

Zur Qualität nationaler Energie- und Emissionsprojektionen

Eine quantitative und hypothesenbasierte Analyse ihrer Genauigkeit am Beispiel der US-Energienachfrage- und Emissionsprojektionen der Jahre 1983 bis 2004

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.) der Universität Flensburg, Fachbereich Volkswirtschaftslehre

Betreuer:

Prof. Dr. Olav Hohmeyer
Universität Flensburg

Prof. Dr. Peter Hennicke
Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie

Vorgelegt von Stefan Lechtenböhrer

Endfassung

Münster, Juni 2008



Für Andrea, Raphael und Tobias

Danksagung

Für die hervorragende Betreuung, die den Umständen einer externen Promotion – die ich über mehrere Jahre neben meiner Tätigkeit am Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie geschrieben habe – stets gerecht wurde, bedanke ich mich sehr bei Prof. Dr. Olav Hohmeyer vom Institut für Internationales Management der Universität Flensburg und Prof. Dr. Peter Henricke vom Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie.

Ebenfalls möchte ich meinen Kolleginnen und Kollegen im Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie und den Doktorandinnen und Doktoranden des Bereichs Energie- und Umweltmanagement der Universität Flensburg für den breiten und immer anregenden fachlichen Austausch und die gute freundschaftliche Arbeitsatmosphäre danken. Der nötige Freiraum für die Fertigstellung der Arbeit im Sommer 2007 wurde mir durch die Forschungsgruppe Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik mit finanzieller Förderung durch den Verein der Freunde und Förderer des Wuppertal Instituts ermöglicht.

Für die hilfreichen und klärenden Diskussionen über die letzten Fassungen der Arbeit danke ich Dr. Kora Kristof, Andrea Lechtenböhrer und Dr. Hans-Jochen Luhmann, für intensives Korrekturlesen Carina Holl und Hildegard Lechtenböhrer.

Vor allem danke ich meiner Familie, die mich während der gesamten Zeit immer unterstützt und mir den Rücken gestärkt hat, ihr widme ich diese Arbeit.

Allen hier erwähnten und nicht erwähnten Unterstützern dieser Arbeit gilt mein herzlicher Dank. Es hat trotz aller Anstrengung viel Spaß gemacht diese Arbeit zu schreiben und so viel Unterstützung und Solidarität von Euch und Ihnen zu erfahren!

Münster im Juli 2008

Stefan Lechtenböhrer

Gliederungsübersicht

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund und Motivation	1
1.2	Aufbau der Arbeit	3
2	Einordnung des Untersuchungsgegenstands: Emissionsprojektionen als spezielle Methoden der Zukunftsvorausschau	6
2.1	Methoden der Zukunftsvorausschau	6
2.2	Nationale Emissionsprojektionen im Rahmen der Klimarahmenkonvention	22
3	Theoretischer Hintergrund: Ableitung von Qualitätsaspekten für Emissionsprojektionen	31
3.1	Erkenntnistheoretischer Hintergrund der Erstellung von Prognosen	31
3.2	Erkenntnistheoretische und ontologische Probleme und Grenzen von Zukunftsstudien und Prognosen	37
3.3	Qualitätskriterien zur Beurteilung von Prognosen und Projektionen	39
3.4	Genauigkeit als zentrales Qualitätskriterium	43
4	Methodische Grundlagen der ex-post Evaluierung der Genauigkeit von Emissionsprojektionen	47
4.1	Quantitative ex-post Evaluierung	48
4.2	Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Emissionsprojektionen	56
5	Der Untersuchungsgegenstand: Die Annual Energy Outlooks der US-Energy Information Administration	66
5.1	Realentwicklung: Energiedienstleistungen, Endenergieeinsatz und CO ₂ -Emissionen der Energieverbrauchssektoren der USA, 1983 bis 2004	66
5.2	Basisdaten: Kurzüberblick über die Endenergienachfragestatistik der USA	75
5.3	Projektionsmodell der Annual Energy Outlooks: Die Modelle IFFS und NEMS	79
6	Quantitativ-deskriptive Fehleranalyse der ausgewählten Teilprognosen der AEOs	95
6.1	Prognosemodell und Fehlerkombination	96
6.2	Datenaufbereitung und Fehlertypen	99
6.3	Fehleranalyse der Projektionen des BIP und der Nachfragesektoren	108
6.4	Trendfehler der zusammengesetzten CO ₂ -Emissionsprojektionen	174
6.5	Zusammenfassung: Fehlerquellen der CO ₂ -Emissionsprojektionen	184
7	Analyse ausgewählter Hypothesen zu wesentlichen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen an Beispielen aus den AEOs	194
7.1	Auswahl der Untersuchungshypothesen	194
7.2	Analyse erstellungszeitspezifischer Faktoren	201
7.3	Analyse methodischer und prognosespezifischer Faktoren	245
7.4	Analyse gegenstandsspezifischer Faktoren	280
7.5	Zusammenfassung: Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen	287
8	Zusammenfassung, Gesamtergebnis und Ausblick	293
8.1	Kernfragen und Untersuchungsdesign	295
8.2	Zusammenfassung: Ergebnisse der ex-post Analyse der Genauigkeit nationaler Emissionsprojektionen und ihrer Einflussfaktoren	296
8.3	Gesamtergebnis und Schlussfolgerungen	315
8.4	Empfehlungen und Ausblick	321
9	Literaturverzeichnis	328

Datenanhang (separat gebunden)

Gliederung

Gliederung	iv
Abbildungen	x
Tabellen	xvii
Gleichungen	xix
Abkürzungen	xx
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	1
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Einordnung des Untersuchungsgegenstands: Emissionsprojektionen als spezielle Methoden der Zukunftsvorausschau	6
2.1 Methoden der Zukunftsvorausschau	6
2.1.1 Kurze Entstehungsgeschichte	6
2.1.2 Übersicht über die wichtigsten etablierten Methoden	9
2.1.2.1 Prognoseverfahren	10
2.1.2.2 Szenariomethoden	11
2.1.2.3 Expertenbefragungen	14
2.1.2.4 Kreativmethoden	15
2.1.3 Wichtige Anwendungsbereiche der Zukunftsvorausschau am Beispiel der Szenariotechnik	17
2.1.3.1 Forschungsplanung und Innovationspolitik	17
2.1.3.2 Strategische Unternehmensplanung	18
2.1.3.3 Räumliche Planung	18
2.1.3.4 Umwelt-, Energie-, Ressourcen und Nachhaltigkeit	19
2.2 Nationale Emissionsprojektionen im Rahmen der Klimarahmenkonvention	22
2.2.1 Rolle, Definition und Anforderungen	24
2.2.2 Stand nationaler Emissionsprojektionen	24

2.2.3	Einordnung in die Methoden der Zukunftsvorausschau	26
2.2.4	Ausblick: Emissionsprojektionen als Instrumente einer zielorientierten Politiksteuerung	28
3	Theoretischer Hintergrund: Ableitung von Qualitätsaspekten für Emissionsprojektionen	31
3.1	Erkenntnistheoretischer Hintergrund der Erstellung von Prognosen	31
3.1.1	Definition rationaler Prognosen	31
3.1.2	Einige wissenschaftstheoretische Probleme rationaler Prognosen	32
3.1.2.1	<i>Die Stabilitätshypothese und der Determinismus</i>	33
3.1.2.2	<i>Das Induktionsproblem</i>	33
3.1.2.3	<i>Das deduktiv-nomologische Explikationsschema und die These der logischen Strukturgleichheit von Erklärung und Vorhersage</i>	34
3.1.2.4	<i>Interventionsparadoxien</i>	35
3.1.2.5	<i>Fazit</i>	36
3.2	Erkenntnistheoretische und ontologische Probleme und Grenzen von Zukunftsstudien und Prognosen	37
3.3	Qualitätskriterien zur Beurteilung von Prognosen und Projektionen	39
3.4	Genauigkeit als zentrales Qualitätskriterium	43
4	Methodische Grundlagen der ex-post Evaluierung der Genauigkeit von Emissionsprojektionen	47
4.1	Quantitative ex-post Evaluierung	48
4.1.1	Ansatz der hier durchgeführten Analyse	50
4.1.2	Konfidenzintervalle als Maßstab der Prognoseunsicherheit	51
4.1.3	Relevante Elemente von Emissionsprojektionen – Konzentration auf zentrale Basisgrößen	52
4.1.4	Wahl des Fehlermaßes	54
4.2	Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Emissionsprojektionen	56
4.2.1	Erstellungszeitspezifische Einflussfaktoren	57
4.2.2	Methodische bzw. prognosespezifische Einflussfaktoren	59
4.2.3	Weitere (vor allem gegenstandsspezifische) Faktoren	62
4.2.4	Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen und Grenzen der Prognostizierbarkeit	64

5	Der Untersuchungsgegenstand: Die Annual Energy Outlooks der US-Energy Information Administration	66
5.1	Realentwicklung: Energiedienstleistungen, Endenergieeinsatz und CO ₂ -Emissionen der Energieverbrauchssektoren der USA, 1983 bis 2004	66
5.2	Basisdaten: Kurzüberblick über die Endenergienachfragestatistik der USA	75
5.3	Projektionsmodell der Annual Energy Outlooks: Die Modelle IFFS und NEMS	79
5.3.1	1982 bis 1992: Das Intermediate Future Forecasting System (IFFS)	79
5.3.2	Ab 1993: Das National Energy Modelling System (NEMS)	80
5.3.3	Die Modellierung Energienachfrage im IFFS und im NEMS	81
5.3.3.1	<i>Energienachfrage im Haushaltssektor</i>	82
5.3.3.2	<i>Energienachfrage im GHD Sektor</i>	85
5.3.3.3	<i>Energienachfrage der Industrie</i>	88
5.3.3.4	<i>Energienachfrage des Verkehrs</i>	90
5.3.3.5	<i>Zusammenfassung zur Modellierung der Energienachfrage</i>	93
6	Quantitativ-deskriptive Fehleranalyse der ausgewählten Teilprognosen der AEOs	95
6.1	Prognosemodell und Fehlerkombination	96
6.2	Datenaufbereitung und Fehlertypen	99
6.2.1	Aufbereitung geeigneter historischer Zeitreihen	99
6.2.2	Fehleraufteilung	100
6.2.2.1	<i>Basisjahrfehler</i>	101
6.2.2.2	<i>Variabilitätsfehler</i>	102
6.2.3	Trendfehler	103
6.2.4	CO ₂ -gewichteter Trendfehler	105
6.2.5	Lineare Extrapolation als Kontrollgröße	106
6.2.6	Fehlerdarstellung	106
6.3	Fehleranalyse der Projektionen des BIP und der Nachfragesektoren	108
6.3.1	Fehleranalyse der Projektionen des Bruttoinlandsprodukts	109
6.3.1.1	<i>Datenaufbereitung</i>	111
6.3.1.2	<i>Basisjahrkorrektur</i>	113
6.3.1.3	<i>Variabilitätsfehler</i>	115

6.3.1.4	<i>Fehleraufteilung</i>	116
6.3.1.5	<i>Zusammenfassung</i>	123
6.3.2	Fehleranalyse der Projektionen für den Haushaltssektor	124
6.3.2.1	<i>Basisjahrfehler</i>	124
6.3.2.2	<i>Variabilitätsfehler</i>	126
6.3.2.3	<i>Trendfehler der Prognosevariablen</i>	127
6.3.3	Fehleranalyse der Projektionen für den GHD-Sektor	139
6.3.3.1	<i>Basisjahrfehler</i>	139
6.3.3.2	<i>Variabilitätsfehler</i>	141
6.3.3.3	<i>Trendfehler der Prognosevariablen</i>	143
6.3.4	Fehleranalyse der Projektionen in für die Industrie	151
6.3.4.1	<i>Basisjahrfehler</i>	151
6.3.4.2	<i>Variabilitätsfehler</i>	155
6.3.4.3	<i>Trendfehler der Prognosevariablen</i>	156
6.3.5	Fehleranalyse der Projektionen für den Verkehrssektor	164
6.3.5.1	<i>Basisjahrfehler</i>	164
6.3.5.2	<i>Variabilitätsfehler</i>	166
6.3.5.3	<i>Trendfehler der Prognosevariablen</i>	167
6.4	Trendfehler der zusammengesetzten CO ₂ -Emissionsprojektionen	174
6.4.1	Trendfehler der CO ₂ -Emissionsprojektionen, Aufteilung und Fehlerkompensation nach Prognosestufen	175
6.4.1.1	<i>Fehleraufteilung und Fehlerkompensation</i>	175
6.4.1.2	<i>Ergebnis: Trendfehler</i>	180
6.4.2	Trendfehler der CO ₂ -Emissionsprojektionen nach Strom und Brennstoffen	182
6.5	Zusammenfassung: Fehlerquellen der CO ₂ -Emissionsprojektionen	184
7	Analyse ausgewählter Hypothesen zu wesentlichen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen an Beispielen aus den AEOs	194
7.1	Auswahl der Untersuchungshypothesen	194
7.2	Analyse erstellungszeitspezifischer Faktoren	201
7.2.1	Hypothese Z1: Übersehen von Trendänderungen (Assumption drag)	201
7.2.1.1	<i>Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese Z1</i>	202
7.2.1.2	<i>Identifikation von Trendänderungen als Voraussetzung für Hypothese Z1</i>	203

