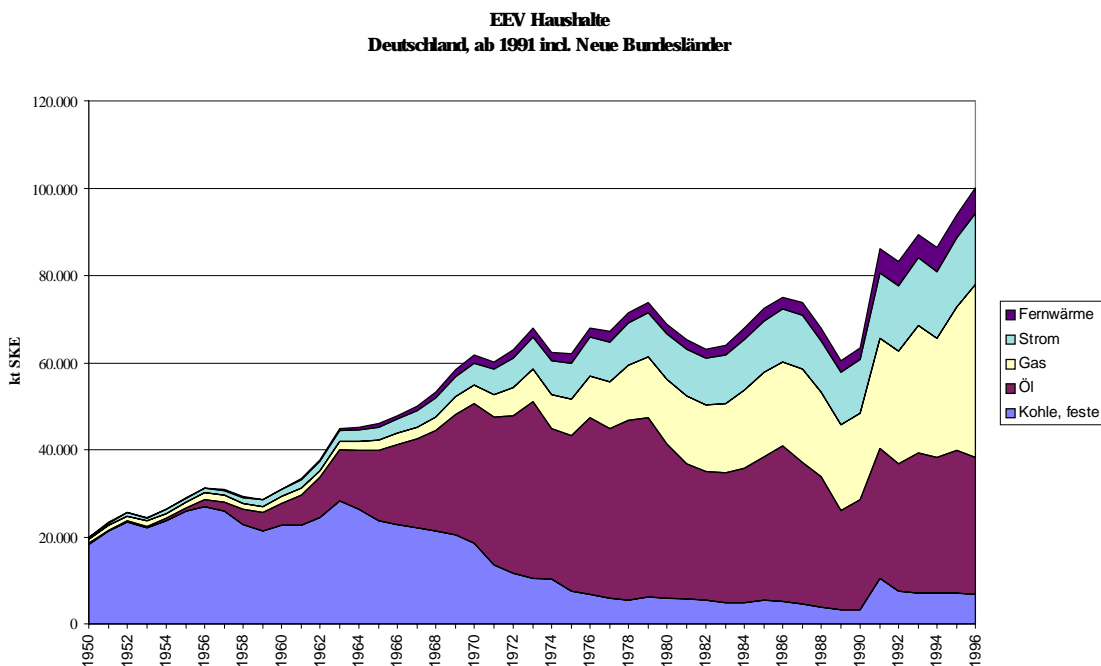
Die Verwendungszwecke für Endenergie sind in den Statistiken der RWE und der VdEW aufgeteilt in Raumwärme, Prozeßwärme und Kraft & Licht (RWE) bzw. Raumwärme, Warmwasser, sonstige Prozeßwärme, mechanische Energie und Beleuchtung (VdEW). Danach verwendeten Haushalte 1996 78 % der Energie für Raumwärme;¹⁰² der Rest entfällt auf die Bereiche Prozeßwärme und mechanische Energie & Licht. Von daher erscheint es angebracht, den Bereich der Raumwärme näher zu untersuchen; der Rest wird im Modell aggregiert betrachtet.

¹⁰⁰ VdEW-Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen (Hrsg.): Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland nach Anwendungsbereichen im Jahre ..., Frankfurt (M), verschiedene Jahrgänge und RWE Energie Anwendungstechnik (Hrsg.): Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland ..., Essen, verschiedene Jahrgänge

¹⁰¹ Paul H. Suding: Strukturen des Energieverbrauchs der Haushalte und Kleinverbraucher, München 1982; DIW, EWI, RWI (Hrsg.): Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986; RWE (Hrsg.): Das Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland, Essen, verschiedene Jahrgänge.

¹⁰² VdEW-Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen (Hrsg.): Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland nach Anwendungsbereichen im Jahre 1996, Frankfurt (M) 1997

Abbildung 21: EEV Haushalte



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Der Energieverbrauch für die Erzeugung von Raumwärme hängt ab von einer Vielzahl von Einflußfaktoren. Die vielleicht bedeutsamsten davon sind: die Anzahl der Wohneinheiten, die Aufteilung des Wohnraums in Ein- und Mehrfamilienhäuser, die zu beheizende Wohnfläche, die Altersstruktur der Häuser, die Dämmqualität, der Wirkungsgrad der Heizungsanlagen, der überwiegend verwendete Energieträger, die Außentemperatur, die gewünschte Innentemperatur, das verfügbare Einkommen, die Neigung zum Energiesparen, bei den nicht speicherfähigen Energieträgern Öl und Kohle die Höhe des Bestands usw. Wie hoch der Einfluß einer einzelnen Größe genau ist, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen. Auch ist die statistische Datenlage sehr unterschiedlich. Lange veröffentlichte Zeitreihen, aus denen man Trends für die Zukunft ableiten könnte, gibt es dabei praktisch nur für die Anzahl der Haushalte¹⁰³ und für die Gradtagzahlen als Maß für die Außentemperatur¹⁰⁴. Darüber hinaus wurden für die überwiegende Art der Beheizung von Haushalten (Beheizungsstruktur) und andere Aspekte über einen langen Zeitraum

¹⁰³ Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Zusammenstellung aus Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 3 Haushalte und Familien, Tabelle Lange Reihen L101 Privathaushalte nach Haushaltsgröße ab 1871

¹⁰⁴ Jürgen Christoffer: Die Jahresgradtagzahl von Deutschland, in: HLH Nr. 3, Bd. 46/1995, S. 149 ff., und Jürgen Christoffer: Analyse der winterlichen Gradtagzahlen von 1991/92 bis 1995/96, in: HLH Nr. 12, Bd. 47/1996, S. 29 ff.

Daten von der GFM-GETAS in Hamburg erfaßt, von denen allerdings nur ein Teil veröffentlicht wurde.¹⁰⁵

Im folgenden wird nun zunächst der Endenergieverbrauch der Haushalte für Raumwärme um die Schwankungen der Außentemperaturen bereinigt.

Ein Maß, um die Einflüsse der Witterung auf die zur Raumheizung benötigte Energie auszudrücken, ist die Gradtagzahl. Diese ist definiert als Summe über die Differenzen zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20 °C und den Tagesmitteln der Lufttemperatur t_m , gemessen über alle Heizztage z in der Heizzeit, als Formel ausgedrückt:¹⁰⁶

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

Das Tagesmittel der Lufttemperatur t_m wird dabei errechnet aus der mittleren Lufttemperatur gemessen um 7:00 Uhr, 14:00 Uhr und 21:00 Uhr und wird nach folgender Formel berechnet:¹⁰⁷

$$t_m = \frac{t_{7:00} + t_{14:00} + 2 \cdot t_{21:00}}{4}$$

Die Lufttemperaturen werden in Deutschland in einem dichten Netz von Wetterstationen gemessen, 1995 waren es ca. 600. Durch die Bildung eines arithmetischen Mittelwerts der gemessenen Werte der Stationen kann nun eine einheitliche Gradtagzahl für Deutschland ermittelt werden. Dabei kommt es nicht darauf an, daß möglichst alle Stationen zur Bildung dieses Mittelwerts herangezogen werden; auch eine Teilmenge dieser Stationen genügt, um die Temperaturschwankungen zu erfassen. Wichtig ist jedoch, daß die Auswahl dieser Stationen nicht verändert wird und daß für den kompletten Betrachtungszeitraum Datenreihen vorliegen.

¹⁰⁵ Die entsprechenden Quellen dazu sind: Paul H. Suding: Strukturen des Energieverbrauchs der Haushalte und Kleinverbraucher, München 1982 und DIW, EWI, RWI (Hrsg.): Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986 sowie seit 1994/95 die jährlich erscheinende Energieprognose der Esso A.G. in Hamburg unter verschiedenen Titeln. Teilweise gehen in den hier genannten Quellen die Daten der GFM-GETAS nur ein und werden weiterverarbeitet.

¹⁰⁶ Vgl. Jürgen Christoffer: Die Jahresgradtagzahl von Deutschland, in: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik Nr. 3 / 1995, Bd. 46, S. 149 ff., hier: S. 149 sowie VDI (Hrsg.): Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen, VDI 2067, Blatt 1, Berlin/Köln 1983

Aus den vorgenannten Gründen erscheint es daher zweckmäßig, die vom Deutschen Wetterdienst verwendete Aggregation der Zahlen zu übernehmen. In dieser Aggregation werden folgende 20 Wetterstationen verwendet: Berlin-Tempelhof, Bremen, Dresden (ab 1991), Düsseldorf, Erfurt (ab 1991), Essen, Frankfurt Flughafen, Hamburg-Fuhlsbüttel, Hannover-Langenhagen, Kassel, Kiel, Köln, Leipzig (ab 1991), Magdeburg (ab 1991), Mannheim, München, Nürnberg, Saarbrücken-Ensheim, Schwerin (ab 1991) und Stuttgart. Für den Zeitraum 1951-95 existiert auch eine Datenquelle für diese Zahlen.¹⁰⁸

Wie eingangs beschrieben beeinflusst die Temperatur, gemessen als Gradtagzahl, den Energieverbrauch für Raumwärme. Wie stark dieser Einfluß ist, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen. Auch läßt sich nicht annähernd vorhersagen, wie sich die Gradtagzahlen in den kommenden Jahren verändern werden. Von daher wird im Modell für die Planung von Temperaturen ausgegangen, die dem Mittel der Vergangenheit entsprechen, damit der Trend abgeschätzt werden kann. Für die Vergangenheit wird dazu der Energieverbrauch für Raumwärme um die Temperatureinflüsse bereinigt.

Dazu wird folgendermaßen vorgegangen. Sei GTZ_{real} die reale Gradtagzahl in einem Jahr und GTZ_{mittel} der Mittelwert der realen Gradtagzahlen über einen längeren Zeitraum. Sei weiterhin E_{real} der reale Raumwärmebedarf und E_{mittel} der temperaturbereinigte Raumwärmebedarf. Die Auswirkungen der jährlichen Abweichung der Temperatur auf den Energieverbrauch kann dann definiert werden als Reaktionskoeffizient η :

$$\eta = \frac{\frac{E_{real} - E_{mittel}}{E_{mittel}}}{\frac{GTZ_{real} - GTZ_{mittel}}{GTZ_{mittel}}}$$

Umformen nach E_{real} ergibt:

$$E_{real} = \eta \cdot \frac{GTZ_{real} - GTZ_{mittel}}{GTZ_{mittel}} \cdot E_{mittel} + E_{mittel} = E_{mittel} \cdot \left(1 + \eta \cdot \frac{GTZ_{real} - GTZ_{mittel}}{GTZ_{mittel}} \right)$$

¹⁰⁷ A.a.O.

¹⁰⁸ Jürgen Christoffer: Die Jahresgradtagzahl von Deutschland, in: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik Nr. 3 / 1995, Bd. 46, S. 149 ff., hier: S. 157 und Jürgen Christoffer: Analyse der winterlichen Gradtagzahlen von 1991/92 bis 1995/96, in: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik Nr. 12/1996, Bd. 47, S. 29 ff., hier: S. 31

Damit ergibt sich für E_{mittel} :

$$E_{\text{mittel}} = \frac{E_{\text{real}}}{1 + \eta \cdot \frac{GTZ_{\text{real}} - GTZ_{\text{mittel}}}{GTZ_{\text{mittel}}}}$$

η kann nicht exakt bestimmt werden, denn die Änderungen im Energieverbrauch für Raumwärme sind nicht ausschließlich auf die Temperatur, sondern auf eine Vielzahl von Einflüssen zurückzuführen. Als gesichert dürfte lediglich die Erkenntnis gelten, daß bei steigenden Gradtagzahlen, also sinkenden Temperaturen in der Heizperiode, der Energieverbrauch für Raumwärme steigt. Im Modell wird für η ein Wert von 0,8 angenommen.

Da im Modell die Raumwärmeentwicklung bis 1990 für die alten und ab 1991 für die alten und neuen Bundesländer gemeinsam dargestellt werden, muß auch die mittlere Gradtagzahl entsprechend angepaßt werden. Für die alten Bundesländer ergibt sich im Zeitraum 1951-1990 eine mittlere Gradtagzahl von $GTZ_{\text{mittel}} = 3814$, für die alten und neuen Bundesländer zusammen beträgt der Mittelwert für die Jahre 1951-1995 $GTZ_{\text{mittel}} = 3836$.¹⁰⁹

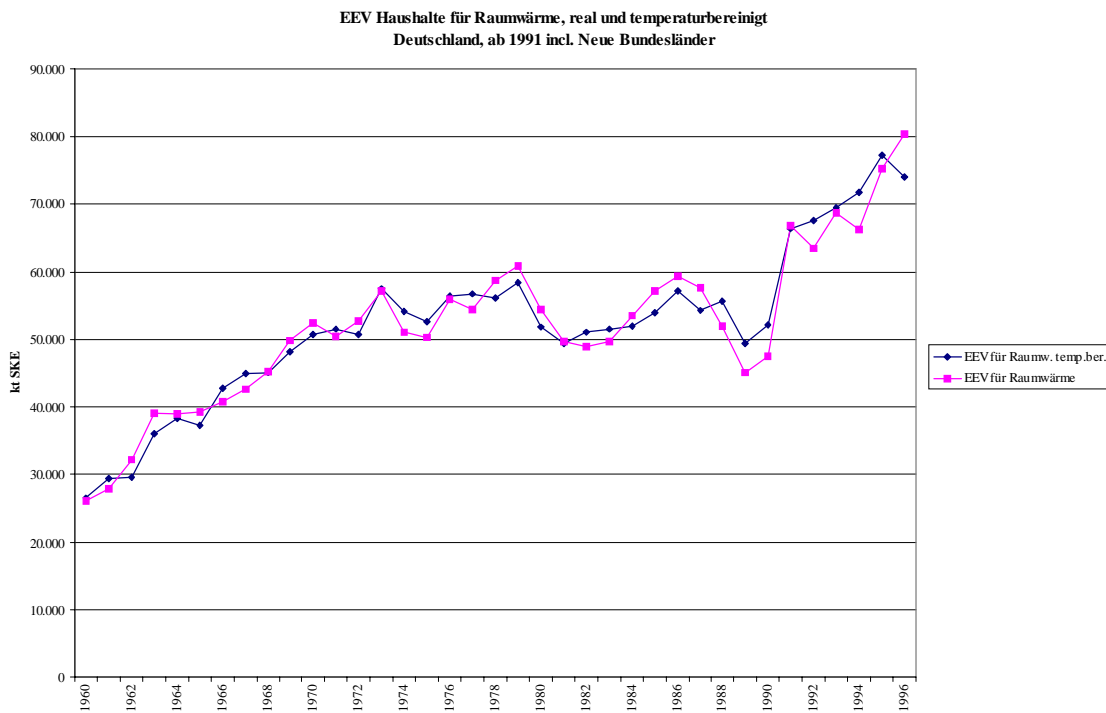
Für die Jahre 1996 und 1997 hat der Deutsche Wetterdienst bis Anfang 1998 noch keine Ergebnisse veröffentlicht. Zumindest der Wert für 1996 könnte aber gegen Gebühr vom Deutschen Wetterdienst abgefragt werden. Wegen der relativ hohen Gebühr (105,- DM) wird hiervon aber kein Gebrauch gemacht.¹¹⁰ Statt dessen wird die jährliche Veröffentlichung von Schiffer zugrundegelegt.¹¹¹ Wegen offensichtlich unterschiedlicher Datenbasis sind die Werte für 1995 und 1996 damit nur bedingt vergleichbar; aus diesem Grunde werden nicht die absoluten Gradtagzahlen, sondern die jährlichen Steigerungsraten im Modell verwendet.

¹⁰⁹ Dabei sind bei der Gradtagzahl für die alten Bundesländer die Jahre 1951-1990 und für die Gradtagzahl für Deutschland die Jahre 1951-1995 berücksichtigt. Jürgen Christoffer: Die Jahresgradtagzahl von Deutschland, in: HLH Nr. 3, Bd. 46/1995, S. 149 ff., hier: S. 157 und Jürgen Christoffer: Analyse der winterlichen Gradtagzahlen von 1991/92 bis 1995/96, in: HLH Nr. 12, Bd. 47/1996, S. 29 ff., hier: S. 31

¹¹⁰ Telefonische Auskunft von Herrn Jürgen Christoffer am 9.1.1998.

¹¹¹ Hans-Wilhelm Schiffer: Deutscher Energiemarkt '96, in: ET Heft 3/1997, 47. Jg., S. 152 ff., hier: S. 152.

Abbildung 22: EEV Haushalte für Raumwärme (real und temperaturbereinigt)

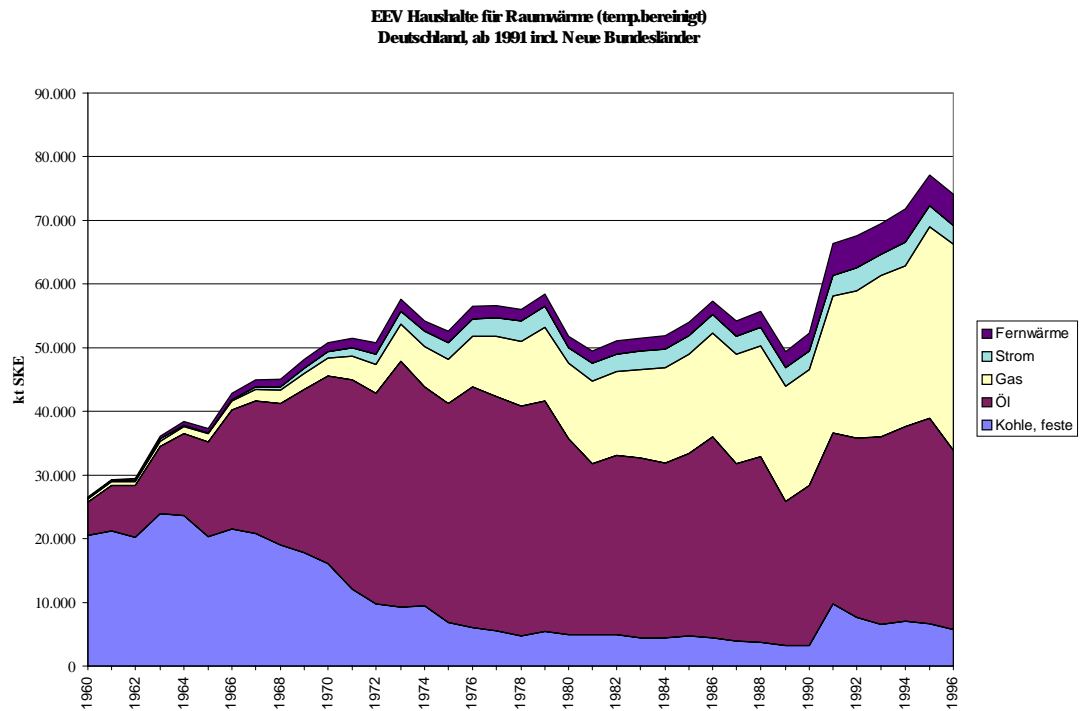


Quelle: Raumwärme 1960-69: Paul H. Suding: Strukturen des Energieverbrauchs der Haushalte und Kleinverbraucher, München 1982, S. I/10 ff.; Raumwärme 1970-79: DIW, EWI, RWI (Hrsg.): Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986, S. II C 4 ff.; Raumwärme 1980-1990 und 1996: VdEW-Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen (Hrsg.): Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland nach Anwendungsbereichen im Jahre ..., Frankfurt (M), verschiedene Jahrgänge; Raumwärme 1991-95: eigene Schätzung; Gradtagzahlen 1960-1992: Jürgen Christoffer: Die Jahresgradtagzahl von Deutschland, in: HLH Nr. 3, Bd. 46/1995, S. 149 ff., hier: S. 157; Gradtagzahlen 1993-1995: Jürgen Christoffer: Analyse der winterlichen Gradtagzahlen von 1991/92 bis 1995/96, in: HLH Nr. 12, Bd. 47/1996, S. 29 ff., hier: S. 31; Gradtagzahl für 1996: Hans-Wilhelm Schiffer: Deutscher Energiemarkt '96, in: ET Heft 3/1997, 47. Jg., S. 152 ff., hier: S. 152.; eigene Berechnungen

In Abbildung 22 ist der Endenergieverbrauch der Haushalte für Raumwärme einerseits mit und andererseits ohne die oben beschriebene Temperaturbereinigung gegenübergestellt.

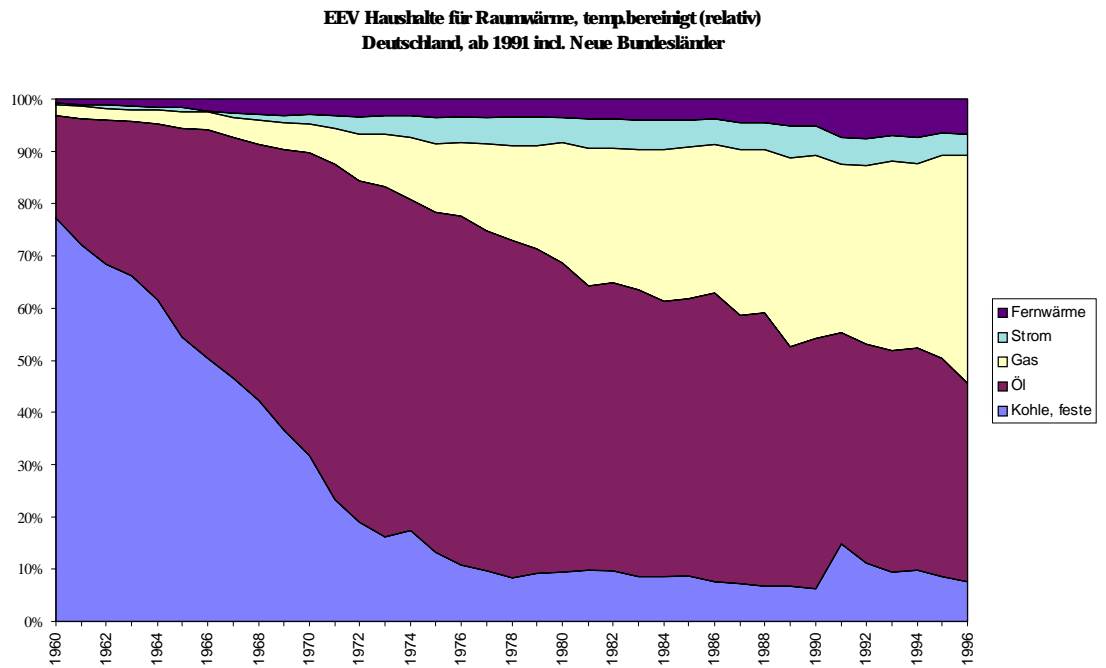
Mit dieser Temperaturbereinigung läßt sich der Raumwärmebedarf nun neu darstellen; dieses kann man sehen in Abbildung 23 und Abbildung 24.

Abbildung 23: EEV Haushalte für Raumwärme (tempurbereinigt)



Quelle: VdEW-Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen: Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland nach Anwendungsbereichen im Jahre ..., Frankfurt (M), verschiedene Jahrgänge; eigene Berechnungen

Abbildung 24: EEV Haushalte für Raumwärme, temp.bereinigt (relativ)



Quelle: eigene Berechnungen

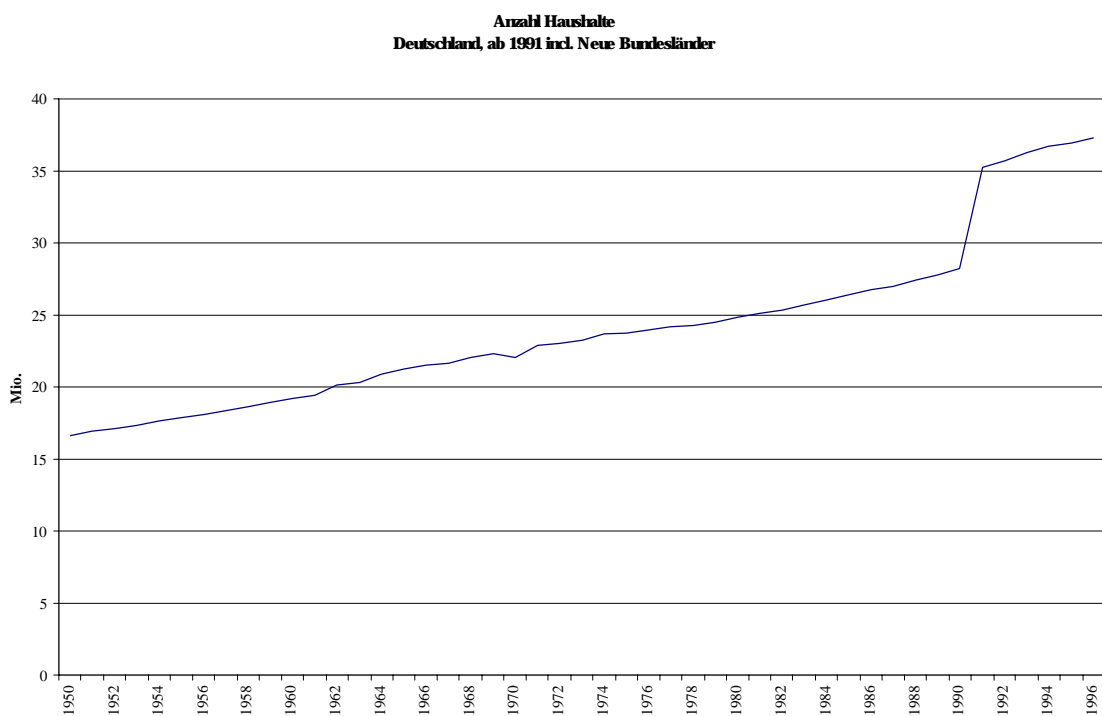
Da die Anzahl der Haushalte eine der wenigen Größen ist, für die eine Statistik über einen längeren Zeitraum vorliegt, wird diese als Maß für die Entwicklung des EEV der

Haushalte für den Raumwärmebedarf herangezogen. Die Entwicklung der Anzahl der Haushalte ist in Abbildung 25 dargestellt.

Im Modell soll diese Zahl nicht absolut geschätzt werden; vielmehr wird diese Zahl ins Verhältnis gesetzt zur Einwohnerzahl. Damit muß das Verhältnis von Einwohnern zu Haushalten geschätzt werden. Die Anzahl der Einwohner pro Haushalt ist in Abbildung 26 dargestellt.

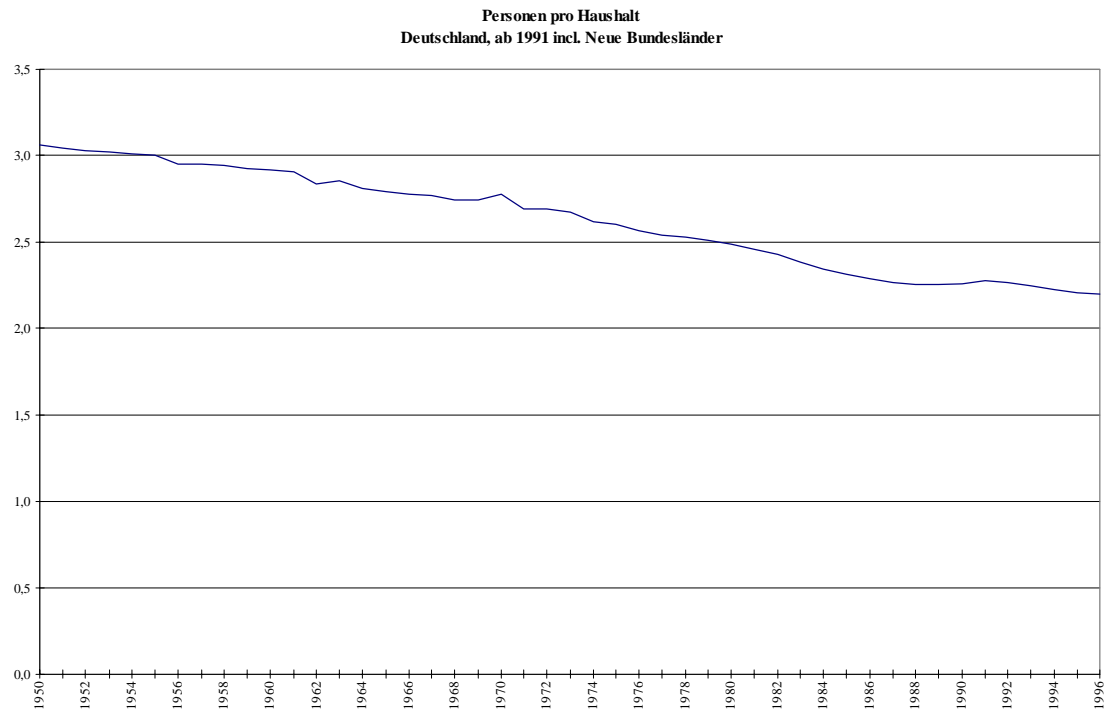
Teilt man nun den temperaturbereinigten Endenergieverbrauch der Haushalte, der für Raumwärme verbraucht wird, durch die Anzahl der Haushalte, so ergibt sich eine Größe, die als spezifischer Energieverbrauch pro Haushalt angesehen werden kann. Die Entwicklung dieser Größe ist in Abbildung 27 dargestellt.

Abbildung 25: Anzahl Haushalte



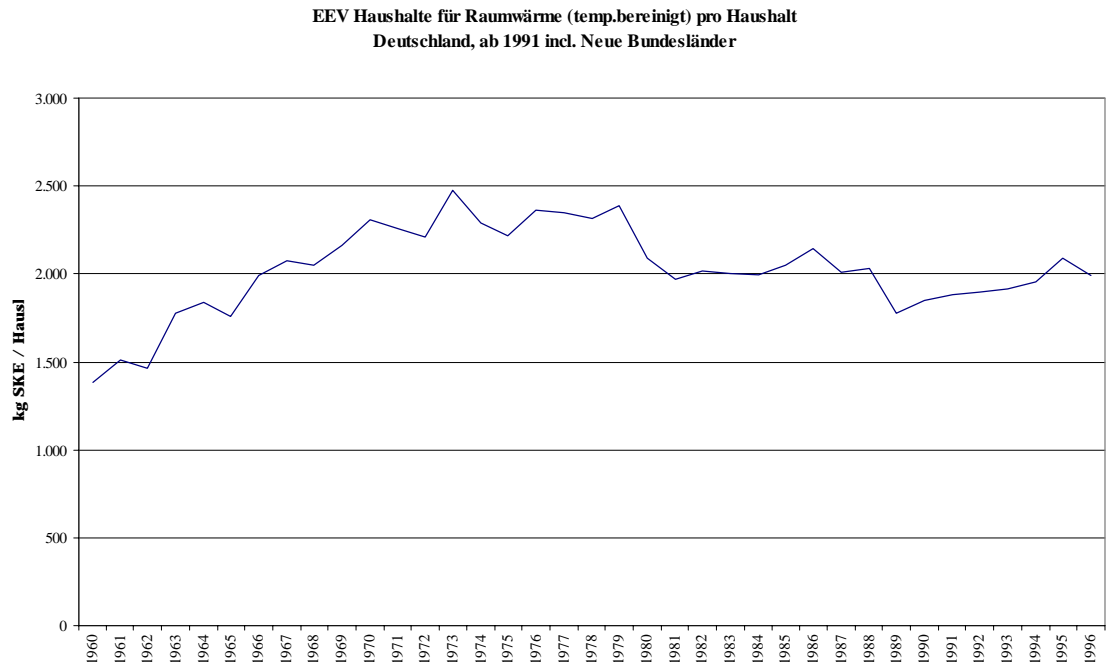
Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 3 Haushalte und Familien, Tabelle „Lange Reihen L101 Privathaushalte nach Haushaltsgröße ab 1871“, Stuttgart 1997, o.S.

Abbildung 26: Personen pro Haushalt



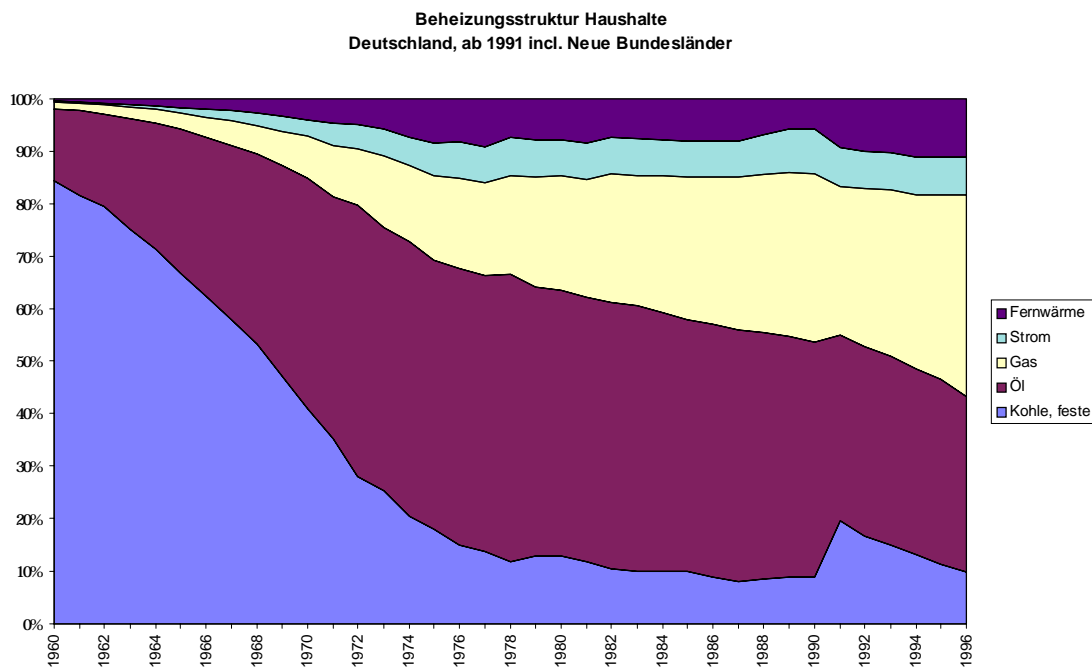
Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 27: EEV Haushalte für Raumwärme (temperaturbereinigt) pro Haushalt



Quelle: VdEW-Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen: Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland nach Anwendungsbereichen im Jahre ..., Frankfurt (M), verschiedene Jahrgänge; Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 3 Haushalte und Familien, Tabelle L101 „Privathaushalte nach Haushaltsgröße ab 1871“, o.S.; eigene Berechnungen

Abbildung 28: Beheizungsstruktur



Quelle: 1960-70: Paul H. Suding: Strukturen des Energieverbrauchs der Haushalte und Kleinverbraucher, München 1982; 1971-89: GFM-GETAS; 1990-93: eigene Schätzung; 1994-96: Esso A.G. (Hrsg.): Energieprognose, mehrere Jahrgänge Hamburg

Es gibt nun mehrere Möglichkeiten, den Endenergieverbrauch der Haushalte, der für die Raumwärmeerzeugung eingesetzt wird, den Energieträgern zuzuordnen. Die erste Möglichkeit besteht darin, die Informationen über die Beheizungsstruktur zu verwenden und den in Abbildung 27 dargestellten Energieverbrauch weiter nach Energieträger aufzuschlüsseln, so daß sich ein spezifischer Energieverbrauch pro Heizung ergibt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, auf die zusätzliche Information über die Beheizungsstruktur zu verzichten und per modal split die Zuordnung auf den Energieverbrauch pro Energieträger vorzunehmen.

Zunächst wird die erste Alternative untersucht.

Die Beheizungsstruktur bundesdeutscher Wohnungen entwickelt sich wie in Abbildung 28 dargestellt.

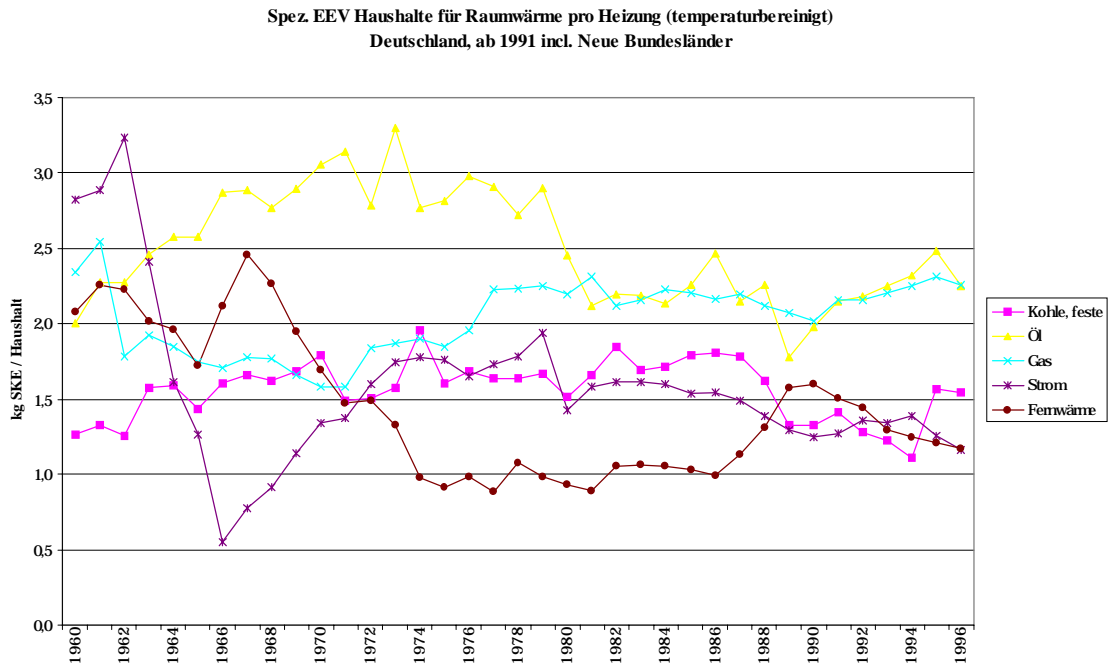
Zusammen mit der Anzahl der Haushalte erhält man so näherungsweise die Anzahl der Heizungen nach Energieträger. Ungenauigkeiten ergeben sich z.B. dann, wenn es jährliche Schwankungen gibt, was eine mögliche zweite Art der Beheizung angeht. Hier soll davon mangels geeigneter Daten abstrahiert werden.

Teilt man den temperaturbereinigten Endenergieverbrauch für Raumwärme durch die Anzahl der Heizungen, so erhält man den spezifischen temperaturbereinigten Endenergieverbrauch der Haushalte für Raumwärme. Die entsprechenden Werte für diese Größe sind in Abbildung 29 dargestellt.

Veränderungen in dieser Größe sind dabei nicht nur auf technische Veränderungen, etwa in der Effizienz der Heizungen, zurückzuführen, sondern hier spielen weiterhin sämtliche eingangs erwähnten Größen eine Rolle. Wie aus der Grafik ersichtlich ist, unterliegen die verschiedenen Größen vor diesem Hintergrund starken Schwankungen, so daß eine Prognose mithin sehr schwierig ist.