7.2.1.3	<i>Analyse der Trendbrüche im Verkehrssektor in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die Prognosen</i>	206
7.2.1.4	<i>Analyse der Trendbrüche in der Industrie in Bezug auf ihren Einfluss auf die Prognosen</i>	211
7.2.1.5	<i>Schlussfolgerung zu Hypothese Z1: Assumption drag</i>	213
7.2.2	<i>Hypothese Z2: Erwartungen zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung/Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen</i>	214
7.2.2.1	<i>Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese Z2</i>	214
7.2.2.2	<i>Basisanalyse: Einfluss aktueller Trends auf Prognosen</i>	215
7.2.2.3	<i>Analyse: Verschlechterung von Prognosen aufgrund aktueller Entwicklungen</i>	224
7.2.2.4	<i>Schlussfolgerungen zu Hypothese Z2: Erwartungen zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung</i>	233
7.2.3	<i>Hypothese Z3: Stabilität des Trends</i>	235
7.2.3.1	<i>Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese Z3</i>	235
7.2.3.2	<i>Längsschnittanalyse einer Prognosevariablen</i>	237
7.2.3.3	<i>Vergleichende Analyse verschiedener Prognosevariablen</i>	241
7.2.3.4	<i>Schlussfolgerung zu Hypothese Z3: Stabilität des Trends</i>	244
7.3	<i>Analyse methodischer und prognosespezifischer Faktoren</i>	245
7.3.1	<i>Hypothese P1: Länge der Prognoseperiode</i>	245
7.3.1.1	<i>Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese P1</i>	247
7.3.1.2	<i>Vergleichende Analyse von Zeitreihen</i>	248
7.3.1.3	<i>Analyse der Fehlerrends individueller Projektionen ausgewählter Variablen</i>	252
7.3.1.4	<i>Schlussfolgerung zu Hypothese P1: Länge der Prognoseperiode</i>	254
7.3.2	<i>Hypothese P2: Stabile Fehlerrichtung</i>	255
7.3.2.1	<i>Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese P2</i>	257
7.3.2.2	<i>Analyse des Zusammenhangs zwischen Fehlergröße und Richtungsänderungen</i>	257
7.3.2.3	<i>Analyse der zeitlichen Verteilung der Fehlerrichtungswechsel</i>	260
7.3.2.4	<i>Schlussfolgerung zu Hypothese P2: Stabile Fehlerrichtung</i>	262
7.3.3	<i>Hypothese P3: Kompensation von Teilfehlern</i>	263
7.3.3.1	<i>Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese P3</i>	264
7.3.3.2	<i>Statistische Fehlerkompensation</i>	265
7.3.3.3	<i>Beobachtete Fehlerkompensation</i>	272

7.3.3.4	Schlussfolgerung zu Hypothese P3: Fehlerkompensation	277
7.4	Analyse gegenstandsspezifischer Faktoren	280
7.4.1	Hypothese G1: Absolute Größe	280
7.4.1.1	Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese G1	280
7.4.1.2	Analyse vergleichbarer Variablen	281
7.4.1.3	Schlussfolgerung zu Hypothese G1: Absolute Größe	282
7.4.2	Hypothese G2: Veränderungsrate	283
7.4.2.1	Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese G2	283
7.4.2.2	Vergleichende Analyse der vorkommenden Variablen und Projektionen	284
7.4.2.3	Schlussfolgerung zu Hypothese G2: Veränderungsrate	286
7.5	Zusammenfassung: Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen	287
8	Zusammenfassung, Gesamtergebnis und Ausblick	293
8.1	Kernfragen und Untersuchungsdesign	295
8.2	Zusammenfassung: Ergebnisse der ex-post Analyse der Genauigkeit nationaler Emissionsprojektionen und ihrer Einflussfaktoren	296
8.2.1	Ergebnisse der quantitativ-deskriptiven Fehleranalyse	298
8.2.2	Ergebnisse der Untersuchung der Hypothesen zu zentralen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen	308
8.2.3	Ergebnisse im Hinblick auf die Methodik der ex-post Evaluierung	311
8.3	Gesamtergebnis und Schlussfolgerungen	315
8.4	Empfehlungen und Ausblick	321
8.4.1	Verbesserung der Daten für die ex-post Analyse von Projektionen	322
8.4.2	Umgang mit Trendabweichungen zum Zeitpunkt der Projektionserstellung	323
8.4.3	Antizipation von Trendänderungen in der Zukunft	323
8.4.4	Ansatzpunkte für verbesserte Transparenz und ex-post Analyse der nationalen Emissionsprojektionen	324
8.4.5	Weiterer Forschungsbedarf zu nationalen Emissionsprojektionen	325
9	Literaturverzeichnis	328

Datenanhang (separat gebunden)

Abbildungen

Abbildung 2-1: Vergleich offizieller Energieverbrauchsprognosen des deutschen Energieprogramms von 1973 sowie der 1. bis 3. Fortschreibung mit der der realen Entwicklung (1970 bis 1990)	20
Abbildung 2-2: Hypothetische Emissionsprojektionen für ein Treibhausgas	23
Abbildung 2-3: Treibhausgasemissionen der EU23 und Emissionsprojektionen	30
Abbildung 5-1: Entwicklung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen nach Sektoren, 1983 bis 2004	67
Abbildung 5-2: Komponenten der Wachstumsraten der CO ₂ -Emissionen nach Sektoren, 1984 bis 2004	67
Abbildung 5-3: EDL-, Endenergie- und CO ₂ -Intensität des BIP, 1983 bis 2004	68
Abbildung 5-4: Anteile der Nachfragesektoren an der Entwicklung der EDL-Intensität, 1984 bis 2004	69
Abbildung 5-5: Komponenten der Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Haushalte, 1984 bis 2004	70
Abbildung 5-6: Komponenten der Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des GHD-Sektors, 1984 bis 2004	71
Abbildung 5-7: Komponenten der Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Industrie, 1984 bis 2004	72
Abbildung 5-8: Komponenten der Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des Pkw-Verkehrs, 1984 bis 2004	72
Abbildung 5-9: Übersicht über die Jahre der periodischen Energieverbrauchserhebungen der EIA	76
Abbildung 5-10: Übersicht über das National Energy Modelling System (NEMS)	81
Abbildung 5-11: Grobstruktur des Haushaltsnachfragemoduls des NEMS	83
Abbildung 5-12: Grobstruktur des GHD-Nachfragemoduls des NEMS	87
Abbildung 5-13: Grobstruktur des Industrie-Nachfragemoduls des NEMS	89
Abbildung 5-14: Grobstruktur des Transport-Nachfragemoduls des NEMS	92
Abbildung 6-1: Verwendetes Analysemodell der Projektionen	97

Abbildung 6-2:	Fehleraufteilung und Fehlertypen der ex-post Analyse von Energie- und Emissionsprojektionen _____	100
Abbildung 6-3:	Ablaufschema der quantitativen Fehleranalyse _____	108
Abbildung 6-4:	Basisjahrabweichung der BIP-Projektionen von der aktuellen historischen Zeitreihe _____	113
Abbildung 6-5:	Korrigierte und unkorrigierte Projektionen des nominalen BIP und Prognosefehler _____	114
Abbildung 6-6:	Variabilitätsfehler des BIP bezogen auf den linearen Trend der Jahre 1983 bis 2004 sowie 1990 bis 2004 _____	116
Abbildung 6-7:	Fehleraufteilung der BIP-Projektionen nach Prognosedauer _____	117
Abbildung 6-8:	Fehleraufteilung der BIP-Projektionen nach Prognosejahr _____	119
Abbildung 6-9:	Fehleraufteilung der BIP-Projektionen nach AEO _____	120
Abbildung 6-10:	Trendfehler der BIP-Projektionen der AEOs 1983 bis 2004 für verschiedene Prognosedauern _____	122
Abbildung 6-11:	Basisjahrfehler der AEOs 92 bis 04 im Haushaltssektor _____	125
Abbildung 6-12:	Variabilitätsfehler der AEOs 92 bis 04 im Haushaltssektor _____	126
Abbildung 6-13:	Mittlere Trendfehler der Projektionen im Haushaltsbereich der AEOs 92 bis 04 _____	128
Abbildung 6-14:	Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Projektionen von BIP und EDL im Haushaltssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte _____	130
Abbildung 6-15:	Fehlerkombination der Strom- und Brennstoffprojektionen im Haushaltssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte _____	131
Abbildung 6-16:	Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen im Haushaltssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte _____	132
Abbildung 6-17:	Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen und der Trendextrapolationen der Haushalte nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte _____	133
Abbildung 6-18:	Brennstoffeinsatz der Haushalte, Realwerte und klimabereinigte Werte im Vergleich. _____	135
Abbildung 6-19:	Stromintensität und Stromeinsatz der Haushalte, basisjahrkorrigierte Projektionen der AEOs 92 bis 04 _____	136

Abbildung 6-20: Basisjahrfehler der EDL-Projektionen im GHD-Sektor der AEOs 92 bis 04	139
Abbildung 6-21: Zeitreihe und Erhebungen zur Flächenentwicklung im GHD-Sektor, 1979 bis 2004	140
Abbildung 6-22: Basisjahrfehler der Energieprojektionen im GHD-Sektor der AEOs 92 bis 04	141
Abbildung 6-23: Variabilitätsfehler der AEOs 92 bis 04 im GHD-Sektor	142
Abbildung 6-24: Mittlere Trendfehler der Projektionen für den GHD-Sektor der AEOs 92 bis 04	144
Abbildung 6-25: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Projektionen von BIP und EDL im GHD-Sektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	145
Abbildung 6-26: Fehlerkombination der Strom- und Brennstoffprojektionen für den GHD-Sektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	146
Abbildung 6-27: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen im GHD-Sektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	147
Abbildung 6-28: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der AEOs für den Strom- und Brennstoffeinsatz des GHD-Sektors für verschiedene Prognosehorizonte im Vergleich mit Ergebnissen der Trendextrapolation	148
Abbildung 6-29: Basisjahrfehler der EDL-Projektionen der Industrie der AEOs 92 bis 04	153
Abbildung 6-30: Basisjahrfehler der Energieprojektionen in der Industrie, AEOs 92 bis 04	154
Abbildung 6-31: Variabilitätsfehler der BIP- und EDL-Projektionen der AEOs 92 bis 04 in der Industrie	155
Abbildung 6-32: Variabilitätsfehler der Energieprojektionen der AEOs 92 bis 04 in der Industrie	156
Abbildung 6-33: Mittlere Trendfehler der Projektionen für die Industrie der AEOs 92 bis 04	157
Abbildung 6-34: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Projektionen von BIP und EDL in der Industrie nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	158

Abbildung 6-35: Fehlerkombination der Strom- und Brennstoffprojektionen in der Industrie nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	159
Abbildung 6-36: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen und der Trendextrapolationen in der Industrie nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	160
Abbildung 6-37: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler des Strom- und Brennstoffeinsatzes der Industrie der AEOs für verschiedene Prognosehorizonte im Vergleich mit Ergebnissen der Trendextrapolation	161
Abbildung 6-38: Basisjahrfehler der Projektionen der AEOs 92 bis 04 für den Verkehrssektor	165
Abbildung 6-39: Variabilitätsfehler der BIP- und EDL-Projektionen der AEOs 92 bis 04 im Verkehrssektor	166
Abbildung 6-40: Variabilitätsfehler der Energieprojektionen der AEOs 92 bis 04 im Verkehrssektor	167
Abbildung 6-41: Mittlere Trendfehler der Projektionen für den Verkehrssektor der AEOs 92 bis 04	168
Abbildung 6-42: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Projektionen von BIP und EDL für den Personenverkehr nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	170
Abbildung 6-43: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Energieprojektionen für den Verkehrssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	171
Abbildung 6-44: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen und der Trendextrapolationen für den Verkehrssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte	172
Abbildung 6-45: Anteile der Projektionsstufen am kumulierten Gesamtfehler nach AEO und Prognosedauern	176
Abbildung 6-46: Fehlerkompensation der CO ₂ -Emissionsprojektionen nach Projektionsstufen für verschiedene AEOs und Prognosedauern	178
Abbildung 6-47: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der EDL-Projektionen nach Sektoren für verschiedene Prognosehorizonte	178
Abbildung 6-48: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Stromprojektionen für verschiedene Prognosehorizonte	179