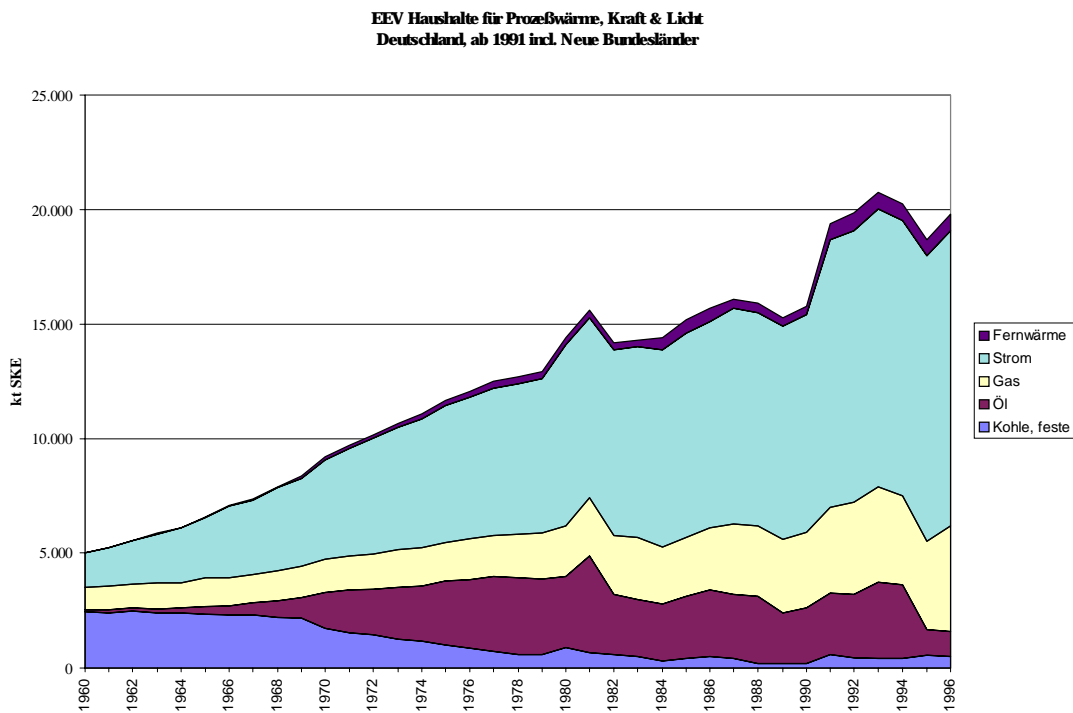
Aus diesem Grund wird im Modell die Beheizungsstruktur nicht direkt berücksichtigt. Statt dessen erfolgt eine direkte Prognose der Anteile der Energieträger am temperaturbereinigten Endenergieverbrauch der Haushalte für die Raumwärme.

Abbildung 29: Spez. Raumwärmeverbrauch pro Heizung



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 30: EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft & Licht



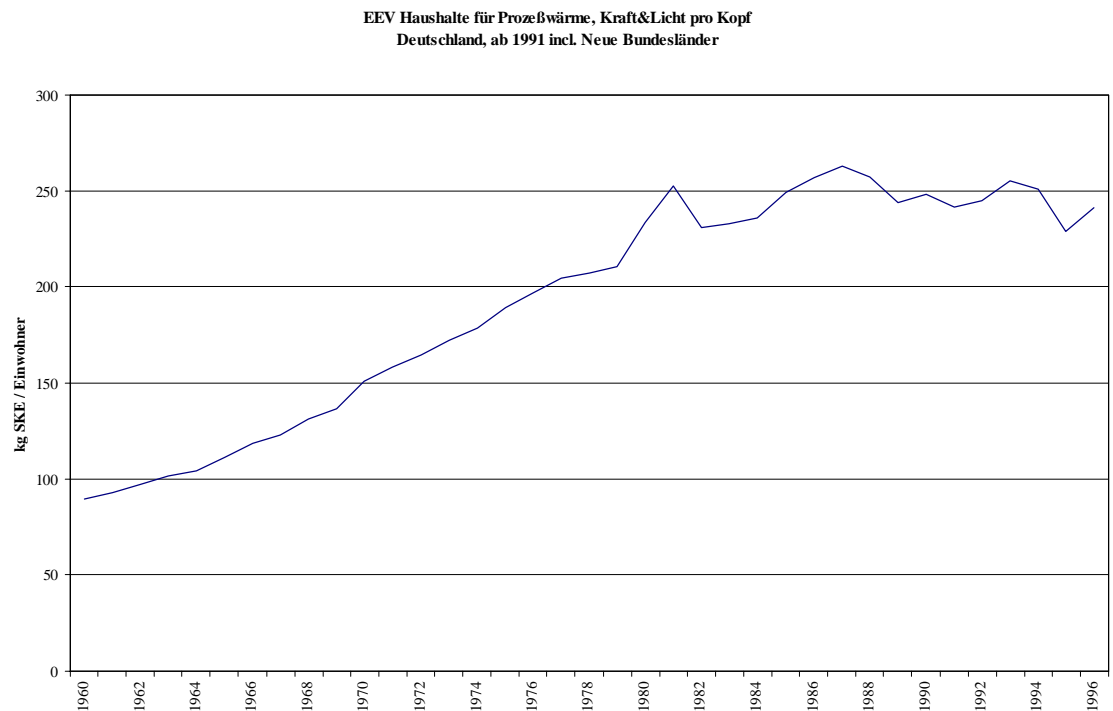
Quelle: eigene Berechnungen

Die anderen Verbrauchsarten, d.h. alle Arten von Prozeßwärme wie z.B. Warmwasserbereitung oder Kochen sowie mechanische Energie (Elektrogeräte) und Beleuchtung, spielen im Sektor Haushalte im Vergleich zur Raumwärme nur eine untergeordnete Rolle. Aus diesem Grund wird auf eine detaillierte Darstellung dieser Verbrauchssektoren verzichtet. In Abbildung 30 ist die Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Haushalte für diese Verwendungszwecke dargestellt. Zur Ermittlung des Endenergieverbrauchs der Haushalte für die Verwendungszwecke Prozeßwärme, mechanische Energie und Beleuchtung wird dabei die Differenz gezogen zwischen dem gesamten Endenergieverbrauch der Haushalte, wie er von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen ermittelt wird, und dem Endenergieverbrauch der Haushalte für Raumwärme, wie er vom Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen ermittelt wird.

Im Modell werden diese beiden Verbrauchsbereiche zur Entwicklung der Bevölkerung in Beziehung gesetzt. Alternativ dazu käme auch eine Kopplung an die Anzahl der Haushalte in Betracht.

Die Entwicklung dieser Größe ist in Abbildung 31 dargestellt.

Abbildung 31: EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft & Licht pro Einwohner



Quelle: eigene Berechnungen

Im Modell erfolgt dann eine Aufgliederung auf die verschiedenen Energieträger nach Prozentsätzen.

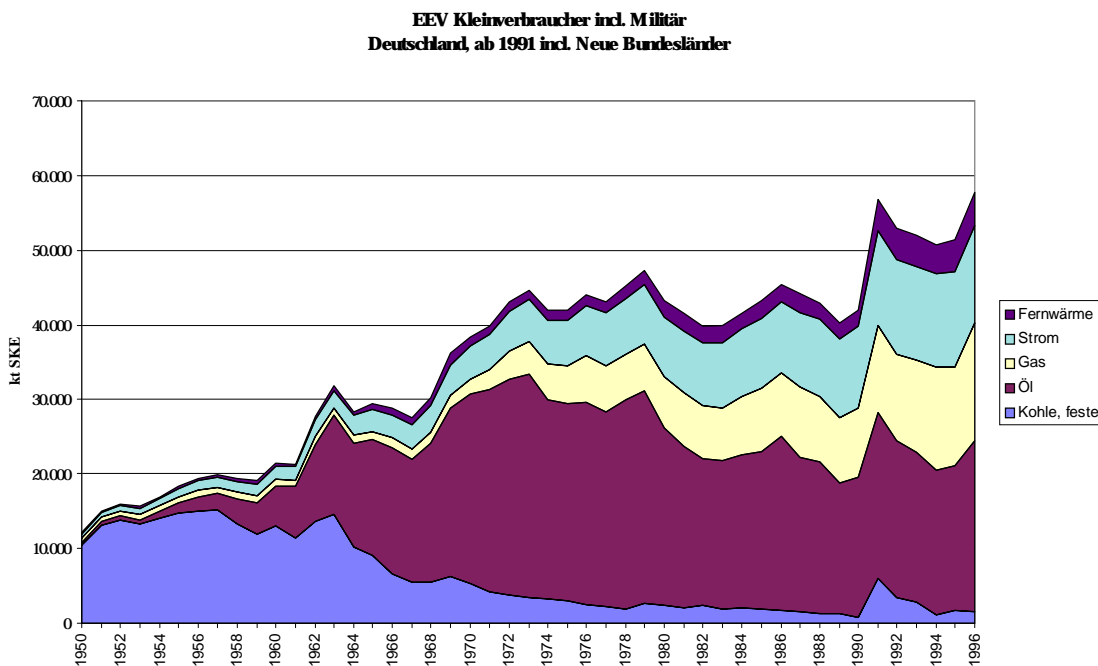
4.3.3.3 Modellierung des Sektors Kleinverbraucher incl. Militär

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für den Sektor Kleinverbraucher incl. Militär ist in Abbildung 32 dargestellt.

Zu diesem Sektor werden neben dem Militär folgende Bereiche gezählt: "öffentliche Einrichtungen, Wasserwerke, Gewerbebetriebe einschließlich der industriellen Betriebe mit weniger als 10 Beschäftigten, Wäschereien und chemische Reinigungen, Bauhauptgewerbe, Handwerksbetriebe, Geschäftsgebäude und Räume gewerblicher Art, Handelsunternehmen, Landwirtschaft."¹¹² Für diese einzelnen Bereiche liegen allerdings keine getrennten Daten über den Energieverbrauch vor, so daß die Kleinverbraucher nur aggregiert betrachtet werden können.

Für diesen sehr heterogenen Verbrauchssektor ist es schwierig, eine einheitliche Modellierung zu finden. Im folgenden werden kurz zwei Alternativen diskutiert.

Abbildung 32: EEV Kleinverbraucher incl. Militär



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Als Maßstab für den Energieverbrauch des Sektors Kleinverbraucher incl. Militär könnte der Teil des Wirtschaftswachstums angesetzt werden, der nicht auf die Industrie und nicht auf Haushalte entfällt.

Die zweite Möglichkeit, den Sektor Kleinverbraucher und Militär zu modellieren, besteht in einer Detaillierung des Energieverbrauchs nach Verwendungszwecken, also nach Raumwärme, Prozeßwärme, Kraft und Licht, ähnlich wie für den Haushaltssektor. Entsprechende Zahlen für die Vergangenheit liegen durch die Arbeit des Arbeitskreises Nutzenergiebilanzen weitgehend vor (Ausnahme: 1991-95 für die neuen Bundesländer, 1994-95 für die alten). Bei den Kleinverbrauchern wird etwa die Hälfte für Raumwärme und je ein Viertel für Prozeßwärme und für Kraft & Licht verwendet.¹¹³ Schwierig ist hier speziell die Begründung, warum sich eine Verbrauchsart an einer Determinante und eine andere Verbrauchsart an einer anderen orientieren sollte. Mögliche Determinanten könnten hier die wirtschaftliche Entwicklung oder die Anzahl der Arbeitskräfte im Subsektor Kleinverbraucher sein. Bei der Anzahl der Arbeitskräfte gibt es hier allerdings

¹¹² Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971, Vorwort, S. 12

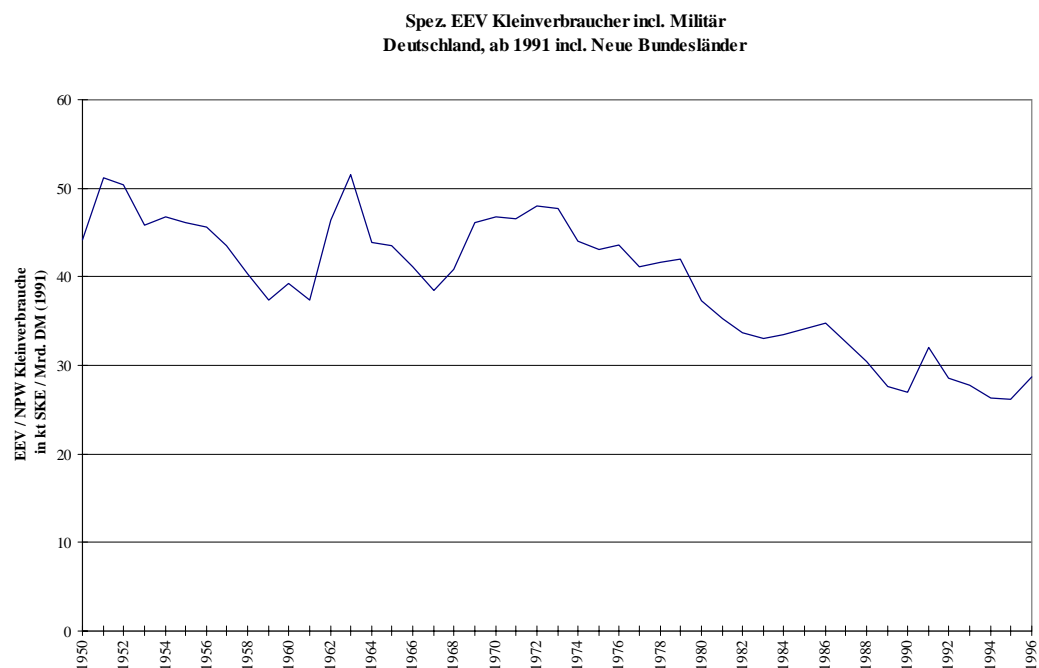
bestimmte Abgrenzungsprobleme, so daß diese nicht herangezogen werden kann. Im Modell wird daher auf die Detaillierung nach Verwendungszwecken verzichtet.

Als Hilfsgröße für die Prognose des Energieverbrauchs im Sektor Kleinverbraucher wird das Wirtschaftswachstum der Bereiche Land- und Forstwirtschaft, Handel, Dienstleistungsunternehmen und Staat gewählt. Damit werden abgesehen vom Militär näherungsweise alle diejenigen Bereiche erfaßt, der in der Energiebilanz mit dem Begriff Kleinverbraucher gemeint ist.¹¹⁴

Für den spezifischen Endenergieverbrauch des Sektors Kleinverbraucher ergibt sich damit die in Abbildung 33 dargestellte Entwicklung.

Die Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf die verschiedenen Energieträger wird zuletzt vorgenommen.

Abbildung 33: Spez. Energieverbrauch Kleinverbraucher



Quelle: eigene Berechnungen

4.3.4 Modellierung des Sektors Industrie

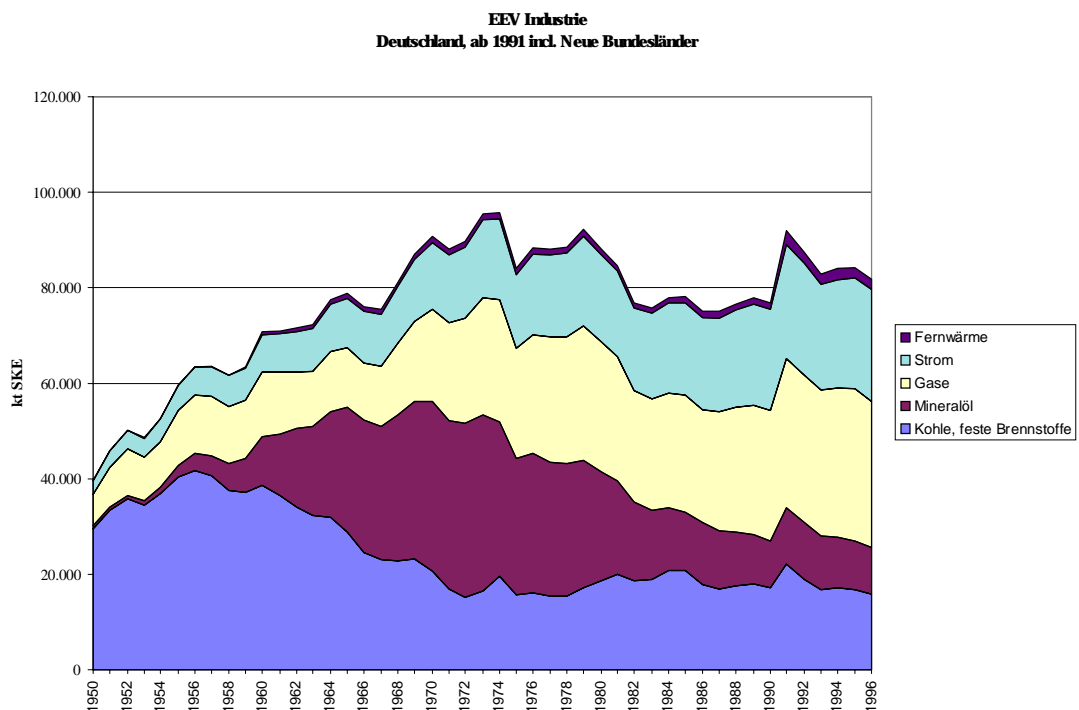
Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs Industrie ist in Abbildung 34 dargestellt.

¹¹³ 1996 wurden ca. 78 % des Energieverbrauchs der Haushalte für Beheizung von Räumen verwendet (Raumwärme),

Die Industrie ist kein homogenes Gebilde; im folgenden wird deshalb untersucht, ob eine stärkere Berücksichtigung einzelner Industriezweige nötig ist. 1993 machten 3 Zweige, nämlich die Zweige Eisenschaffende Industrie, Chemische Industrie und Steine/Erden über die Hälfte des Energieverbrauchs aus und könnten daher extra berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang ist zu untersuchen, ob das Wirtschaftswachstum in diesen 3 Zweigen stark vom durchschnittlichen Wachstum in der gesamten Industrie abweicht und ob der spezifische Energieverbrauch, d.h. der Energieverbrauch pro Bruttowertschöpfung für diese 3 Industriezweige vom Durchschnitt abweicht. Wenn beides der Fall wäre, dann wäre eine getrennte Betrachtung dieser Industriezweige erforderlich.

In Abbildung 35 ist daher der Endenergieverbrauch Industrie nach Wirtschaftszweigen aufgeschlüsselt. Es wird deutlich, daß die Industriezweige Steine und Erden, eisenschaffende Industrie und chemische Industrie über die Hälfte des Endenergieverbrauchs der Industrie auf sich vereinen.

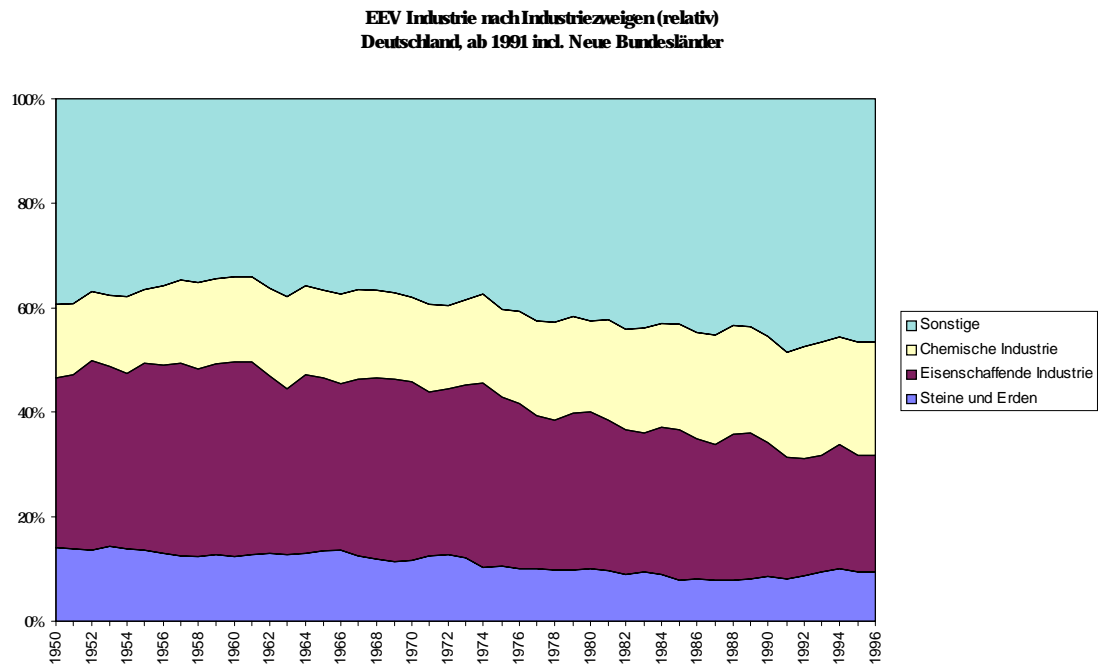
Abbildung 34: EEV Industrie



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

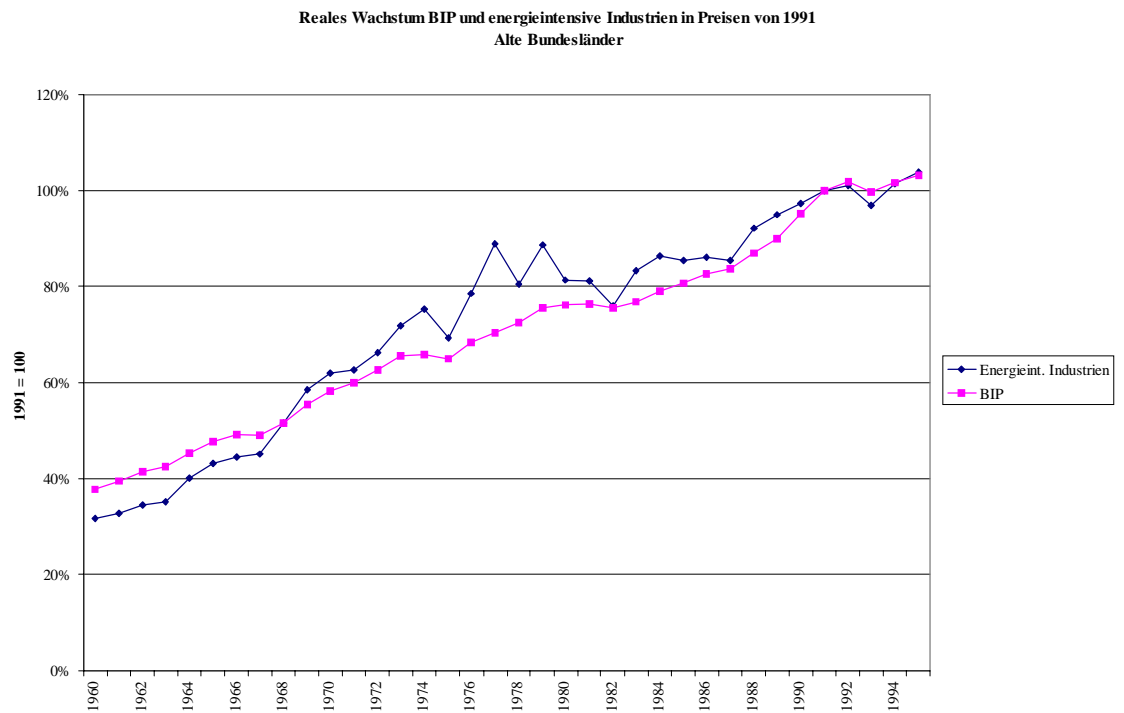
¹¹⁴ Vgl. auch Abschnitt 4.3.2

Abbildung 35: EEV Industrie nach Industriezweigen



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Abbildung 36: Reales Wirtschaftswachstum alte Bundesländer: BIP vs. energieintensive Wirtschaftszweige



Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.2 Vorbericht, Stuttgart 1997

Es ist zu prüfen, ob diese energieintensiven Industriezweige langsamer oder schneller wachsen als der Rest der Wirtschaft. Wenn das der Fall sein sollte, daß würde sich eine getrennte Betrachtung dieser Wirtschaftszweige im Industriemodell empfehlen. In Abbildung 36 sind die Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts und der Nettoproduktionswerte der energieintensiven Wirtschaftszweige gegenübergestellt, jeweils indiziert zum Jahr 1991.

Als Ergebnis dieses Vergleichs ergibt sich, daß die energieintensiven Branchen vor allem in den späten 60er und Anfang der 70er Jahre schneller wachsen als die Branchen, in denen wenig Energie verbraucht wird; Anfang der 80er Jahre ist das Wachstum dieser Branchen unterdurchschnittlich. Für die 90er Jahre existiert in den neuen Bundesländern keine entsprechende Statistik, so daß hier nur die Werte der alten Bundesländer miteinander verglichen werden können. Hier ergibt sich beim Wirtschaftswachstum keine Besonderheit für die energieintensiven Industrien.

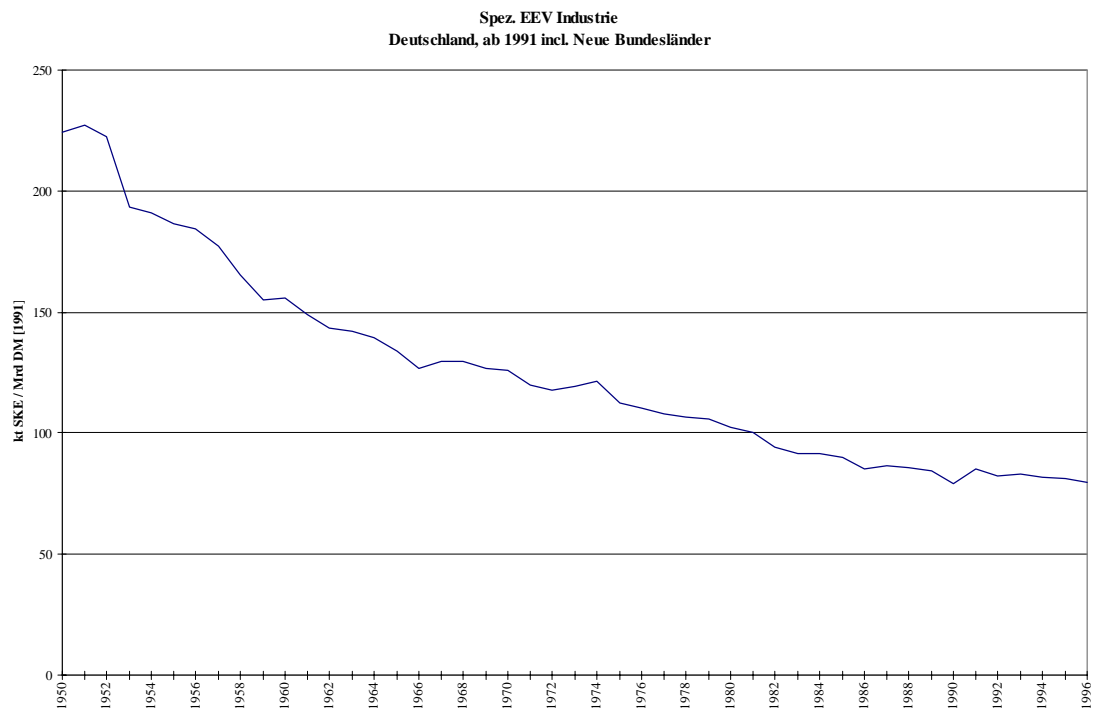
In einigen Veröffentlichungen über die Energiestatistik wird behauptet, daß eine Entkoppelung zwischen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch existiere.¹¹⁵ Damit wird unterstellt, daß die energieintensiven Industrien innerhalb des gesamten Bruttoinlandsprodukts an Bedeutung verlieren. Aus Abbildung 36 geht hervor, daß diese Hypothese nicht gehalten werden kann; die energieintensiven Industrien sind in den vergangenen Jahren praktisch mit der gleichen Intensität wie das BIP insgesamt gewachsen. Anders verhält es sich mit dem spezifischen Energieverbrauch, ausgedrückt als Quotient aus Energieverbrauch und Nettoproduktionswert.

Für das Modell bedeutet das, daß eine getrennte Betrachtung der energieintensiven Industrien entfallen kann. Dadurch ergeben sich auch keine weiteren Probleme, was die mangelnde Datenlage in den neuen Bundesländern angeht.

Als Modellierungsgröße wird aus diesem Grunde der spezifische Energieverbrauch der Industrie insgesamt gewählt, also dem Endenergieverbrauch der Industrie geteilt durch den Nettoproduktionswert. Die Entwicklung dieser Größe ist in Abbildung 37 dargestellt.

¹¹⁵ Vgl. z.B. Heinz-Jürgen Schürmann: Erdgas kann noch kräftig zulegen, in: Handelsblatt Nr. 229, 27.11.1995, S. 14

Abbildung 37: Spezifischer EEV Industrie



Quelle: eigene Berechnungen

4.3.5 Modellierung des Sektors Verkehr

Ausgangspunkt der Überlegungen zur Modellierung des Endenergieverbrauchs Verkehr ist der Endenergieverbrauch selbst, dessen Entwicklung in Abbildung 38 dargestellt ist.

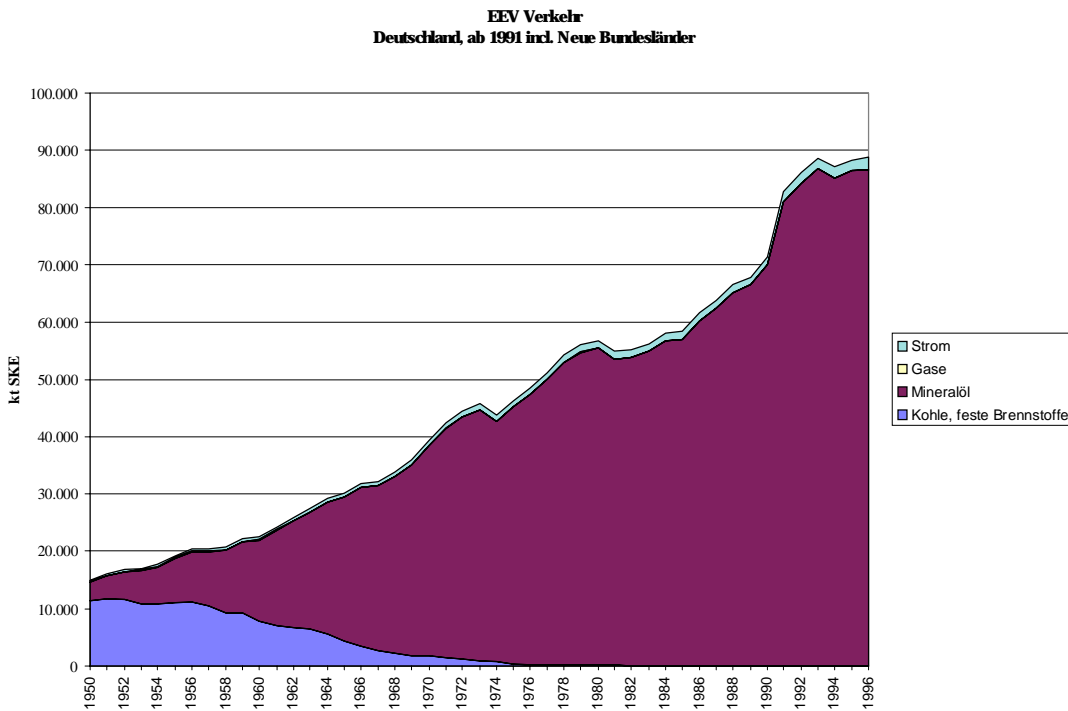
Wie ersichtlich ist, wird der weitaus größte Teil des Energieverbrauchs z.Z. mit Mineralölprodukten gedeckt. Sollte sich hieran etwas in der Zukunft ändern, so kann das im Modell abschließend in aggregierter Form eingeschätzt werden; zunächst bleiben die verschiedenen Energieträger unberücksichtigt.

Die Modellierung des Sektors Verkehr hängt entscheidend von der Datenlage ab. Für den Energieverbrauch liegen im Rahmen von Verkehr in Zahlen¹¹⁶ Daten für folgende Verkehrsarten vor:

- Schienenverkehr
- Motorisierter Individualverkehr

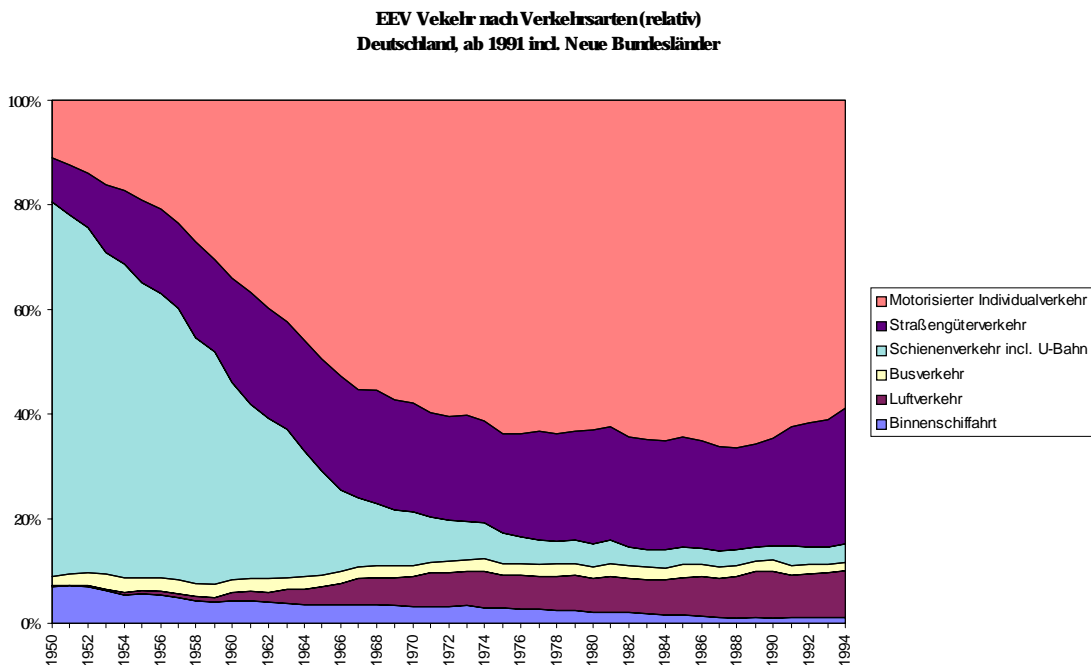
¹¹⁶ Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1991, Berlin 1991, bearbeitet von Heinz Enderlein und Bernhard Schrader (DIW) und Bundesverkehrsministerium (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1997, Berlin 1997, bearbeitet von Sabine Radke (DIW)

Abbildung 38: EEV Verkehr



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Abbildung 39: EEV Verkehr nach Verkehrsarten (relativ)



Quelle: bis 1990: Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1991, Berlin 1991, bearbeitet von Heinz Enderlein und Bernhard Schrader (DIW), S. 430 f.; ab 1991: Bundesverkehrsministerium (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1997, Berlin 1997, bearbeitet von Sabine Radke (DIW), S. 271

- Kraftomnibusverkehr
- Straßengüterverkehr
- Luftverkehr
- Binnenschifffahrt

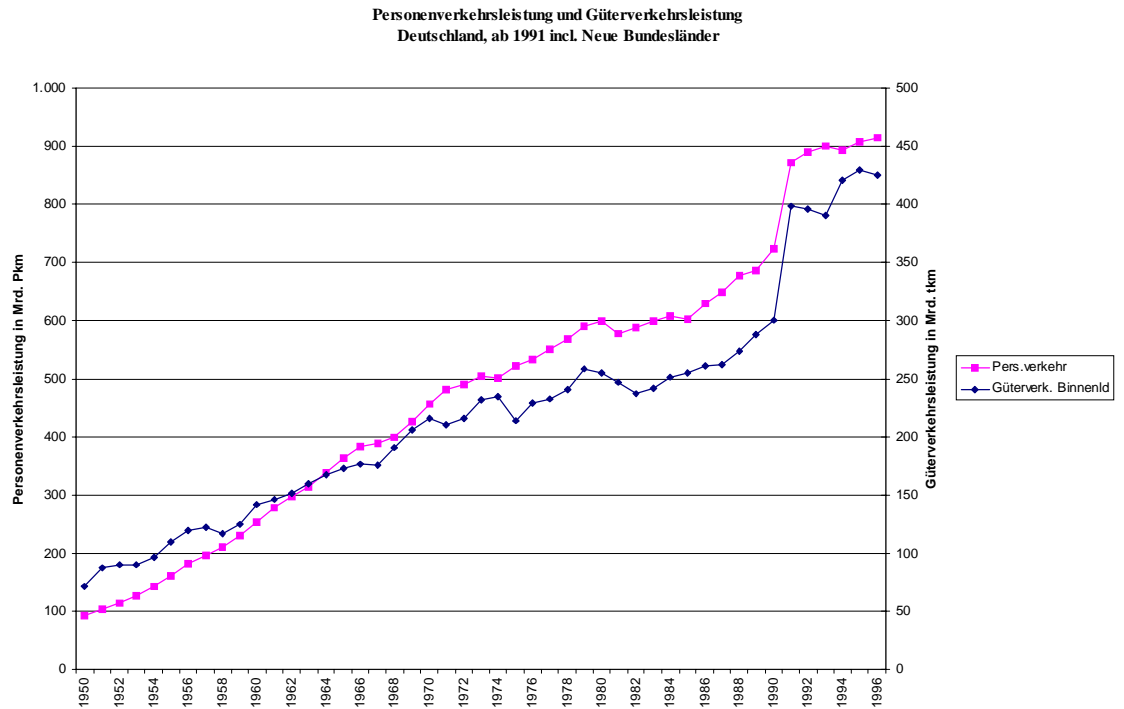
Diese Daten sind in Abbildung 39 veranschaulicht.