Abbildung 6-49: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Brennstoffprojektionen für verschiedene Prognosehorizonte	180
Abbildung 6-50: Mittlere Trendfehler der CO ₂ -Emissionsprojektionen aufgeteilt nach Prognosestufen für die AEOs 92 bis 04	181
Abbildung 6-51: Fehlerkompensation nach CO ₂ -Emissionen von Strom- und Brennstoffen	182
Abbildung 6-52: Mittlere CO ₂ -gewichtete Trendfehler der Strom- und Brennstoffprojektionen der AEOs 92 bis 04	183
Abbildung 7-1: Realentwicklung von BIP und Energiedienstleistungsindikatoren in den Nachfragesektoren	204
Abbildung 7-2: Realentwicklung von Endenergieeinsatz und Energieintensität in den Nachfragesektoren	205
Abbildung 7-3: Prognosen der Energiedienstleistungsintensität und der Energieintensität im Verkehrssektor (Pkw)	207
Abbildung 7-4: Aufteilung der Fehler der Prognosen des Endenergieeinsatzes im Verkehrssektor (Pkw) im AEO 95	209
Abbildung 7-5: Fehleraufteilung der Prognosen im Verkehrssektor (Pkw) – mittlerer Fehler der AEO 92 bis 95 für den Zeitraum 1994 bis 2004	210
Abbildung 7-6: Prognosen der Brennstoff- und Stromintensität der Industrie (bezogen auf EDL)	211
Abbildung 7-7: Prognosen des absoluten Brennstoff- und Stromeinsatzes der Industrie	212
Abbildung 7-8: Änderung der Ist-Werte sowie der Projektion gegenüber der Vorjahresprojektion, Brennstoffeinsatz der Haushalte	220
Abbildung 7-9: Prognosen des spezifischen und absoluten Stromeinsatzes der Haushalte, AEOs 92 bis 94 im Vergleich	228
Abbildung 7-10: Prognosen des spezifischen und absoluten Stromeinsatzes des GHD-Sektors, AEOs 92 bis 94 im Vergleich	229
Abbildung 7-11: Prognosen des spezifischen und absoluten Brennstoffeinsatzes der Industrie, AEOs 92 bis 94 im Vergleich	231
Abbildung 7-12: Prognosen der Energiedienstleistungen in der Industrie, AEOs 95 bis 97 im Vergleich	233

Abbildung 7-13: Trendstabilität und Prognosefehler am Beispiel verschiedener Zeiträume des industriellen Brennstoffeinsatzes	238
Abbildung 7-14: Prognosen des industriellen Brennstoffeinsatzes (jeweils für 5 Jahre)	239
Abbildung 7-15: Zusammenhang zwischen Trendstabilität und Prognosefehler, nach Sektoren	242
Abbildung 7-16: Mittlerer Trendfehler von Prognosen in Abhängigkeit vom Prognosehorizont	249
Abbildung 7-17: Stromeinsatz der Haushalte, Realentwicklung und Projektionen	251
Abbildung 7-18: Trendfehler der einzelnen Projektionen nach Zeithorizonten für ausgewählte Variablen	253
Abbildung 7-19: Mittlerer absoluter Trendfehler von Projektionen mit- bzw. ohne Fehlerrichtungsänderung	258
Abbildung 7-20: Vorkommen von Fehlerrichtungsänderungen in Abhängigkeit vom relativen Prognosefehler	259
Abbildung 7-21: Mittlerer absoluter Trendfehler von Projektionen mit- bzw. ohne Fehlerrichtungsänderung	260
Abbildung 7-22: Fehlerkompensation bei multiplikativer Verknüpfung zweier Projektionen in Abhängigkeit von der Fehlerhöhe	271
Abbildung 7-23: Fehlerkompensation in verschiedenen Projektionen und Teilstufen des Modells	273
Abbildung 7-24: Fehlerkompensation in verschiedenen Teilstufen des Prognosemodells	275
Abbildung 8-1: Schema des in der Untersuchung zugrunde gelegten Emissionsmodells	299
Abbildung 8-2: Fehleraufteilung und Fehlertypen der ex-post Analyse von Energie- und Emissionsprojektionen	300
Abbildung 8-3: Energiebedingte CO ₂ -Emissionen der USA, Realentwicklung und Projektionen, 1990 bis 2004	302
Abbildung 8-4: Mittlere Trendfehler der CO ₂ -Emissionsprojektionen aufgeteilt nach Projektionsstufen für die AEOs 92 bis 04	306

Abbildung 8-5: Trendfehler der CO₂-Emissionsprojektionen für ausgewählte
Projektionsdauern im Vergleich zu den Ergebnissen
verschiedener Trendextrapolationen _____ 307

Tabellen

Tabelle 3-1:	Zentrale Hemmnisse der Prognostizierbarkeit _____	38
Tabelle 4-1:	Zuordnung der Einflussfaktoren auf die Qualität von Projektionen zu erkenntnistheoretischen und ontologischen Grenzen der Prognostizierbarkeit _____	65
Tabelle 5-1:	Im NEMS abgebildete Geräte und Anlagen im Haushaltssektor, 1996 und 2003 _____	84
Tabelle 6-1:	Basisjahre der verwendeten AEOs _____	102
Tabelle 6-2:	Anteile der Nachfragesektoren an den energiebedingten CO ₂ -Emissionen der USA, von 1983 bis 2004 / Wichtungsfaktoren _____	105
Tabelle 6-3:	Bezugsjahre des realen BIP und Produktionswerts der Industrie in den AEOs 92 bis 04 _____	152
Tabelle 6-4:	Anteile der Teilprognosen am kumulierten Gesamtfehler der CO ₂ -Emissionsprojektionen _____	188
Tabelle 7-1:	Übersicht über die zu untersuchenden Hypothesen zu Fehlerursachen _____	200
Tabelle 7-2:	Übersicht der Trendänderungen in den historischen Entwicklungen der untersuchten Variablen _____	206
Tabelle 7-3:	Prognosetyp bezogen auf die Änderung gegenüber der Vorprognose _____	216
Tabelle 7-4:	Korrelation zwischen aktuellem Trend und Steigung der Prognose _____	218
Tabelle 7-5:	Korrelation aktueller Änderungen der Ist-Werte mit der Änderung der jeweiligen Prognose gegenüber der Vorprognose _____	222
Tabelle 7-6:	Teilprognosen und Korrelationstypen zum Trend _____	223
Tabelle 7-7:	Teilprognosen und Veränderung gegenüber Vorprognose sofern eine Verschlechterung des CO ₂ -gewichteten Fehlers stattfand _____	225
Tabelle 7-8:	Vergleich der Genauigkeit der verschiedenen AEOs für die Teilprognose Brennstoffeinsatz der Industrie _____	240
Tabelle 7-9:	Linearität der Realtrends verschiedener Variablen von 1983 bis 2004 _____	250

Tabelle 7-10:	Richtung von Basisjahr- und Trendfehler für alle Projektionen ausgewählter Variablen _____	262
Tabelle 7-11:	Statistische Fehlerkompensation bei additiver Verknüpfung von zwei Projektionen (Vergleich von Fehlermodellen) _____	267
Tabelle 7-12:	Statistische Fehlerkompensation bei additiver Verknüpfung von zwei bis fünf Projektionen (Fehlermodell: linearisierte Normalverteilung, gleich hohe Fehler) _____	267
Tabelle 7-13:	Statistische Fehlerkompensation bei additiver Verknüpfung von zwei Projektionen mit unterschiedlich hohen Fehlern (Fehlermodell: normalverteilt, linearisiert) _____	269
Tabelle 7-14:	Statistische Fehlerkompensation bei multiplikativer Verknüpfung von zwei Projektionen (Vergleich von Fehlermodellen) _____	270
Tabelle 7-15:	Fehlerkumulation und Fehlerkompensation aller aggregierten Projektionen _____	276
Tabelle 7-16:	Größe und mittlerer Fehler betrachteter Projektionen im Vergleich (AEOs 92 bis 04) _____	281
Tabelle 7-17:	Änderungsraten aller Variablen und mittlere Fehler der zugehörigen Projektionen (AEOs 92 bis 04) _____	285
Tabelle 8-1:	Übersicht über diskutierte und untersuchte Hypothesen zu Fehlerursachen _____	309

Gleichungen

Gleichung 6-1: Basisjahrfehler	101
Gleichung 6-2: Variabilitätsfehler	103
Gleichung 6-3: Trendfehler	104

Abkürzungen

AEO	Annual Energy Outlook
AER	Annual Energy Review
AER/MER	Historische Zeitreihen, basierend auf den Angaben in aktuellen AERs und MERs
Annex I	Industrieländer, die in Annex I der Klimarahmenkonvention aufgelistet sind (OECD-Länder sowie die mittel- und osteuropäischen Transformationsstaaten)
APE	Absoluter Prozentualer Fehler
BEA	Bureau of Economic Analyses (U.S. Department of Commerce)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin
CAFE	Corporate Average Fuel Economy
CB ECS	Commercial Buildings Energy Consumption Survey
CDM	Commercial Demand Module (des NEMS)
CO ₂	Kohlendioxid
DG TREN	Generaldirektion Transport und Energie der Europäischen Kommission
DRI	Data Resources Inc.
EC	European Commission
EDL	Energiedienstleistung
EEA	European Environmental Agency
EERE	Energy Efficiency and Renewable Energies Program (US Department of Energy)
EFOM	Energy Flow Optimisation Model
EIA	Energy Information Administration (im US Department of Energy)
ENPEP	<i>Energy and Power Evaluation Program</i>
EU	Europäische Union
FNCCC/...	Dokumente der UNFNCCC, zitiert mit dem offiziellen Dokumentkürzel
GAU	Größter Anzunehmender Unfall
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (entspricht dem Commercial Sector)
HFCs,	Hydrofluorocarbons

HH	Haushaltssektor
I&K-Technologie	Informations- und Kommunikations-Technologie
IDM	Industrial Demand Module (des NEMS)
IEA	International Energy Agency
IEO	International Energy Outlook
IFFS	Intermediate Future Forecasting System
IPCC	International Panel on Climate Change
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Lkw	Lastkraftwagen
LP	Lineare Programmierung
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
m.E.	meines Ermessens
MAM	Macroeconomic Activity Module (des NEMS)
MAPE	Mittlerer Absoluter Prozentualer Fehler
Markal	<i>Market Allocation</i> (LP-Energiemodell der IEA)
MECS	Manufacturing Energy Consumption Survey
MER	Monthly Energy Review
NAICS	North American Industrial Classification System
NEMS	National Energy Modelling System
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PFCs	Perfluorocarbons
PJ	Peta Joule
Pkw	Personenkraftwagen
PNL	Pacific Northwest National Laboratory
PRIMES	energy market equilibrium engineering-economic model used for the long term and the study of structural changes in energy markets
RDM	Residential Demand Module (des NEMS)
RECS	Residential Energy Consumption Survey
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SIC	Standard Industrial Classification
SUV	Sports Utility Vehicle
TRAN	Transport Demand Module (des NEMS)
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WMO	World Meteorological Organisation

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Projektionen gewinnen im Rahmen einer zielorientierten Politik zunehmend an Bedeutung. Ganz zentral ist das in der Energie- und Klimapolitik sichtbar: Die anstehenden langfristigen Herausforderungen wie z.B. der Klimawandel erfordern politische Zielsetzungen und Pläne für mittel- und langfristige Zeiträume. Für den Klimawandel ist die Zielsetzung der Klimarahmenkonvention, „die Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird“ (UN 1992, Art. 2) auf ein ganzes Jahrhundert bezogen worden (vgl. IPCC 2007c, 22f). Durch das Herunterbrechen dieser globalen Jahrhundertziele auf die Vertragsstaaten der Konvention, entstehen nationale Emissionszielkorridore, wie sie erstmals im Kyoto-Protokoll für den Zeitraum 2008 bis 2012 völkerrechtlich verbindlich festgelegt wurden.

Um diese Zielkorridore auf nationaler Ebene einhalten zu können, werden Rahmendaten und Projektionen benötigt, anhand derer der jeweilige energie- und klimapolitische Handlungsbedarf eingeschätzt, Schwerpunkte festgelegt und Maßnahmen geplant werden können. Folgerichtig haben sich die Industrieländer vorgegeben, nationale Treibhausgasemissionsprojektionen¹ – definiert als „genaue Schätzung der Auswirkungen“ (UN 1992, Art. 12 (2b)) der ergriffenen Maßnahmen – im Rahmen ihrer etwa alle 3 Jahre zu erstellenden Nationalberichte vorzulegen. Die EU hat ihre Mitgliedsstaaten im sogenannten Monitoring-Mechanismus dazu verpflichtet, neben der Berichterstattung über den *tatsächlichen* Fortschritt der Emissionsminderungspolitik, auch regelmäßig über den *voraussichtlichen* Fortschritt zu berichten. Sie legen dafür seit 2005 alle zwei Jahre einen Bericht über ihre „nationalen Vorausschätzungen der Emissionen von Treibhausgasemissionen“ bis 2020 vor (EC 2004, Art.3 S.2b).

Ihre bisher bedeutendste Rolle in der konkreten Politikformulierung haben Projektionen in der EU-Energie- und Klimastrategie erlangt. Dadurch, dass sich die EU das Ziel gesetzt hat, ihren Energieeinsatz bis zum Jahr 2020 um 20% gegenüber dem „Business as Usual“ zu verringern, dienen sie nicht mehr ‚nur‘ einer ex-ante Evaluierung des aktuellen Zielerreichungsgrades. Nun wird ein zentrales politisches Ziel direkt auf ein

¹ Im Folgenden werden Projektionen des Energieeinsatzes und der dadurch bedingten CO₂-Emissionen im Fokus stehen. Eine nähere Definition und Abgrenzung des hier verwendeten Begriffs der (Treibhausgas-)Emissionsprojektion vor dem Hintergrund der Methoden der Zukunftsvorausschau erfolgt in Abschnitt 2.2. Im Rahmen der Arbeit steht im Weiteren vor allem die prognostische Funktion der Projektionen im Vordergrund. Dabei werden die Begriffe Projektion und Prognose weitgehend synonym verwendet.

Projektionsergebnis – in diesem Fall das aktuelle Baseline-Energieszenario der DG TREN (Mantzos u.a. 2006) – bezogen (vgl. Scholten u.a. 2007)².

Nationale Energie- und Emissionsprojektionen bauen als wichtiges Anwendungsfeld der Zukunftsvorausschau auf einem längeren Erfahrungshorizont auf. Die meisten Industrieländer, aber auch die OECD erstellen im Energiebereich spätestens seit der ersten Ölpreiskrise im Jahr 1973 – bzw. z.T. schon deutlich länger – Prognosen und Szenarien³. Hintergründe dafür sind die hohe strategische Bedeutung der Energieversorgung und die Erfordernisse langfristig vorausschauender Strategieentwicklung aufgrund langer bzw. sehr langer Planungs-, Investitions- und Amortisationszeiträume in diesem wichtigen Infrastruktursektor.

Trotz ihrer bereits hohen Relevanz sind derzeit **noch kaum** methodische Vorgaben zu ihrer formalen und methodischen Ausgestaltung⁴ bzw. **Anforderungen an die Qualität der vorzulegenden nationalen Treibhausgasemissionsprojektionen** vorhanden. Dies gilt sowohl für die Ebene der Klimarahmenkonvention als auch für die EU. Auch vorliegende Evaluierungen beschränken sich weitestgehend auf formale Aspekte der Abdeckung, Vollständigkeit und Dokumentation der Projektionen. Differenzierte wissenschaftliche Untersuchungen der Qualität und hier insbesondere des zentralen Aspekts der Genauigkeit, d.h. der Tragfähigkeit und Aussagekraft der nationalen Emissionsprojektionen, wurden noch nicht durchgeführt.⁵

An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an.

Sie leistet einen Beitrag zur Beantwortung der Fragen, welche Genauigkeit die nationalen Treibhausgasemissionsprojektionen derzeit aufweisen und welche Qualitätsanforderungen an dieses wichtige Instrument der politischen Planung überhaupt gestellt werden können. Dazu werden zunächst, basierend auf erkenntnistheoretischen sowie empirischen und praktischen Überlegungen, Qualitätskriterien für Zukunftsstudien

² Ein ähnlicher Mechanismus wurde bereits im Rahmen des Clean Development Mechanismus (CDM) des Kyoto-Protokolls institutionalisiert. Hier dient ein projektspezifisches Baseline-Szenario der Ermittlung der erreichten Emissionsminderungen (vgl. z.B. FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1, 16)

³ Siehe unten: Abschnitt 2.1.3 und Abb. 2-1 zur Entwicklung in Deutschland sowie Abschnitt 5.3 zur Entwicklung in den USA.

⁴ Erste sehr grobe Richtlinien für die „genaue Schätzung der Auswirkungen“ (Emissionsszenarien) hat die 5. Konferenz der Vertragsstaaten 1999 in Buenos Aires im Rahmen der Entscheidung 4 (Dec. 4/CP.5) zur Abfassung der zum 30.11.2001 fälligen 3. Nationalberichte der Annex I-Staaten beschlossen. Damit hat die Erstellung von Projektionen der zukünftigen Emissionsentwicklung einen völkerrechtlich verbindlichen Status erreicht.

⁵ Dieses Defizit wurde z.B. von der European Environment Agency (EEA) hervorgehoben. Sie schlägt deshalb die Entwicklung einer Standardmethodologie zur Evaluierung der Emissionsminderungswirkungen der implementierten bzw. geplanten Maßnahmen vor: „Notwithstanding, the UNFCCC reporting system also presented **certain deficiencies** [Hervorhebung im Original], mainly in the evaluation of the policy measures adopted by the Parties. The UNFCCC guidelines focus mainly on the descriptive aspects of such policies but do not provide a basis for evaluation with a common pattern of the qualitative and quantitative effects of the implementation of the mitigation policies. This ends in a lack of transparency of the reporting. The adoption of a standard methodology to evaluate the mitigation effects on such policies could be envisaged“ EEA (2000, 9).

allgemein und für Emissionsprojektionen im Besonderen dargestellt. Es wird herausgestellt, dass die Genauigkeit (accuracy) ein maßgebliches Qualitätskriterium für Energie- und Emissionsprojektionen ist. Dies entspricht der Forderung der OECD (1998), sie als zentrales Kriterium der nationalen Emissionsprojektionen und der Quantifizierung von Maßnahmen zu betrachten.

Im Kern der Arbeit wird dann mit einer detaillierten ex-post Fehleranalyse der jährlich erstellten US-Energie- und CO₂-Emissionsprojektionen⁶ untersucht, wie genau die global relevantesten CO₂-Emissionsprojektionen überhaupt sind und welches ihre größten Fehlerquellen sind. Dabei steht die prognostische Funktion der Projektionen im Vordergrund. Anhand von aus der Literatur abgeleiteten Hypothesen werden typische Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen mit Blick auf die Treibhausgasemissionsprojektionen näher analysiert.

Damit wird in der vorliegenden Arbeit der Ansatz verfolgt, mit der Genauigkeit ein zentrales, aber auch schwer zu beurteilendes Qualitätskriterium von Emissionsprojektionen erkenntnistheoretisch und empirisch zu begründen, eine Fehleranalyse zu seiner ex-post Evaluierbarkeit zu nutzen, verschiedene theoretisch und empirisch abgeleitete Hypothesen über Einflussfaktoren auf die Qualität von Emissionsprojektionen zu überprüfen und erste Empfehlungen zur Verbesserung der Praxis der Erstellung nationaler Emissionsprojektionen abzuleiten.

Dabei wird es vor dem Hintergrund einer prinzipiell offenen Zukunft schwer bleiben, Prognosen von hoher Qualität zu erstellen. Allerdings kann durch die ex-post Analyse, neben einer detaillierten Bewertung bestehender Projektionen bzw. Prognosen, ein relevanter Beitrag zu einer höheren Genauigkeit im Sinne einer größeren Differenziertheit und Begründetheit und damit zu einer verbesserten Tragfähigkeit und Aussagekraft zukünftiger Projektionen geleistet werden.

Die Betonung der Genauigkeit der Emissionsprojektionen als Schwerpunkt der hier durchzuführenden Analyse bedeutet aber nicht, dass andere Qualitätskriterien nicht praktisch – z.B. im Sinne von Sekundärtugenden, aber auch als relevante Teilaspekte der an gute Projektionen zu stellenden Qualitätsanforderungen – eine große Bedeutung haben.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit beginnt mit einer Darstellung und Einordnung der Untersuchungsgegenstände in *Kapitel 2*. Dabei werden die Emissionsprojektionen auf der Basis einer Über-

⁶ Die Analyse der Treibhausgasemissionsprojektionen beschränkt sich hier auf ihren wesentlichen und bisher am differenziertesten in Projektionen abgebildeten Teilbereich, die energie-, bzw. exakt, verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen. Der Einfachheit halber werden sie im Folgenden häufig kurz als Emissionsprojektionen bezeichnet. Die genaue Abgrenzung und Definition der hier untersuchten Projektionen findet sich in Kapitel 4 und Abschnitt 6.1.

sicht über die gängigen Methoden als spezielle Anwendung der Zukunftsvorausschau charakterisiert. Für die Einordnung der Untersuchung in den erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Kontext und die darauf basierende Begründung von Qualitätskriterien ist dabei insbesondere der Bezug bzw. die Abgrenzung zu Prognosen und Szenarien bedeutsam. Es wird argumentiert, dass Emissionsprojektionen notwendigerweise Elemente beider Methoden aufweisen, da sie sowohl prognostische als auch exploratorische Aufgaben erfüllen.

Vor dem Hintergrund der erkenntnistheoretischen Diskussion und pragmatischer Aspekte werden in *Kapitel 3* die wichtigsten Qualitätskriterien für Emissionsprojektionen herausgearbeitet, Ansatzpunkte zur Beurteilung der Qualität von Emissionsprojektionen herausgestellt und begründet, warum die Genauigkeit als das zentrale Qualitätskriterium von Projektionen – vor allem ihrer prognostischen aber auch ihrer exploratorischen Funktion – eingestuft wird. Dabei wird auch die wissenschaftstheoretische Diskussion zur Durchführbarkeit rationaler Prognosen in dem hier relevanten Kontext der Zukunftsvorausschau aufgegriffen⁷.

Im *Kapitel 4* werden die methodischen Grundlagen der hier angestrebten ex-post Evaluierung der Genauigkeit nationaler Emissionsprojektionen am Beispiel der US-Energie- und Emissionsprojektionen skizziert. Diese Darstellung greift zum einen auf die Ergebnisse und Methoden bisher bereits durchgeführter quantitativer ex-post Analysen der Genauigkeit von Projektionen zurück. Zum anderen werden wichtige Einflussfaktoren auf die Qualität von Prognosen aus einer Synopse bisheriger Evaluierungen von Energie- und Bevölkerungsprojektionen zusammengestellt, die zusammen einen Kanon bisher identifizierter Einflussfaktoren darstellen.

Da systematische Projektionen der Treibhausgasemissionen in vielen Staaten erst seit etwa 1990 erstellt werden und damit keine ausreichend lange Zeitreihe für eine aussagekräftige ex-post Analyse vorliegt, dienen – für den Bereich der energiebedingten Treibhausgasemissionen – die US-amerikanischen Energieprojektionen der vergangenen Jahre als Gegenstand. Sie werden bereits seit gut zwei Jahrzehnten jährlich mit einer vergleichbaren Methodik erstellt (vgl. z.B. O' Neill, Desai 2005 und Laitner u.a. 2003) und lassen sich nachträglich in Emissionsprojektionen transformieren.⁸ In *Kapitel 5* werden sie als Untersuchungsgegenstand näher dargestellt, wobei zunächst eine kurze Übersicht der tatsächlichen Entwicklung der hier relevanten Indikatoren der Energieeinsatz- und Emissionsentwicklung für den betrachteten Zeitraum 1984 bis 2004 erfolgt. Zusätzlich wird die Datenbereitstellung der Energiestatistik umrissen und die Struktur des für die Erstellung der Projektionen verwendeten Prognosemodells – mit Fokus auf der Energienachfrageseite – näher erläutert.

⁷ Der Begriff Prognose wird in der Wissenschaftstheorie häufig breiter verwendet als in der Zukunftsvorausschau. Hier wird nur auf den Begriff im engeren Sinne einer bedingten Aussage über die Zukunft abgestellt.

⁸ Analoge Analysen für Deutschland werden v.a. durch die strukturellen Veränderungen infolge der deutschen Einheit stark erschwert.

Auf dieser Basis wird dann am Beispiel der amerikanischen Projektionen der energiebedingten CO₂-Emissionen in *Kapitel 6 ex-post analysiert*, wie gut (d.h. vor allem wie genau) Emissionsprojektionen heute sind bzw. sein können. Im Rahmen der ex-post Analyse werden zunächst relevante und übertragbare Elemente von Emissionsprojektionen herausgearbeitet und diese anhand geeigneter Fehlermaße (u.a. in Erweiterung bisheriger Analysen) auf ihre Genauigkeit hin analysiert sowie die Aufteilung der Fehler auf einzelne Teilelemente der Projektionen untersucht.

Vor dem Hintergrund der theoretischen Überlegungen zur Qualität von Projektionen werden im *Kapitel 7* geeignete Untersuchungshypothesen aus dem Kanon der identifizierten Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen ausgewählt und anhand entsprechender Beispiele aus der quantitativen Analyse der US-Emissionsprojektionen auf ihre Gültigkeit auch für die Emissionsprojektionen untersucht.

Nach einer Zusammenfassung der wesentlichen Inhalte der Arbeit werden in *Kapitel 8* die gewonnenen Erkenntnisse aus der quantitativ-deskriptiven ex-post Analyse und der Analyse der ausgewählten Hypothesen zu zentralen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen zusammengeführt. Als *Gesamtergebnis* wird eine erste Einschätzung gegeben, wie genau Emissionsprojektionen überhaupt sein können, welches zentrale Einflussfaktoren auf ihre Genauigkeit sind und inwieweit differenzierte Modelle zu einer Verringerung der Fehler führen. Zusätzlich werden erste Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der hier genutzten Methodik der ex-post Fehleranalyse gewonnen und die Gültigkeit zentraler Hypothesen zu Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen am Beispiel der hier untersuchten nationalen Emissionsprojektionen dargestellt. Im Ausblick wird aufgezeigt, welche Ansatzpunkte und welcher weitere Forschungsbedarf bestehen, um nationale Emissionsprojektionen – und ihre Evaluierung – zu verbessern und sie so in ihrer Genauigkeit und Aussagekraft weiter zu verbessern.