Tabelle 8: Annahme über die Aufteilung des Endenergieverbrauchs verschiedener Verkehrsarten auf Personen- und Güterverkehr

Personenverkehr	Güterverkehr
Schieneverkehr (50 %)	Schieneverkehr (50 %)
Motorisierter Individualverkehr	Straßengüterverkehr
Kraftomnibusverkehr	Binnenschifffahrt
Luftverkehr	

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 40: Verkehrsleistung Personenverkehr und Güterverkehr



Quelle: Personenverkehr bis 1990: Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1991, Berlin 1991, bearbeitet von Heinz Enderlein und Bernhard Schrader (DIW), S. 308 ff.; Personenverkehr ab 1990: Bundesverkehrsministerium (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1997, Berlin 1997, bearbeitet von Sabine Radke (DIW), S. 217; Güterverkehr bis 1990: Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1991, Berlin 1991, bearbeitet von Heinz Enderlein und Bernhard Schrader (DIW), S. 340 ff.; Güterverkehr ab 1991: Bundesver-

kehrsministerium (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1997, Berlin 1997, bearbeitet von Sabine Radke (DIW), S. 233

Üblicherweise wird in der energiepolitischen Diskussion die Verkehrsleistung als Basis für den Energieverbrauch verwendet. Die Verkehrsleistung entspricht beim Personenverkehr der Anzahl der beförderten Personen multipliziert mit der Entfernung (Personenkilometer) und beim Güterverkehr der beförderten Menge an Gütern in Tonnen multipliziert mit der Entfernung (Tonnenkilometer). Die Verkehrsleistung in Personenkilometern (Pkm) liegt für folgende Verkehrsbereiche vor:

- Schienenverkehr
- Motorisierter Individualverkehr
- Kraftomnibusverkehr
- Luftverkehr

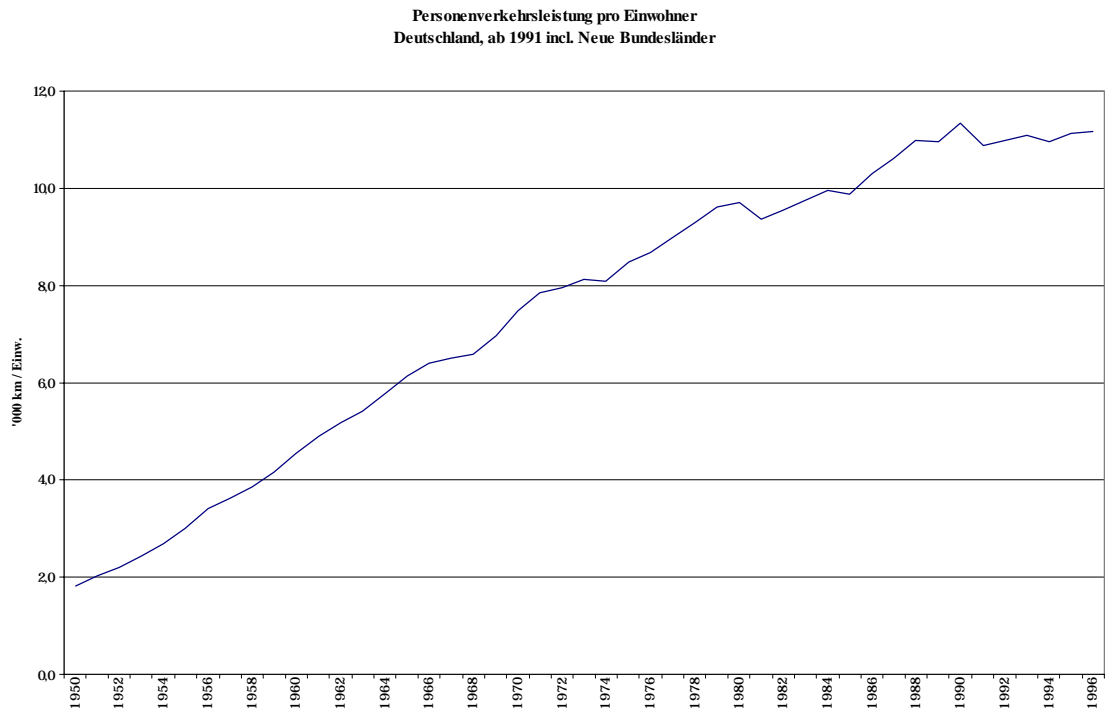
Für die Güterverkehrsleistung in Tonnenkilometern (tkm) liegen komplette Zeitreihen für folgende Verkehrsarten vor:

- Schienenverkehr
- Straßengüterverkehr
- Luftverkehr
- Binnenschifffahrt
- Rohrfernleitungen

Weder für den Schienen- noch für den Luftverkehr liegen somit Daten darüber vor, ob Energie für den Personen- oder für den Gütertransport aufgewendet wird. Im Modell sind daher entsprechende Annahmen zu treffen. Diese Annahmen sind in Tabelle 8 dargestellt; die so ermittelten Verkehrsleistungen finden sich in Abbildung 40.

Diese Annahmen werden nicht deshalb eingeführt, damit der Endenergieverbrauch im Personenverkehr und im Güterverkehr genau bestimmt werden kann; dazu sind die Zuordnungen des Schienenverkehrs und des Luftverkehrs zu willkürlich. Lediglich wird durch diese Annahmen festgelegt, ob die Verkehrsleistung und der Energieverbrauch des Schienen- und des Luftverkehrs über die Einwohnerzahl oder über das Bruttoinlandsprodukt ausgedrückt werden soll. Wenn im folgenden trotzdem von Endenergieverbrauch für Personen- oder Güterverkehr die Rede ist, dann ist dabei zu berücksichtigen, daß es sich hierbei nur um theoretische Größen handelt.

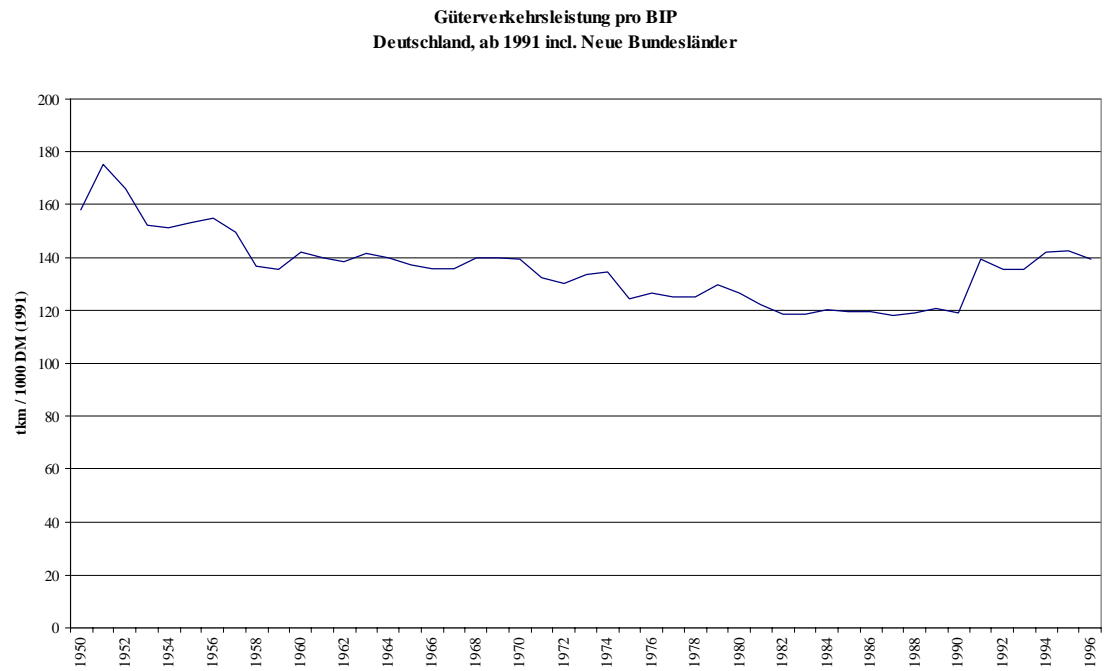
Abbildung 41: Personenverkehr pro Einwohner



Quelle: eigene Berechnungen

Der Endenergieverbrauch kann also in Abhängigkeit von der Verkehrsleistung und dem spezifischen Energieverbrauch dargestellt werden.

Abbildung 42: Güterverkehrsleistung pro BIP

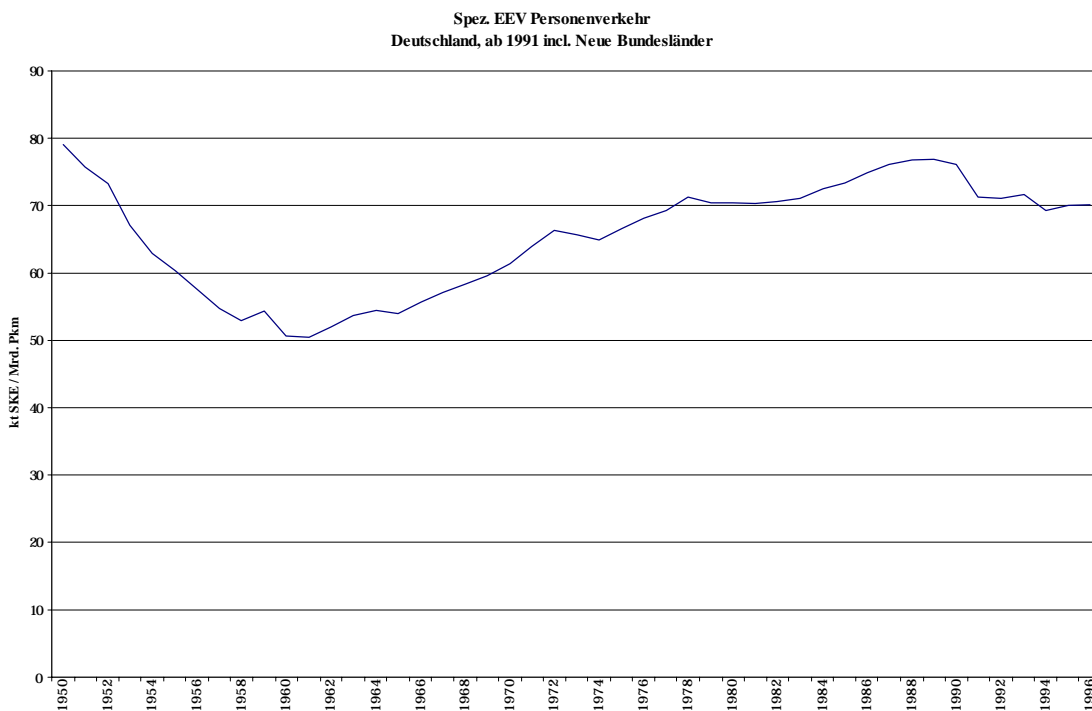


Quelle: eigene Berechnungen

Die Verkehrsleistungen wiederum können mit anderen makroökonomischen Größen verbunden werden. Für den Personenverkehr bietet sich die Einwohnerzahl an; für den Güterverkehr wird das Bruttoinlandsprodukt gewählt. Die entsprechenden Größen sind in Abbildung 41 und Abbildung 42 dargestellt.

Um zu einer vollständigen Modellierung zu gelangen, fehlt noch der spezifische Energieverbrauch, also Endenergieverbrauch geteilt durch Verkehrsleistung, jeweils für den Personen- und für den Güterverkehr, dargestellt in Abbildung 43 und Abbildung 44.

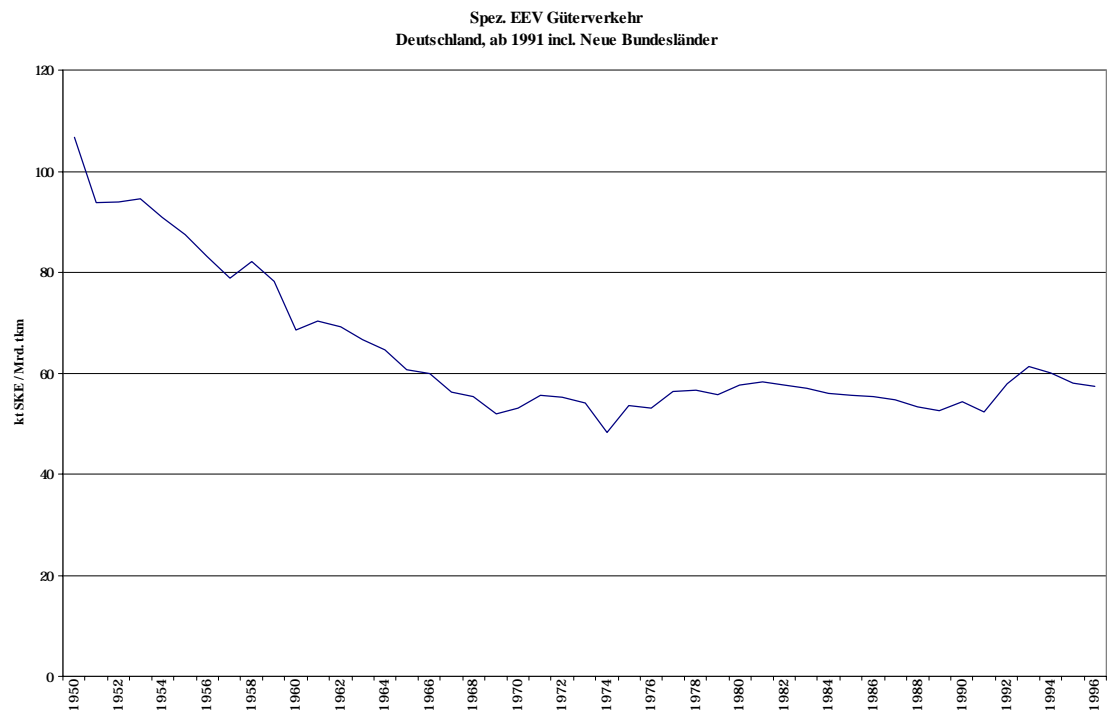
Abbildung 43: Spez. EEV Personenverkehr



Quelle: eigene Berechnungen

Darüber hinaus ist zu diskutieren, ob angesichts der hohen Anteile des motorisierten Individualverkehrs und des Luftverkehrs (vgl. Abbildung 39) am Endenergieverbrauch Verkehr eine weitere Detaillierung dieses Teilmodells erfolgen soll. Die Entscheidung hierfür hängt wesentlich von der Datenlage ab.

Abbildung 44: Spez. EEV Güterverkehr



Quelle: eigene Berechnungen

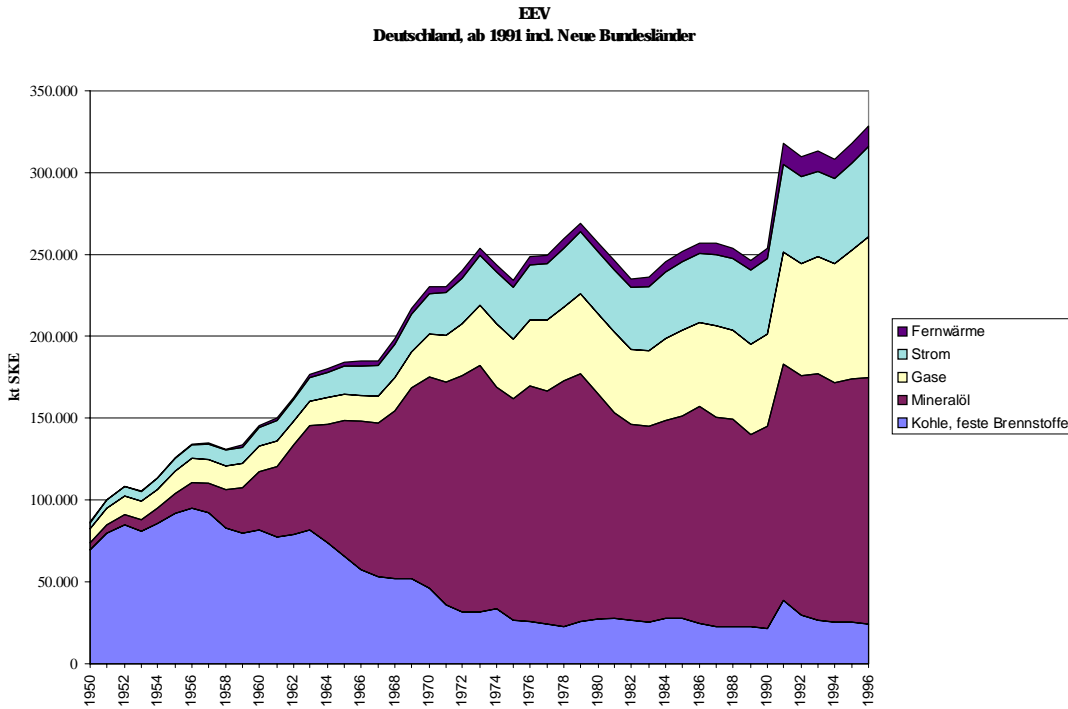
Bei der öffentlichen Diskussion um den Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs spielt speziell der Verbrauch von Pkws in Litern Kraftstoff pro gefahrenen 100 km eine Rolle (Stichwort „3-Liter-Auto“). Eine Modellierung, die diesem Umstand Rechnung trägt, müßte daher die Anzahl der Pkws, die jährliche Fahrleistung sowie den Kraftstoffverbrauch pro Pkw berücksichtigen. Daneben müßte der motorisierte Zweiradverkehr (Krafträder, Mopeds, Mofas und Mokicks) gesondert modelliert werden. Die größte Schwierigkeit dabei ergibt sich bei der Berücksichtigung der Einheiten im Modell. Teilweise ist in den Statistiken nur der Kraftstoffverbrauch in kt angegeben, teilweise nur in Mio. l¹¹⁷. Mit Rücksicht auf den Aufwand bei der Modellerstellung wird aus diesem Grund auf eine entsprechende Betrachtung verzichtet; das hat auch den Vorteil, daß im

¹¹⁷ So wird z.B. in der Datensammlung Verkehr in Zahlen 1991, die das Datenvolumen der Alten Bundesländer von 1950 bis 1990 umfaßt, der Kraftstoffverbrauch der Krafträder, Mopeds und Mofas nur in 1000 t Kraftstoffen angegeben, vgl. Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1991, Berlin 1991, bearbeitet von Heinz Enderlein und Bernhard Schrader (DIW), S. 440 ff., während in der gleichen Datensammlung des Jahres 1997 die entsprechenden Zahlen ausschließlich in Mio. l angegeben sind, vgl. Bundesverkehrsministerium (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 1997, Berlin 1997, bearbeitet von Sabine Radke (DIW), S. 276 f. Die beiden Datenreihen passen auch nicht zusammen. So steigt in Verkehr in Zahlen 1991 der Kraftstoffverbrauch der Krafträder, Mopeds und Mofas zwischen 1977 und 1990 um 227 % an, während er in Verkehr in Zahlen 1997 im gleichen Zeitraum nur um 30 % steigt.

gesamten Modell nur mit einer einzigen energetischen Mengeneinheit gerechnet wird (nämlich kt SKE).

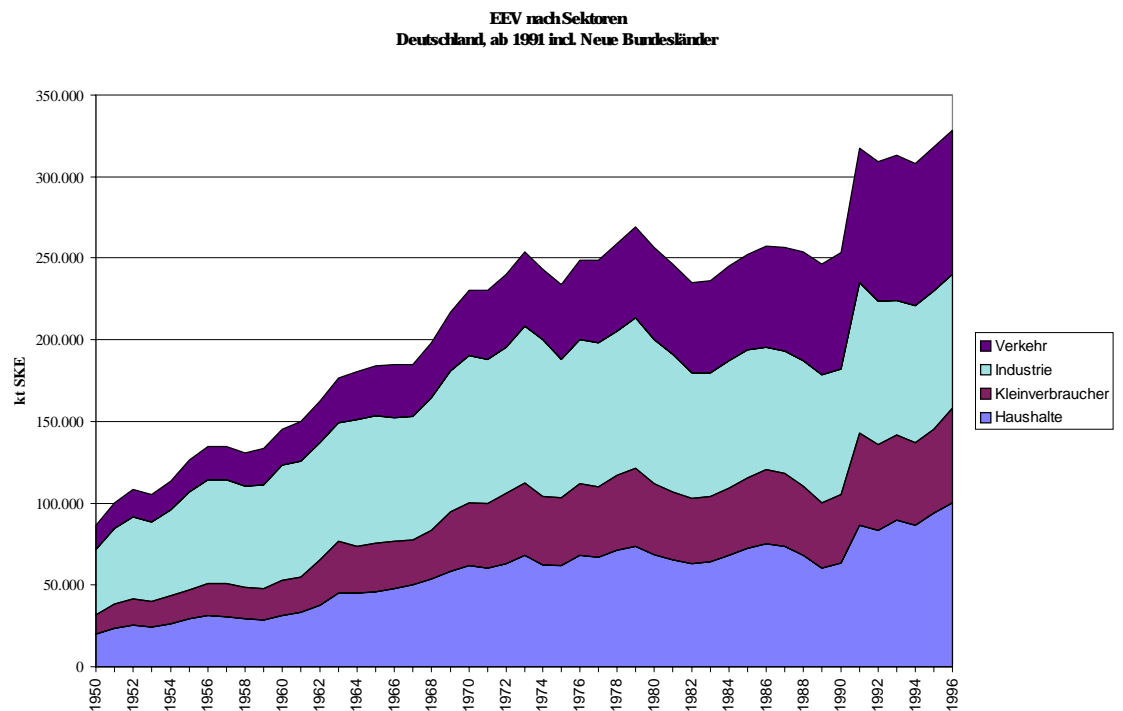
4.3.6 Zusammenfassende Darstellung des Endenergieverbrauchs

Abbildung 45: EEV



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Abbildung 46: EEV nach Sektoren



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Als Summe des Endenergieverbrauchs in den Sektoren Haushalte, Kleinverbraucher, Militär, Industrie und Verkehr ergibt sich der Endenergieverbrauch insgesamt. Diese Größe ist im Modell der Übersichtlichkeit halber einerseits nach den Sektoren und andererseits nach den Energieträgern aufgegliedert dargestellt, vgl. Abbildung 45 und Abbildung 46.

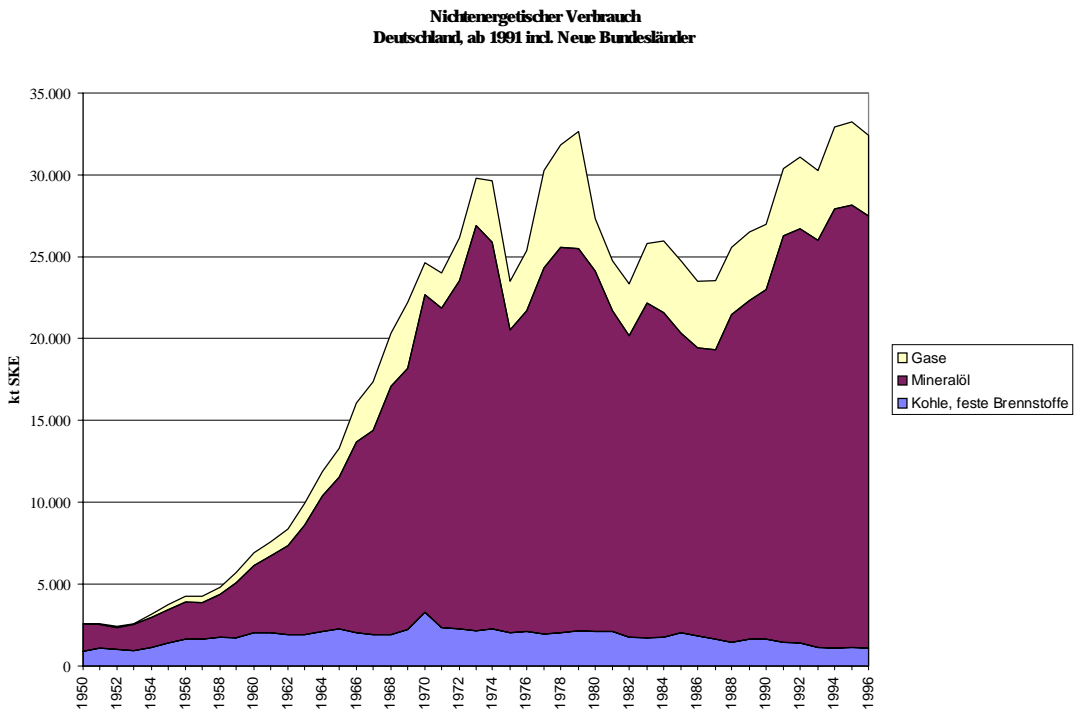
4.3.7 Modellierung des nichtenergetischen Verbrauchs

Der nichtenergetische Verbrauch stellt nur einen kleinen Teil des Verbrauchs von Energieträgern dar. Die Entwicklung des nichtenergetischen Verbrauchs ist in Abbildung 47 dargestellt.

Er findet im wesentlichen statt bei der Verwendung von Mineralölprodukten bzw. Gasen als Grundstoff für die chemische Industrie und, weniger, bei der Verwendung von Bitumen im Straßenbau.

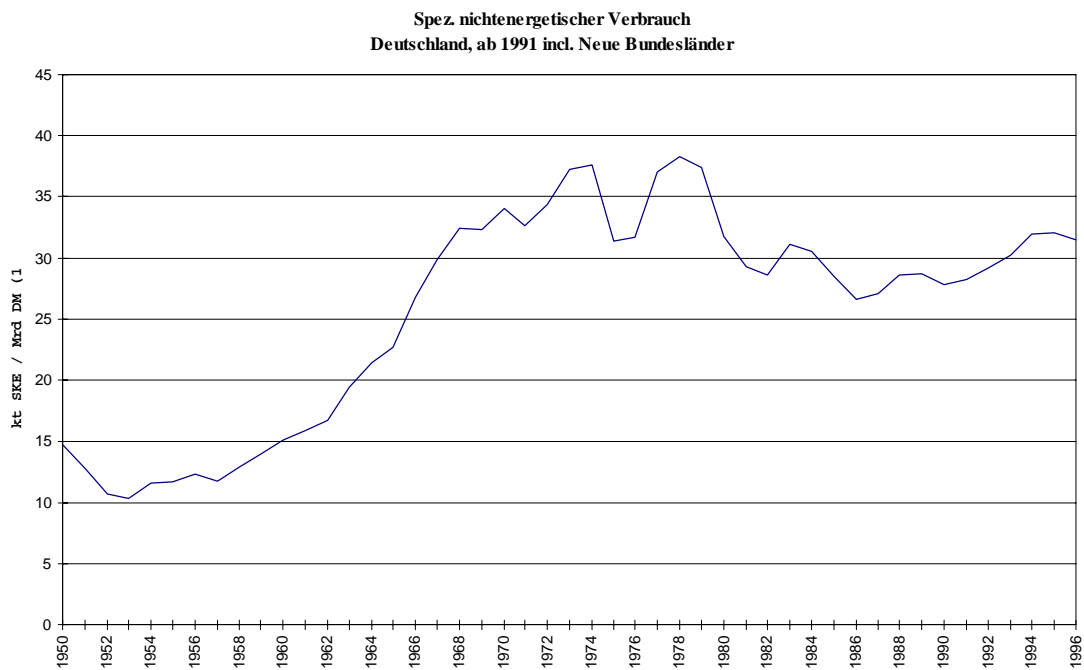
Es würde daher naheliegen, das Wirtschaftswachstum der chemischen Industrie zugrunde zu legen und den spezifischen Verbrauch von Energieträgern pro Nettoproduktionswert der chemischen Industrie als zu schätzende Größe zu verwenden.

Abbildung 47: Nichtenergetischer Verbrauch



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Abbildung 48: Spezifischer nichtenergetischer Verbrauch D



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971, Stat. Bundesamt (Hrsg.): Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.3 Hauptbericht, Stuttgart 1997

Das Problem bei dieser Art der Modellierung besteht darin, daß für die chemische Industrie in der Statistik des statistischen Bundesamtes seit 1991 keine Zahlen veröffentlicht wurden. Andere Veröffentlichungen wie z.B. die des Verbandes der chemischen Industrie könnten statt dessen verwendet werden, aber hier ergibt sich dann das Problem, daß eine andere Abgrenzung verwendet wird.

Im Modell wird daher der Nettoproduktionswert des produzierenden Gewerbes als Hilfsgröße verwendet. Der entsprechende spezifische nichtenergetische Verbrauch ist in Abbildung 48 dargestellt.

4.3.8 Stromerzeugung

Für die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs ist einerseits der Verbrauch in den verschiedenen Endenergiesektoren interessant, andererseits geht auch im Umwandlungssektor Energie verloren.

1993 entstanden ca. 85 % der Verluste im Umwandlungssektor bei der Erzeugung von Strom. Von daher erscheint es angemessen, daß die Verluste, die bei der Stromerzeugung entstehen, besonders berücksichtigt werden.

4.3.8.1 Aufbereitung der Daten in der Energiebilanz: Wirkungsgradprinzip vs. Substitutionsprinzip

Bestimmte Teile des Brennstoffeinsatzes bzw. der Verluste bei der Stromerzeugung sind schwer quantifizierbar, da es für sie keinen einheitlichen Umrechnungsmaßstab wie etwa den Heizwert gibt. Dies betrifft vor allem die Stromerzeugung aus Wasserkraft, Kern-, Wind- und Sonnenenergie, aus Müll sowie den Außenhandel mit Strom. Damit der Energieverbrauch trotzdem vollständig in den Energiebilanzen abgebildet werden kann, müssen für diese Teile des Energieverbrauchs Annahmen getroffen werden.¹¹⁸

Bislang wurde angenommen, daß der Strom, der mit Hilfe der o.g. Energieträger erzeugt wird, Strom ersetzt, der in konventionellen öffentlichen Wärmekraftwerken er-

¹¹⁸ Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971, Vorwort zu Bd. I, S. 9 f.

zeugt wird (Substitutionsprinzip). Mithin wird als Wirkungsgrad dieser Prozesse derjenige der öffentlichen Wärmekraftwerke angesetzt.¹¹⁹

Seitdem das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung 1995 die Erstellung der Energiebilanzen übernahm, werden für diese Prozesse physikalische Wirkungsgrade zugrundegelegt, die als repräsentativ gelten (Wirkungsgradprinzip). Bei der Stromerzeugung aus Kernenergie beträgt dieser Wirkungsgrad 33 %, bei der Stromerzeugung aus den erneuerbaren Energieträgern und beim Außenhandelsaldo für Strom 100 %.¹²⁰

Das DIW hat angekündigt, die Energiebilanzen auch zukünftig nach dem Wirkungsgradprinzip zu erstellen.¹²¹ Da im Modell die Daten der verschiedenen Jahre vergleichbar sein sollen, stellt sich die Frage, ob im Modell der Stromsektor nach dem Substitutions- oder nach dem Wirkungsgradprinzip dargestellt werden soll.

Für die Darstellung nach dem Substitutionsprinzip spricht insbesondere, daß bei der Modellerstellung eine Umrechnung der meisten Jahre bis einschließlich 1994 nicht erforderlich wird. Die Daten im Modell lassen sich so direkt aus den Energiebilanzen ablesen. Eine Umrechnung wäre dann nur für die bislang vorläufig berichteten Jahre 1995 und 1996 erforderlich. Für die Darstellung nach dem Wirkungsgradprinzip spricht, daß der Modellbenutzer bei der Erfassung der Daten eines neuen Jahres, das dann nach dem Wirkungsgradprinzip berichtet wird, weniger Arbeit hat. Im Interesse der Vereinfachung der Modellbenutzung ist die Darstellung nach dem Wirkungsgradprinzip zu bevorzugen.

Im folgenden werden die Änderungen in der Energiebilanz, die sich durch die Annahme des Wirkungsgradansatzes ergeben, beispielhaft für Deutschland und für das Jahr 1993 dargestellt.

Der Wirkungsgrad in öffentlichen Wärmekraftwerken errechnet sich durch Division der erzeugten Menge an Strom in öffentlichen Wärmekraftwerken durch den dafür nötigen Brennstoffeinsatz. In den Energiebilanzen bis einschließlich 1995 wird nicht der ge-

¹¹⁹ Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: a.a.O. und Rainer Görden/ Hans-Joachim Ziesing: Zur Reform der Energiebilanzen, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 1/2, 46. Jg., 1996, S. 34 ff., hier: S. 35

¹²⁰ Vgl. Rainer Görden/ Hans-Joachim Ziesing: Zur Reform der Energiebilanzen, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 1/2, 46. Jg., 1996, S. 34 ff., hier: S. 35

¹²¹ A.a.O., S. 36

samtdeutsche Wirkungsgrad zugrundegelegt, sondern jeweils derjenige für die alten und derjenige für die neuen Bundesländer. Dieser betrug 1993 in den alten Bundesländern $27.212 \text{ kt SKE} / 70.932 \text{ kt SKE} = 38,36 \%$ und in den neuen Bundesländern $7.334 \text{ kt SKE} / 22.157 \text{ kt SKE} = 33,10 \%$. Für Deutschland insgesamt ergibt sich so rechnerisch ein Wirkungsgrad in Höhe von $34.546 \text{ kt SKE} / 93.089 \text{ kt SKE} = 37,11 \%$.

Tabelle 9: Stromerzeugung aus Kernkraft 1993 nach Substitutions- und nach Wirkungsgradprinzip in kt SKE

	ABL	NBL	D
(1) Stromerzeugung öff. Wärmekraftwerke	27.212	7.334	34.546
(2) Brennstoffeinsatz öff. Wärmekraftwerke	70.932	22.157	93.089
(3) Wirkungsgrad öff. Wärmekraftwerke: (1) / (2)	38,36%	33,10%	37,11%
(4) Wirkungsgrad nach Wirkungsgradprinzip	33%	33%	33%
(4) Umwandlungsausstoß Strom aus Kernkraft	18.852	0	18.852
(5) Umwandlungseinsatz nach Substitutionsprinzip	49.145	0	49.145
(6) Umwandlungsausstoß = Umwandlungseinsatz nach Wirkungsgradprinzip	57.127	0	57.127

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

1993 gab es nur in den alten Bundesländern Kernkraftwerke. Unterstellt man dafür nach dem Substitutionsprinzip einen Wirkungsgrad von 38,36 %, dann ist zur Erzeugung von 18.852 kt SKE Strom aus Kernkraft ein Einsatz von 49.145 kt SKE an Kernenergie notwendig.¹²² Nach dem Wirkungsgradprinzip wird für Kernkraftwerke ein einheitlicher Wirkungsgrad von 33 % angenommen. Zur Erzeugung von 18.852 kt SKE Strom beträgt der nötige Einsatz an Kernenergie daher 57.127 kt SKE.

Für Wasserkraftwerke gestaltet sich die Umrechnung etwas schwieriger. In der Energiebilanz ist nicht der Umwandlungsausstoß für Wasserkraftwerke wiedergegeben, sondern nur der Umwandlungsausstoß für Wasserkraftwerke und Pumpspeicherwerke zusammen. Anhand des getrennt angegebenen Umwandlungseinsatzes (Substitutionsprinzip) läßt sich allerdings der Umwandlungsausstoß trennen. In einem zweiten Schritt läßt sich dann der Umwandlungseinsatz für Wasserkraftwerke nach dem Wirkungsgradprinzip ermitteln. Da der Wirkungsgrad bei Wasserkraftwerken dem Wirkungsgradprinzip zufolge 100 % beträgt, ist der Umwandlungsausstoß der Wasserkraftwerke identisch mit dem Umwandlungseinsatz nach dem Wirkungsgradprinzip.

¹²² Warum statt dessen in der Energiebilanz ein Umwandlungseinsatz in Höhe von 49.078 kt SKE angegeben ist, ist nicht ohne weiteres nachzuvollziehen.

Diese Berechnungen für Wasserkraft- und Pumpspeicherwerke werden anhand Tabelle 10 für das Jahr 1993 noch einmal verdeutlicht.

Tabelle 10: Wasserkraft- und Pumpspeicherwerke 1993 nach Substitutions- und nach Wirkungsgradprinzip in kt SKE

	ABL	NBL	D
(1) Stromerzeugung öff. Wärmekraftwerke	27.212	7.334	34.546
(2) Brennstoffeinsatz öff. Wärmekraftwerke	70.932	22.157	93.089
(3) Wirkungsgrad öff. Wärmekraftwerke: (1) / (2)	38,36%	33,10%	37,11%
(4) Stromerzeugung Wasserkraftwerke und Pumpstrom	2.429	207	2.636
(5) Umwandlungseinsatz Pumpspeicherwerke (Strom)	376	252	628
(6) Umwandlungseinsatz Wasserkraftwerke (Wasserkraft) nach Substitutionsprinzip	5.595	66	5.661
(7) Stromerzeugung Wasserkraftwerke (6) * (3) = Umwandlungseinsatz Wasserkraftwerke (Wasserkraft) nach Wirkungsgradprinzip	2.146	22	2.168
(8) Stromerzeugung Pumpspeicherwerke (4) - (7)	283	185	468
(9) Verlust Pumpspeicherwerke nach Wirkungsgradprinzip (5) - (8)	93	67	160

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Bei Windenergie, Solarkollektoren, Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen ist die jeweils erzeugte Menge Strom identisch mit dem jeweiligen Umwandlungseinsatz nach Wirkungsgradprinzip. Die erzeugte Strommenge wird in den Energiebilanzen bzw. in den Energie-Daten¹²³ veröffentlicht. Eine Umrechnung ist hier also nicht erforderlich.

Tabelle 11: Stromerzeugung aus Klärschlamm, Müll u.a. 1993 nach Substitutions- und nach Wirkungsgradprinzip in kt SKE

	ABL	NBL	D
(1) Stromerzeugung öff. Wärmekraftwerke	27.212	7.334	34.546
(2) Brennstoffeinsatz öff. Wärmekraftwerke	70.932	22.157	93.089
(3) Wirkungsgrad öff. Wärmekraftwerke: (1) / (2)	38,36%	33,10%	37,11%
(4) Umwandlungseinsatz nach Substitutionsprinzip zur Stromerzeugung von Klärschlamm, Müll u.a. in öffentlichen Wärmekraftwerken, Zechen- und Grubenkraftwerken, Sonstigen Industriewärmekraftwerken, Kernkraftwerken und Wasserkraftwerken	1.832	75	1.907
(5) Umwandlungsausstoß = Umwandlungseinsatz nach Wirkungsgradprinzip	703	25	728

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

¹²³ Bundeswirtschaftsministerium (Hrsg.): Energie Daten, Bonn, verschiedene Jahrgänge

Für Klärschlamm, Müll u.a. ist eine Umrechnung erforderlich, da in der Energiebilanz nur der Umwandlungseinsatz nach dem Substitutionsprinzip gezeigt wird, nicht aber der Umwandlungsausstoß. Hier muß also der Umwandlungseinsatz nach Substitutionsprinzip von Klärschlamm, Müll u.a. für die Stromerzeugung mit dem Wirkungsgrad der öffentlichen Wärmekraftwerke multipliziert werden. Es ergibt sich der Umwandlungsausstoß, der wegen des nach dem Wirkungsgradprinzip angenommenen Wirkungsgrades von 100 % identisch ist mit dem Umwandlungseinsatz nach Wirkungsgradprinzip.

Tabelle 12: Stromaußenhandelssaldo 1993 nach Substitutions- und nach Wirkungsgradprinzip in kt SKE

	ABL	NBL	D
(1) Stromerzeugung öff. Wärmekraftwerke	27.212	7.334	34.546
(2) Brennstoffeinsatz öff. Wärmekraftwerke	70.932	22.157	93.089
(3) Wirkungsgrad öff. Wärmekraftwerke: (1) / (2)	38,36%	33,10%	37,11%
(4) Stromaußenhandelssaldo nach Substitutionsprinzip	584	-356	228
(5) Stromaußenhandelssaldo nach Wirkungsgradprinzip (4) * (3), auch in der Bilanz mit den jeweiligen Mengeneinheiten (PEV Strom in Mio kWh) aufgeführt.	224	- 118	106
(6) Bewertungsdifferenz (4) - (5), auch als Fußnote in der Energiebilanz ausgewiesen	360	- 238	122

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Der Außenhandelssaldo Strom wird bislang in den Energiebilanzen in unterschiedlicher Höhe dargestellt. In der Energiebilanz, in der die jeweiligen Einheiten angegeben sind, ist der Außenhandelssaldo Strom (Zeile Primärenergieverbrauch) nach dem Wirkungsgradprinzip angegeben, während er in den beiden Energiebilanzen nach kt SKE bzw. TJ jeweils nach dem Substitutionsprinzip angegeben ist. Darüber hinaus gibt es in den Energiebilanzen nach kt SKE und nach TJ jeweils eine Fußnote, in der die entsprechende Bewertungsdifferenz dargestellt ist. Diese ist wiederum Bestandteil des Postens "Fackel- und Leitungsverluste/ Bewertungsdifferenzen". Um vom Stromaußenhandelssaldo nach Substitutionsprinzip zum Stromaußenhandelssaldo nach Wirkungsgradprinzip zu kommen, kann man nun entweder die in der Fußnote angegebene Bewertungsdifferenz vom Stromaußenhandelssaldo nach Substitutionsprinzip, wie er in der SKE-Bilanz angegeben ist, abziehen, den Stromaußenhandelssaldo, der in der Bilanz mit den jeweiligen Einheiten angegeben ist, von Mio kWh nach SKE umrechnen oder den in der SKE-Bilanz angegebenen Stromaußenhandelssaldo nach Substitutionsprinzip mit dem Wirkungsgrad öffentlicher Wärmekraftwerke multiplizieren. Im Modell wird letztere Alternative verwendet, da sich auf diese Weise eine Dateneingabe der Fußnote erübrigt und

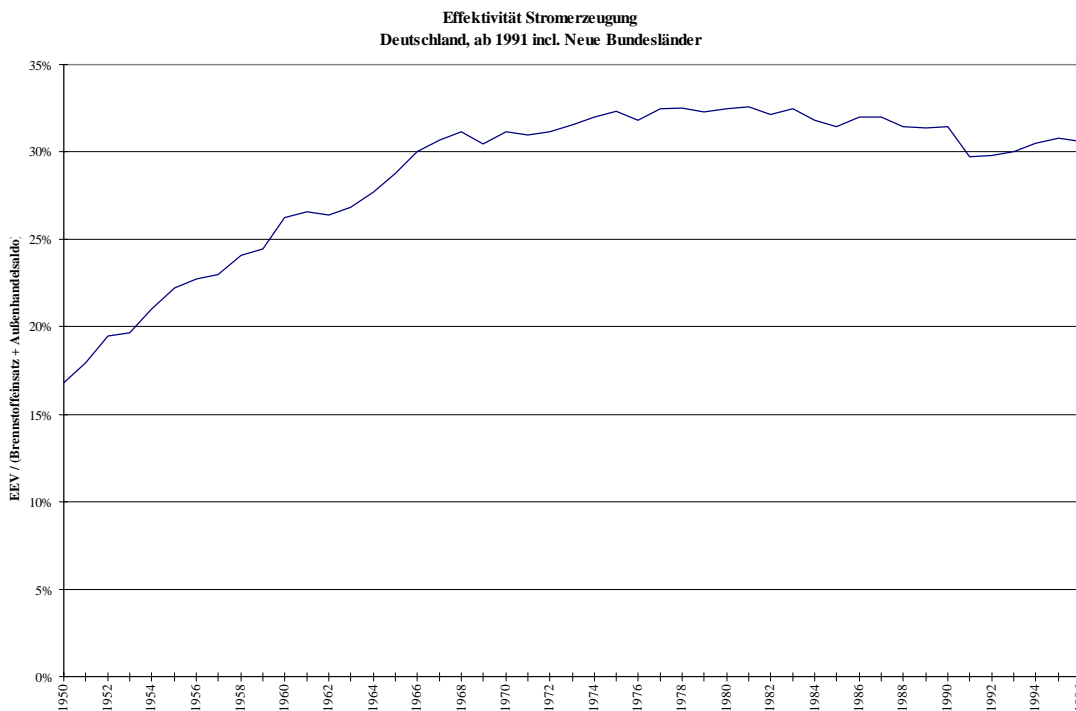
auch nur die Bilanz einer einzigen Mengeneinheit (SKE) berücksichtigt werden muß. Dieser Sachverhalt ist in Tabelle 12 am Beispiel des Jahrs 1993 dargestellt.

4.3.8.2 Modellierung der Stromerzeugung

Nachdem die Daten für die Modellierung der Stromerzeugung aufbereitet wurden, erfolgt nun die Beschreibung der eigentlichen Modellierung.

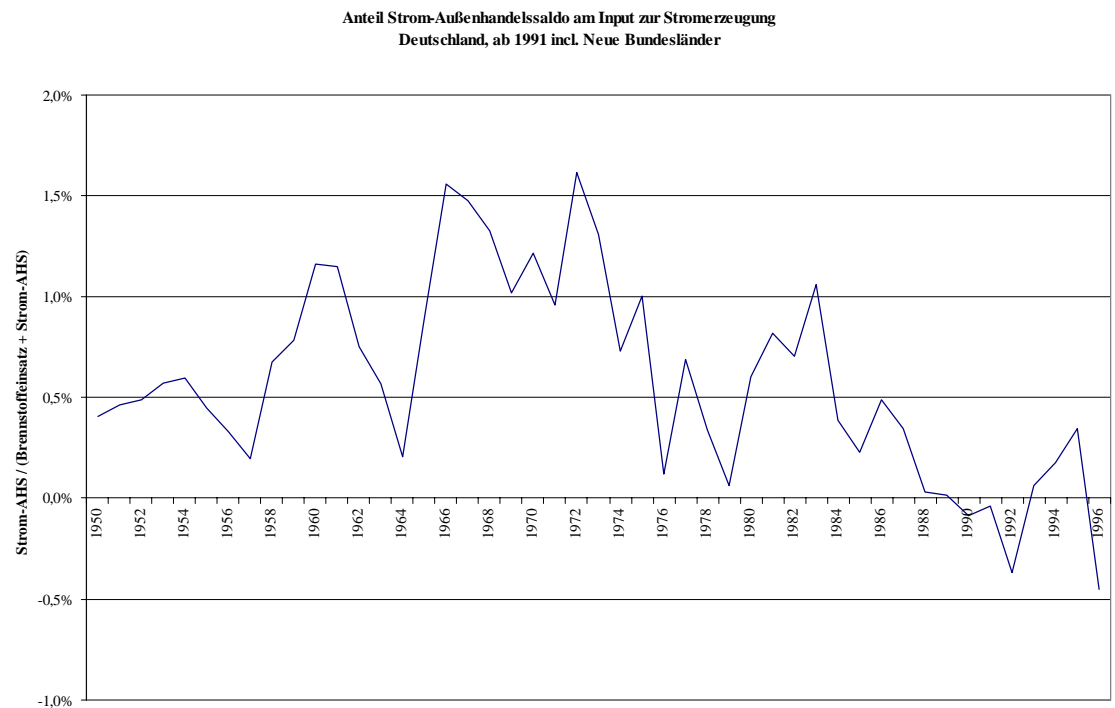
Grundsätzlich sind mehrere Größen denkbar, mit denen der Verlust bei der Stromerzeugung beschrieben werden kann. In der einfachsten Gleichung ist Output + Verlust = Input. Die bekannte Größe ist der Output, denn das Angebot an Strom ist identisch mit dem Endenergieverbrauch. Schätzen ließe sich dann der Wirkungsgrad, formuliert als Output/Input oder Output/Verlust. Während Output/Verlust keine normierte Größe ist, wird Output/Input durch die Werte 0 und 1 begrenzt und läßt sich daher besser schätzen.

Abbildung 49: Effektivität Stromerzeugung



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 50: Anteil Strom-Außenhandelssaldo am Input zur Stromerzeugung



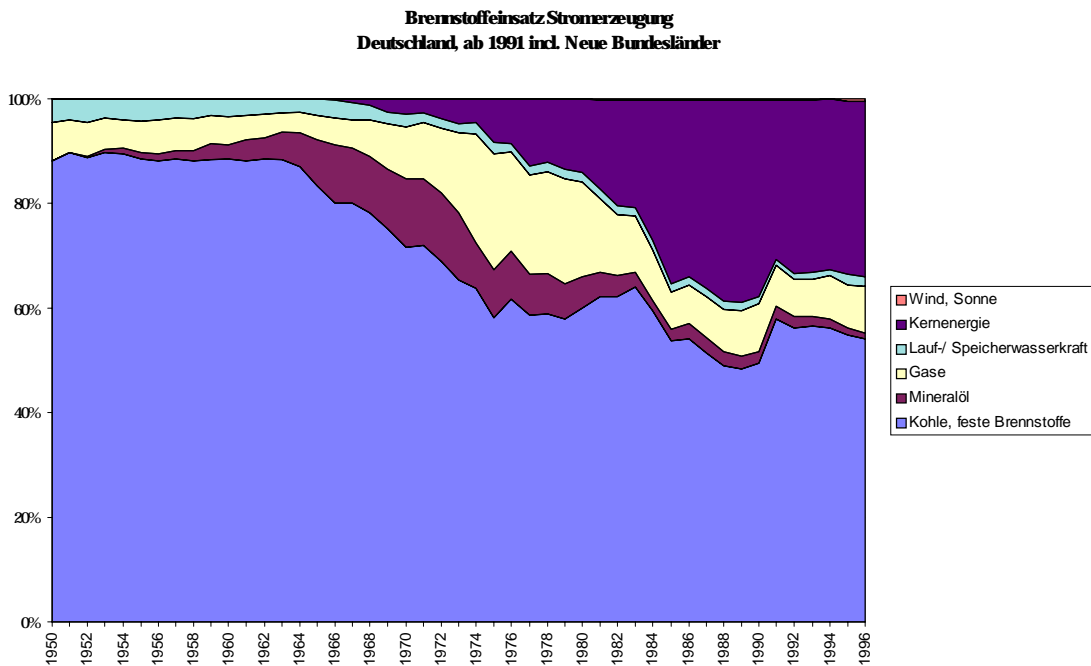
Quelle: eigene Berechnungen

Als Input wird im Modell der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung (ohne Pumpspeicherstrom) plus dem Außenhandelssaldo angesetzt. Dabei ist der Output identisch mit dem Angebot an Strom oder, gleichbedeutend damit, dem Endenergieverbrauch an Strom. Die entsprechende Größe ist dargestellt in Abbildung 49.

Die Liberalisierung im Strommarkt kann sich u.U. erheblich auf das Verhältnis zwischen Außenhandelssaldo für Strom und Erzeugung im Inland ergeben. Im Modell ist daher das Verhältnis zwischen Außenhandelssaldo und Input zu schätzen. Schätzgröße ist somit das Verhältnis aus Außenhandelssaldo einerseits und Summe aus Brennstoffeinsatz und Außenhandelssaldo andererseits, vgl. Abbildung 50.

Nach diesen Überlegungen schließlich kann eine Aufteilung des Brennstoffeinsatzes für die Stromerzeugung auf die verschiedenen Energieträger erfolgen, vgl. dazu Abbildung 51.

Abbildung 51: Brennstoffeinsatz Stromerzeugung



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

4.3.9 Sonstige Umwandlungsbereiche und andere Verluste

Neben den Verlusten, die bei der Stromerzeugung entstehen, fallen weitere Verluste insbesondere bei der Fernwärmeerzeugung, in Raffinerien und in Kokereien an. Darüber hinaus sind Leitungsverluste, Bewertungsdifferenzen und andere Verluste zu nennen. Insgesamt machen diese Umwandlungsverluste 1993 etwa 4 % aus. Von daher erscheint es sinnvoll, diese Verluste nicht weiter zu unterteilen, sondern in einer Position zu schätzen.

Als Maß für die Höhe dieser Verluste dient wieder der Wirkungsgrad, wie auch schon in der Modellierung des Stromsektors.

$$\text{Wirkungsgrad} = \text{Output/Input}$$

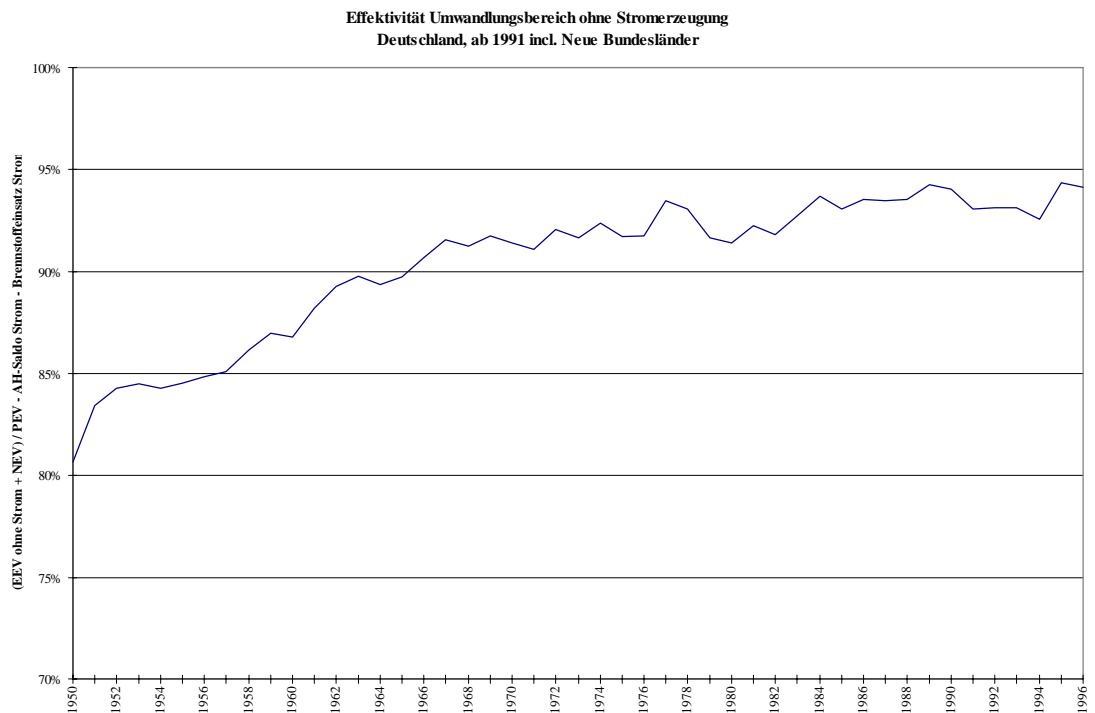
Der Output ist der Endenergieverbrauch plus dem nichtenergetischen Verbrauch abzüglich des Endenergieverbrauchs an Strom, der schon im Teilmodell Stromerzeugung berücksichtigt wurde.

$$\text{Output} = \text{EEV} - \text{EEV Strom} + \text{Nichtenergetischer Verbrauch}$$

Für den Input ergibt sich der gesamte Primärenergieverbrauch abzgl. des Einsatzes für die Stromerzeugung und abzgl. des Stromaußenhandelsaldos, der ebenfalls schon im Teilmodell Stromerzeugung berücksichtigt wurde.

$$\text{Input} = \text{PEV} - \text{AHS Strom} - \text{Brennstoffeinsatz Strom}$$

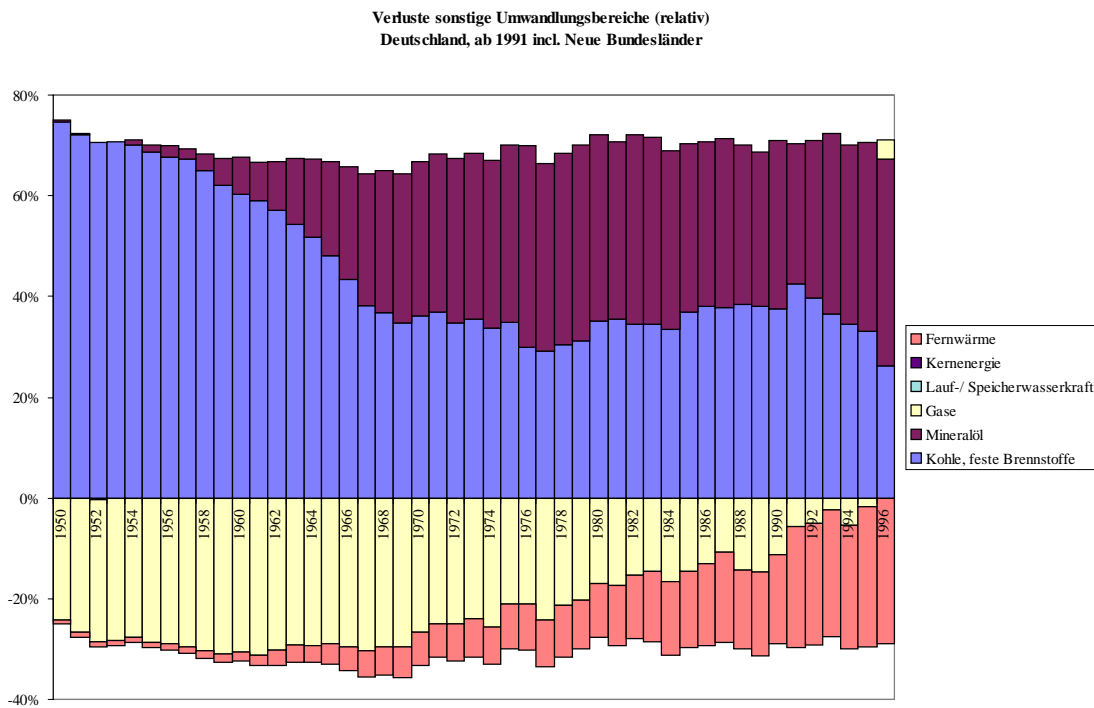
Abbildung 52: Effektivität Umwandlungsbereich ohne Stromerzeugung



Quelle: eigene Berechnungen

Bei diesem Sektor ergibt sich im Gegensatz zu den bisher behandelten Energieverbrauchssektoren die Schwierigkeit, daß die verschiedenen Energieträger nicht nur positive Anteile an der insgesamt zu schätzenden Größe, sondern auch negative Anteile haben. In Abbildung 53 sind diejenigen Energieträger, die in diesen Umwandlungsbereichen netto hinzugewonnen werden (wie z.B. Fernwärme oder künstliche Gase) negativ dargestellt, während die anderen Energieträger, bei denen netto Verluste auftreten, mit positiven Anteilen dargestellt sind.

Abbildung 53: Verluste sonst. Umwandlungsbereich



Quelle: eigene Berechnungen

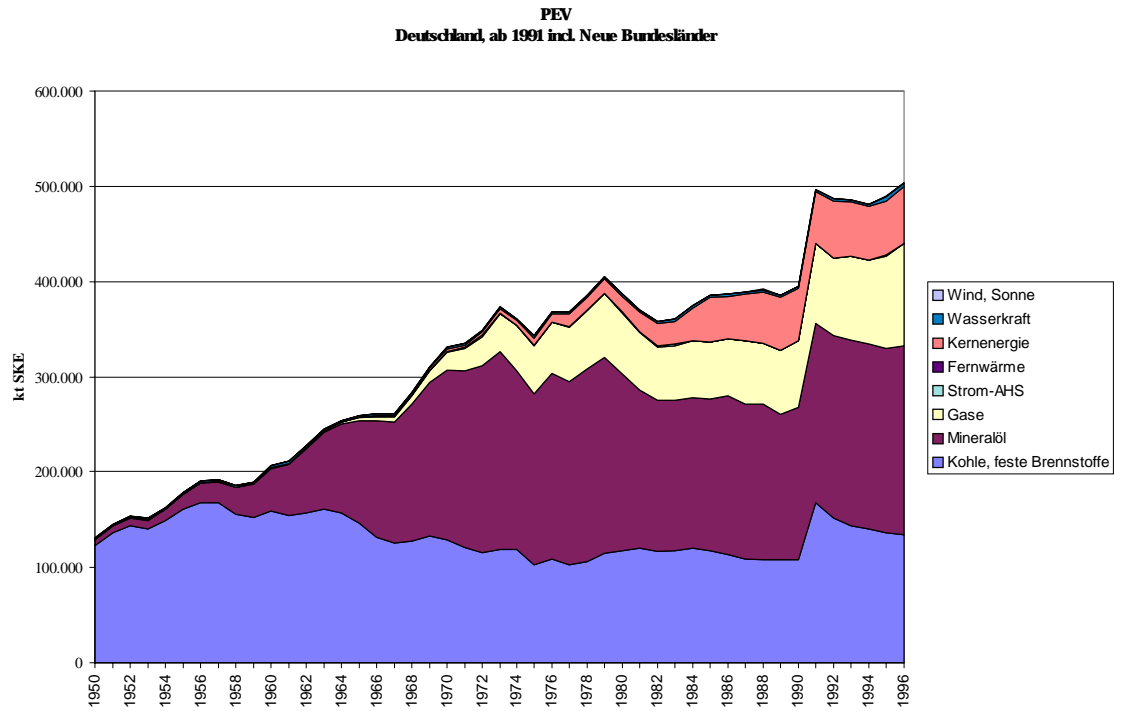
4.3.10 Primärenergieverbrauch

Die Ergebnisse bis hierhin münden in den Primärenergieverbrauch. Hier sind keine Modellierungsansätze mehr gefragt, aber die bisher errechneten Ergebnisse sollten noch einmal zusammenfassend dargestellt werden. Der PEV pro Energieträger ist in Abbildung 54 zu sehen.

Der Primärenergieverbrauch läßt sich auch pro Sektor darstellen, vgl. Abbildung 55.

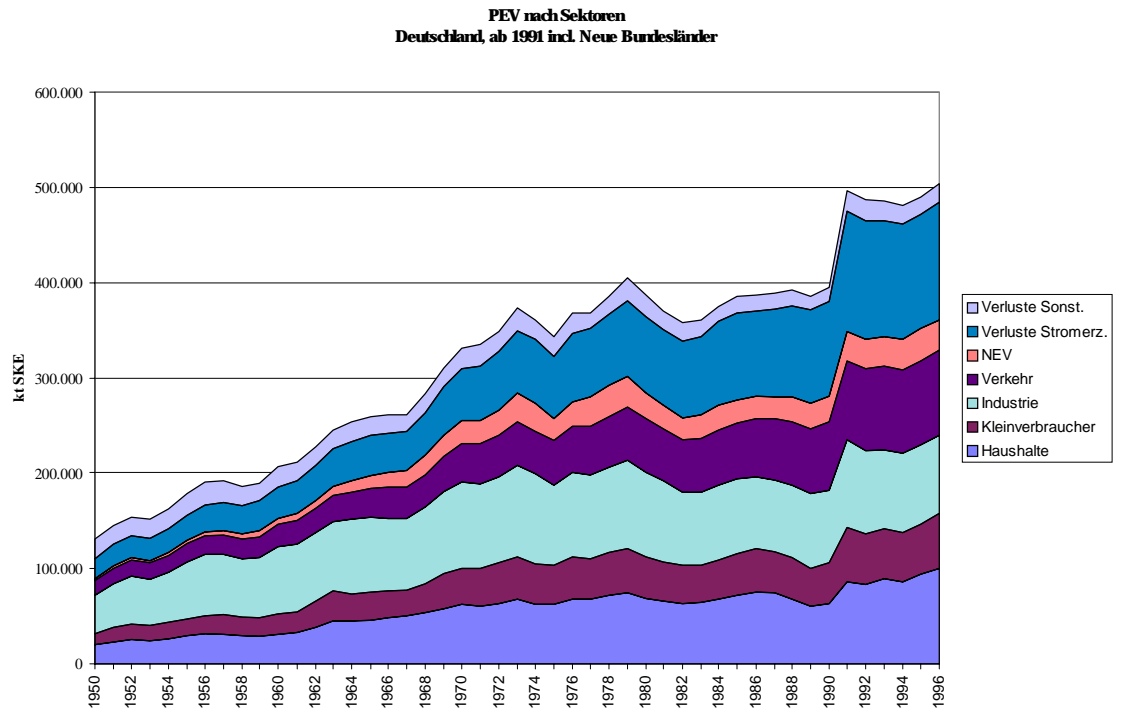
In weiteren Grafiken zur reinen Information und zur Plausibilitätskontrolle der bisherigen Ergebnisse wird das Verhältnis zwischen EEV und PEV (Abbildung 56), zwischen PEV und BIP (Abbildung 57) sowie zwischen PEV und Einwohner (Abbildung 58) dargestellt.

Abbildung 54: PEV



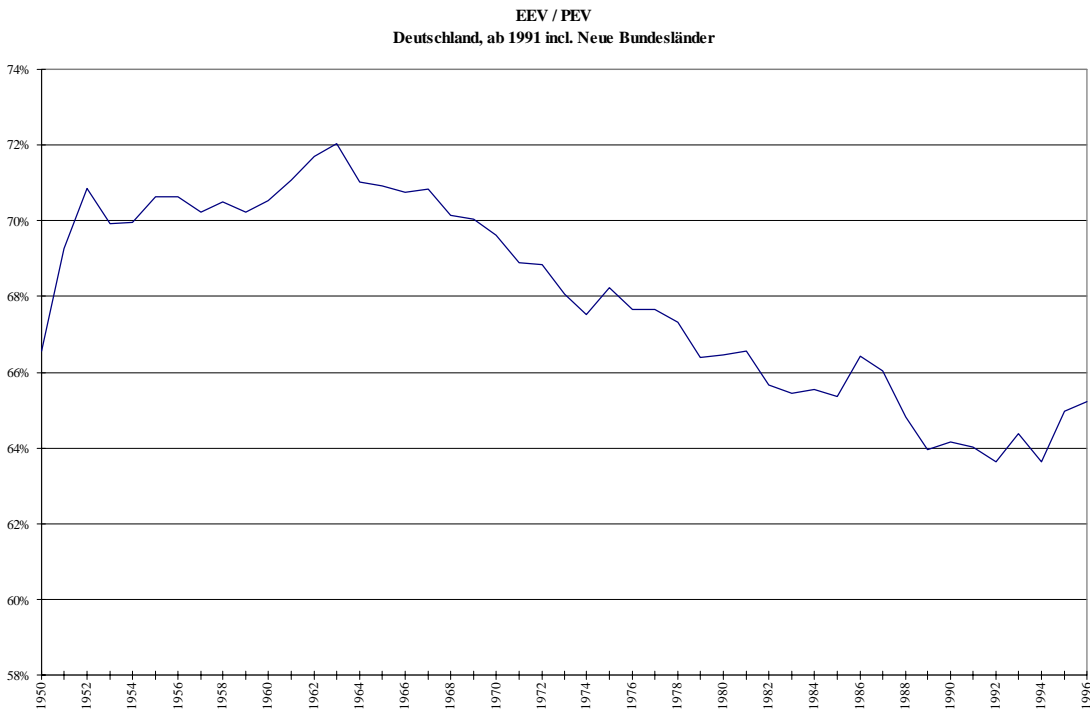
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Abbildung 55: PEV nach Sektoren



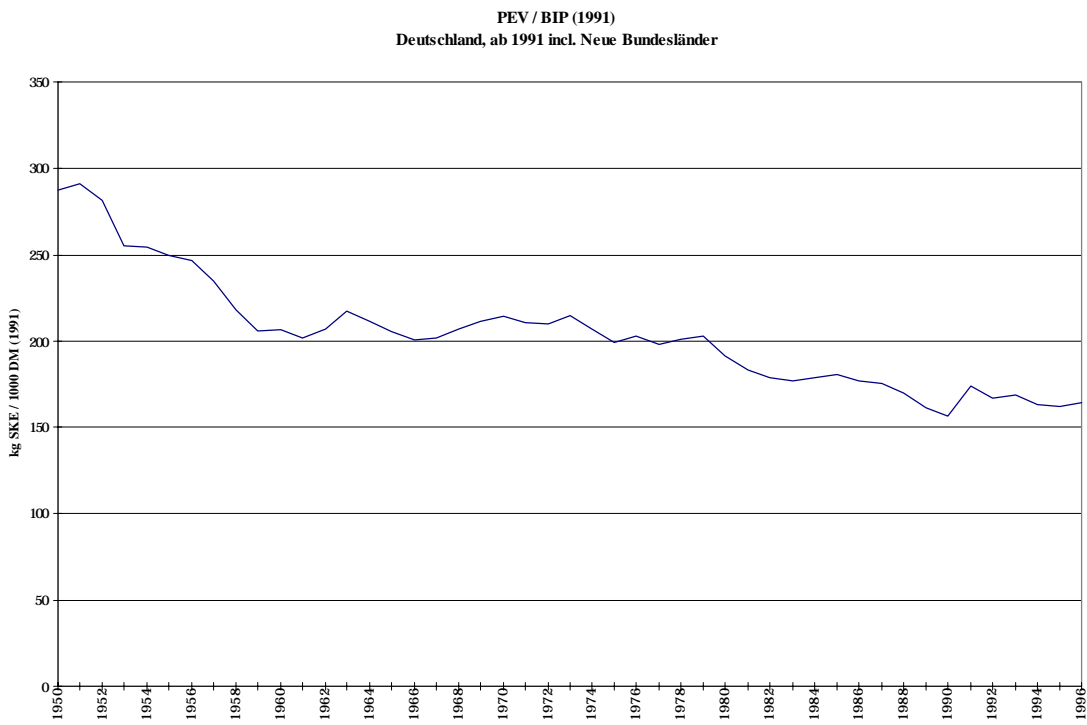
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt (M) 1971

Abbildung 56: EEV/PEV



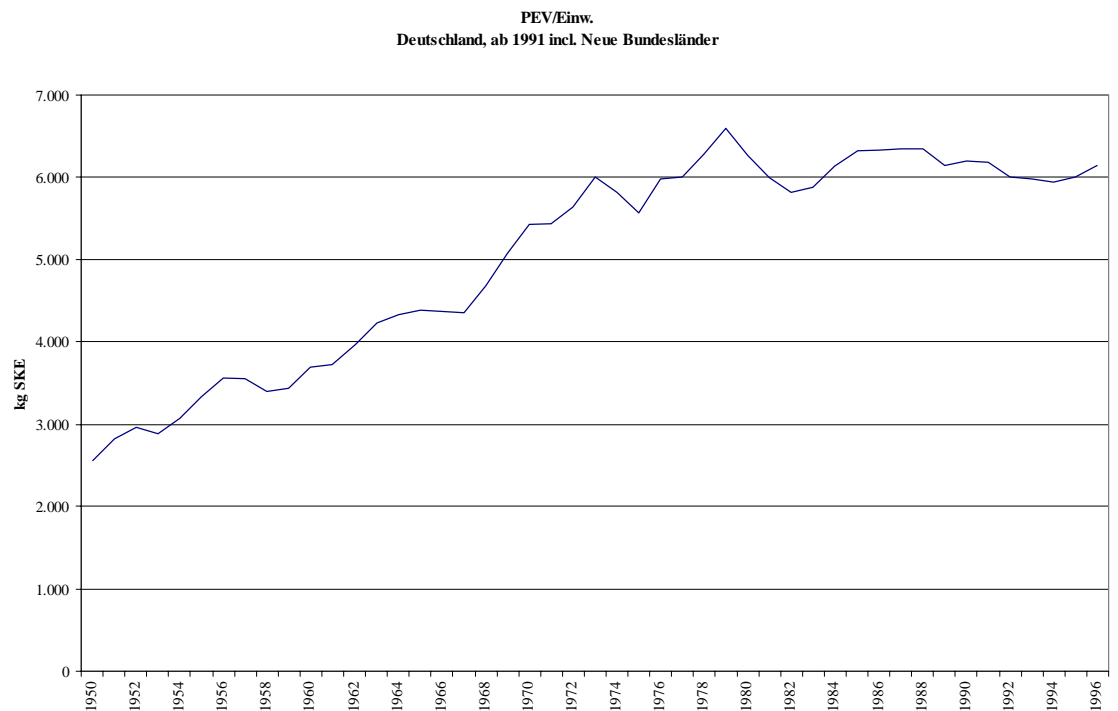
Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 57: PEV / BIP (1991)



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 58: PEV / Einwohner



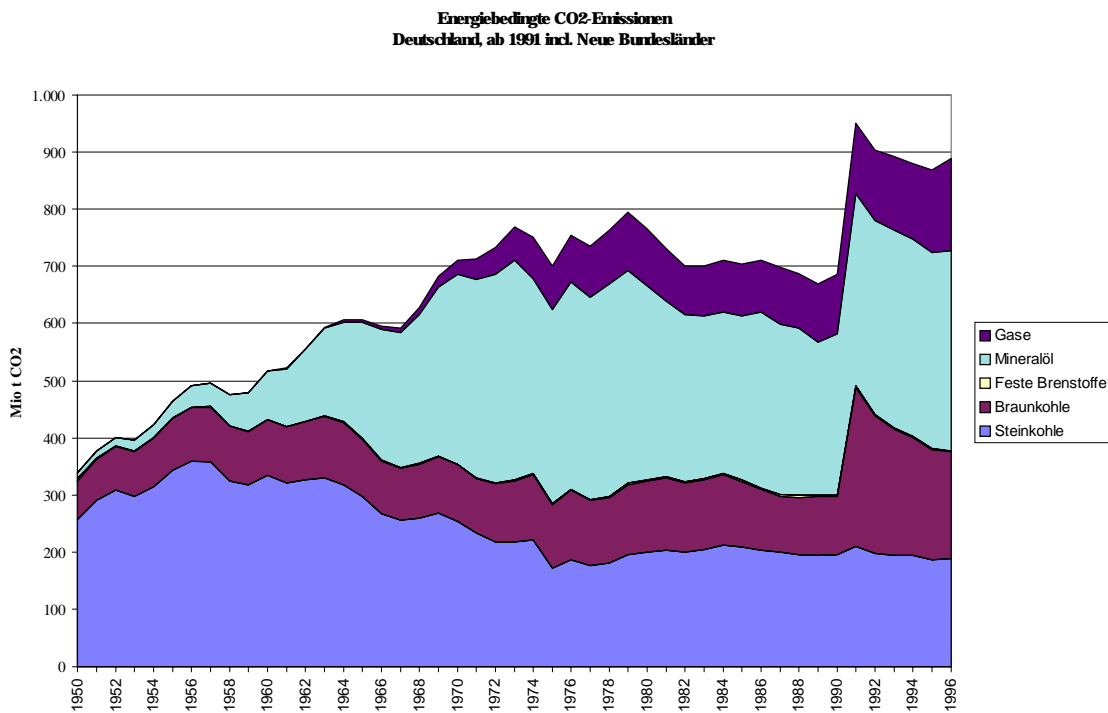
Quelle: eigene Berechnungen

4.3.11 CO₂-Emissionen

Im Modell wird angenommen, daß nur bei der Verbrennung fossiler Energieträger entsprechende CO₂-Emissionen auftreten.

Dem Umweltbundesamt liegen seit 1966 Daten über die Gesamtemissionen für die alten Bundesländer und seit 1990 auch für Deutschland gesamt vor, die regelmäßig veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung erfolgt dabei jeweils in aggregierter Form für die Energieträger Steinkohle, Braunkohle, sonstige feste Brennstoffe, Mineralöl und Gas.¹²⁴ Die CO₂-Emissionen für Deutschland pro Energieträger sind in Abbildung 59 dargestellt.

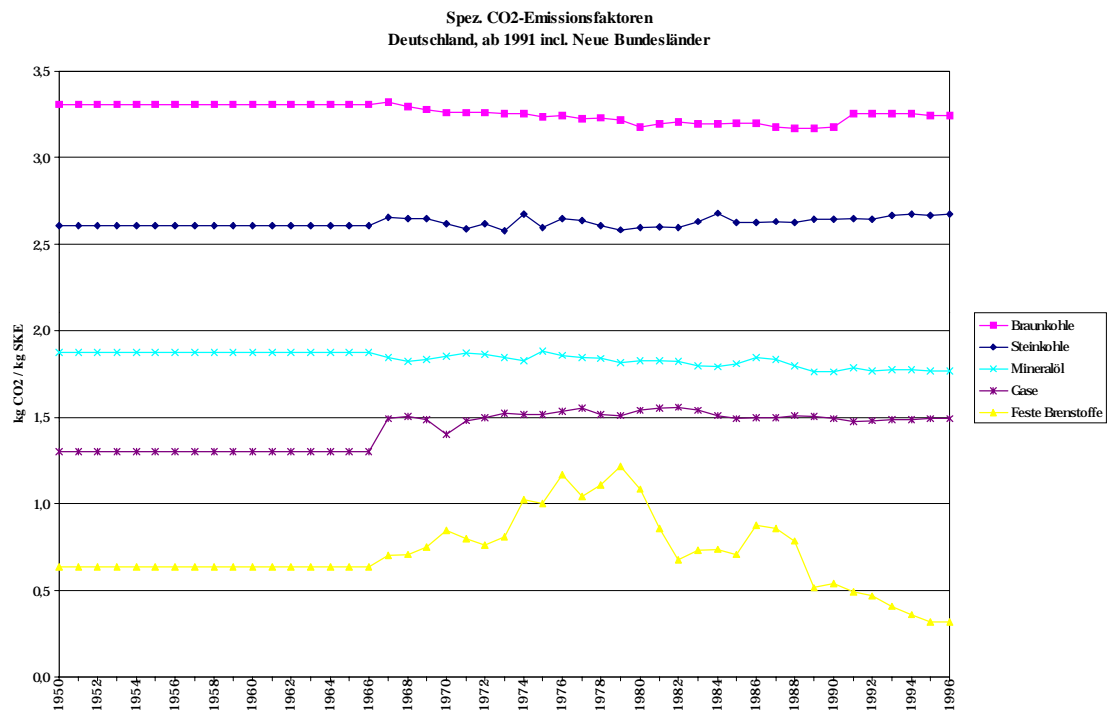
¹²⁴ Umweltbundesamt

Abbildung 59: Energiebedingte CO₂-Emissionen D

Quelle: Michael Strogies (Umweltbundesamt): Energiebedingte CO₂-Emissionen in Deutschland nach Energieträgergruppen 1970-1996 [Angaben in Gg], Berlin 1997 (unveröffentlicht); bis 1966: eigene Schätzung

Wenn die CO₂-Emissionen pro Energieträger durch den jeweiligen Primärenergieverbrauch geteilt werden, dann ergeben sich im Zeitablauf spezifische Emissionsfaktoren, die in Abbildung 60 dargestellt sind.

Bei den so ermittelten spezifischen Emissionsfaktoren ergeben sich aus mehreren Gründen Schwankungen. Ob Kohle, Gas oder Öl in Haushalten, in der Industrie oder in anderen Sektoren verbrannt werden, spielt eine nicht unerhebliche Rolle, da die Qualität der Verbrennung jeweils unterschiedlich sein dürfte und da diese Energieträger auch in verschiedenen Formen (Briketts, Rohkohle, Pech usw.) mit jeweils unterschiedlichen spezifischen Emissionsfaktoren eingesetzt werden. Besonders bei den festen Brennstoffen ergeben sich außerdem erhebliche Rundungsdifferenzen.

Abbildung 60: Spezifische CO₂-Emissionsfaktoren

Quelle: Michael Strogies (Umweltbundesamt): Energiebedingte CO₂-Emissionen in Deutschland nach Energieträgergruppen 1970-1996 [Angaben in Gg], Berlin 1997 (unveröffentlicht); bis 1966: eigene Schätzung

Bis zu dieser Stelle sind im Modell Steinkohle, Braunkohle und sonstige feste Brennstoffe aggregiert behandelt worden. Errechnet man für diese Energieträger einen gemeinsamen spezifischen Emissionsfaktor, dann schwankt dieser erheblich. Das liegt u.a. daran, daß sich die Zusammensetzung dieser Energieträger im Lauf der Zeit geändert hat und bei der Verbrennung von Braunkohle z.B. erheblich mehr CO₂ entsteht als bei der Verbrennung von Steinkohle; noch weniger CO₂ entsteht bei der Verbrennung von den anderen festen Brennstoffen wie Müll, Klärschlamm usw. Aus diesem Grund wird von der sonst im Modell vorgesehenen Aggregation dieser festen Energieträger zu einer Größe abgesehen; im Modell erfolgt eine prozentuale Aufteilung des Primärenergieverbrauchs an festen Energieträgern in die einzelnen Energieträger Steinkohle, Braunkohle und sonstige feste Brennstoffe sowie eine Errechnung der spezifischen Emissionsfaktoren pro individuellem Energieträger.