2 Einordnung des Untersuchungsgegenstands: Emissionsprojektionen als spezielle Methoden der Zukunftsvorausschau

Die im Rahmen dieser Arbeit näher zu untersuchenden Emissionsprojektionen sind Methoden der Zukunftsvorausschau, denn durch sie können Aussagen über die Zukunft getroffen werden, genauer, die Entwicklung der Treibhausgasemissionen eines Staates in den nächsten 15 bis 20 Jahren. Dabei sind offiziell drei verschiedene Varianten („Ohne Maßnahmen“, „Mit Maßnahmen“ und „Mit weiteren Maßnahmen“) vorgesehen.

Da keine weiteren Anforderungen bzw. Definitionen in den offiziellen Texten enthalten sind, die eine nähere Charakterisierung von Emissionsprojektionen vornehmen oder die deren Inhalt näher definieren würden, soll in diesem Kapitel eine entsprechende Zuordnung vorgenommen werden.

Dazu wird zunächst eine systematische Übersicht über die existierenden Methoden der Zukunftsvorausschau und relevante Anwendungsfelder gegeben. Dann werden die im Rahmen der Klimarahmenkonvention vorzulegenden nationalen Emissionsprojektionen – so weit dies möglich ist – näher charakterisiert und den Methoden der Zukunftsvorausschau zugeordnet.

Dabei zeigt sich, dass Emissionsprojektionen von ihrer Anlage her sowohl Elemente von Prognosen als auch von Szenarien in sich vereinen.

2.1 Methoden der Zukunftsvorausschau

Inzwischen liegen sowohl im englisch- als auch im deutschsprachigen Raum mehrere Übersichten über die etablierten Methoden der Zukunftsvorausschau vor (z.B. Fowles 1978, Helmer 1983, Schwartz 1991, Glenn 1994, Slaughter 1996). Im Folgenden wird auf die vorhandenen Übersichtswerke und eigene Recherchen zurückgegriffen. Die derzeit wohl beste deutschsprachige Übersicht über die Thematik geben die Arbeiten von Steinmüller (1997, 2003a,b). Auf sie wird im Folgenden mehrfach Bezug genommen.

2.1.1 Kurze Entstehungsgeschichte

Wie die Zusammenstellung der 99 wichtigsten Werke der Zukunftsforschung bei Albert u.a. (2001) eindrucksvoll zeigt, haben die systematische Beschäftigung mit der Zukunft und der Versuch, aus der Vergangenheit zu lernen und die gewonnenen Erkenntnisse systematisch auch für die Bewältigung der Zukunft einzusetzen innerhalb der westli-

chen Kulturen bereits eine sehr lange Geschichte⁹, die spätestens um 367 vor Christus mit den Schriften des Aristoteles begann.

Philosophen wie Zukunftsforscher führen dies auf ein Grundbedürfnis des Menschen zurück, Erkenntnisse über die Zukunft zu gewinnen. Der Mensch war also schon immer darauf angewiesen, Erkenntnisse darüber zu generieren, wie sich sein Umfeld in näherer Zukunft entwickeln könnte. Sei es, um Gefahren rechtzeitig, d.h. vor ihrem Eintreten einschätzen zu können oder um längerfristige Vorkehrungen, z.B. für den nächsten Winter zu treffen¹⁰. Dass dies vor dem Hintergrund einer komplexer werdenden Welt mit immer größeren und langfristigeren Herausforderungen noch an Bedeutung gewinnt, ist evident. Die Bedeutung dieser Thematik wird auch nicht dadurch geschmälert, dass sich Aussagen über die Zukunft häufig im Nachhinein als falsch herausstellen oder, dass die am weitesten verbreitete Hypothese zur Entwicklung der Zukunft die des ‚es bleibt alles so wie es ist‘ ist.

Seit dem 2. Weltkrieg hat sich die Zukunftsvorausschau – basierend vor allem auf der Einführung neuer militärischer Planungstechniken in den USA – zu einer wichtigen Disziplin entwickelt. Dabei wurde auch die ursprünglich aus der Theaterwissenschaft stammende Szenariotechnik vor allem von Hermann Kahn entwickelt, die sich in der Folge – in unterschiedlichsten Ausprägungen, Varianten und Kombinationen – als eine der wichtigsten Methoden der Zukunftsvorausschau herauskristallisiert hat.

Der folgende skizzenartige Kurzüberblick über die Entwicklung der Zukunftsvorausschau von der Antike bis heute, basiert auf den z.T. ausführlicheren Darstellungen in Steinmüller (2003a,b), Albert u.a. (2001), Steinmüller (1997) sowie Futures Group (1994).

a) Vorläufer: Die Utopien von Platon, Morus, Bacon und anderen

Die ersten Publikationen, die sich mit der Zukunftsvorausschau befassen, lassen sich überwiegend als Utopien charakterisieren. Begonnen mit Platons ‚Politeia‘ (Das Staatswesen, ca. 367 v. Chr.) in dem ein idealer Staat entworfen wird, über die ‚Utopia‘ von Thomas Morus (1516), die den Namen für die gesamte Kategorie idealtypischer Weltentwürfe geprägt hat und Bacons ‚Nova Atlantis‘ entstanden in Antike und früher Neuzeit eine Reihe von gesellschaftlichen und politischen Visionen, die in vielen ihrer Forderungen oder Ideen auch heute noch Relevanz haben (vgl. Albert u.a. 2001).

Mit Jules Verne, Aldous Huxley, George Orwell und anderen entwickelt sich ab dem Ende des 19. Jahrhunderts das literarische Genre der Science Fiction, das unter

⁹ Dass es auch im Bereich der östlichen/asiatischen Kulturen sehr lange zurückreichende und z.T. sehr interessante Ansätze der Zukunftsforschung gibt, sei hier nur am Rande erwähnt. Sie sollen hier nicht näher betrachtet werden und kommen bislang auch in den – eher aus westlicher Perspektive verfassten – Übersichtswerken wenn überhaupt nur am Rande vor. Jüngst entstehen allerdings vermehrt multikulturelle bzw. globale Ansätze der Zukunftsforschung. Vertreter sind u.a. Zia Sardar, Tony Stevenson und Sohail Inayatullah (Slaughter 2002, 5).

¹⁰ Siehe Rescher (1998,2f) der u.a. José Ortega y Gasset und Søren Kierkegaard zitiert.

anderem zahlreiche fundierte oder zumindest anregende Auseinandersetzungen mit der Zukunft hervorgebracht hat¹¹.

b) Kahn und die Rand Corporation: Die Entwicklung von Methoden der Zukunftsvorausschau und die Einführung der Szenariotechnik in die Planung

Die Grundlagen und ersten Methoden für „die kritische und systematische Beschäftigung mit der Zukunft“ (Flechtheim 1972)¹² entwickelten sich in den USA in der Zeit vor bzw. während des 2. Weltkriegs. Erkenntnisleitendes Ziel war es, von einer passiven Rolle gegenüber den Entwicklungen der Zukunft und Gegenwart zu einer aktiven Rolle zu kommen. Auslöser für vermehrte und systematischere Planungsanstrengungen waren zunächst in den USA, später auch in anderen Ländern u.a. die neuen technischen Möglichkeiten, die kriegsbedingten strategischen Rüstungsanstrengungen einschließlich des Nuklearprogramms, die Konversionsproblematik der Nachkriegszeit und schließlich der beginnende Kalte Krieg (vgl. Hünemörder 2004, 8).

Als methodische Grundlagen konnte auf das damals noch junge Instrumentarium des Operations Research (Planungs- und Optimierungsverfahren) sowie z.B. ökonometrische Modelle, statistische Zeitreihen- und Degressionsanalysen zurückgegriffen werden.

Entsprechend entstanden vor allem im militärischen Bereich sowie im Umfeld der Nuklearindustrie entsprechende ‚Think Tanks‘, was bereits 1952 von Robert Jungk beschrieben wurde (Hünemörder 2004, 8). Eine herausragende Rolle erlangte die zunächst vor allem für die US-Airforce tätige Rand Corporation im kalifornischen Santa Monica.

Herman Kahn entwickelte hier mit anderen vor allem den Begriff des Szenarios als Planungs- und Vorausschau-Instrumentarium im Rahmen militärischer und strategischer Studien. Als Gründer und Leiter des Hudson Instituts verbreitete er diesen Ansatz weiter und machte ihn mit Büchern, wie z.B. dem 1967 mit A. J. Wiener veröffentlichten und überaus technikgläubigen und optimistischen Werk: „The Year 2000“ („Ihr werdet es erleben. Voraussagen der Wissenschaft bis zum Jahre 2000“) populär (vgl. Futures Group 1994).

Ebenfalls in den 1950er und 1960er Jahren wurden die meisten noch heute genutzten Methoden und Verfahren der Zukunftsforschung entwickelt bzw. für die Zukunftsvorausschau nutzbar gemacht. Dies sind z.B. die Trendextrapolation, die Cross-Impact-Analyse und die Delphi Methode.

¹¹ Herausragend in dieser Hinsicht sind z.B. die Arbeiten von Stanislaw Lem. Zur Bedeutung der Science Fiction im Rahmen der Zukunftsforschung im Allgemeinen sowie zur Nutzung der Szenariotechnik in der Science Fiction Literatur, im Besonderen siehe z.B. den Exkurs in Steinmüller (1997, 64ff) und die Zusammenstellung „Yesterday’s Tomorrows“ von Corn und Horrigan (1996).

¹² Zitiert nach Steinmüller (2003a, 13)

c) Methoden der ‚zweiten Generation‘ (Kritische Zukunftsforschung)

Die Entwicklungen in den USA wurden von zahlreichen Zukunftsforschern, vor allem in Europa, z.T. kritisch beurteilt. Im Zentrum dieser Kritik stand vor allem die Technikgläubigkeit, die damals verbreitete Haltung alles ‚machen‘ und beherrschen zu können, die sich z.B. in Visionen von genetisch und technisch veränderten Menschen und überoptimistischen Nuklearstrategien ausdrückte. In Deutschland forderten Jungk, Picht und Flechtheim daher die Entwicklung einer kritischen Zukunftsforschung deren Ziel es sein müsse, sich für eine humanere Welt einzusetzen und auch die Probleme und Nachteile der für die Zukunft skizzierten technischen Entwicklungen in den Blick zu nehmen (vgl. Hünemörder 2004, 11f).

In Frankreich entwickelte sich unter dem Begriff der *Prospective* seit den 1950er Jahren eine auf Gaston Berger zurückgehende Tradition der Zukunftsforschung, in der die weichen Faktoren wie kulturelle und gesellschaftliche Einflüsse eine wichtige Rolle spielen. In dieser Tradition steht das Konzept der *Prospective* sowie der *Futuribles*, der möglichen Zukünfte, das von B. de Jouvenel entwickelt wurde (de Jouvenel 2000). Hiermit begann ein Weg, der von den eher deterministisch ‚prognostizierend‘ orientierten ersten Ansätzen überleitete zu normativen Entwürfen wünschbarer Zukünfte und zur Untersuchung der Auswirkungen des technischen Fortschritts, die auch 1969 von der OECD in ihrer ‚Deklaration von Bellagio‘ aufgegriffen wurde. Darin wird gefordert, verstärkt Wertvorstellungen und Alternativen in die Planung einzubeziehen (vgl. Steinmüller 2003a, 15f).

Die Endlichkeit der Ressourcen und die Umweltproblematik wurden spätestens mit dem Bericht ‚Die Grenzen des Wachstums‘ von Meadows und Meadows (1972) an den Club of Rome als bedeutende Themen der Zukunftsvorausschau und der Planung erkannt. Gleichzeitig wurde hier ein computergestütztes, quantitatives Weltmodell eingesetzt, das es ermöglichte, Rückkoppelungen zwischen wirtschaftlicher Entwicklung, Ressourcenverbrauch, Umweltverschmutzung und Bevölkerungsentwicklung zu simulieren¹³. Allein aufgrund der Komplexität und Vielfalt der für dieses umfassende Modell erforderlichen Annahmen ist auch dieses Modell auf jeden Fall eher als Simulation möglicher Zukünfte, denn als Prognose zu verstehen (vgl. Rescher 1998, 194).