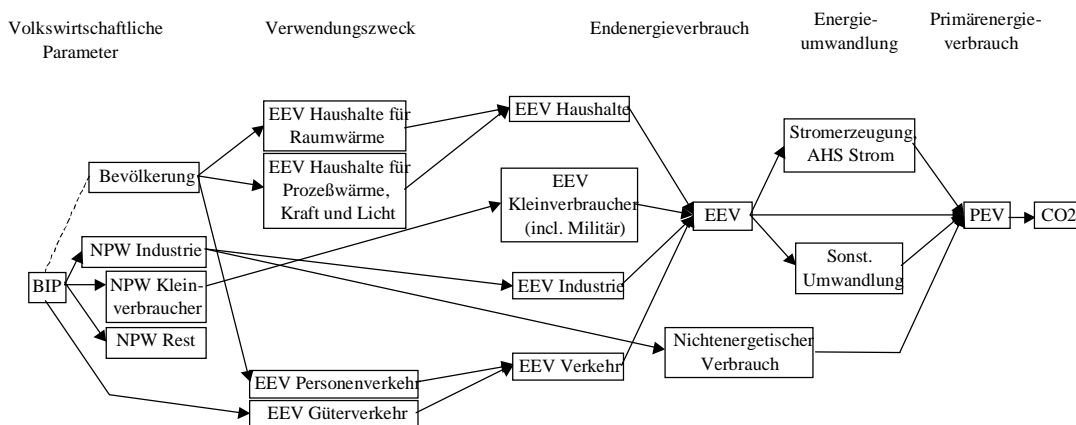
Für die Jahre bis 1965, wo keine Daten über die spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren vorliegen, wurde im Modell jeweils der Wert für 1966 als Schätzwert verwendet.

4.3.12 Zusammenfassende Darstellung der Feinstruktur

Die einzelnen Modellbestandteile sind noch einmal grafisch in Abbildung 61 veranschaulicht.

Als Prämissen des Modells dienen die Entwicklung beim Bruttoinlandsprodukt incl. sektoraler Aufgliederung und die Bevölkerungsentwicklung. Anschließend wird der Endenergieverbrauch in den verschiedenen Verbrauchssektoren und der nichtenergetische Verbrauch ermittelt; teilweise ist der Endenergieverbrauch dazu weiter unterteilt nach Verwendungszwecken. In diesem Zusammenhang ist die Deckung des Energieverbrauchs durch die verschiedenen Energieträger zu ermitteln. Bei der Erzeugung der sekundären Energieträger und beim Transport fallen Verluste an, die wiederum im Modell zu schätzen sind; hier wird nach der Stromerzeugung und den anderen Umwandlungsverlusten bzw. -gewinnen unterteilt. Schließlich ergibt sich so der Primärenergieverbrauch, von dem die Emissionen an CO₂ abgeleitet werden können.

Abbildung 61: Feinstruktur des Modells



Quelle: eigene Darstellung

4.4 BESCHREIBUNG DER MODELLOBERFLÄCHE

Das Modell besteht aus zwei Excel 97-Dateien namens Ageb.xls und Mod.xls, deren Aufbau im folgenden beschrieben wird.

4.4.1 Beschreibung der Datei Ageb.xls

In der Datei Ageb.xls ist für jeden Energieträger, für alte und neue Bundesländer sowie für jedes Jahr (für die alten Bundesländer von 1950 bis 1994, für die neuen Bundesländer von 1970 bis 1994), für Deutschland zusammen von 1970 bis 1996) der Energieverbrauch lt. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen in kt SKE aufgeführt.

Die Datei besteht dabei aus drei Tabellen, die jeweils strukturell gleich aufgebaut sind: BRD, DDR und D.

Folgende Energieträger wurden dabei berücksichtigt:

- Steinkohle
- Braunkohle
- Feste Brennstoffe
- Mineralöl, weiter aufgeteilt nach Heizöl leicht, Heizöl schwer und sonst. Mineralölprodukten (ist nicht für das Modell notwendig)
- Gase
 - Künstliche Gase: Flüssiggas, Stadtgas, Raffinerie-/Gichtgas (ist nicht für das Modell notwendig)
 - Naturgase: Erd-/Erdölgas, Gruben-/Klärgas (ist nicht für das Modell notwendig)
- Strom
- Wasserkraft
- Kernenergie
- Fernwärme.
- Wind (nur beim Brennstoffeinsatz Strom)
- Wärmepumpen (nur beim Brennstoffeinsatz Strom)
- Solarkollektoren (nur beim Brennstoffeinsatz Strom)
- Müll, Klärschlamm u.a. (nur beim Brennstoffeinsatz Strom)
- Korrekturposten Strom (nur beim Fackel- und Leitungsverlusten)

Folgende Energieverbrauchssektoren wurden dabei berücksichtigt:

- Haushalte und Kleinverbraucher
 - Haushalte
 - Kleinverbraucher excl. Militär (Haushalte u. Kleinverbraucher minus Haushalte)
- Militär
- Industrie gesamt
 - Steine und Erden
 - Eisenschaffende Industrie
 - Chemische Industrie
- Verkehr
- Kraftwerkseinsatz gesamt

- Brennstoffeinsatz Strom
- Brennstoffeinsatz Fernwärme
- Einsatz Ortsgaswerke
- Nichtenergetischer Verbrauch
- Statistische Differenzen
- Fackel- und Leitungsverluste
- Verbrauch Umwandlungsbereich
- Primärenergieverbrauch

Für die Umstellung des Datenmaterials auf die Wirkungsgradmethode wurden darüber hinaus noch die nachfolgend beschriebenen Angaben der Energiebilanz entnommen:

- Wirkungsgrad öffentliche Wärmekraftwerke (Umwandlungsausstoß öffentliche Wärmekraftwerke : Umwandlungseinsatz öffentliche Wärmekraftwerke)
 - Umwandlungseinsatz öffentliche Wärmekraftwerke
 - Umwandlungsausstoß öffentliche Wärmekraftwerke
- Umwandlungsausstoß Strom in Kernkraftwerken
- Umwandlungsausstoß Strom in Wasserkraftwerken und Pumpspeicherwerken
 - Umwandlungsausstoß Strom in Wasserkraftwerken (Wasserkrafteinsatz Stromerzeugung * Wirkungsgrad öffentliche Wärmekraftwerke)
 - Umwandlungsausstoß Strom in Pumpspeicherwerken (Umwandlungsausstoß Strom in Wasserkraftwerken und Pumpspeicherwerken - Umwandlungsausstoß Strom in Wasserkraftwerken)
- PEV nach Wirkungsgradansatz Stromaußenhandelssaldo (PEV Strom * Wirkungsgrad öffentliche Wärmekraftwerke)
- PEV nach Wirkungsgradansatz Lauf-/ Speicherwasserkraft (Umwandlungsausstoß Strom in Wasserkraftwerken * 100 %)
- PEV nach Wirkungsgradansatz Kernkraft (Umwandlungsausstoß Strom in Kernkraftwerken : 33%)
- PEV Müll, Klärschlamm u.a.: Umwandlungseinsatz zur Stromerzeugung Müll, Klärschlamm u.a. * Wirkungsgrad öffentliche Wärmekraftwerke).

Wie beschrieben wurden die entsprechenden Zahlen für jedes Jahr in die Arbeitsblätter eingegeben. Für das Arbeitsblatt Deutschland konnten die Daten in den meisten Fällen addiert werden; lediglich für den Wirkungsgrad der öffentlichen Wärmekraftwerke mußte folgende Berechnung durchgeführt werden: Wirkungsgrad öffentliche Wärmekraftwerke (Umwandlungsausstoß öffentliche Wärmekraftwerke Deutschland : Umwandlungseinsatz öffentliche Wärmekraftwerke Deutschland).

4.4.2 Beschreibung der Datei Mod.xls

Die Excel-Arbeitsmappe Mod.xls besteht teilweise aus Tabellen, teilweise aus Grafiken, wobei diese jeweils so angeordnet sind, daß eine Menge von Grafiken jeweils einen Teil einer vorangegangenen Tabelle veranschaulicht. Es besteht in der verwendeten Version von Excel keine Möglichkeit, die Namen der Arbeitsblätter so zu wählen, daß damit der gesamte Titel einer Grafik erfaßt werden kann; statt dessen mußten Kurznamen verwendet werden. Die Grafiken wurden so angeordnet, daß damit eine Veranschaulichung vom allgemeinen zum speziellen erfolgen kann. Die Arbeitsmappe besteht aus folgenden Arbeitsblättern:

- Rahmen
 - G_Bevölkerung
 - G_Bev.wachstum
 - G_BIP-Wachstum
 - G_BIP pro Kopf
 - G_BIP-Struktur
- Haushalte
 - G_EEV Haushalte
 - G_temp.ber Raumwärme
 - G_EEV Haushalte Raumwärme relat
 - G_Gradtagzahlen
 - G_temp. Raumwärme
 - G_Haushaltsgröße
 - G_Anzahl Haushalte
 - G_spez.EV Haush. (alle En.tr.)
 - G_Prozeßwärme-Kraft-Licht
 - G_Prozeßw.Kraft&Licht relativ
 - G_Prozeßw.Kraft&Licht pro Einw.
- Kleinverbraucher
 - G_EEV Kleinverbraucher incl. Militär
 - G_EEV Kleinverbraucher incl. Militär (relativ)
 - G_spez. EEV Kleinverbraucher incl. Militär
- Industrie
 - G_EEV Industrie
 - G_EEV Industrie relativ

- G_EEV pro NPW
- Verkehr
 - G_EEV Verkehr
 - G_EEV Verkehr relat
 - G_EEV nach Verkehrsarten
 - G_EEV Verk.arten relativ
 - G_EEV Pers-Güterverkehr
 - G_Verkehrsleistung
 - G_Pers.verk.leistg pro Einw
 - G_Güterverk.leistg pro BIP
 - G_spez. EV Pers.verkehr
 - G_spez. EV Güterverkehr
- EEV
 - G_EEV nach Sektoren
 - G_EEV nach Trägern
- NEV
 - G_NEV
 - G_spez. NEV
- Stromerzeugung
 - G_Brennstoffeinsatz Strom
 - G_Stromerzeugung Effektivität
 - G_Anteil_Strom-AHS
- Sonst. Umwandlung
 - G_sonst. Umwandlung
 - G_sonst. Umwandlung relat
 - G_sonst. Umwandlung Effektivität
- PEV
 - G_PEV
 - G_PEV relativ
 - G_PEV nach Sektoren
 - G_PEV nach Sektoren relativ
 - G_EEV vom PEV
 - G_PEV vom BIP
 - G_PEV pro Einw.

- CO₂
 - G_CO₂
 - G_Spez. Emissionsfaktoren

Die Beschreibung des Inhalts dieser Tabellen erfolgte bereits im Abschnitt 4.2.2.

4.5 KRITIK AM EIGENEN MODELL

Für den eben beschriebenen Ansatz zur Modellierung lassen sich einige Grundsätze zusammenfassen.

- Für jede im Modell verwendete Variable müssen Daten vorhanden sein. Diese Daten müssen entweder von dritter Stelle her gesammelt worden sein oder können sich aufgrund von Berechnungen im Modell selbst ergeben. Für alle von externen Quellen verwendeten Daten gilt:
 - Diese müssen in sich konsistent sein, d.h. insbesondere nach den gleichen Grundsätzen erhoben worden sein.
 - Wenn es sich um Detaildaten handelt, dann müssen diese zur jeweiligen Obergröße hin konsistent sein.
 - Es muß eine ausreichend lange Zeitreihe vorliegen.
 - Die Daten müssen frei abrufbar sein. Für veröffentlichte Daten wird angenommen, daß dies der Fall ist. Bei unveröffentlichtem Material kommt es hier auf die Bedingungen des Zugangs im Einzelfall an; hier spielen insbesondere die Kosten eine Rolle.
- Der Energieverbrauch kann nach einer Reihe von Kriterien hin analysiert werden. Mögliche Kriterien sind dabei neben den in Abschnitt 4.2.2 genannten Marktsegmentierungskriterien gesetzliche Rahmenbedingungen und technische Standards.
- Ob im Modell eine zusätzliche Verfeinerung vorgenommen wird, richtet sich danach, ob der betrachtete Energieverbrauch (sowohl gegenwärtig als auch in der Zukunft) noch hinreichend groß ist und ob die o.g. Kriterien an die Daten erfüllt werden können. Darüber hinaus wird vermieden, zu viele Determinanten zu verwenden, da dadurch die Fehlerwahrscheinlichkeit steigt.
- Um eine langfristige Prognose erstellen zu können, ist es nicht nötig, jedes Jahr der Zukunft zu berücksichtigen.

Das Modell ist linear aufgebaut. Für bestimmte Größen werden Annahmen getroffen, dann werden diese aggregiert und Ergebnisse ausgewiesen. Allerdings müssen nicht alle Annahmen zueinander konsistent sein; so wird z.B. im Modell nicht geprüft, ob sich das Wirtschaftswachstum mit einer Änderung im spezifischen Energieverbrauch eines Verbrauchssektors vereinbaren läßt. Dieses muß außerhalb des Modells geschehen. Bestimmte Ergebnisse beeinflussen sicherlich wieder die Annahmen, müssen aber vom Modellbenutzer außerhalb des Modells abgebildet werden.

Im Modell mußte ein Kompromiß hinsichtlich der Größe gefunden werden. Alle Verbrauchsbereiche wurden abgedeckt, allerdings teilweise auf stark aggregiertem Niveau. Der Anwender hat aber wegen der flexiblen Modellstruktur die Möglichkeit, weitere Teilmodelle aufzubauen, wenn ihm das nötig erscheint.

Szenarien und Sensitivitätsanalysen können mit dem Modell erstellt werden. Für diese Zwecke kann das komplette Modell samt der Daten unter einem anderen Namen gespeichert werden. Zur Vereinfachung dieses Vorgangs wurde bewußt darauf verzichtet, Teilmodelle unter verschiedenen Namen abzuspeichern.

Trotz der teilweise starken Aggregation ist das Modell nicht immer transparent. Insbesondere die Anordnung der verschiedenen Teilmodelle in der Arbeitsmappe ist nicht sofort einsichtig. Es besteht softwareseitig bislang keine Möglichkeit, den verschiedenen Arbeitsmappen eine Hierarchie zuzuweisen. Eine Dokumentation des Modells ist erstellt worden. Eine Online-Hilfe besteht nicht. Das Modell ist nicht gegenüber Fehleingaben resistent; entsprechende Schutzfunktionen im Arbeitsblatt (etwa über Passwörter) wurden nicht aktiviert, damit der Anwender die Möglichkeit hat, die Modellstrukturen jederzeit zu ändern. Das Modell soll veröffentlicht werden, damit ist zumindest der Grundstein gelegt für eine öffentliche Diskussion.

Die Kosten der Entwicklung sind im Verhältnis zu den anderen betrachteten Modellen gering. Die Entwicklungszeit betrug ca. 1 Mannjahr; Software und Hardware sind weit verbreitet. Der Datenumfang ist gering. Kosten für Vertrieb und Verwaltung sind eher gering.

Die Modellinstallation ist simpel. Die beiden Dateien sind nur das Excel-Verzeichnis zu kopieren.

An formalen Methoden werden im Modell nur die vier Grundrechenarten verwendet; diese dürften bekannt sein.

Die im Modell verwendeten Daten müssen ständig aktualisiert werden; die einzelnen Datenquellen sind in Kommentaren zu den Zellen im Modell angezeigt.

Excel ist der Marktführer unter den Tabellenkalkulationsprogrammen; die Benutzerfreundlichkeit der Oberfläche ist daher als hoch anzugeben.

Die Struktur des Modells kann jederzeit geändert werden; dabei sind allerdings die Beschränkungen eines linearen Ansatzes zu beachten.

Auf eine tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse wird an dieser Stelle verzichtet.

5 PROGNOSE DES DEUTSCHEN ENERGIEVERBRAUCHS

Im folgenden wird das in Kapitel 4.2.2 entwickelte Modell angewendet. Es soll der Energieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2020 prognostiziert werden.

5.1 RAHMENBEDINGUNGEN

Wesentliche Rahmenbedingungen für die nachfolgend gezeichnete Entwicklung sind Frieden und eine stabil wachsende Wirtschaft. Der Einigungsprozeß in Europa setzt sich fort, die Arbeitslosigkeit wird z.B. durch verstärkte Einrichtung von Teilzeitarbeitsplätzen erfolgreich bekämpft, es herrscht allgemeiner Wohlstand.

Vielen Prognosen, die veröffentlicht werden, liegen diese sehr positiven Annahmen zugrunde. Auch wenn die Geschichte zeigt, daß es nach Phasen des Friedens und der politischen Einigung immer wieder zu Konflikten und kriegerischen Auseinandersetzungen kommt, sollen diese Annahmen im folgenden beibehalten werden. Zentrales Anliegen dieser Arbeit ist nicht, eine Prognose zu erstellen, sondern darzulegen, wie Prognosen möglichst ökonomisch erstellt werden können.

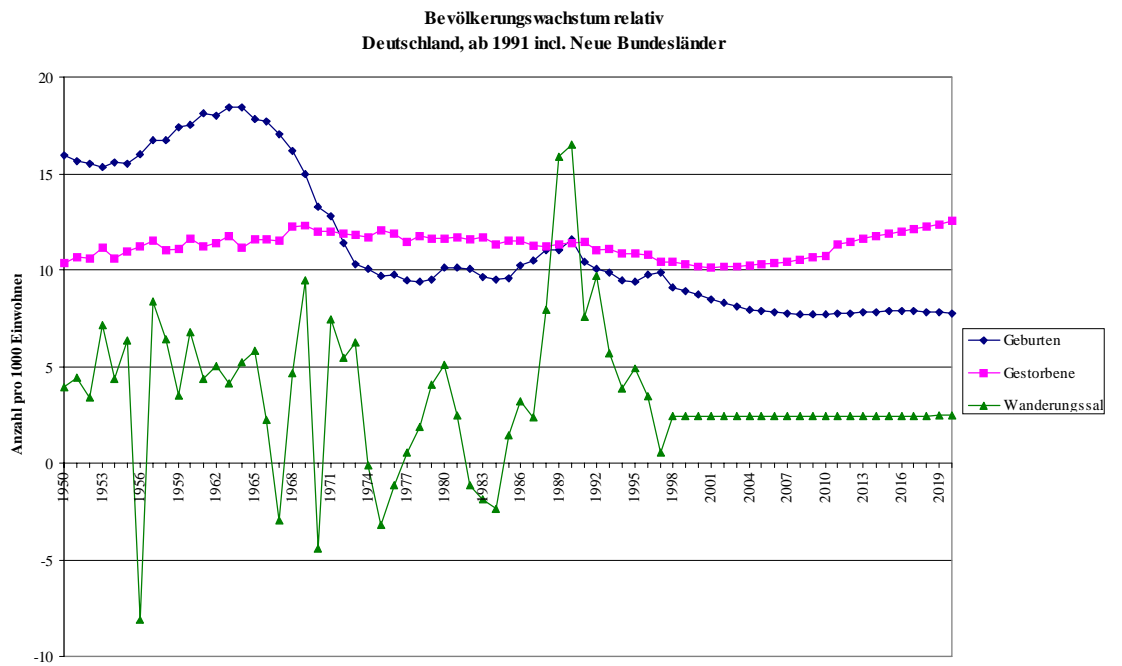
5.2 BEVÖLKERUNG

Für die Entwicklung der Bevölkerung wurden die Modellrechnungen des Statistischen Bundesamtes zugrundegelegt, mit einer Geburtenhäufigkeit, die nur aufgrund der sich verschiebenden Altersstruktur schwankt, und einer jährlichen Nettozuwanderung von 200.000 Menschen (Modellvariante 1 B)¹²⁵. Für die Jahre 1998 bis 2000 wurde die Sterblichkeit nach oben korrigiert, vgl. Abbildung 62.

Mit diesen Annahmen ergibt sich ein Anwachsen der Bevölkerung bis zum Jahr 2004 auf 82,4 Mio.; danach sinkt die Bevölkerung wieder bis auf 80,9 Mio. Menschen im Jahr 2020, vgl. Abbildung 63.

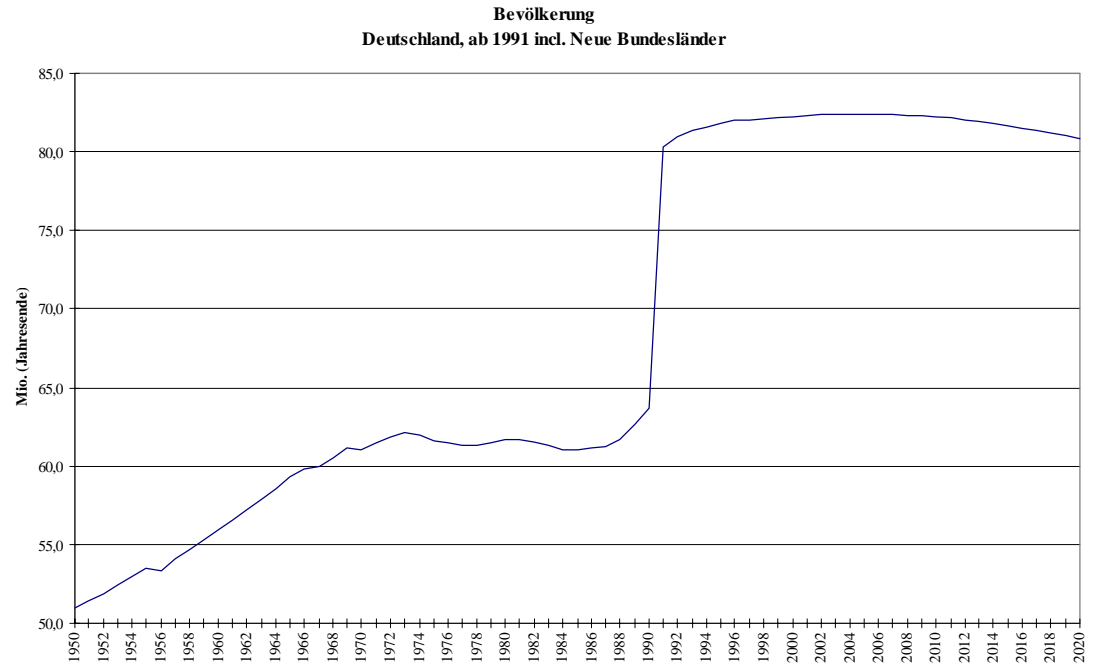
¹²⁵ Vgl. Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Modellrechnungen zur Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2040, (Wiesbaden) 1996

Abbildung 62: Bevölkerungswachstum relativ



Quelle: eigene Darstellung

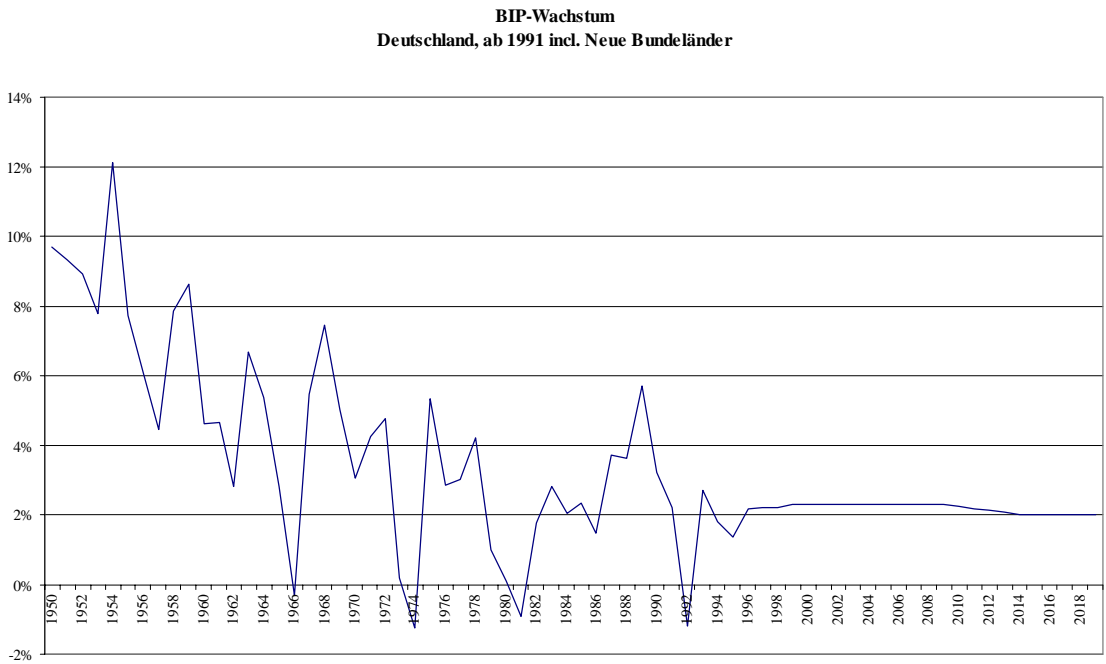
Abbildung 63: Bevölkerung



Quelle: eigene Darstellung

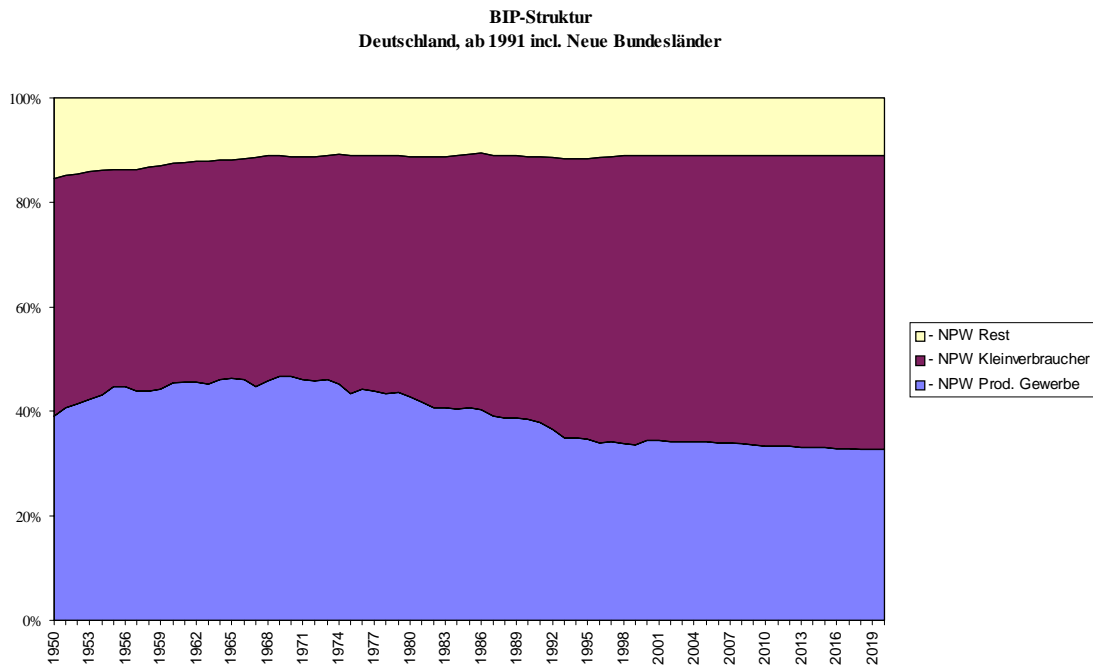
5.3 WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG

Abbildung 64: BIP-Wachstum



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 65: BIP-Struktur



Quelle: eigene Darstellung

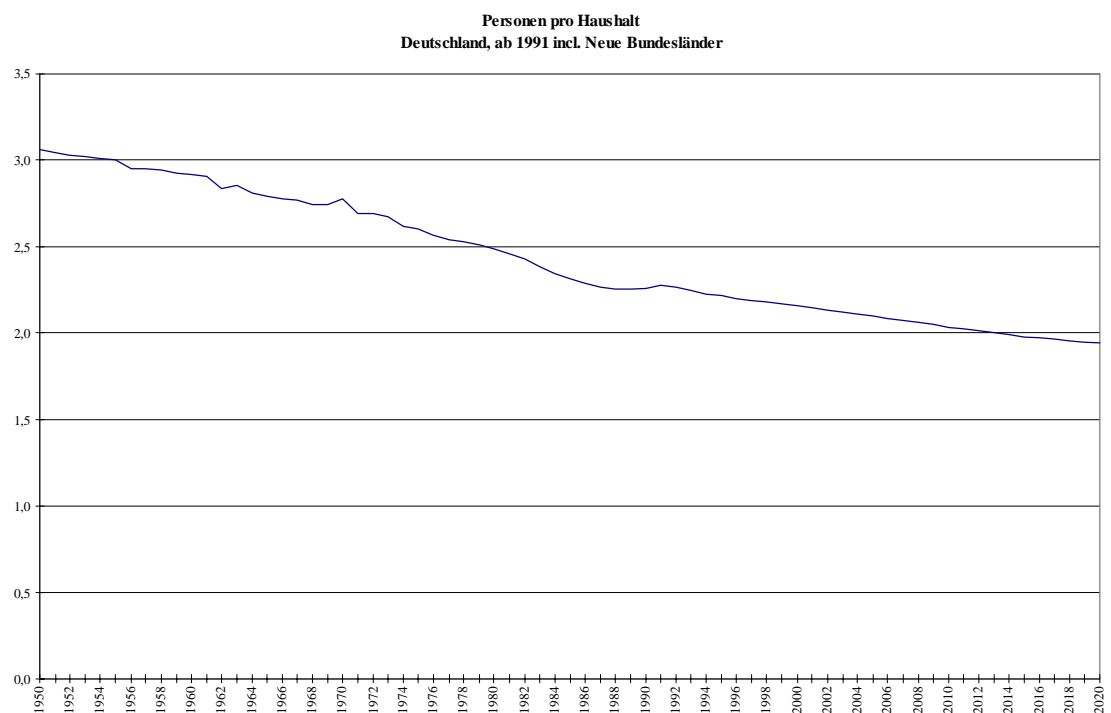
Die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts ist eine entscheidende Größe im Modell. Es wird die Annahme getroffen, daß das Bruttoinlandsprodukt bis 2010 um jährlich 2,0 % wächst, in der Zeit danach auf 1,8 % jährlich absinkt, vgl. Abbildung 64.

Der Anteil der Industrie am BIP sinkt annahmegemäß nur wenig während des Betrachtungszeitraums; das Segment der Kleinverbraucher wächst in etwa um das gleiche Maß wie sich der Anteil der Industrie verringert, vgl. Abbildung 65.

5.4 MODELLIERUNG DES SEKTORS HAUSHALTE

Im Bevölkerungsmodell wurden sinkende Bevölkerungszahlen prognostiziert. Außerdem wird angenommen, daß die Anzahl der Personen pro Haushalte weiterhin ungebremst sinkt, vgl. Abbildung 66. Ein Trend zurück zur Familie läßt sich nicht erkennen.

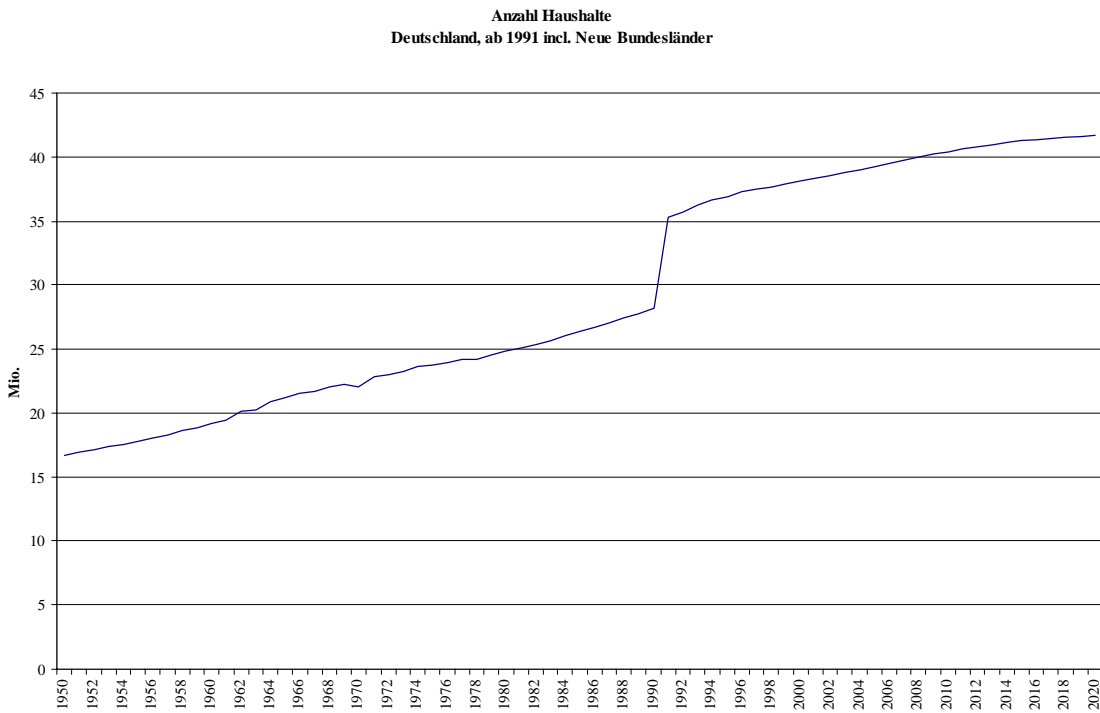
Abbildung 66: Personen pro Haushalt



Quelle: eigene Darstellung

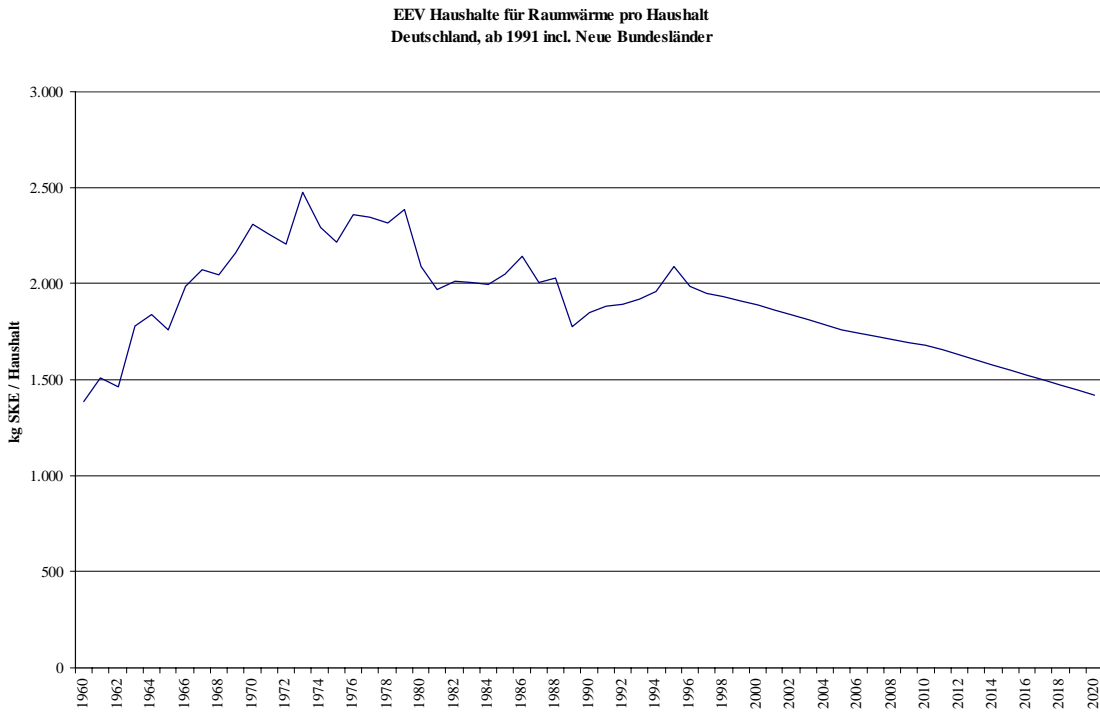
Einerseits sinkt also die Einwohnerzahl, andererseits sinkt aber auch die Anzahl der in einem Haushalt lebenden Personen. Letzterer Trend ist stärker, so daß die Anzahl der Haushalte weiterhin steigt, vgl. Abbildung 67.

Abbildung 67: Anzahl Haushalte



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 68: EEV Haushalte für Raumwärme pro Haushalt



Quelle: eigene Darstellung

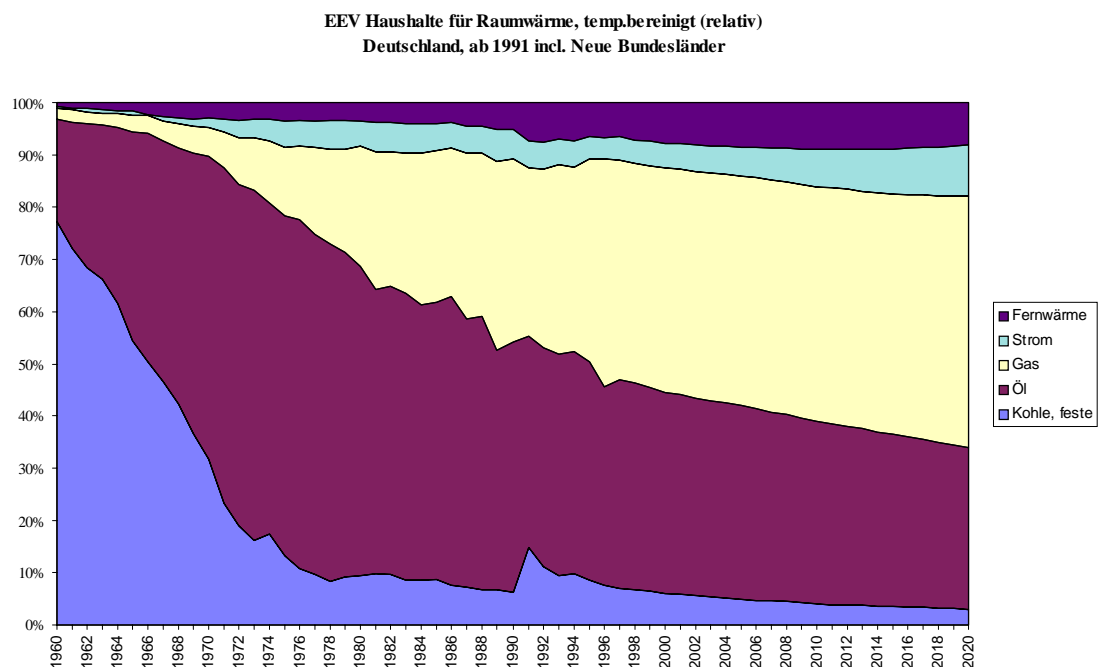
Neubauten sind grundsätzlich besser wärmegeklämt als Altbauten¹²⁶, auch aufgrund gesetzlicher Bestimmungen (Wärmeschutzverordnung). Aufgründ von Neubauten und Renovierungen kommt es zu einer spürbaren Senkung des spezifischen Energieverbrauchs, also des Energieverbrauchs für Raumwärme pro Haushalt, vgl. Abbildung 68.

Bei der Aufteilung des Energieverbrauchs für Raumwärme nach Energieträgern wird angenommen, daß Erdgas, teilweise Fernwärme und Strom besonders aus regenerativen Energiequellen ihre Marktanteile weiter ausbauen können, während Kohle und Öl weiter an Bedeutung verlieren, vgl. Abbildung 69.

Die Außentemperaturen werden auf den Durchschnittswert in den alten und neuen Bundesländern seit 1951 gesetzt; damit werden Temperaturschwankungen nicht betrachtet.

Mit diesen Annahmen ergibt sich die in Abbildung 70 gezeigte Entwicklung des raumwärmebedingten Energieverbrauchs der Haushalte.

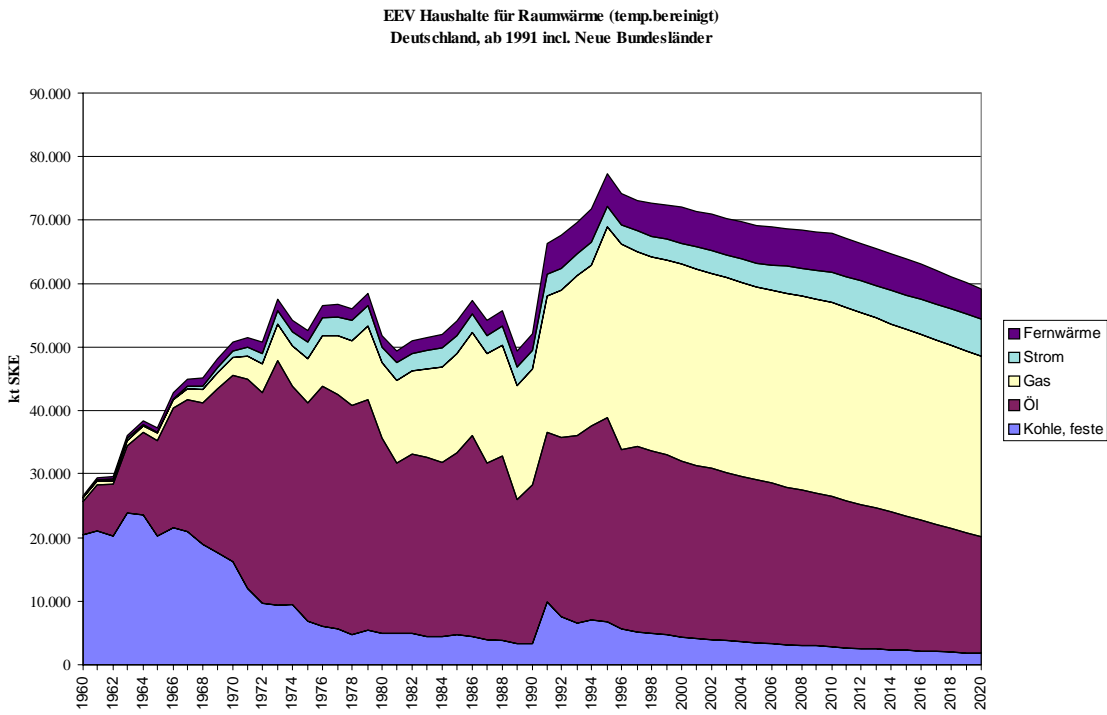
Abbildung 69: EEV Haushalte für Raumwärme, temp.bereinigt (relativ)



Quelle: eigene Darstellung

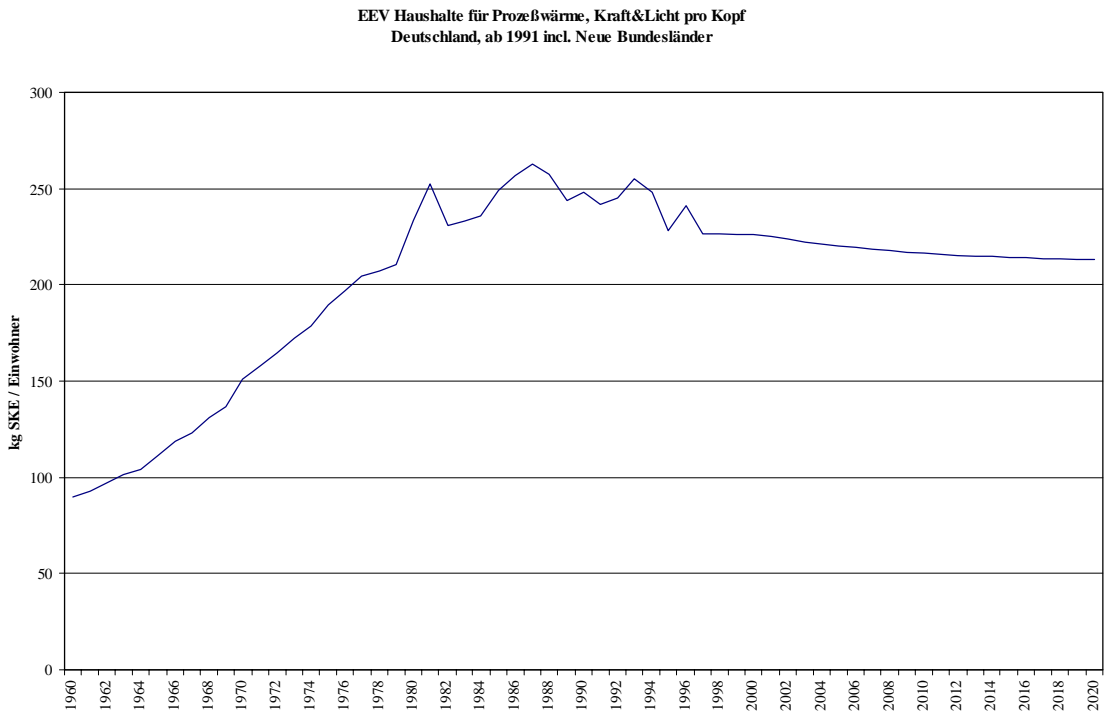
¹²⁶ Vgl. Sven Kolmetz / Lothar Rouvel: Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte, Monographien des Forschungszentrums Jülich, Jülich 1995, S. 19 ff.

Abbildung 70: EEV Haushalte für Raumwärme (temp.bereinigt)



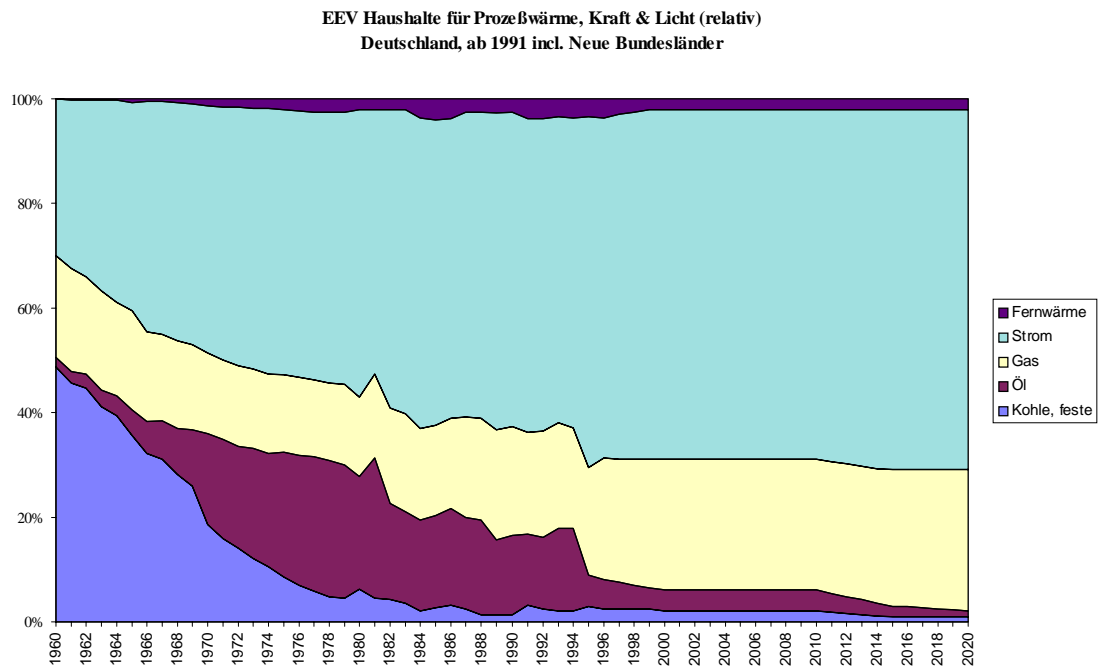
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 71: EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft & Licht pro Kopf



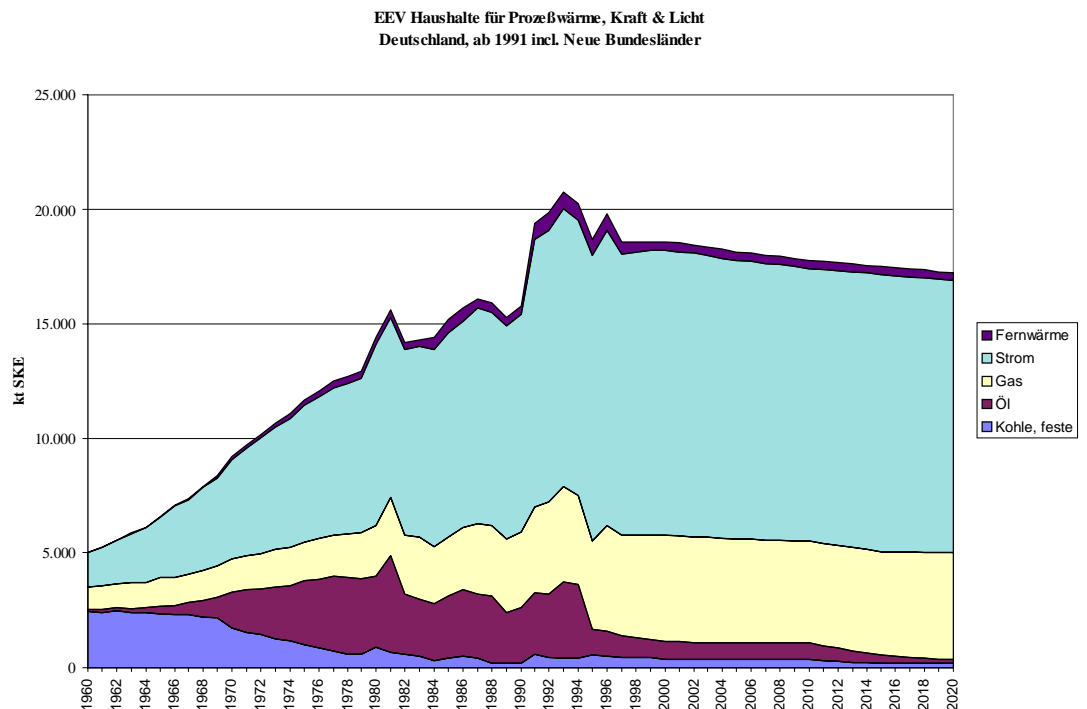
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 72: EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft & Licht (relativ)



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 73: EEV Haushalte für Prozeßwärme, Kraft und Licht



Quelle: eigene Darstellung.

Der Einfluß der Konjunktur auf die Höhe des Pro-Kopf-Energieverbrauchs der Haushalte für die anderen Anwendungen war in der Vergangenheit nicht signifikant; es wird daher erwartet, daß dies auch für die Zukunft weiter gilt. Pro Kopf wird eine kontinuier-

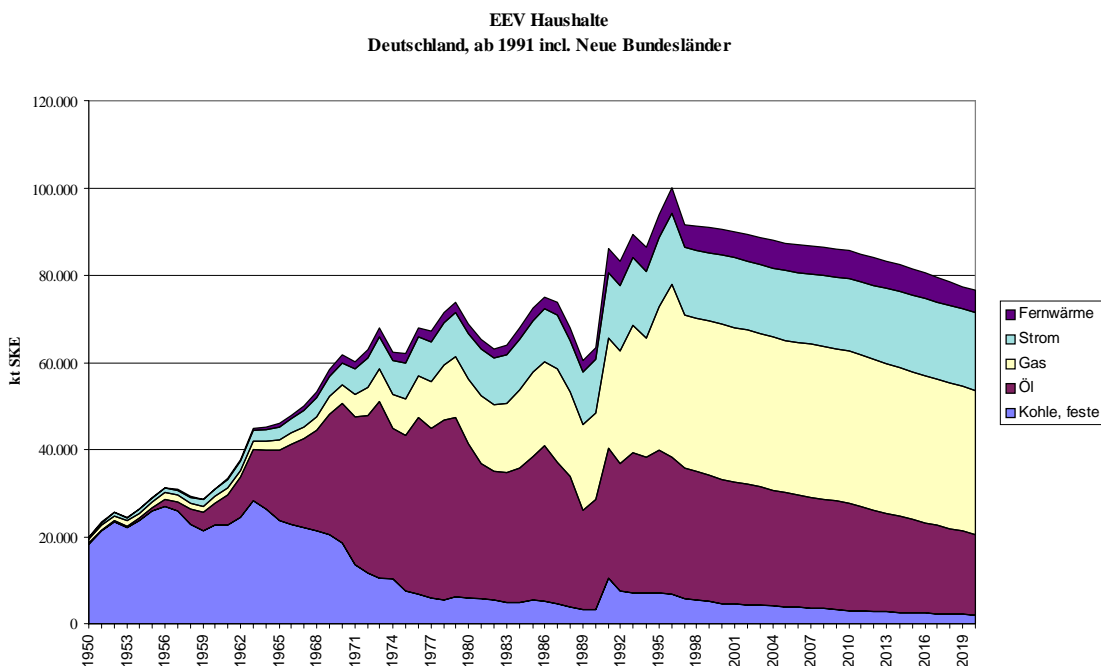
liche leichte Senkung des Energieverbrauchs für Prozeßwärme, Kraft und Licht angenommen, siehe Abbildung 71.

Für die Anteile der Energieträger am Energieverbrauch setzt sich der Trend fort, demzufolge Strom und Erdgas die einzig relevanten Energieträger in diesem Bereich sind. Während der Depression wird dieser Trend angehalten, vgl. Abbildung 72.

Mit diesen Annahmen ergibt sich für den Energieverbrauch für Prozeßwärme, Kraft und Licht die in Abbildung 73 gezeigte Entwicklung.

Damit ergibt sich insgesamt für den Energieverbrauch der Haushalte das in Abbildung 74 gezeigte Bild. Der Endenergieverbrauch der Haushalte sinkt um etwa ein Viertel, die Verteilung auf die Energieträger wird in etwa fortgeschrieben.

Abbildung 74: EEV Haushalte

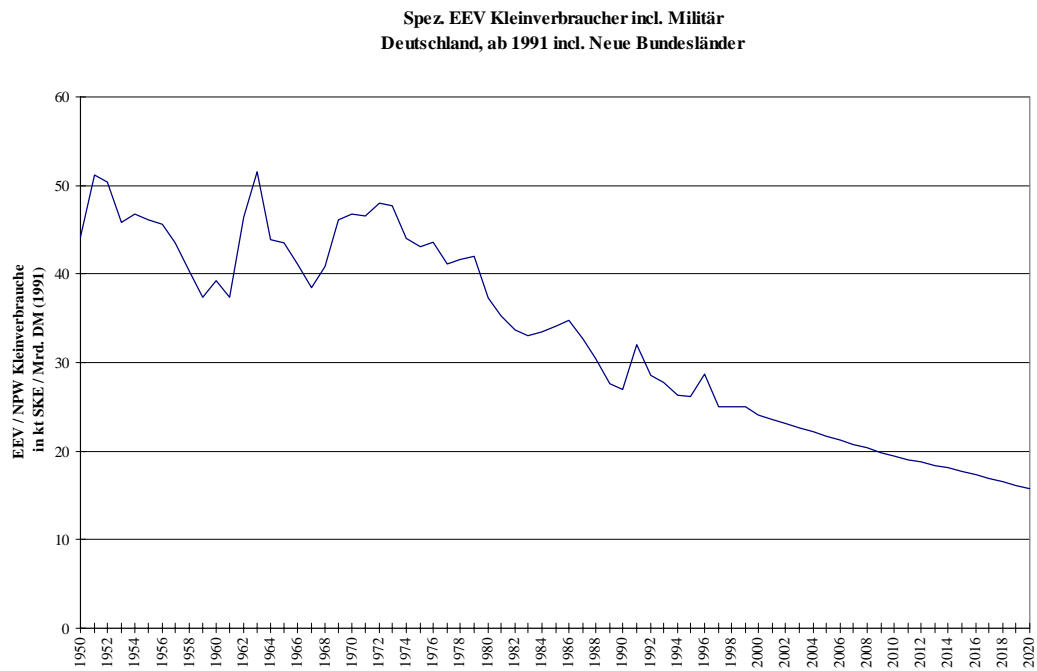


Quelle: eigene Darstellung

5.5 MODELLIERUNG DES SEKTORS KLEINVERBRAUCHER INCL. MILITÄR

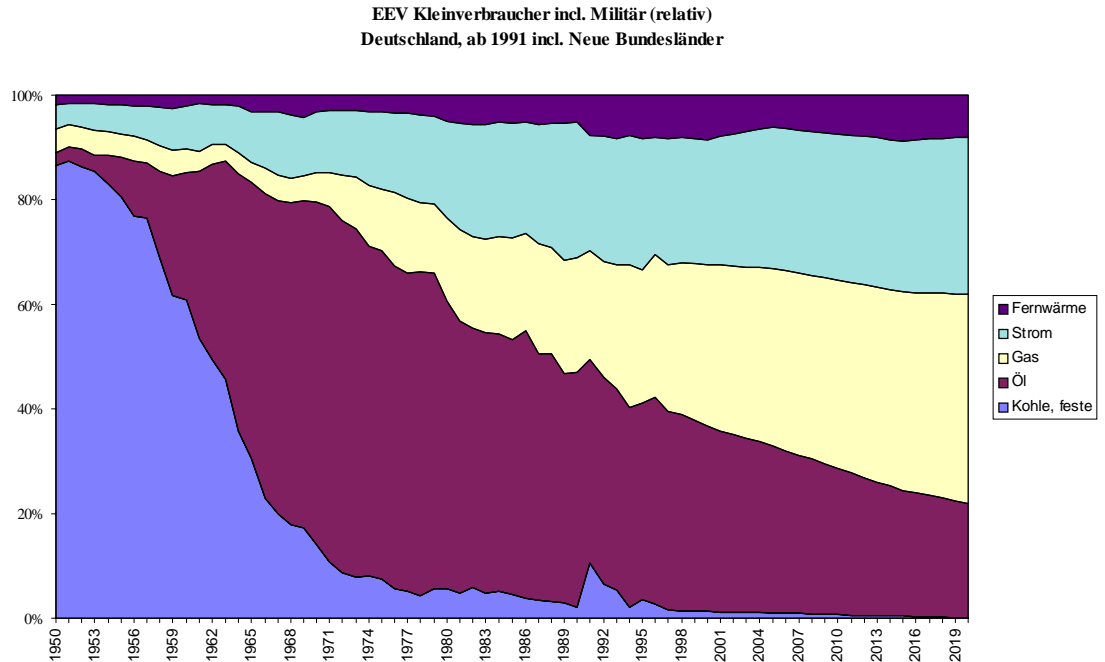
Beim spezifischen Endenergieverbrauch der Kleinverbraucher wird angenommen, daß sich hier eine Senkung im bisherigen Tempo fortsetzen läßt. Im Jahr 2020 ist dieser Wert demzufolge fast nur noch halb so groß wie 1996, vgl. Abbildung 75.

Abbildung 75: Spez. EEV Kleinverbraucher (incl. Militär)



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 76: EEV Kleinverbraucher incl. Militär (relativ)



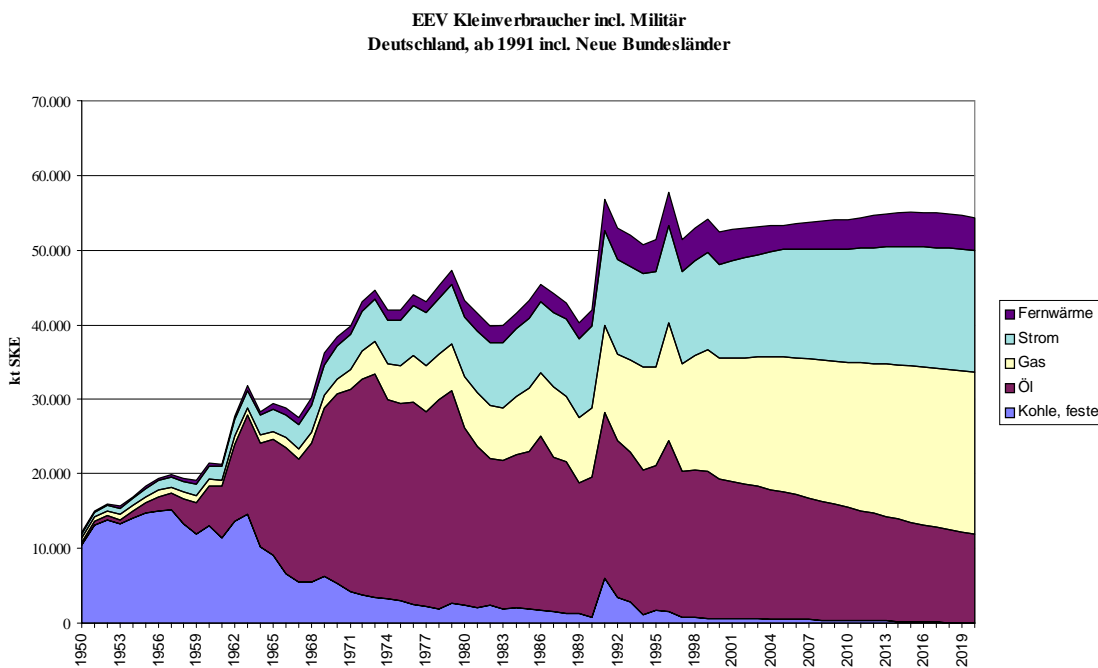
Quelle: eigene Darstellung

Für den Modal Split innerhalb des Sektors Kleinverbraucher wird eine ähnliche Entwicklung wie im Haushaltsmodell angenommen. Danach verlieren Kohle und Öl weiter an Bedeutung, während Gas und Strom ihren Marktanteil ausbauen können, einerseits wegen ihrer höheren Anwenderfreundlichkeit, andererseits wegen der Preissenkungen,

die durch die Liberalisierung der leitungsgebundenen Energieträger zu erwarten sind. Die Fernwärme wird ihren Marktanteil nur geringfügig ausbauen können, vgl. dazu Abbildung 76.

Dadurch ergibt sich der Endenergieverbrauch im Sektor Kleinverbrauch wie in Abbildung 77 gezeigt. Hohes Wirtschaftswachstum einerseits und starke Rückgänge im spezifischen Energieverbrauch andererseits heben sich nahezu auf.

Abbildung 77: EEV Kleinverbraucher



Quelle: eigene Darstellung

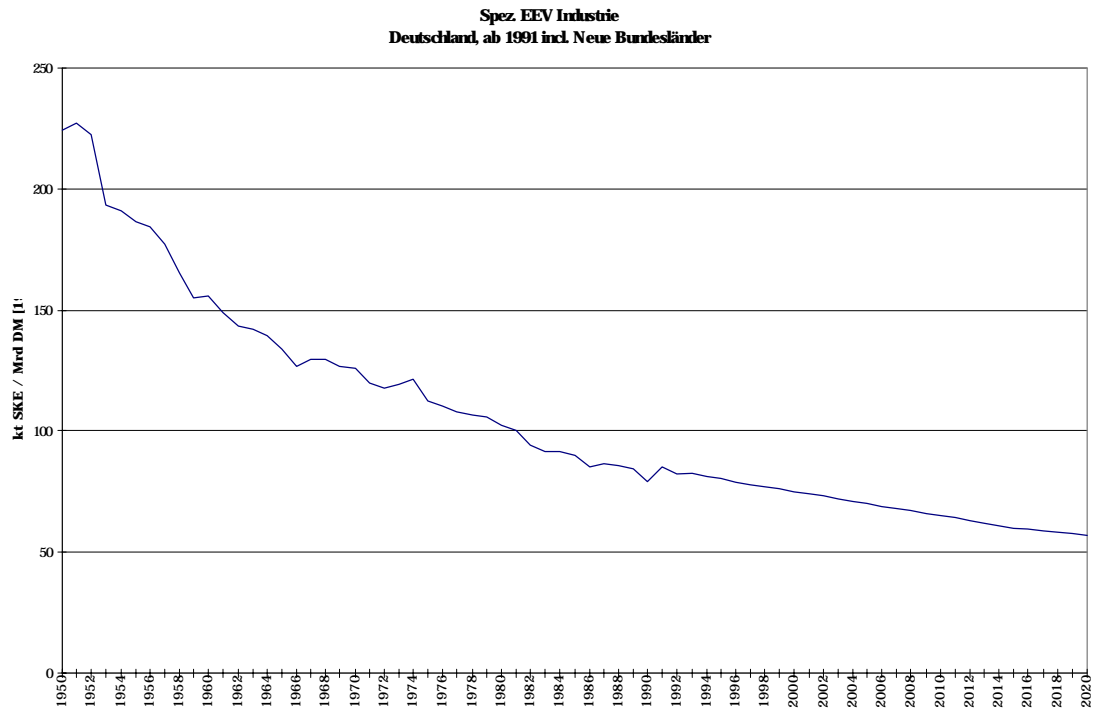
5.6 INDUSTRIE

Beim spezifischen Energieverbrauch der Industrie wird angenommen, daß sich dieser bis zum Jahr 2020 im gleichen Maße weiter verringern wird wie bisher, vgl. Abbildung 78.

Für die Deckung des Energiebedarfs mit Energieträgern innerhalb der Industrie wird angenommen, daß sich die bestehenden Trends weiter fortsetzen werden, ähnlich wie auch im Teilmodell für die Kleinverbraucher. Danach gewinnen Gas und Strom und begrenzt auch die Fernwärme, während die anderen Energieträger Marktanteile verlieren, vgl. Abbildung 79.

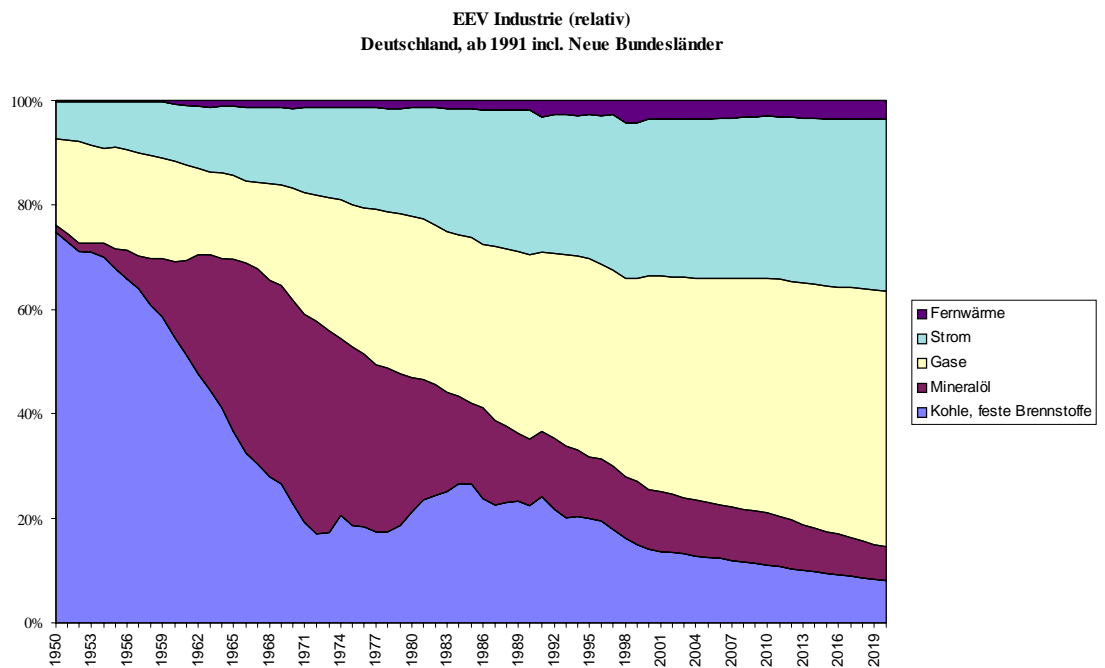
Aufgrund dieser Annahmen kommt es zu einer Entwicklung beim Endenergieverbrauch Industrie, wie er in Abbildung 80 wiedergegeben ist.

Abbildung 78: Spez. EEV Industrie



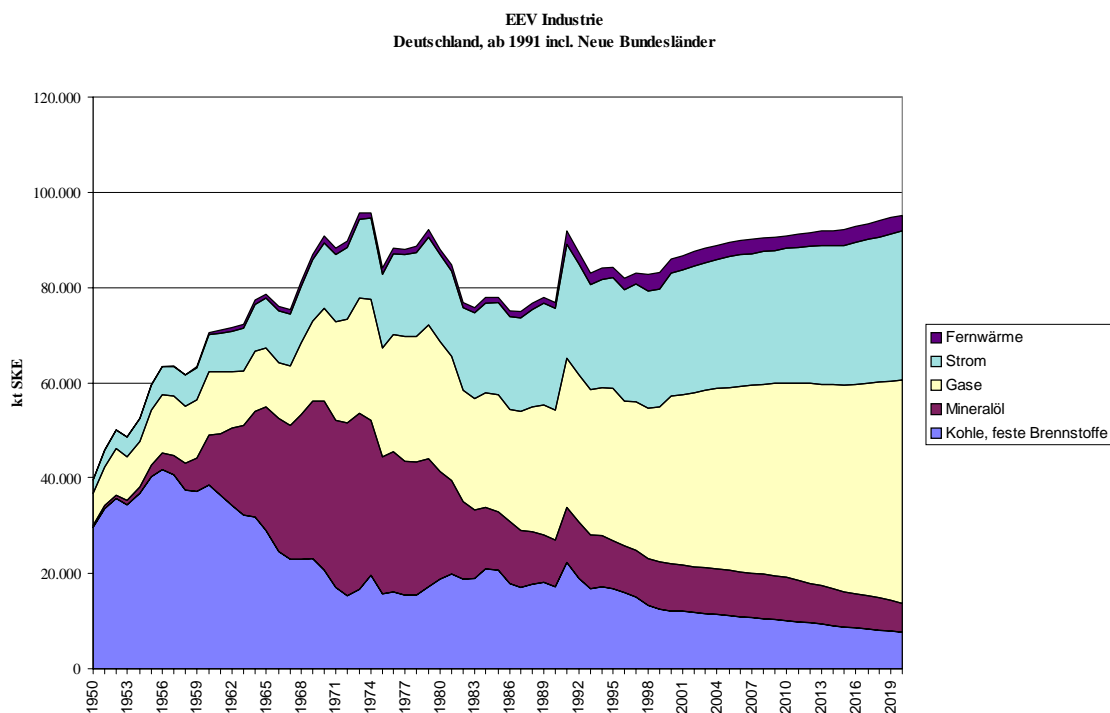
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 79: EEV Industrie (relativ)



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 80: EEV Industrie



Quelle: eigene Darstellung

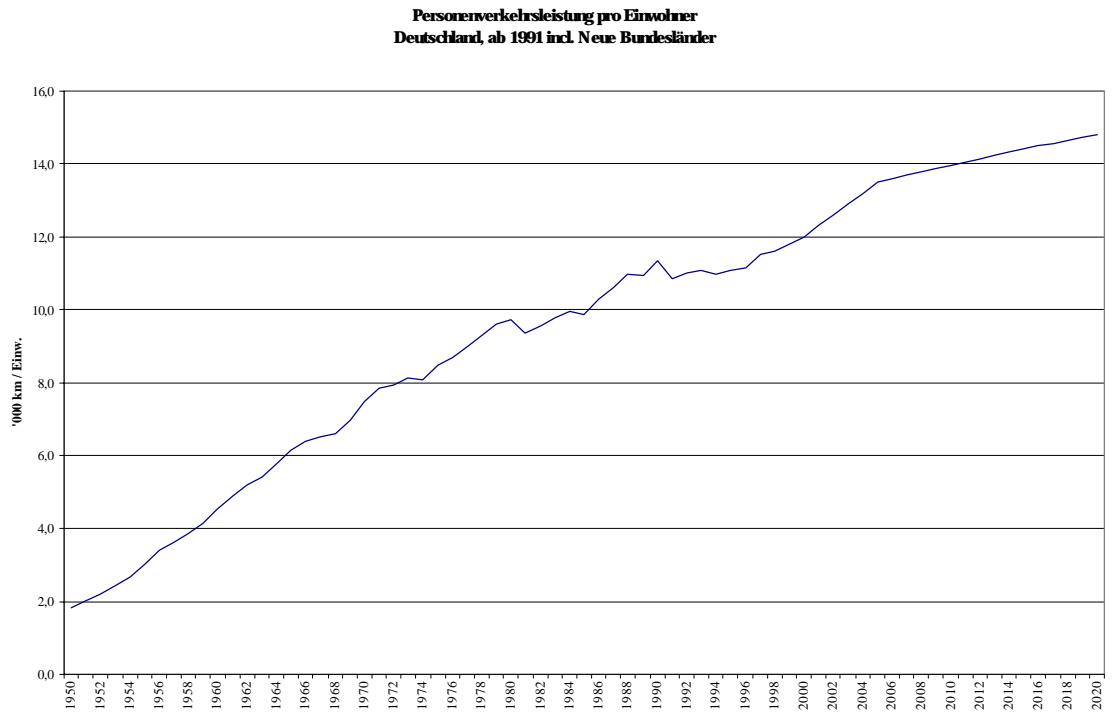
5.7 VERKEHR

Bei der Personenverkehrsleistung pro Einwohner wird angenommen, daß sich das Wachstum unvermindert fortsetzt, vgl. Abbildung 81. Bei der spezifischen Güterverkehrsleistung wird angenommen, daß sich der Rückgang, der in der Vergangenheit zu beobachten war und der nur durch die Wiedervereinigung 1990 unterbrochen wurde, weiterhin fortsetzt, vgl. Abbildung 82. Güter- und Personendienstleistung entwickeln sich dadurch wie in Abbildung 83 gezeigt.

Beim spezifischen Endenergieverbrauch für den Personenverkehr wird starker Rückgang aufgrund politischer Vorgaben angenommen, einerseits durch eine erhebliche Senkung des Kraftstoffverbrauchs der Pkws und andererseits auch durch eine teilweise Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene, vgl. Abbildung 84. Beim Güterverkehr steigt der spezifische Energieverbrauch seit Anfang der 70er Jahre leicht. Es wird angenommen, daß sich daran nichts ändern wird, vgl. Abbildung 85.

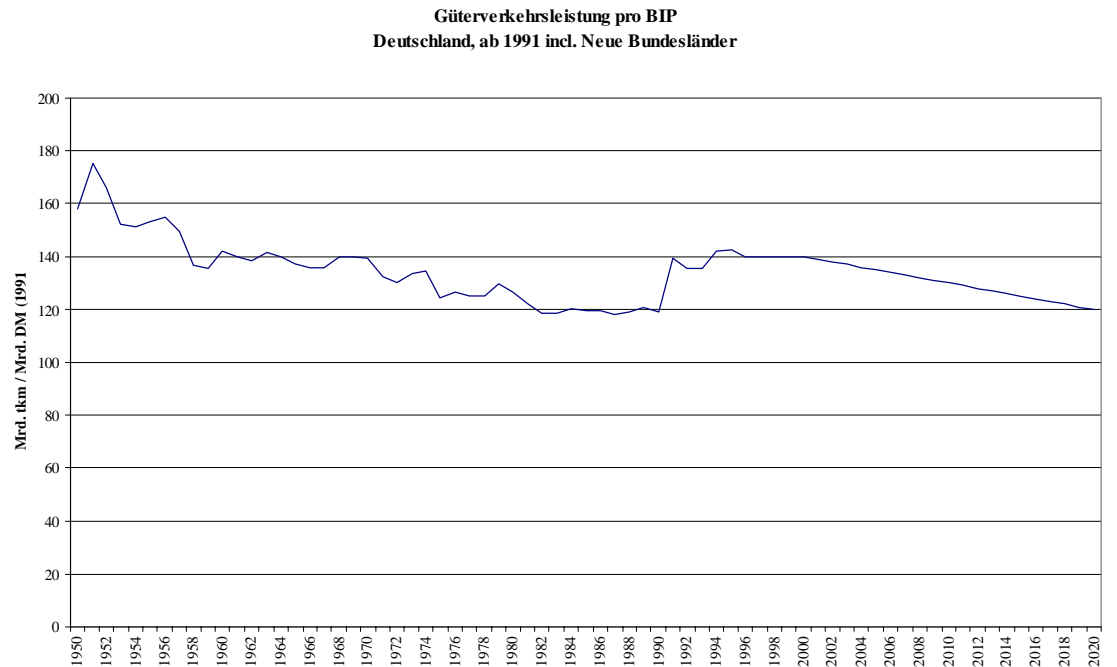
Die Anteile der verschiedenen Energieträger am Endenergieverbrauch werden sich annahmegemäß nicht wesentlich verschieben; Strom und Gas werden ihren Marktanteil zu Lasten des Mineralöls nur unwesentlich ausbauen können, vgl. Abbildung 86.