2.1.2 Übersicht über die wichtigsten etablierten Methoden

In der Zukunftsvorausschau werden, wie sich bereits aus ihrer Entwicklungsgeschichte zeigt, heute vielfältige Methoden und Ansätze genutzt, die sich unterschiedlich gliedern und systematisieren lassen¹⁴. In der vorliegenden Literatur werden die Methoden nach den unterschiedlichsten Ansätzen gruppiert bzw. klassifiziert, wobei keine der vorlie-

¹³ In der Folge dieser Arbeiten hat sich im Energie-, Umwelt- und Nachhaltigkeitsdiskurs eine starke Tradition quantitativ orientierter Szenarioarbeiten entwickelt. Ein näherer Überblick über diese Entwicklung findet sich unten in Abschnitt 3.1.3, Punkt 4. Die meisten in den folgenden Kapiteln aufgearbeiteten Beispiele lassen sich ebenfalls dieser Gruppe zuordnen.

¹⁴ Siehe dazu z.B. Steinmüller 2003b, 1997 oder Cuhls 1998.

genden Klassifizierungen universelle Geltung verlangen kann (vgl. Amara 1991, 647). Wesentlicher Grund dafür ist die Vielschichtigkeit und die variable Verwendbarkeit der existierenden Methoden.

Steinmüller (1997, 30ff) gibt einen Überblick über Stärken und Schwächen verschiedener Systematisierungsansätze. Er führt die Schwierigkeit, eine eindeutige Systematik der verschiedenen Methoden zu entwerfen, vor allem darauf zurück, dass zum einen die existierenden Methoden nicht eindeutig und allgemein definiert sind, dass sie zum anderen von verschiedenen Forschern oder Institutionen jeweils (leicht) unterschiedlich genutzt werden und dass zusätzlich von vielen Akteuren jeweils eine individuelle Terminologie verwendet wird. Während viele der genutzten einfacheren Techniken, wie z.B. Trendextrapolation oder Cross-Impact-Matrix noch sehr gut z.B. als quantitativ oder qualitativ charakterisiert werden können, werden im Rahmen der komplexeren Methoden, wie z.B. der Szenariotechnik häufig verschiedene Methoden bzw. Techniken in unterschiedlichsten Kombinationen verwendet. Hieraus folgt, dass z.B. Szenarioanalysen sowohl rein quantitative als auch rein qualitative Arbeiten, aber genauso gut auch eine Kombination beider Ansätze sein können.

Trotz der Schwierigkeit, die Methoden der Zukunftsvorausschau eindeutig zu systematisieren, kann mit Steinmüller (1997, 48f) festgehalten werden, dass in der Zukunftsvorausschau ein fester „Methodenkern“ existiert, „der wegen seiner praktischen Relevanz in allen Überblicksarbeiten dargestellt wird und alle Hauptaspekte von Zukunftsforschung – Prognose, Planung und Utopie – erfasst“. Nach Steinmüller werden dabei vier wesentliche Methodenrichtungen unterschieden, die je nach Aufgabenstellung und Zielrichtung entsprechend kombiniert eingesetzt werden:

- Prognoseverfahren (z. B. Trendextrapolation)
- Szenariomethoden (z. B. Szenariotechnik)
- Expertenbefragungen (z. B. Delphi-Technik)
- Kreativmethoden (z. B. Zukunftswerkstätten)

Die vier oben herausgestellten wesentlichen Methodenrichtungen sollen im Folgenden kurz skizziert werden.

2.1.2.1 Prognoseverfahren

Unter dem Begriff der Prognoseverfahren lassen sich eine ganze Reihe eher quantitativer Verfahren zur Extrapolation von Trends aus der Vergangenheit subsumieren. Sie werden neben der Technik und z.B. der Meteorologie vor allem im wirtschaftswissenschaftlichen Bereich eingesetzt. Beispiele sind Prognosen von Wirtschaftswachstum und anderen volkswirtschaftlichen Größen. Aber auch im Bereich der Finanzmärkte sind – meist kurzfristige – Prognoseverfahren sehr verbreitet.

Charakteristisch für alle diese Verfahren ist die Datenbasierung. D.h., Voraussetzung für ihre Nutzung sind lange Zeitreihen aus der Vergangenheit, anhand derer Gesetz-

mäßigkeiten der zu prognostizierenden Parameter isoliert und mit verschiedenen statistischen oder modellbasierten Verfahren extrapoliert werden¹⁵.

Übersichten über die verschiedenen in der quantitativen Prognosebildung eingesetzten Techniken, von der linearen Extrapolation über Regressionsanalyse bis hin zu komplexen Modellen, gibt die ökonomische Literatur (siehe z.B. Maddala 1977, Kmenta 1990).

In den hier relevanten Anwendungsfeldern wurde der Grundansatz der Prognose, d.h. der Darstellung einer einzigen Zukunft, spätestens in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts durch die Szenariomethode, die – durch die Bildung verschiedener Szenarien – stärker auf die Offenheit und Gestaltbarkeit der Zukunft abhebt, ergänzt und z.T. ersetzt. Allerdings werden im Bereich der quantitativen Szenarien – im Sinne einer in sich konsistenten und plausiblen Darstellung *möglicher* Zukünfte – viele der in der Ökonomie bzw. der Prognostik entwickelten bzw. genutzten Methoden eingesetzt.

2.1.2.2 Szenariomethoden

Das Szenario als Darstellung möglicher Zukünfte (im französischen Sprachraum wurde und wird auch der Begriff der *Futuribles – futurs possibles / mögliche Zukünfte – verwendet*¹⁶), hat sich in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr als das Kernkonzept der Zukunftsvorausschau etabliert (s. Abschnitt 2.1.3). Damit einhergehend kam es aber auch zu einer regelrechten Inflation des Szenariobegriffs (Steinmüller 2003b), so dass keine klare Definition der Methode möglich ist. Erschwert wird diese Problematik dadurch, dass das Szenario als komplexe Methode i.d.R. eine – gemäß der jeweiligen forschungspraktischen Notwendigkeiten – sehr unterschiedliche Kombination sehr verschiedener qualitativer und quantitativer Methoden darstellt.

Die Szenariomethode stammt ursprünglich aus der Theaterwissenschaft. Szenario bedeutete dort zunächst die Abfolge der einzelnen Szenen eines Stücks, später den Regieplan. In der Übertragung auf die Planung – zunächst im militärischen Bereich – und die Zukunftsforschung steht demnach die Abfolge verschiedener Schritte hin zu einem Zukunftszustand im Vordergrund. Die Zukunftsvorausschau selbst betont dabei insbesondere den Entscheidungsaspekt; d.h., welche Schritte zu welchem Zeitpunkt erforderlich sein sollen bzw. wann welche Entscheidungen möglich bzw. notwendig sind (vgl. Steinmüller 1997, 51).

¹⁵ Gablers Wirtschaftslexikon (¹⁶2004, 2429) geht in Abgrenzung zu Projektionen sogar so weit, zu definieren, dass Prognosen „ausschließlich auf Beobachtungen aus der Vergangenheit und objektive Verfahren gegründet“ werden. Projektionen dagegen berücksichtigen „auch subjektive Einschätzungen, etwa von Experten“. Dieser kategorischen Trennung wird hier zwar nicht gefolgt, sie betont aber ebenfalls die Basierung der Prognosemethoden auf Modellen und datenbasierten Verfahren.

¹⁶ Siehe dazu z.B. H. de Jouvenel (2000).

Grundsätzlich sollte ein Szenario bestehen aus

- einer zwar hypothetischen, aber konsistenten und möglichst konkreten Gesamtdarstellung einer zukünftigen Situation und
- einer ebensolchen Darstellung des Entwicklungswegs von der Gegenwart zu dieser Situation (vgl. Steinmüller 2003b, 6f).

Dabei können Szenarien sehr unterschiedlich dargestellt, d.h. kommuniziert werden. Das Spektrum reicht von Variantenrechnungen und den damit verbundenen Kurvenverläufen über skizzenhafte bis ausführliche Textdarstellungen bis hin zu einer literarischen oder, in seltenen Fällen, auch medialen Umsetzung des Inhalts.

Die Szenariomethode wird in den hier exemplarisch herausgegriffenen Anwendungsfeldern der strategischen Unternehmensplanung, der räumlichen Planung sowie der Energie- und Umweltforschung (siehe unten, Abschnitt 2.1.3.4) in zwei grundsätzlich unterschiedlichen *Ausprägungen* verwendet.

1. **Qualitative Szenarien** werden häufig in der Unternehmens- und Raumplanung eingesetzt. Zukunftstrends sowie mögliche alternative Entwicklungen werden vorwiegend qualitativ beschrieben. Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Trends werden ggf. mittels rangskaliertener Abschätzungen modelliert. Diese Szenarien bilden häufig – in Form eines so genannten Szenariotrichters – den Möglichkeitsraum zukünftiger Entwicklungen der Rahmenbedingungen ab, innerhalb dessen wahrscheinliche Szenariopfade ausgewählt werden und auf ihre Konsequenzen für das Unternehmen, seine Märkte sowie für zu treffende strategische Entscheidungen analysiert werden. Häufig werden Expertenworkshops zur Auswahl der Szenarien sowie zur Diskussion der Wechselwirkungen und der abzuleitenden Konsequenzen eingesetzt. Die Wechselwirkungen verschiedener Trends werden ggf. mit Wechselwirkungsanalysen, z.B. der Cross-Impact Matrix abgebildet. Beispielhaft für die qualitativen unternehmensorientierten Szenarien steht z.B. die Methodik nach von Reibnitz (1992), Batelle (1989) oder die Vorgehensweise bei der Daimler AG (Minx 2000).
2. **Quantitative Szenarien** nutzen dagegen stärker das mathematische bzw. statistische Instrumentarium der Prognosen wobei die Bildung quantitativer Modelle im Vordergrund steht. Sie werden – nach den Vorbildern der Berichte an den Club of Rome von Meadows, Meadows (1972) sowie Mesarovic, Pestel (1974) – vielfach im Energie- und Umweltbereich eingesetzt.¹⁷

¹⁷ Eine ausführlichere Darstellung der Entwicklung quantitativer Szenariomethoden im Umwelt- und Nachhaltigkeitsdiskurs findet sich in Abschnitt 2.1.3.4.

Hier sollen kurz die beiden im Umweltbereich relevantesten *Grundtypen von Szenarien* aufgezeigt werden (vgl. (Pulver, VanDeveer 2007, 2f)¹⁸. Diese Grundtypen können sowohl mit quantitativen als auch mit qualitativen Instrumentarien erstellt werden.

- Dies sind zunächst **explorative oder auch projektive Szenarien** ‚wahrscheinlicher Zukünfte‘ (Pulver, VanDeveer 2007, 2; de Jouvenel 2000, 46) (auch Trendszenarien, Referenz- oder ‚Business as Usual‘-Szenarien). Diese Szenarien schreiben im Wesentlichen heute schon angelegte Trends in die Zukunft fort bzw. antizipieren eine Zukunft, in der sich an den gegenwärtigen Präferenzen und Grundeinstellungen wenig ändern wird (‚Business as Usual‘). Ob dabei Konflikte zwischen einzelnen Trends bereits berücksichtigt sind oder schlicht ausgeblendet werden, hängt dabei von der methodischen Ausprägung der jeweiligen Szenarioanalyse ab. Häufig haben sie die Funktion eines Bezugsrahmens (Referenzszenario) für alternative Szenarioannahmen, deren Möglichkeiten oder Wirkungen häufig im Mittelpunkt der Gesamtanalyse stehen.
- Im Gegensatz dazu stehen die „Back-casting“ Szenarien einer ‚idealen Zukunft‘ (Pulver, VanDeveer 2007, 3; de Jouvenel 2000, 46). Diese **normativ ausgerichteten Szenarien** (Zielszenario, Strategieszenario, Wunsch- oder Horrorszenario) werden in der Regel aufgrund normativer Vorstellungen konstruiert, wobei häufig ein angestrebter Zielzustand skizziert wird. Im Mittelpunkt des Erkenntnisinteresses steht hier zumeist der Weg zum Ziel, d.h., welche Handlungsschritte erforderlich oder geeignet sind, um das Ziel zu erreichen. Normative Szenarien werden häufig einem explorativen Referenzszenario gegenübergestellt, um die notwendigen Änderungen und die entscheidenden Weichenstellungen gegenüber dem ‚Business as Usual‘-Pfad als Referenz deutlich zu machen.

Weitere wichtige Kriterien zur Systematisierung von Szenariomethoden sind

- der – ggf. sehr unterschiedliche – Zeithorizont, von kurz- über mittel- bis langfristig,¹⁹
- der Entscheidungs- und Handlungsbezug sowie
- die Perspektive, d.h. vor allem die Unterscheidung zwischen dem Vorwärts-Szenario, das die Trends aus Vergangenheit und Gegenwart in die Zukunft pro-

¹⁸ Pulver und VanDeveer 2007, 3 definieren neben den beiden hier dargestellten Grundtypen auch noch Szenarien für ‚robuste Entscheidungsfindung‘, die versuchen die gesamte Bandbreite möglicher Zukünfte abzubilden. Diese werden nach ihrer Einschätzung aber eher in Unternehmen sowie in der Sicherheitspolitik genutzt. Weniger dagegen im Umweltbereich.