Abbildung 81: Personenverkehrsleistung pro Einwohner



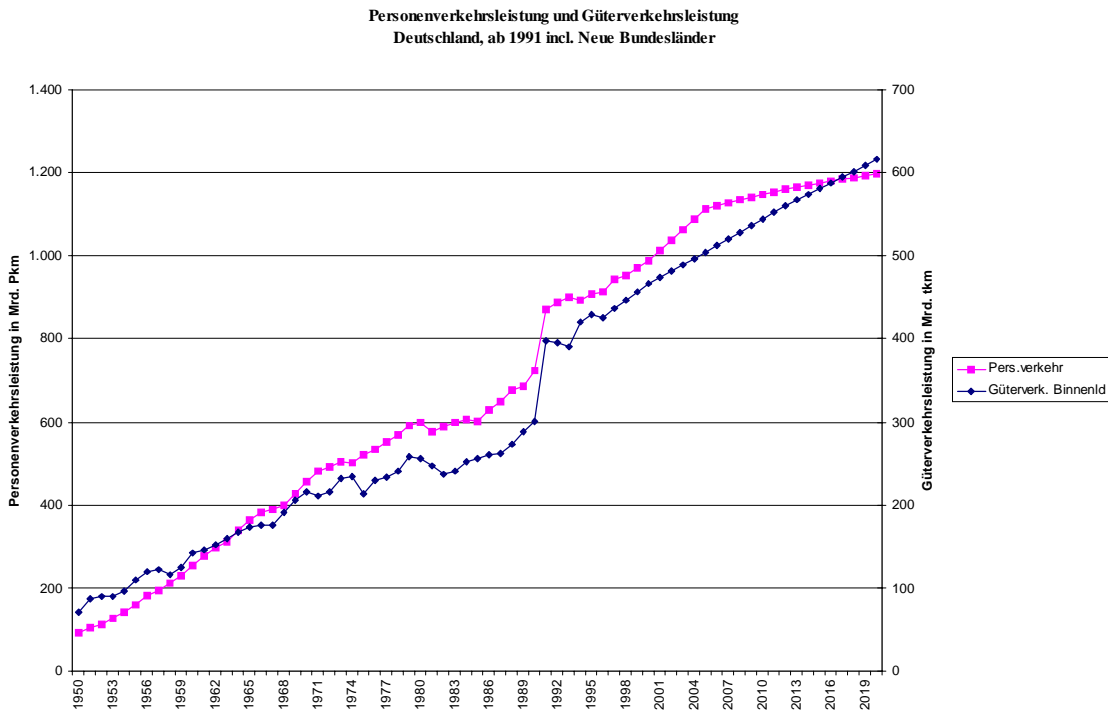
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 82: Güterverkehrsleistung po BIP



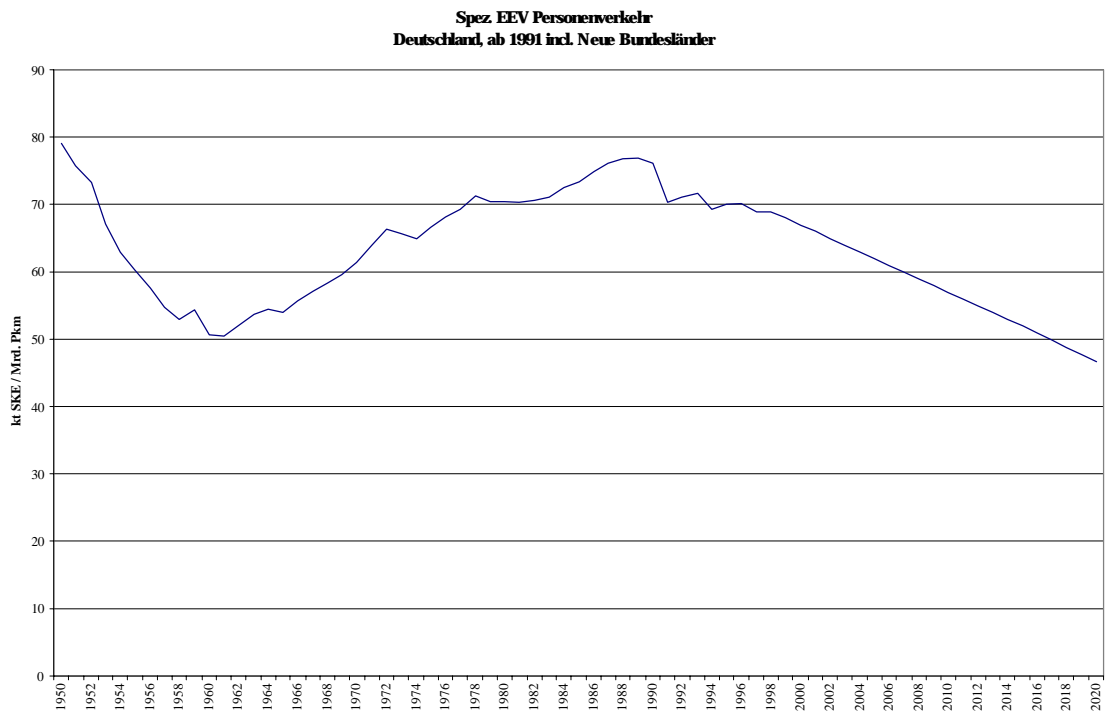
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 83: Personenverkehrsleistung und Güterverkehrsleistung



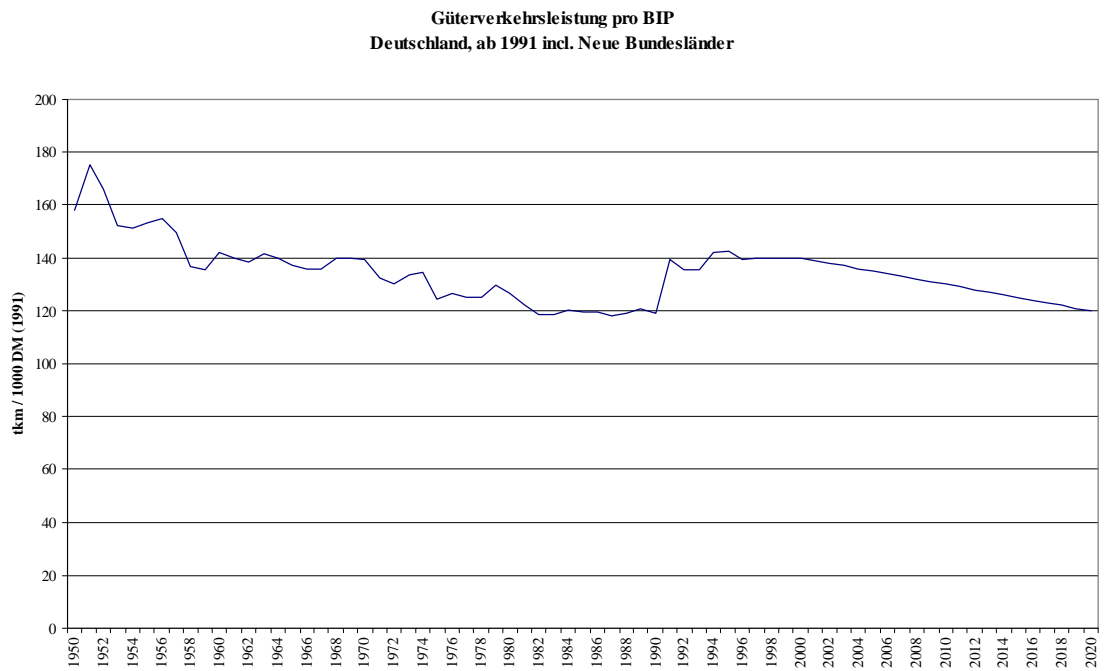
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 84: Spez. EEV Personenverkehr



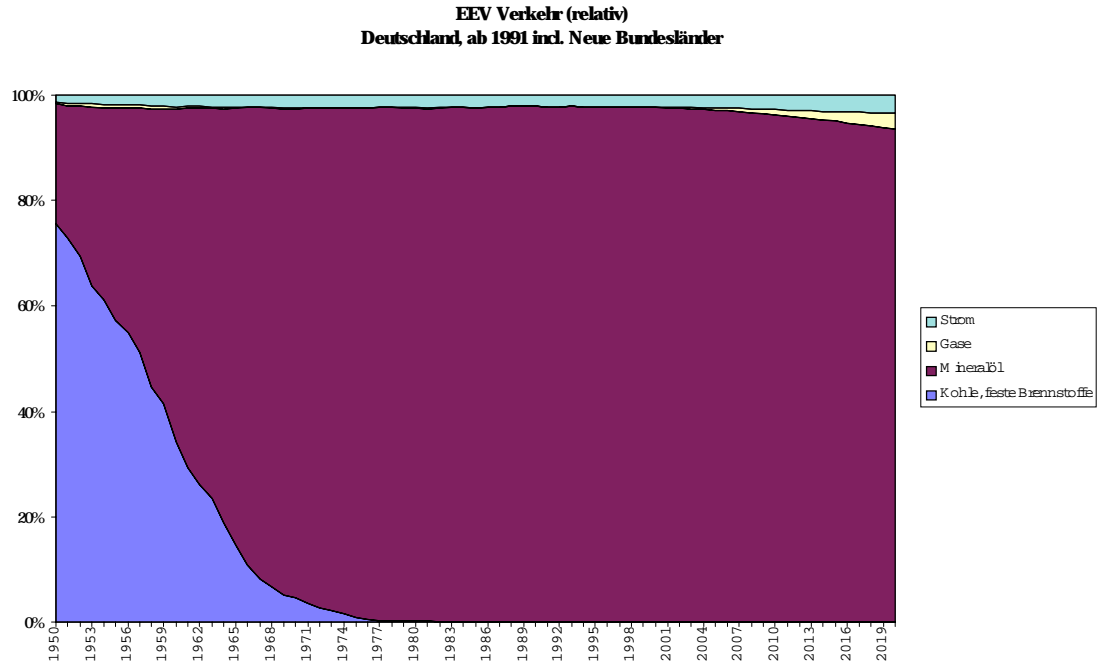
Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 85: Spez. EEV Güterverkehr



Quelle: eigene Darstellung

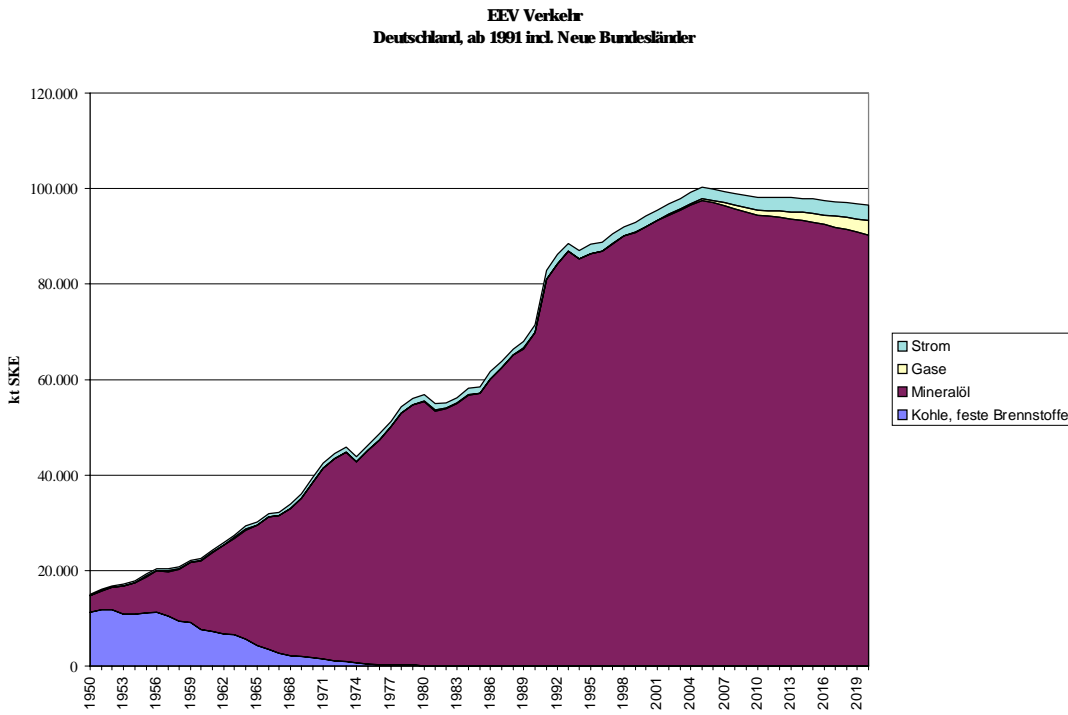
Abbildung 86: EEV Verkehr (relativ)



Quelle: eigene Darstellung

Damit ergibt sich der Endenergieverbrauch im Sektor Verkehr wie in Abbildung 87 gezeigt.

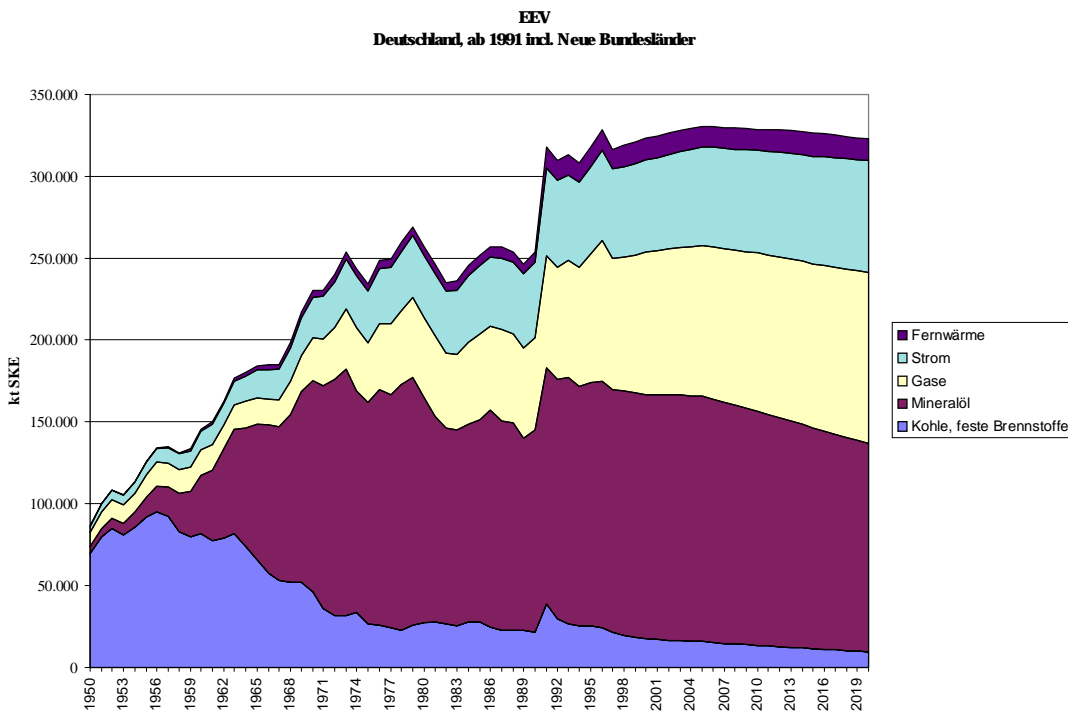
Abbildung 87: EEV Verkehr



Quelle: eigene Darstellung

5.8 ENDENERGIEVERBRAUCH

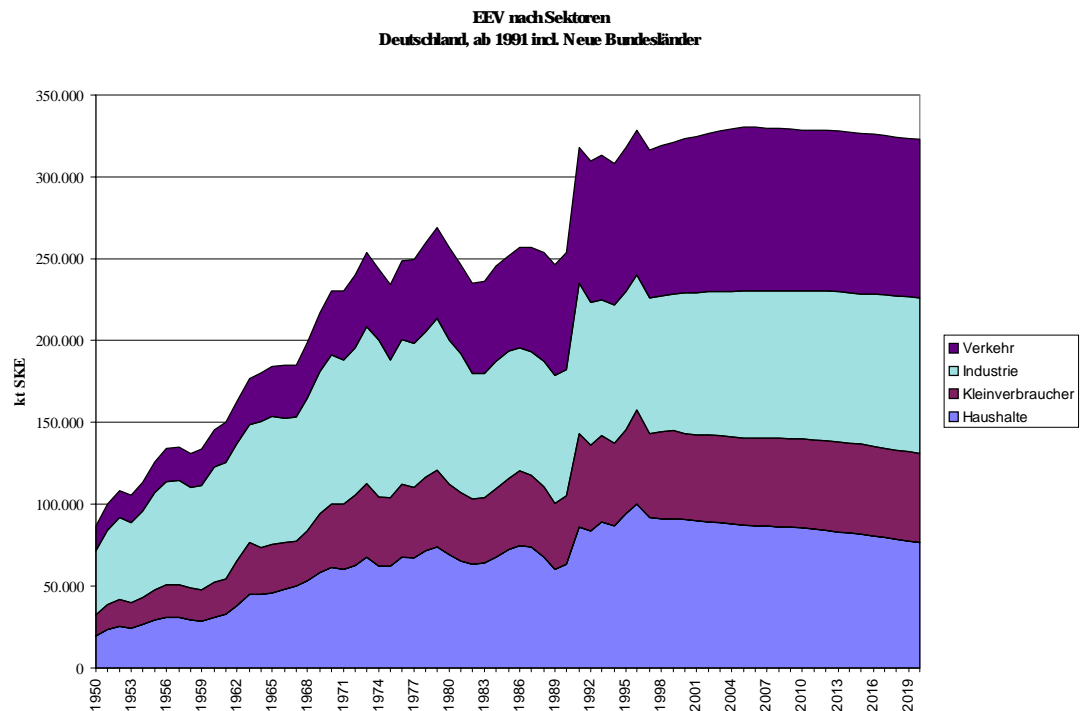
Abbildung 88: EEV



Quelle: eigene Darstellung

Insgesamt ergibt sich aus den vorangegangenen Betrachtungen das Bild über den Endenergieverbrauch, das in Abbildung 88 und Abbildung 89 nachgezeichnet ist.

Abbildung 89: EEV nach Sektoren



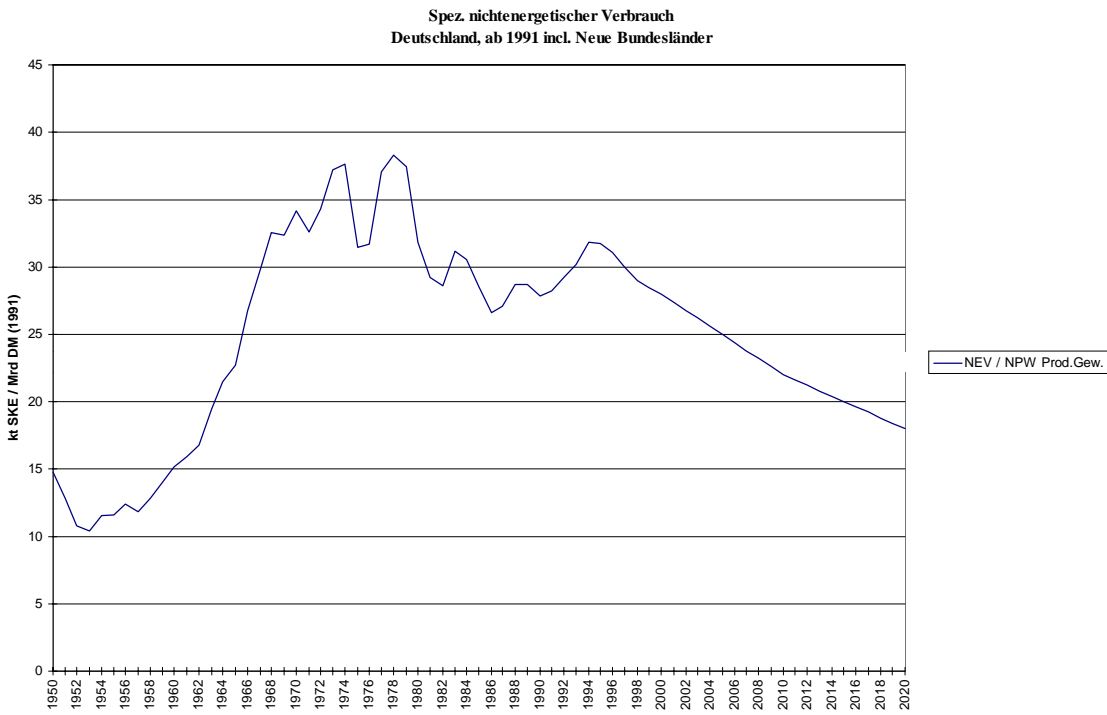
Quelle: eigene Darstellung

5.9 NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH

Beim nichtenergetischen Verbrauch wird ein stärkerer Rückgang des spezifischen Verbrauchs, gemessen am Nettoproduktionswert des produzierenden Gewerbes, angenommen, vgl. Abbildung 90.

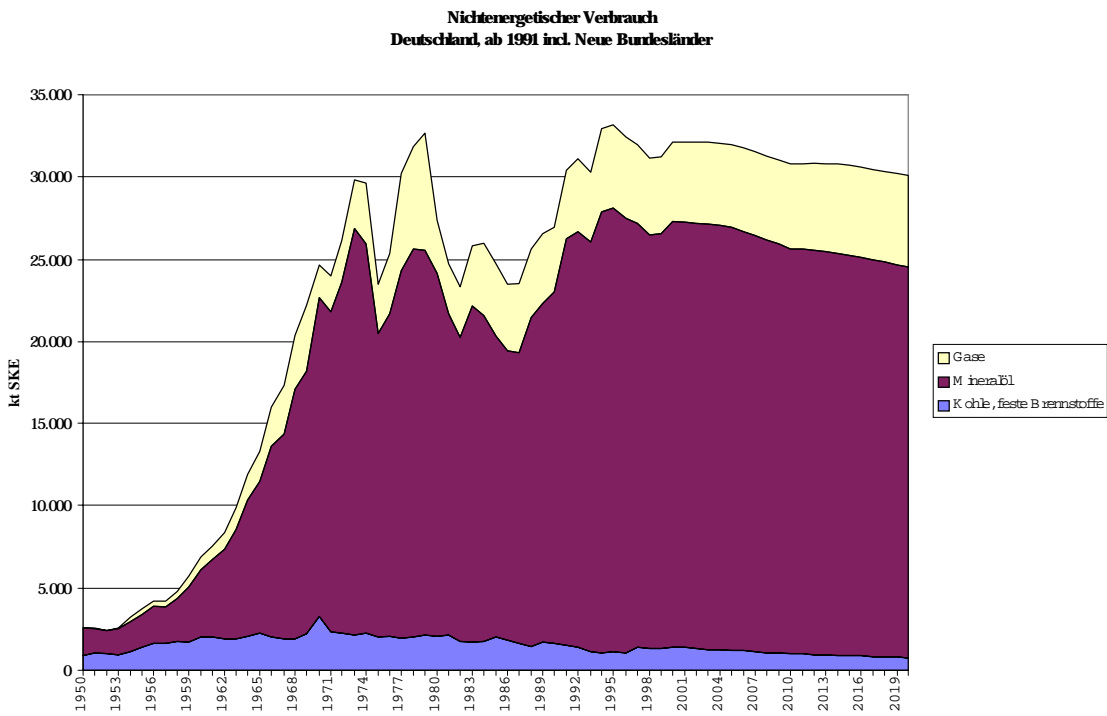
Weiterhin wird angenommen, daß sich die Anteile der Energieträger am nichtenergetischen Verbrauch nur unwesentlich ändern. Insgesamt ergibt sich dann die Entwicklung des nichtenergetischen Verbrauchs, die in Abbildung 91 nachgezeichnet ist.

Abbildung 90: Spezifischer nichtenergetischer Verbrauch



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 91: NEV

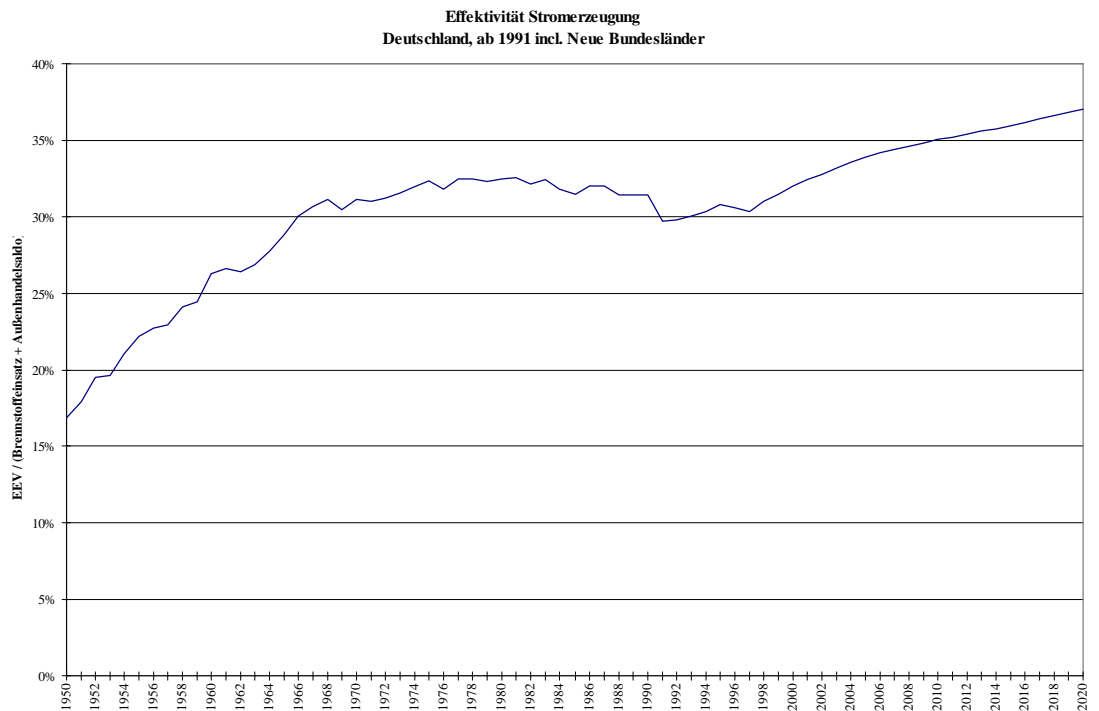


Quelle: eigene Darstellung

5.10 STROMERZEUGUNG

Vor dem Hintergrund der Liberalisierung des Strommarkts wird angenommen, daß der Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung aufgrund politischer Vorgaben erheblich steigen wird, vgl. Abbildung 92.

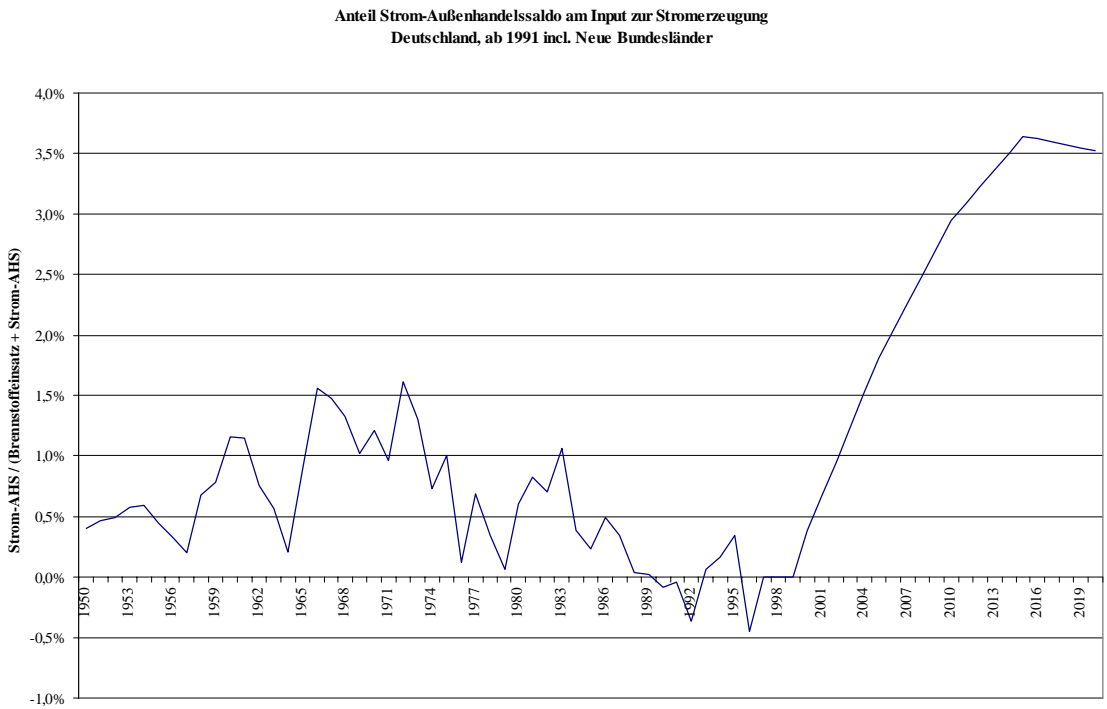
Abbildung 92: Effektivität Stromerzeugung



Quelle: eigene Darstellung

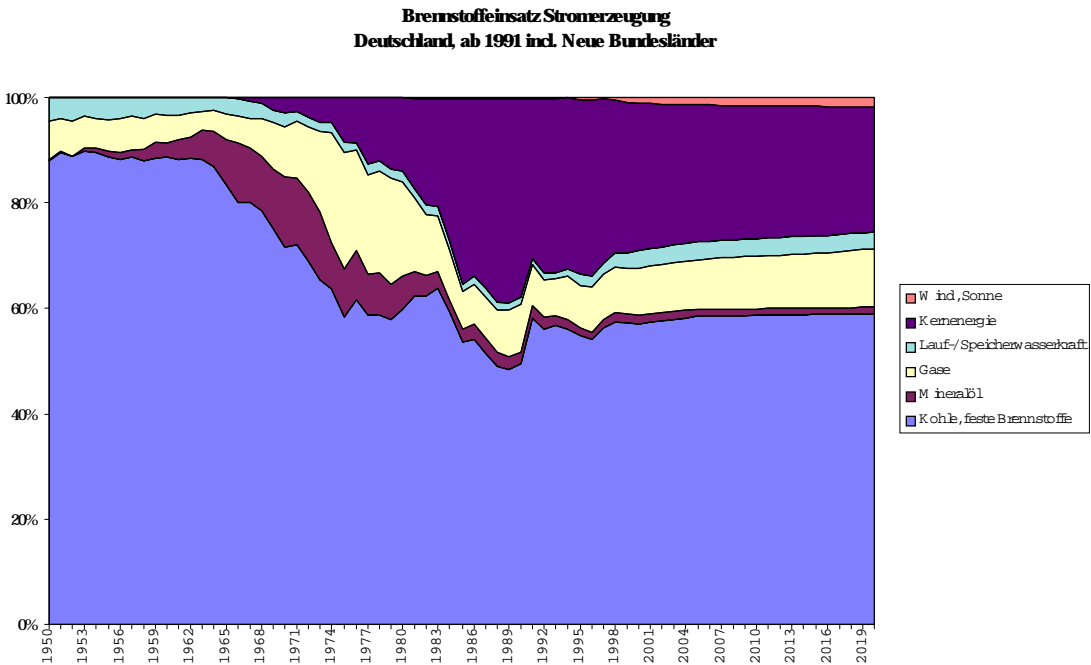
Für die Anteile der Brennstoffe an der Stromerzeugung wird angenommen, daß der Anteil der Kernenergie deutlich sinken wird und daß die entstehende Versorgungslücke durch eine Erhöhung des Anteils der Gaskraftwerke, teilweise auch der Kohlekraftwerke und der Einfuhren speziell aus anderen Ländern der Europäischen Union gedeckt wird, vgl. Abbildung 93 und Abbildung 94.

Abbildung 93: Anteil Strom-Außenhandelssaldo am Input zur Stromerzeugung



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 94: Brennstoffeinsatz Stromerzeugung

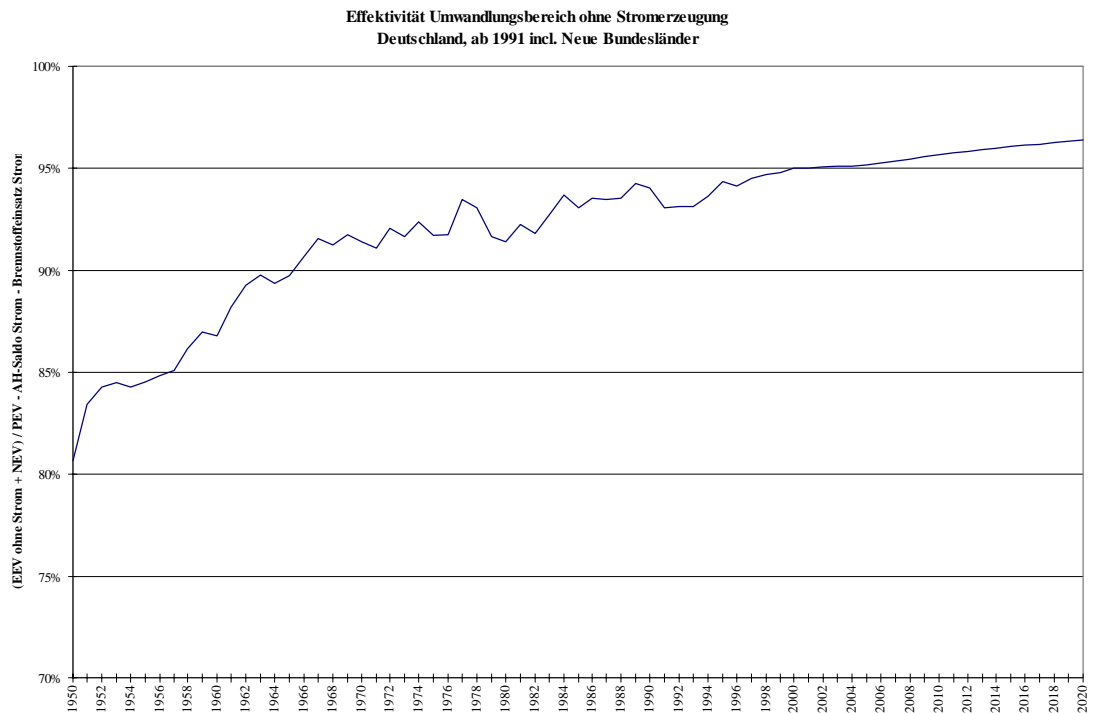


Quelle: eigene Darstellung

5.11 SONSTIGE UMWANDLUNGSBEREICHE UND ANDERE VERLUSTE

Bei den sonstigen Umwandlungsbereichen (Raffinerien, Fernwärmeerzeugung, Koke-reien usw.) wird von einer weiterhin steigenden Effektivität ausgegangen, vgl. Abbildung 95.

Abbildung 95: Effektivität Umwandlungsbereich ohne Stromerzeugung

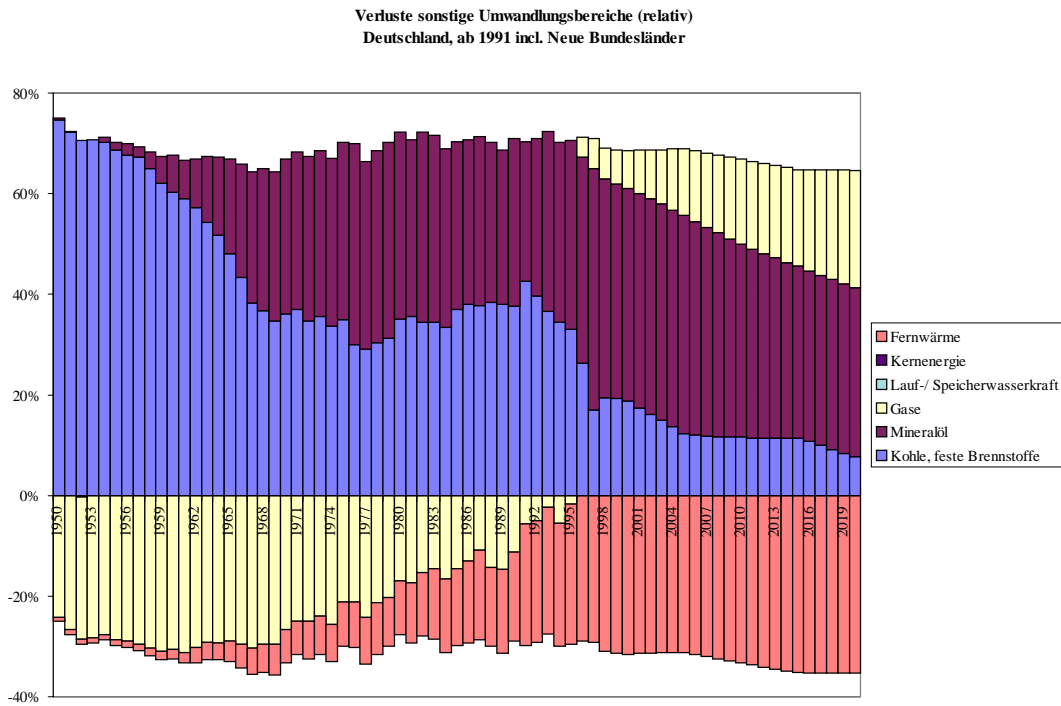


Quelle: eigene Darstellung

Bei der Energiestruktur wird angenommen, daß nur noch Fernwärme netto erzeugt werden wird. Während Gase bislang netto erzeugt wurden (künstliche Gase), wird sich hier ein Verlust einstellen; vor allem zur Fernwärmeerzeugung wird Erdgas in verstärktem Maße eingesetzt werden. Die Verluste bei der Refination werden deutlich zurückgehen; ebenso wird bei der Kohle ein deutlicher Rückgang der Netto-Umwandlungsverluste angenommen, vgl. Abbildung 96.

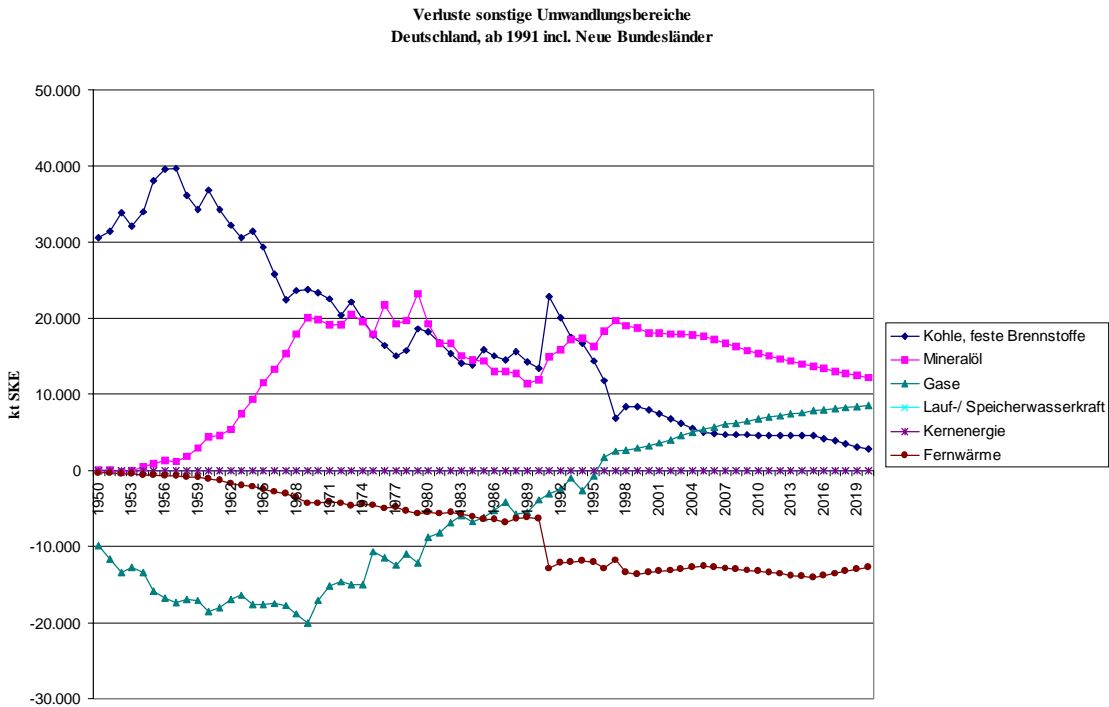
Damit ergeben sich die Verluste in den sonstigen Umwandlungsbereichen wie in Abbildung 97 dargestellt.

Abbildung 96: Verluste sonstige Umwandlungsbereiche (relativ)



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 97: Verluste sonstige Umwandlungsbereiche

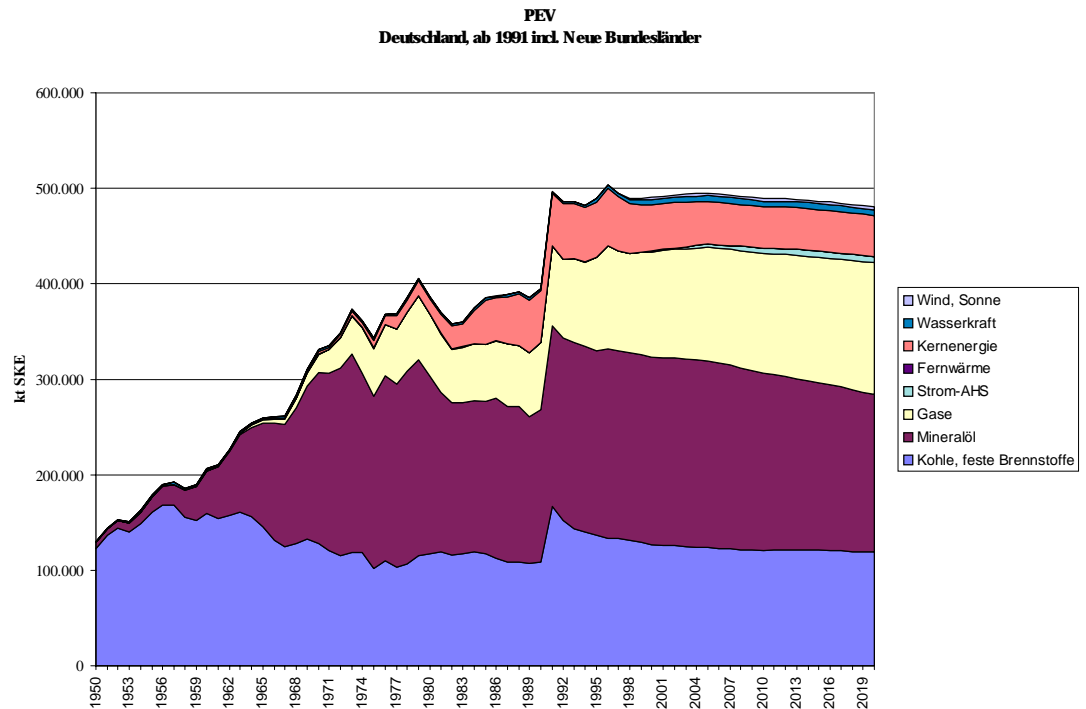


Quelle: eigene Darstellung

5.12 PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH

Der Primärenergieverbrauch stagniert nach den obigen Annahmen etwa auf heutigem Niveau bzw. geht noch leicht auf 481 Mio. t SKE zurück, vgl. Abbildung 98.