¹⁹ Wobei auch die Definition dieser Begriffe je nach Anwendungsfeld stark differieren kann. So wird in der ökonomischen Literatur z.T. ein Zeitraum von mehr als einem Jahr bereits als langfristig bezeichnet. Im Bereich der Klimapolitik und Klimaforschung dagegen werden hierunter eher Zeiträume von 50 bis 100 Jahren verstanden.

jiziert und dem Rückwärtsszenario, das rückblickend aus einem Zielzustand die zur Erreichung desselben notwendige Handlungsabfolge darstellt.

Die Szenarioanalyse, hat sich – in ganz unterschiedlichen Ausprägungen – nach Meinung vieler Autoren²⁰ inzwischen als zentrales Werkzeug der Zukunftsvorausschau etabliert. Wobei häufig im Prozess der Szenarioerstellung die unterschiedlichen Methoden im Forschungsprozess kombiniert werden (vgl. Steinmüller 1997, 42).

2.1.2.3 Expertenbefragungen

Die Methoden der Expertenbefragung stützen sich auf das Wissen sowie die Erwartungen von Experten. Dies ist besonders dann wichtig, wenn z.B. kaum gesicherte Daten und Erfahrungen aus der Vergangenheit vorliegen, um Trends in die Zukunft fortzuschreiben. Auch bei der Suche nach möglichen Innovationen oder Störereignissen sowie bei der Interpretation und Bewertung von Prognosen oder Szenarien ist Expertenwissen notwendig. Dabei hängt es vom Thema ab, wer für die jeweilige Fragestellung als Experte gelten kann. Dies können auch z.B. – im Allgemeinen als ‚Nichtexperten‘ geltende – Normalbürger sein (siehe Kreativmethoden, Abschnitt 2.1.2.4).

Die – möglichst objektive²¹ – Gewinnung und Einbeziehung von Expertenwissen kann auf unterschiedlich aufwändige Art und Weise geschehen. Die Möglichkeiten reichen von der Auswertung der Aussagen eines einzelnen Experten, über Expertenworkshops, schriftliche oder mündliche Expertenbefragungen bis hin zu den ausgefeilten Delphi-Methoden. Dabei haben die unaufwändigeren Verfahren, z.B. die Expertenworkshops, aus vorwiegend pragmatischen Gründen in der Praxis die höchste Bedeutung erlangt (Amara 1991, 645f). Denn sie ermöglichen es, mit eingegrenztem Aufwand ein hohes Maß an Informationen aus unterschiedlichen Quellen bzw. Richtungen und Blickwinkeln zu gewinnen, zu sortieren und damit nutzbar zu machen.

Im Folgenden soll die Delphi-Analyse als ausgefeilteste Methode der ‚objektiven‘ Expertenbefragungen kurz dargestellt werden.

Wie die Szenarioanalyse wurde die Delphi-Methode in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts von der Rand Corporation entwickelt. Auch die Delphi-Methode – benannt nach dem im Altertum berühmten Orakel von Delphi – ist – wie die meisten Methoden der Zukunftsvorausschau – keine definiert feststehende Vorgehensweise,

²⁰ Allen voran, Amara 1991, aber auch Swart, Raskin, Robinson (2002), für eine Übersicht siehe z.B. Steinmüller (1997, 2003b).

²¹ Soweit dies überhaupt möglich ist. Rescher (1998, 96) gibt als drei zentrale Kritikpunkte an der Delphi-Methode an, den Konformitäts- und Konsensdruck dem die teilnehmenden Experten unterliegen, die letztendliche Basierung auf informierten Vermutungen und das Fehlen einer formalisierten wissenschaftlichen Basis an. Verschiedene Untersuchungen haben entsprechend gezeigt, dass auch die Einschätzungen ‚objektiver‘ Experten durch eine Reihe von Einflüssen und Erwartungen verzerrt werden (siehe dazu z.B. IPCC 2000, 6.9). Die Kreativ- oder Beteiligungsmethoden werden demgegenüber von Steinmüller (2003a) als eher normative Methoden gekennzeichnet.

sondern existiert in unterschiedlichen Ausprägungen (vgl. Cuhls 1998, 30). Es gibt jedoch Elemente, die üblicherweise bei jeder Delphi-Analyse vorzufinden sind:

- Die Delphi-Methode ist eine – meist anonyme – Expertenbefragung in zwei oder mehr Runden.
- Ab der zweiten Runde werden die Experten mit den Ergebnissen der vorhergehenden Runde konfrontiert und können ihre Einschätzungen aufgrund dieses Feedbacks modifizieren.

Die meisten Delphi-Analysen finden als schriftliche Befragungen – inzwischen auch internetbasiert²² – meist externer Experten statt. Sie werden durch eine Kerngruppe gesteuert, die die Fragen zusammenstellt, die Ergebnisse auswertet und sie für die nächste Runde aufbereitet etc.

In Deutschland wurde und wird die Delphi-Methode im Rahmen der Technikvorausschau und der Innovationssteuerung genutzt. Basierend auf japanischen Vorläufern wurden bereits mehrfach Studien zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik durchgeführt, bei denen jeweils zahlreiche Fragen (mehr als 1000 Thesen zu 12 Technologiefeldern) von einem breiten Expertenpanel beantwortet wurden (Steinmüller 2003a, 43).

Ein Beispiel zur Einbeziehung von Expertenwissen in die Ausgestaltung quantitativer Energieszenarien geben Lechtenböhrer und Thomas (2003). Dabei wurden zwei Expertengruppen um ihre jeweilige Einschätzung gebeten, mit welchen energiepolitischen Instrumenten bzw. Instrumentenbündeln vorher quantitativ spezifizierte Energieeffizienzpotentiale umgesetzt werden können. Dabei konnten sowohl der Umfang der Potentialerschließung als auch die Umsetzungsintensität, d.h. die Eingriffstiefe des Instruments bewertet werden. Dieser Ansatz ist damit auch ein typisches Beispiel für die Integration unterschiedlicher Techniken sowie qualitativer und quantitativer Ansätze in einem Anwendungsfall.

2.1.2.4 Kreativmethoden

Kreativmethoden werden z.B. in Steinmüller (2003a, 45) auch als Beteiligungsmethoden oder als normative, expertenbasierte Methoden charakterisiert. Sie wurden als Methoden entwickelt, um neben ‚klassischen‘ Fachexperten (s.o. Expertenbefragung) auch den Sachverstand der Betroffenen, d.h. der Bürgerinnen und Bürger bzw. der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Unternehmen in den Prozess der Zukunftsplanning und -gestaltung einzubeziehen. Denn letztlich sind die Betroffenen häufig sehr gute und meist auch objektive Experten für ihre eigenen Belange.

Sie erfüllen damit zwei wichtige Funktionen: Sie erschließen ein weiteres Kreativitätspotential, indem sie den Kreis der Experten ausdehnen und sie können – durch die

²² Delphi-Befragungen über das Internet fanden z.B. im Rahmen des deutschen Forschungsdialogs ‚futur‘ und im Rahmen der europäischen Energie Delphi Studie (EURENDEL 2004) statt.

Einbeziehung von Betroffenen – auch zur Förderung bzw. Schaffung von größerer Akzeptanz bezüglich der Planungen dienen. Vermutlich aus letzterem Grund sind diese Methoden verstärkt im Bereich der räumlichen Planung entwickelt worden.

Aufgrund ihrer starken partizipativen Ausrichtung und des breiten Teilnehmerkreises steht bei den Kreativmethoden die Organisation und Durchführung der Einbeziehung von Bürgerinnen und Bürgern im Vordergrund der Methodenentwicklung. Dabei ergeben sich naturgemäß zahlreiche Berührungspunkte zu Moderationstechniken.

Wer an der Gestaltung und Planung einer Zukunftsentwicklung selbst beteiligt war, konnte ggf. – bei entsprechender Ausgestaltung und Moderation des Prozesses – seine eigenen Interessen besser artikulieren und in die letztendlichen Planungen einbringen. Er kennt aber auch die Restriktionen und Randbedingungen genauer, die letztlich dazu führten, dass nicht alle Beteiligten alle ihre Interessen durchsetzen konnten.

Wichtige Kreativ- bzw. Beteiligungsmethoden sind die Zukunftswerkstatt, die Zukunftskonferenz, Planungszellen und Mediationsverfahren²³. Stellvertretend für diese Methoden soll im Folgenden die Zukunftswerkstatt (Jungk, Müllert 1987) kurz dargestellt werden.

Die von Jungk und Müllert Anfang der 80er Jahre entwickelte Zukunftswerkstatt ist eine Methode, anhand der sich Betroffene aktiv mit Zukunftsvorstellungen auseinanderzusetzen mit dem Ziel Handlungsfähigkeit herzustellen. Dabei soll „Soziale Phantasie“ kreiert werden, „um zu Problemlösungen für Organisationen und Institutionen zu kommen und individuelle Lebensperspektiven zu entwerfen“ (Richter et al. 1999, 78).

Die Zukunftswerkstatt eignet sich z.B. dazu „Szenarien sozialer, politischer und wirtschaftlicher Veränderungen und neue Wert- und Zielsetzungen zu entwickeln“. Dabei ist ihr Themenspektrum kaum eingeschränkt. Es reicht von konkreten Planungs- und Entwicklungsfragestellungen an einem bestimmten Ort, die z.B. im Sinne einer „Problemlösewerkstatt“ bearbeitet werden, bis hin zu sehr offenen Fragen der Zukunftsgestaltung bzw. Zukunftsvisionen wie z.B. ‚Wie soll unsere Stadt in der Zukunft aussehen?‘ (Richter et al. 1999, 78).

Eine typische Zukunftswerkstatt hat eine begrenzte Teilnehmerzahl von ca. 15 bis 25 Personen und besteht aus einer Vorbereitungsphase, in der die Festlegung des Themas und die praktischen Vorbereitungen stattfinden, und drei Werkstattphasen, der Beschwerde- und Kritikphase, der Phantasie- und Utopiephase und der Verwirklichungs- und Praxisphase. In der Regel schließt sich eine Nachbereitungsphase an.

²³ Eine gute Übersicht über die Kreativmethoden und ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis mit Bezug zur lokalen Agenda 21 gibt die Broschüre von Apel u.a. (1998).

2.1.3 Wichtige Anwendungsbereiche der Zukunftsvorausschau am Beispiel der Szenariotechnik

Auf der Basis der Entwicklungen bis Mitte der 70er Jahre hat sich seitdem eine breite Nutzung der Methoden der Zukunftsvorausschau und insbesondere der Szenariotechnik herausgebildet. Die Szenariotechnik, und mit ihr die Vorstellung verschiedener möglicher Zukünfte, hat sich damit in vielen Bereichen gegenüber der Prognose, d.h. der einen vorherbestimmten bzw. zu planenden Zukunft als Denkmodell durchgesetzt. Wichtige aktuelle Anwendungsfelder, die sich z.T. auch überlappen sind die Forschungs- und Innovationspolitik, die strategische Unternehmensplanung, die räumliche Planung sowie die Energie- und Umweltpolitik. Sie sollen hier nur kurz skizziert werden.²⁴

2.1.3.1 Forschungsplanung und Innovationspolitik

Bei der Einführung der Zukunftsforschung spielten die Forschungsplanung und die Innovationspolitik eine bedeutende Rolle. Die Beschleunigung des technischen Fortschritts und die Wahrnehmung in Deutschland und anderen Europäischen Ländern, von den USA und Japan abgehängt zu werden, führten dazu, dass der „Forschung über die Forschung“ sowie der Planung der Forschung ein höherer Stellenwert eingeräumt wurde (vgl. Hünemörder 2004). In Deutschland und auch zahlreichen anderen Ländern werden z.B. regelmäßig Delphi-Studien in Auftrag gegeben, die den Innovationsbedarf sowie bedeutsame Innovationsfelder für die Zukunft ermitteln sollen (vgl. Cuhls 1998).

Die Ende 2004 veröffentlichten Ergebnisse des im Auftrag der EU durchgeführten ersten europäischen Energie-Delphi (EURENDEL Projekt)²⁵ resultieren aus einer internetbasierten, in zwei Befragungsrunden in den Jahren 2003 und 2004 durchgeführten Delphi-Studie zu Energiethemen, für die europaweit 3.800 Energieexperten angeschrieben wurden, von denen letztlich 700 an beiden Runden teilnahmen. Ziel dieser breit angelegten Studie war es, energiebezogene Prioritäten für Forschung und Entwicklung mit einem Zeithorizont bis 2030 zu erhalten, die dann vor dem Hintergrund dreier qualitativer Szenarien diskutiert wurden (EURENDEL 2004, 5).