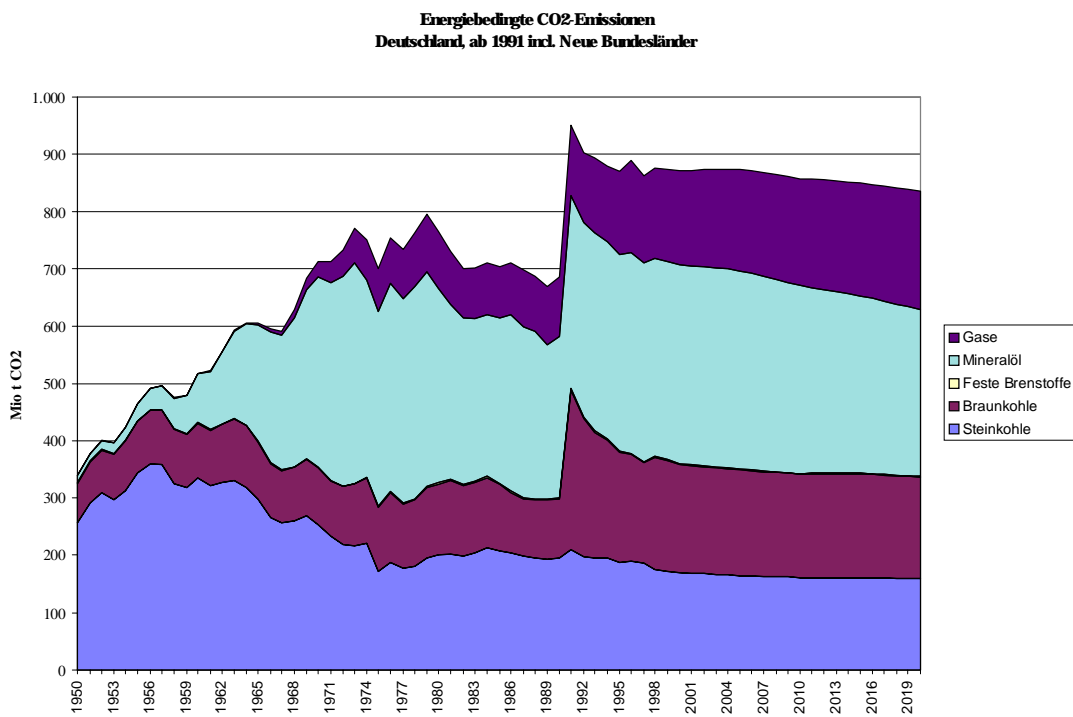
Abbildung 98: PEV



Quelle: eigene Darstellung

5.13 CO₂-EMISSIONEN

Damit stagnieren die CO₂-Emissionen ebenfalls, vgl. Abbildung 99. Das Ziel der Bundesregierung, die CO₂-Emissionen gegenüber 1990 um 25 % zu senken, wird allerdings verfehlt.

Abbildung 99: CO₂-Emissionen

Quelle: eigene Darstellung

6 FAZIT

Den Endenergieverbrauch Deutschlands in einem bestimmten Zieljahr läßt sich nicht mit Sicherheit vorhersagen. Trotzdem müssen in der Energiewirtschaft Entscheidungen getroffen werden, die eine Grundlage erfordern, so unsicher diese auch sein mag.

Eine solche Grundlage zu schaffen ist Ziel einer Reihe von Modellen, von denen einige in dieser Arbeit vorgestellt wurden. Bei nur wenigen dieser Modelle wird das Optimum zwischen dem so erzielten Nutzen – dem Gefühl, Entscheidungen auf einer soliden Grundlage treffen zu können – und den damit verbundenen Kosten erreicht.

Mit dem vorliegenden Modell ist ein Ansatz geschaffen, wie dieses Optimum möglicherweise erreicht werden kann. Dabei können einige Ansätze zu einer „genauen“ Modellierung des Energiemarkts nicht verfolgt werden, da entsprechende statistische Datenreihen nicht in konsistenter Form vorliegen.

Übrig bleibt ein Rumpfmodell, das je nach Belieben vom Benutzer verändert werden kann und sollte.

7 ANHANG

7.1 ANHANG 1: ENERGIETRÄGERLISTE IKARUS

	Kürzel	Heizwert, H _u	CO ₂ -Faktor	Brennwert, H _o	C-	S-	H ₂ - ¹⁾	O ₂ -
		MJ/kg	kg/MJ H _u	MJ/kg	Gehalt, Gew-%	Gehalt, Gew-%	Gehalt, Gew-%	Gehalt, Gew-%
<u>Steinkohlen:</u>								
Steinkohle (Kesselkohle)	SK	29,2	0,093	...	74,3	0,9	...	...
Steinkohle (Kokskohle)	SS	29,2	0,093	...	74,3	0,9	...	...
Steinkohlekoks	SC	28,7	0,108	...	84,7	0,5	...	...
Steinkohle (Brikettierkohle)	SB	29,2	0,093	...	74,3	0,9	...	...
Steinkohle (Industriequalität)	SI	29,2	0,093	...	74,3	0,9	...	...
Steinkohle (HUK-Qualität)	SH	29,2	0,093	...	74,3	0,9	...	...
Steinkohlenbrikett	ST	29,2	0,093	...	74,3	0,9	...	...
<u>Braunkohlen:</u>								
Braunkohle (Westdeutschland)	BW	8,2	0,111	...	24,9	0,5	...	...
Braunkohle (Westdeutschland) für Industrie	BI	8,8	0,113	...	27,1	...	...	...
Braunkohlenstaub (Westdeutschland)	BP	21,4	0,101	...	58,8	...	...	...
Braunkohlenbrikett (Westdeutschland)	BT	19,3	0,101	...	53,2	...	...	...
Braunkohlenkoks (Westdeutschland)	BC	29,9	0,107	...	87,7	...	...	...
Braunkohle (Westelbe)	BW	9,6	0,107	...	28,1	0,9	...	...
Braunkohle (Westelbe) für Industrie	BI	10,5	0,102	...	29,1	...	...	...
Braunkohlenbrikett (Westelbe)	BT	19,4	0,093	...	49,5	...	...	...
Braunkohle (Ostelbe)	BW	8,6	0,114	...	26,6	...	...	...
Braunkohle (Ostelbe) für Industrie	BI	8,3	0,111	...	25,2	...	...	...
Braunkohlenbrikett (Ostelbe)	BT	18,72	0,100	...	51,3	...	...	...
Braunkohlenstaub (Ostelbe)	BP	21,0	0,097	...	55,3	...	...	...
<u>Kernenergie:</u>								
Kernbrennstoff, LWR	KL	/	/	/	/	/	/	/
Kernbrennstoff, HTR	KH	/	/	/	/	/	/	/
<u>Fossile Gase:</u>								
Erdgas	GE	34,5	0,056	38,3	...	...	...	...
Kokereigas	GK	17,5	0,044	...	...	...	...	...
Stadtgas	GS	16,3	0,054	...	...	...	...	...
Gichtgas	GG	3,0	0,278	...	...	...	...	...

Grubenmethan	GU	18,0	0,054	...	...	...	...	...
Synthesegas (CO)	GA	12,6	0,155	...	...	...	...	...
SNG (=CH ₄)	GM	35,9	0,055	...	...	...	...	...
Propan	GP	93,2	0,063	101,2	...	...	...	...
Butan	GU	123,8	0,064	134,0	...	...	...	...
CNG	GC	34,5	0,056	38,3				
Deponiegas	GD	...	...	...	
Biogas (Klärgas)	GB	23,25	0,084	...				
<u>Öle und Ölprodukte</u>								
Erdöl _{roh}	PR	42,6	0,075	...	87,0	...	...	...
Motorenbenzin	PB	43,5	0,072	...	85,9	...	...	...
Heizöl _{el}	PL	42,7	0,074	...	85,9	0,2	...	...
Heizöl _s	PS	41,0	0,079	...	88,0	1,0	...	...
Dieselmotorkraftstoff	PD	42,7	0,074	...	85,9	...	...	...
Flugturbinenkraftstoff	PK	42,7	0,073	...	85,0	...	...	...
Rapsöl	PO	...	...	...	...	...	...	...
Raffineriegas	PG	41,8	0,054	...	...	...	...	...
Vakuum-Destillat	PV	...	...	...	...	...	...	...
andere Mineralölprodukte	PA	...	...	...	...	...	...	...
Flüssiggas	PF	46,3	0,065	...	81,8	...	...	...
Naphta	PN	...	...	...	...	...	...	...
Atm. Rückstand	PC	...	...	...	...	...	...	...
Schw. Rückstand	PP	...	...	...	...	...	...	...
Teer	PT	...	...	...	...	...	...	...
Unterfeuerung Raffinerie	PU							
Rückstand (schwer)	PP							
<u>Feste Produkte:</u>								
Petrolkoks	CP	29,3	0,119	...	95,5	...	...	...
Restkoks aus Kohleveredlung	CR	...	...	...	...	...	...	...
Rückstand aus Kohleveredlung	CS	...	...	...	...	...	...	...
Restkoks	CR							
<u>Regenerative:</u>								
Solarstrahlung	RS	/	/	/	/	/	/	/
Windkraft	RW	/	/	/	/	/	/	/
Wasserkraft (in Wasserkraftwerken)	RH	/	/	/	/	/	/	/
Geothermie	RT							
<u>Wasserstoff:</u>								
Wasserstoff	HG	119,9	0,0	141,8	0,0	0,0	100	0,0
<u>Elektrizität:</u>								
Strom (Art)	E (X)	/	/	/	/	/	/	/
<u>Fern- und Nahwärme:</u>								
Fernwärme/Nahwärme (Art)	F (X)	/	/	/	/	/	/	/

<u>Alkohole:</u>								
Methanol	AM	21,0	0,065	...	37,5	...	...	...
Ethanol	AE	27,7	0,069	...	52,1	...	...	...
<u>Müll:</u>								
Klärschlamm/Müll	MX	...	...	...	...	...	...	...
<u>Holz:</u>								
Brennholz	WX	14,5	0,104	...	41,0	...	...	...
<u>Biomasse</u>								
Biomasse	WX							

7.2 ANHANG 2: INPUT-OUTPUT-ANALYSEN

Mit Hilfe einer Input-Output-Tabelle sollen die Ströme einzelner Güter/ Gütergruppen von der Produktion bis zur Verwendung hin verdeutlicht werden, mithin die "Verflechtung der einzelnen Produktionsbereiche in einer Volkswirtschaft sowie deren Beiträge zur Wertschöpfung".¹²⁷ Das Schema einer solchen Input-Output-Tabelle ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Schema einer Input-Output-Tabelle

Input	Kauf von Vorleistungen (Prod.bereiche k = 1...n)					Endprodukte	Ex- por- te	Prod.wert = Verwen- dung d. Produkte aus inländi- scher Pro- duktion		
	1	2	...	k	...				n	Kon- sum	Brut- toinv.
1	M ₁₁	M ₁₂	...	M _{1k}	...	M _{1n}	C ₁	I ₁ ^{brutto}	EX ₁	B ₁
2	M ₂₁	M ₂₂	...	M _{2k}	...	M _{2n}	C ₂	I ₂ ^{brutto}	EX ₂	B ₂
...
J	M _{j1}	M _{j2}	...	M _{jk}	...	M _{jn}	C _j	I _j ^{brutto}	EX _j	B _j
...
N	M _{n1}	M _{n2}	...	M _{nk}	...	M _{nn}	C _n	I _n ^{brutto}	EX _n	B _n
Importe	Im ₁	Im ₂	...	Im _k	...	Im _n				
Abschreibungen	D ₁	D ₂	...	D _k	...	D _n				
Ind. St. - Subv.	T ₁ ^{ind.} - Z ₁	T ₂ ^{ind.} - Z ₂	...	T _k ^{ind.} - Z _k	...	T _n ^{ind.} - Z _n				
Eink. aus unselbst. Arbeit	L ₁	L ₂	...	L _k	...	L _n				
Eink. aus Untern. Tätgk. u. Vermög.	G ₁	G ₂	...	G _k	...	G _n				
Produktionswert = Aufkommen an Gütern aus inländischer Produktion	B ₁	B ₂	...	B _k	...	B _n				

¹²⁷ Franz Haslinger: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 5. Aufl., München/ Wien 1990, S. 109 ff.

Quelle: Franz Haslinger: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 5. Aufl., München/Wien 1990, S. 113

Zur Veranschaulichung ein Beispiel. Um ein Fabrikgebäude zu erstellen (Bauleistungen), bezieht ein Bauunternehmen Beton (Steine und Erden) im Wert von 40 TDM und Transportdienstleistungen im Wert von 15 TDM. Für die Arbeiter fallen Löhne in Höhe von 20 TDM an und für den Unternehmer als Einkommen 5 TDM. Für die Summe von 90 TDM wird das Fabrikgebäude abgeliefert. Von einer Besteuerung wird in diesem Beispiel abstrahiert. Eine Buchung in der Input-Output-Tabelle sähe dann aus wie in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Beispiel zur Input-Output-Tabelle

	Verwendung als Input (Vorleistung) für...			Letzte Verwendung für...			Prod.wert = Güterverwendung
	Steine/Erden	Bauleistungen	Verkehr	Konsum	Bruttoinvest.	Export	
Output von Steine/Erden		40					
Output von Bauleistungen							90
Output von Verkehr		15					
Einkommen aus unselbst. Tätigkeit		20					
Einkommen aus Untern.tätigkeit u. Vermögen		5					
Prod.wert = Güteraufkommen		90					

Quelle: eigene Darstellung

7.3 ANHANG 3: EINHEITEN

Einheit	kJ	kg SKE	kcal	kWh	BTU	Therm	t RÖE
KJ	1	0,0000341	0,2388	0,0003	0,95	0,00001	
kg SKE	29300	1	7000	8,13	27,731	,27731	
Kcal	4,1868	0,000143	1	0,001163	3,968	0,00003968	
KWh	3600	0,123	860	1	3411	0,03411	
BTU	1,055	0,00003606	0,252	0,000293	1	0,00001	
Therm	105506	3,606	25200	29,3	100000	1	
t RÖE							1

7.4 ANHANG 4: SEKTORAGGREGIERUNG DES MIS-MODELLS

Tabelle 3: Sektoragggregation des MIS-Modells (Stand: Januar 1994)

	AGEP-Gliederung	Gliederung des Statistischen Bundesamtes
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung in IOT (Nr. SIO)
1	Kohle	Gewinnung von Kohle, Herstellung von Erzeugnissen des Kohlenbergbaus

	AGEP-Gliederung	Gliederung des Statistischen Bundesamtes
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung in IOT (Nr. SIO)
		(6)
2	Mineralöl	Herstellung von Mineralölerzeugnissen (10)
3	Gas	Erzeugung und Verteilung von Gas (4) Gewinnung von Erdöl/Erdgas (8)
4	Strom und Dampf	Erzeugung und Verteilung Elektrizität, Dampf, Warmwasser (3)
5	Raumwärme Haushalte	Sektor liefert Raumwärme an Wohnungen und Wirtschaftszweige und entsteht durch Umbuchen von geschätzten Anteilen aus dem Verbrauch dieser Sektoren bzw. dem Anlagekapital
6	Kernbrennstoff	Sektor entsteht durch Auslagerung aus Sektor 9
7	Reg. Energie	Sektor entsteht durch Auslagerung aus Energiesektoren
8	Sonstige Energie	Rest der Energie (Müll etc.)
9	Motorisierter Individualverkehr (MIV)	Sektor liefert Verkehrsleistungen von PKW, Kombinationskraftwagen und Krafträdern und entsteht bei den Haushalten und Produktionssektoren durch Umbuchungen von Kfz-Käufen und Kraftstoffen etc.
10	Busverkehr	ein Teil der Dienstleistungen des Sonstigen Verkehrs (48). Umfaßt Verkehrsleistungen, die mit Bussen erbracht werden
11	ÖPNV	ein Teil der Dienstleistungen des Sonstigen Verkehrs (48). Umfaßt Verkehrsleistungen, die von U-, S- und Straßenbahnen erbracht werden (schienegebundener öffentl. Personenverkehr)
12	Bahnpersonenverkehr	ein Teil der Dienstleistungen der Eisenbahnen (45). Nur die Leistungen des Personenverkehrs
13	LKW-Verkehr	ein Teil der Dienstleistungen des Sonstigen Verkehrs (48). Umfaßt den gewerblichen Straßengüterverkehr und den Werkverkehr, der durch Umbuchungen diesem Sektor zugerechnet wird.
14	Bahngüterverkehr	ein Teil der Dienstleistungen der Eisenbahnen (45). Nur die Leistungen des Güterverkehrs.
15	Binnenschiffsverkehr	Dienstleistungen der Schifffahrt. Umfaßt die Leistung der Binnenschifffahrt und Binnenhäfen.
16	Sonstiger Verkehr	Der Rest der Dienstleistungen des Sonstigen Verkehrs (48). Leistungen des Luftverkehrs, der Rohrfernleitungen und der Verkehrsvermittlung. der Rest der Dienstleistungen der Schifffahrt (46). Leistungen der Seeschifffahrt und der Seehäfen.
17	Landw./Forst./Fischh.	Erzeugung von Produkten der Landwirtschaft (1) Erzeugung von Produkten der Forstwirtschaft, Fischerei usw. (2)
18	Chemie/Gummi	Herstellung von chemischen Erzeugnissen, Spalt- und Brutstoffen (9) (Kernbrennstoffe werden ausgelagert) Herstellung von Kunststoff-erzeugnissen (11) Herstellung von Gummierzeugnissen (12)
19	Steine/Erden	Gewinnung von Steinen und Erden, Herstellung von Baustoffen usw. (13)
20	sonst. Industrie	Gewinnung von Bergbauerzeugnissen (ohne Kohle, Erdöl, Erdgas) (7) Herstellung von feinkeramischen Erzeugnissen (14) Herstellung von Glas und Glaswaren (15) Herstellung von Musikinstrumenten, Spielwaren, Sportgeräten, Schmuck usw. (29) Bearbeitung von Holz (30) Herstellung von Holzwaren (31) Herstellung von Erzeugnissen der Druckerei und Vervielfältigung (34) Herstellung von Leder, Lederwaren, Schuhen (35) Herstellung von Textilien (36) Herstellung von Bekleidung (37)
21	NE/Metalle	Herstellung von NE-Metallen, NE-Metallhalbzeug (16)
22	Eisen/Stahl	Herstellung von Eisen und Stahl (16)
23	Papier/Zellstoff	Herstellung von Zellstoff, Holzschliff, Papier, Pappe (32) Herstellung von Papier- und Pappwaren (33)
24	Fahrzeug/Elektro	Herstellung von Stahl- und Leichtmetallbauerzeugnissen, Schienenfahrzeugen (20) Herstellung von Maschinenbauerzeugnissen (21)

	AGEP-Gliederung	Gliederung des Statistischen Bundesamtes
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung in IOT (Nr. SIO)
		Herstellung von Büromaschinen, ADV-Geräten und -Einrichtungen (22) Herstellung von Straßenfahrzeugen (23) Herstellung von Wasserfahrzeugen (24) Herstellung von Luft- und Raumfahrzeugen (25) Herstellung von elektrotechnischen Erzeugnissen (26) Herstellung von feinmechanischen und optischen Erzeugnissen, Uhren (27) Herstellung von Eisen-, Blech- und Metallwaren (28)
25	Nahrungs- /Genußmittel	Herstellung von Nahrungsmitteln (38) Herstellung von Getränken (39) Herstellung von Tabakwaren (40)
26	Gießerei/Walz- werke	Herstellung von Gießereierzeugnissen (18) Herstellung von Erzeugnissen der Ziehereien, Kaltwalzwerke usw. (19)
27	Bau	Hoch- und Tiefbau u.ä. (41) Ausbau (42)
28	Wohnungen	Vermietung von Gebäuden und Wohnungen (51)
29	Dienstleistungen	Gewinnung und Verteilung von Wasser (5) Leistungen des Großhandels u.ä., Rückgewinnung (43) Leistungen des Einzelhandels (44) Leistungen des Postdienstes und Fernmeldewesens (47) Leistungen der Kreditinstitute (49) Leistungen der Versicherungen (ohne Sozialversicherung) (50) Marktbestimmte Leistungen des Gastgewerbes und der Heime (52) Leistungen der Wissenschaft und Kultur und der Verlage (53) Marktbestimmte Leistungen des Gesundheits- und Veterinärwesens (54) Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen usw. (55) Leistungen der privaten Organisationen ohne Erwerbszweck, häusliche Dienste (58)
30	Staat	Leistungen der Gebietskörperschaften (56) Leistungen der Sozialversicherung (57)

Quelle: Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE),
Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) (Hrsg.): IKARUS-Teilprojekt 1: Modelle,
3. Zwischenbericht, Jülich 1994, S.24 f., aktualisierte Form

7.5 EXKURS: HISTORISCHE ENTWICKLUNG VON PROGNOSEMODELLEN

Um die Qualität (d.h. den ex post-Nutzen) der Prognosen zu verbessern, wurden die Energiemodelle in dreifacher Hinsicht verändert. Erstens wurden neuere mathematische Techniken eingesetzt (z.B. Regressionsansätze, LP-Ansätze, Fuzzy Logic, künstliche Intelligenz), mit deren Hilfe die komplexen Vorgänge in der Energiewirtschaft besser abgebildet werden sollten. Zweitens wurde die Datenbasis ständig erweitert, um so eine bessere Grundlage für die eigenen Einschätzungen gewinnen zu können. In zunehmendem Maße wurden auch Randbereiche der Energiewirtschaft stärker berücksichtigt, z.B. durch Input-Output-Modelle der gesamten Volkswirtschaft. Der Trend zu formalen Änderungen stieg stark, nachdem im Zuge der ersten Ölpreiskrise 1973 deutlich wurde, daß sich der bei weitem größte Teil der Prognostiker verschätzt hatte. Die Prognostiker ver-

suchten daraufhin, sich gegen die öffentliche Kritik abzusichern¹²⁸ und schränkten den Informationsgehalt ihrer Prognosen teilweise drastisch ein. Die Prognosen wurden in konditionaler Form oder auch in Form von Wahrscheinlichkeitsaussagen abgegeben. Durch die Verwendung der Szenarientechnik wurde der Primärenergieverbrauch nicht mehr in Form einer Zahl, sondern nur noch als Bandbreite dargestellt. Bei modernen Ansätzen wird teilweise gar keine Aussage mehr getroffen über die Höhe des zukünftigen Primärenergieverbrauchs, sondern es werden nur noch die Zusammenhänge abgebildet, die innerhalb der Energiewirtschaft oder zwischen Ökonomie und Ökologie bestehen. Die eigentliche Prognose des Energieverbrauchs wird so an den Empfänger des Modells abgegeben.

Diese Entwicklungen sind in mehrfacher Hinsicht problematisch. Erstens wurden die Prognosen weder durch die Verwendung ausgefeilter ökonomischer Methoden noch durch einen niedrigeren Aggregationsgrad besser, zumal sich bestimmte Ereignisse wie z.B. der Fall der Berliner Mauer 1989 auch unter Zuhilfenahme der ausgefeiltesten Methoden nicht voraussehen lassen. Zweitens wurden die Modelle durch die erhöhte Komplexität immer teurer, und das trotz sinkender EDV-Kosten. Die Steigerung der Komplexität der Energiemodelle wurde teilweise durch eine Plausibilitätsprüfung am Ende der Modellierung wieder aufgehoben. Anschließend wurde das Modell so lange verändert, bis das Modellergebnis dem mentalen Modell des Prognostikers weitgehend entsprach. Drittens akzeptierten nur wenige Szenarien- oder Modellempfänger, daß ihnen die Aufgabe der Prognose übertragen wurde. Für die Beantwortung einer konkreten Frage der Art "Wieviel Kapazität müssen wir in den nächsten Jahren vorhalten?" schien die Antwort der Prognostiker: "Je nachdem." eben keine ausreichende Hilfestellung zu bieten, so daß Energieprognosen in vielen Unternehmen zunehmend kritischer betrachtet

¹²⁸ Der Unmut über den eigenen Fehler ging so weit, daß sogar die Zulässigkeit des Vergleichs zwischen prognostizierter und tatsächlicher Entwicklung angezweifelt wurde, vgl. Vgl. Manfred Härter (Hrsg.): Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogener Aussagen : exemplarisch untersucht an Energie"prognosen" für den Bereich der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt am Main/ Bern/ New York 1985, S. 36 ff.

wurden und sicherheitshalber die Kapazitäten eher zu hoch als zu niedrig gehalten wurden.

Literaturverzeichnis

Günter Altner u.a.	Zukünftige Energiepolitik, Bonn 1995
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen	Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 1996 – Berechnungen auf Basis des Wirkungsgradansatzes – vorläufige Angaben, Stand: 15. Juli 1997, Berlin/ Köln 1997 (unveröffentlicht)
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen	Vorwort zu den Energiebilanzen vom Bilanzjahr 1995 an, Entwurf des DIW, Berlin 1998 (unveröffentlicht)
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen	Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, mehrbändige Loseblattsammlung, Frankfurt (M) 1971
Thomas Baumgartner/ Atle Midttun (Hrsg.)	The Politics of Energy Forecasting, Oxford 1987
P.W. Beck	Strategic Planning in the Royal Dutch/ Shell Group, New Orleans 1977
Jörg Biethahn/ Harry Muksch/ Walter Ruf	Ganzheitliches Informationsmanagement, Band I: Grundlagen, München/ Wien 1990
BP (Hrsg.)	BP Statistical Review of World Energy 1996, London 1996
Manfred Bretz	Bevölkerungsvorausschätzungen – statistische Grundlagen und Probleme, in: Wirtschaft und Statistik Nr. 4/1986
Bundesverkehrsministerium (Hrsg.)	Verkehr in Zahlen 1997, Berlin 1997, bearbeitet von Sabine Radke (DIW)
Bundeswirtschaftsministerium (Hrsg.)	EnergieDaten, Bonn, verschiedene Jahrgänge
Jürgen Christoffer	Analyse der winterlichen Gradtagzahlen von 1991/92 bis 1995/96, in: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik Nr. 12/1996, Bd. 47, S. 29 ff.
Jürgen Christoffer	Die Jahresgradtagzahl von Deutschland, in: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik Nr. 3/1995, Bd. 46, S. 149 ff.
Rudolf K.-H. Dennerlein	Energieverbrauch privater Haushalte, Augsburg 1989
Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.)	Verkehr in Zahlen 1991, Berlin 1991, bearbeitet von Heinz Enderlein und Bernhard Schrader (DIW)
Deutsche Shell AG (Hrsg.)	Perspektiven für Erdöl und Erdgas im 21. Jahrhundert, Aktuelle Wirtschaftsanalysen, Heft 27, 10/1996
DIW, EWI, RWI (Hrsg.)	Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986
Konrad Eckerle/ Peter Hofer/ Klaus P. Masuhr	Die energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010 unter Einbeziehung der fünf neuen Bundesländer, Basel 1991
Konrad Eckerle u.a.	Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa – Perspektiven bis zum Jahr 2020, Basel 1995
Energy Systems Group,	The Use of Simulation Models in Energy Planning, Risø

Risø National Laboratory (Hrsg.)	International Conference, Risø 9-11 May 1983
Esso AG (Hrsg.)	Energieprognose '94 Mobil bleiben - Umwelt schonen, Hamburg 1994
Esso AG (Hrsg.)	Energieprognose Moderne Heizung – aktiver Klimaschutz, Hamburg 1995
Esso AG (Hrsg.)	Industrie verbraucht weniger Energie, Hamburg 1996
Esso AG (Hrsg.)	Esso Energieprognose '97 Mehr Strom aus Gas, Hamburg 1997
Eurostat (Hrsg.)	Bevölkerungsstatistik 1995, Themenkreis 3 - Bevölkerung und soziale Bedingungen, Reihe A – Jahrbücher und jährliche Statistiken, Luxemburg 1995
Bernhard Felderer/ Stefan Homburg	Makroökonomik und neue Makroökonomik, 5. Aufl., Berlin/ Heidelberg/ New York 1991
Hans-Joachim Gerster	IKARUS: Erste Ergebnisse einer CO ₂ -Reduktionsstrategie für das Jahr 2005 - Potentiale und gesamtwirtschaftliche Mehrkosten für die alten Bundesländer, in: ET (46) 4/1996
Rainer Görgen/ Hans-Joachim Ziesing	Zur Reform der Energiebilanzen, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 1/2, 46. Jg., 1996
Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.)	Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Bd. 15/1994, Jülich 1994
Jürgen-Friedrich Hake u.a. (Hrsg.)	Energieforschung aus technischer, ökonomischer, ökologischer und politischer Sicht, Jülich 1995
Jürgen-Friedrich Hake u.a.	Modelle (TP1), in: VDI-Berichte Nr. 1043/1993
Manfred Härter	Güte- und Erfolgsbeurteilung zukunftsbezogener Aussagen - exemplarisch untersucht an Energie"prognosen" der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt (M)/ Bern/ New York 1985
Manfred Härter (Hrsg.)	Energieprognosen für die Bundesrepublik Deutschland, Köln 1986
Manfred Härter (Hrsg.)	Energieprognostik auf dem Prüfstand, Köln 1988
Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung (Hrsg.)	Endenergieverbrauch der privaten Haushalte nach Energieträgern und Anwendungsbereichen (unveröffentlicht)
Jochen Hesselbach	Gesamtbilanz Energie 1990 – Wirtschaftsraum der fünf neuen Bundesländer in der Bundesrepublik Deutschland, herausgegeben vom Institut für Energetik GmbH, Leipzig 1991
P. Jagodzinsky u.a.	IKARUS - Dokumentation des Optimierungsmodells - Anhang 1: Strukturbilder - Teil 1: Primäre Energieträger und Umwandlungssektoren, Interner Bericht KFA-STE-IB-6/95, Jülich 1995

P. Jagodzinsky u.a.	IKARUS – Dokumentation des Optimierungsmodells - Anhang 1: Strukturbilder - Teil 2: Endverbrauchersektoren, Interner Bericht KFA-STE-IB-6/95, Jülich 1995
P. Jagodzinsky u.a.	IKARUS - Dokumentation des Optimierungsmodells - Anhang 1: Strukturbilder - Teil 3: Oberstruktur (Logistik), Interner Bericht KFA-STE-IB-6/95, Jülich 1995
Franz Haslinger	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, 5. Aufl., München/Wien 1990
Claudia Kemfert/ Wilhelm Kuckshinrichs	MIS - A Model-Based Macroeconomic Information System For Energy Analysis in Germany, Discussion Paper No. V-153-95, Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionsbeiträge der Carl v. Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg 1995
Sven Kolmetz / Lothar Rouvel	Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte, Monographien des Forschungszentrums Jülich, Jülich 1995
Philip Kotler/ Friedhelm Bliemel	Marketing-Management, 8. Aufl., Stuttgart 1995
Michael Kraus	Energieprognosen in der Retrospektive, Diss., Karlsruhe 1988
Knut Kübler	Klimaschach in Deutschland: Matt oder Remis?, in: ZfE 4/92, S. 283 ff.
Hans Michaelis/ Carsten Salander (Hrsg.)	Handbuch Kernenergie, 4. Aufl., Frankfurt am Main 1995
John F. Muth	Rational Expectations and the Theory of Price Movements, in: Econometrica Nr. 29, 1961, S. 315 ff.
o.V.	Deutschland rückt bei Solarenergie in die Weltspitze, in: Handelsblatt vom 4.11.1997
o.V.	Entwicklung der Bevölkerung bis 2040, Ergebnis der achten koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung, in: Wirtschaft und Statistik 7/1994
Wolfgang Pfaffenberger/ Wolfgang Ströbele	Makroökonomisches Informationssystem Ikarus, Band 1, Beschreibung des Modells MIS, Version 4, Oldenburg 1995
Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) (Hrsg.)	IKARUS - Teilprojekt 1: Modelle - 2. Zwischenbericht, Jülich 1993
Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) (Hrsg.)	IKARUS - Teilprojekt 1: Modelle - 3. Zwischenbericht, Jülich 1994

Johannes Ruhland	Quantitative Energiekrisenplanung, München 1987
RWE (Hrsg.)	Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland, Essen, verschiedene Jahrgänge
Hans-Wilhelm Schiffer	Deutscher Energiemarkt '96, in: ET Heft 3/1997, 47. Jg., S. 152 ff.
Kay Schlette	Analyse des IKARUS-Optimierungsmodells anhand verschiedener Praktikabilitätskriterien, Studie der AGEP Oldenburg im Auftrag von STE, Hamburg 1996 (unveröffentlicht)
Heinz-Jürgen Schürmann	Erdgas kann noch kräftig zulegen, in: Handelsblatt Nr. 229, 27.11.1995, S. 14
Heinz-Jürgen Schürmann	Politische Energieverknappung?, in: Handelsblatt vom 1.8.1996
Statistisches Bundesamt (Hrsg.)	Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 1 Gebiet und Bevölkerung, Stuttgart 1997
Statistisches Bundesamt (Hrsg.)	Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 1.S.2 Allgemeine Sterbetafel für die Bundesrepublik Deutschland (Gebietsstand vor dem 3.10.1990) 1986/88, Wiesbaden 1991
Statistisches Bundesamt (Hrsg.)	Fachserie 1 Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Reihe 3 Haushalte und Familien
Statistisches Bundesamt (Hrsg.)	Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.2 Vorbericht, Stuttgart 1997
Statistisches Bundesamt (Hrsg.)	Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.3 Hauptbericht, Stuttgart 1997
Statistisches Bundesamt (Hrsg.)	Modellrechnungen zur Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2040, (Wiesbaden) 1996
Statistisches Bundesamt (Hrsg.)	Statistisches Jahrbuch 1996 für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 1996
Michael Strogies (Umweltbundesamt):	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen in Deutschland nach Energieträgergruppen 1970-1996, Berlin 1997 (unveröffentlicht)
Paul H. Suding	Strukturen des Energieverbrauchs der Haushalte und Kleinverbraucher, München 1982
Robert M. Thrall/ Russell G. Thompson/ Milton L. Holloway (Hrsg.)	Large Scale Energy Models. Prospects and Potential, Boulder (Colorado), 1983
VdEW-Arbeitskreis Nutzenergiebilanzen	Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland nach Anwendungsbereichen im Jahre ..., Frankfurt (M), verschiedene Jahrgänge
VDI (Hrsg.)	Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen, VDI 2067, Blatt 1, Berlin/Köln 1983

Manfred Walbeck u.a.	Energie und Umwelt als Optimierungsaufgabe, Berlin/ Heidelberg/ New York 1988
Martin Wietschel	Zur kosteneffizienten Minderung von CO ₂ -Emissionen für Optionen der Energieversorgungs- und Energienachfrageebene - Entwicklung eines partiellen Gleichgewichtsmodells, (Diss.), Karlsruhe 1994
Dietmar Winje/ Dietmar Witt	Energiewirtschaft, Handbuchreihe Energieberatung, Energiemanagement Bd. 2; Berlin/ Heidelberg 1991
World Bank/ United Nations Development Program (UNDP)/ Bilateral Aid/ Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP) (Hrsg.)	Assessment of Personal Computer Models for Energy Planning in Developing Countries
W. T. Ziemba/ S. L. Schwartz (Hrsg.)	Energy Policy Modeling: United States and Canadian Experiences, Vol II: Integrative Energy Policy Models, Hingham (MA) 1980
Hans-Joachim Ziesing	Entwicklung des Energieverbrauchs und seiner Determinanten in der ehemaligen DDR, herausgegeben vom DIW, Berlin 1991

Erklärung

Ich versichere, daß ich die vorstehende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und mich anderer als der im beigefügten Verzeichnis angegebenen Hilfsmittel nicht bedient habe.

Hamburg, 5. Mai 1999

Kay Schlette

LEBENS LAUF

- Aug. '78 - Juli '87 Gymnasium Oldenfelde, Hamburg
- Juli - Sept. '87 Praktikum bei Alfred Kochen KG (Im- und Export von Chemikalien), Hamburg
- Okt. '87 - Sept. '90 Ausbildung im dualen System ("Hamburger Modell") zum Wirtschaftsinformatiker (BA) bei Fa. Deutsche Shell AG, Hamburg, und an der Wirtschaftsakademie Schleswig-Holstein, Kiel
Abschlüsse: Wirtschaftsinformatiker (BA)
Industriekaufmann
Ausbildereignung
- Okt. '90 - Dez. '94 Studium der Volkswirtschaftslehre (Grundstudium) und der Betriebswirtschaftslehre (Hauptstudium) an der Universität Hamburg.
Abschluß: Diplom-Kaufmann
Praktische Tätigkeiten während des Studiums:
März '91 - Feb. '95 Praktikum und Beratertätigkeit für Deutsche Shell AG, Hamburg, Abt. Controlling SAP-Koordination
Aug. '92 Praktikum bei Fa. Albatir S.r.l. (Internationale Spedition), Mailand (Italien)
März - April '93 Praktikum bei Fa. Rafineria Gdanska S.A., Danzig (Polen)
Aug. - Sept. '93 Praktikum bei Fa. "Nordsee" Deutsche Hochseefischerei GmbH, Bremerhaven, Betriebswirtschaftliche Abteilung
- Apr. '95 – März '98 Dissertation an der Universität Oldenburg, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Thema: „Entwicklung eines praxisorientierten und rechnergestützten Modells zur Prognose des deutschen Energieverbrauchs“
Praktische Tätigkeiten während der Dissertation:
Nov. '95 - Nov. '96 Berater für Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung
Feb. '95 – März '98 Berater-/Teilzeittätigkeit als Controller bei Deutsche Shell AG, Hamburg. Schwerpunkte: Beteiligungscontrolling, Arbeitsablaufanalysen, interne Revision, Gruppenberichterstattung
- Apr. '98 – März '99 Controller bei Deutsche Shell AG, Hamburg, Abt. Finance Controlling Planning.
Aufgaben: Focal Point Management-Informationen-Systeme, Koordination der Aktivitäten bzgl. Data Warehouses, Mitwirkung beim Planungsprozeß
- seit Apr. '99 Projekt-Controller bei Vasa Energy GmbH & Co. KG, Hamburg, Abt. Independent Power Producer.
Aufgaben: Kaufmännische Betreuung Kraftwerks-Projekte, strategische Geschäftsfeldplanung