Zur Frage der relevanten Zukunftsthemen wurde im Jahr 2001 der deutsche Forschungsdialo g Futur initiiert. Unter der Fragestellung „Woran müssen wir heute forschen, damit wir in 20 Jahren gut leben können?“ wurden in einem partizipativen Dialogprozess u.a. mit Hilfe der Szenario- und der Delphi-Technik Leitvisionen für die

²⁴ Anwendungen im wirtschafts- und finanzwissenschaftlichen Bereich, z.B. in der – eher kurzfristigen – Prognose von Aktien- und Wechselkursen, die vielfach auf ausgefeilte statistische und ökonomische Instrumente zurückgreifen, werden dagegen hier nicht berücksichtigt, da sie zum einen typischerweise auf kürzere Zeiträume von meist bis zu einem Jahr ausgerichtet sind und vor diesem Hintergrund einen Schwerpunkt auf die statistische Analyse von Vergangenheitszeitreihen legen.

²⁵ Die Berichte dieser Delphi-Studie sowie weitere hilfreiche Links finden sich auf der Projekt-Webiste: <http://www.izt.de/eurendel>.

künftige Forschungspolitik entwickelt, die nun in die Forschungsförderung umgesetzt werden sollen (www.futur.de).

2.1.3.2 Strategische Unternehmensplanung

Vorreiter und bekanntester Akteur der Nutzung von Zukunftsvorausschau und insbesondere der Szenariotechnik in Unternehmen ist die Shell Group. Shell setzte diese Methoden bereits frühzeitig – noch vor der Ölpreiskrise 1974 – ein (vgl. Wack 1985 a,b). Kern der Szenariotechnik in der strategischen Unternehmensplanung ist der Entwurf möglicher Zukünfte, unter besonderer Berücksichtigung der für die Unternehmensstrategie bedeutsamen Parameter. Auf der Basis eines so aufgespannten Möglichkeitsraums und der Analyse der jeweiligen Auswirkungen auf das Unternehmen und seine strategischen Ziele können so Handlungsmöglichkeiten, Alternativen und Optionen entwickelt werden²⁶. Der Vorteil für das Unternehmen besteht darin, dass es auf sich ändernde Umfeldbedingungen schneller reagieren kann als z.B. Konkurrenten, da man sich bereits im Vorfeld mit der Möglichkeit dieser Änderungen und möglichen Reaktionen befasst hat. So konnte Shell mit den Konsequenzen der – nicht präzise vorhersagbaren, aber als mögliche Zukunft im Vorhinein denkbaren – Bildung des OPEC-Kartells und der folgenden ersten Ölpreiskrise in den Jahren 1973 und 1974 besser umgehen als viele Konkurrenten und zum zweitgrößten der ‚sieben Schwestern‘ genannten großen global operierenden Mineralölkonzerne aufsteigen (vgl. Schwartz 1991, 7f).

Heute ist die Nutzung von Methoden der Zukunftsvorausschau in der strategischen Planung – größerer – Unternehmen relativ weit verbreitet (vgl. Weber 1990, Kreibich u.a. 2002). Unternehmen wie z.B. die Daimler AG unterhalten eigene Abteilungen, die sich mit der Anwendung und Entwicklung entsprechender Methoden innerhalb des Konzerns, aber auch als Dienstleistung für Dritte befassen (Minx 2000).

2.1.3.3 Räumliche Planung

Auch in der räumlichen Planung, z.B. bei größeren Städtebauprojekten oder anderen wichtigen Planungen werden Szenariotechnik, Planungszellen oder andere Instrumente eingesetzt. Ziel ist häufig die Ermöglichung von Partizipation der Betroffenen in der Planung und ggf. auch um den Ausgleich von Interessen (siehe ILS 1989).

Gleichzeitig wird mit Blick auf den größeren Rahmen der – vor allem urbanen – Entwicklung betont, dass sich die räumliche Planung – neben der Nutzung von Zukunftsinformationen (z.B. von kleinräumigen Bevölkerungs- und Infrastrukturprognosen) – auch an Visionen bzw. Utopien der gewünschten Zukunft orientieren und diese mitgestalten muss (Myers, Kitsuse 2000). Zukunftsstudien in der Raum- und Regionalplanung wurden und werden vor allem auch in Frankreich entwickelt und eingesetzt. Hier wurde

²⁶ Eine gute Einführung für die Nutzung der Szenarioanalyse in der strategischen Unternehmensplanung bieten die Arbeiten von v. Reibnitz (z.B. 1992) oder auch Burmeister, Neef u. Beyers (2004).

auch das umfassende Konzept der *Prospective* die sowohl die *Zukunftsanalyse* als auch die *Zukunftsgestaltung* umfasst entwickelt (de Jouvenel 2000, 37, 46)²⁷.

2.1.3.4 Umwelt-, Energie-, Ressourcen und Nachhaltigkeit

Mit dem Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ von 1972 und der ersten Ölpreiskrise 1993/74 bekamen das Energie- und das Umweltthema eine höhere Dringlichkeit. In zahlreichen Ländern sowie von der OECD und anderen wurden nun – auch nach dem Vorbild von Shell – Energieszenarien entwickelt.

In Deutschland entstanden – auch in der Tradition der kritischen Zukunftsforschung Jungks (s.o.) – z.B. die kritischen Arbeiten des Pestel-Instituts (Pestel u.a. 1978) und des Öko-Instituts in der Studie „Energiewende“ (Krause u.a. 1980). In diesen Studien wurde erstmals eine Alternative zum massiven Ausbau der Kernenergienutzung in Deutschland skizziert. Sie hinterfragten die – bis dahin rein aus der Vergangenheit extrapolierten und wie die Abbildung 1 zeigt, im Nachhinein gesehen völlig unrealistischen – massiven Stromverbrauchssteigerungen in den staatlichen Energieprogrammen und propagierten Energieeffizienz bzw. Energiesparen, dezentralere Strukturen regenerative Energien und nicht nukleare Kraftwerkstechniken als Alternative zum bis dahin ungebrochenen Ausbaupessimismus der Kernenergieprotagonisten (vgl. Diefenbacher, Johnson 1987 sowie Loske 1997, 267)²⁸.

Die Enquete-Kommission „Zukunft der Kernenergie“ des deutschen Bundestages ließ vier alternative Szenarien entwickeln. Zwei Kernenergieausbaupfade – die bis 2030 einen Ausbau der Kernkraftwerksleistung auf 165.000 Megawatt (das entspricht 127 Kernkraftwerken heutiger Größe! Tatsächlich sind derzeit 17 Kernkraftwerke mit zusammen rd. 21.000 Megawatt in Betrieb.) vorsahen – und zwei Ausstiegspfade. Erstmals wurden damit im 1980 erschienenen Endbericht auch ‚offiziell‘ Zweifel an der Wachstumsgläubigkeit der Strom- und Energieverbräuche sowie der zukünftigen Nutzung der Kernenergie geäußert. Die Kommission empfahl ein Moratorium des Kernenergieausbaus bis zum Jahr 1990 und erst dann über die weitere Nutzung dieser Technologie zu entscheiden (vgl. Diefenbacher, Johnson 1987).

Auch wenn das von der Kommission empfohlene Moratorium nur geringe Wirkung hatte, wurde doch für den Bereich der Energieprognosen der Glaube in die offiziellen Prognosen deutlich erschüttert²⁹. Hier setzte sich die Methode der Szenariobildung –

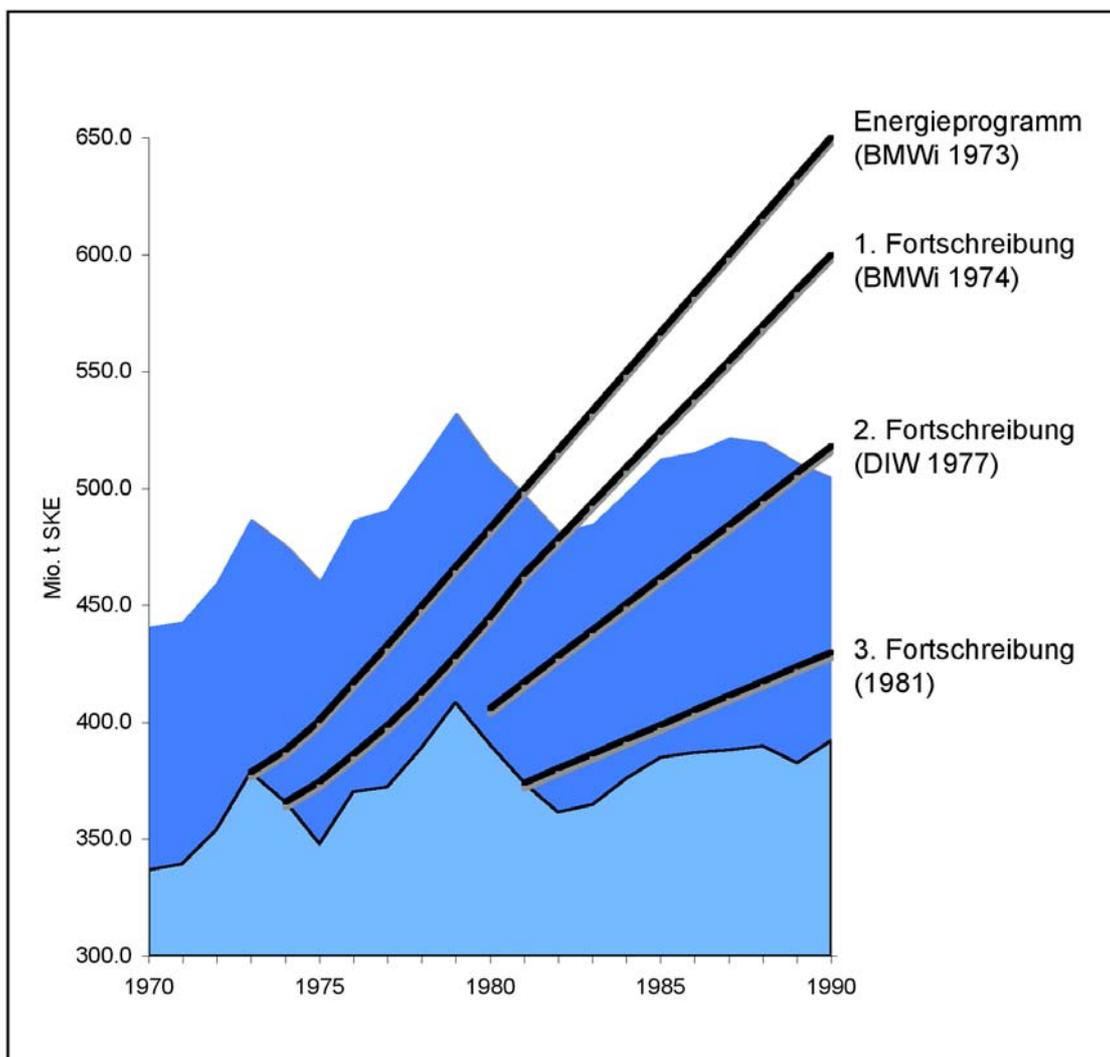
²⁷ Lt. Steinmüller (2003a, 7) hat sich dieses Konzept – unter dem englischen Titel „Foresight“ – inzwischen allgemein durchgesetzt. Im deutschen wird in der Regel von Zukunftsstudien bzw. Zukunftsforschung gesprochen.

²⁸ Ganz ähnliche Fehlprojektionen – z.T. klar interessengeleitet um z.B. die Ausbaunotwendigkeiten von Kernkraftwerken zu unterstreichen – hat es auch in den USA gegeben (vgl. Craig et al. 2002, 90). Es ist anzunehmen, dass dies auch in vielen anderen OECD-Ländern so oder ähnlich der Fall war.

²⁹ Im folgenden verzichtete das BMWi darauf, eigene Energieprognosen herauszugeben sondern beauftragte die Prognos AG mit entsprechenden Studien (v.a. Prognos 1984, 1992, 1995, Prognos/EWI 1999, EWI/Prognos 2005), machte sich deren Prognosen aber ausdrücklich nicht zu ei-

meist unter Nutzung quantitativer Modelle ähnlich derer, die zunächst zu Prognosezwecken genutzt wurden – stärker durch³⁰.

Abbildung 2-1: Vergleich offizieller Energieverbrauchsprognosen des deutschen Energieprogramms von 1973 sowie der 1. bis 3. Fortschreibung mit der realen Entwicklung (1970 bis 1990)



Quelle: Eigene Darstellung, nach Diefenbacher und Johnson (1987, 74) sowie Statistik der Kohlewirtschaft (2002) (hellblau: Westdeutschland; dunkelblau: Werte für Deutschland, gesamt; zwischen 1990 und 2005 ist der gesamtdeutsche Primärenergieeinsatz um weitere knapp 5% zurückgegangen)

Ähnliche Diskussionen mit zum Teil auch interessegeleiteten Fehlprojektionen hat es aber z.B. auch in den USA gegeben (vgl. Craig et al. 2002, 88ff).

gen (vgl. dazu z.B. die sehr explizite Vorbemerkung in BMWi 1996 sowie die Aussagen der Bundesregierung im 3. Nationalbericht zur Klimarahmenkonvention, 2002, 117).

³⁰ Z.B. die Studie von Prognos (1987), die für Deutschland ein Referenzszenario mit und ein Kontrastszenario mit intensiver Stromersparung und Ausbau der Kraft-Wärme Kopplung ohne Kernenergienutzung entwarf.

Der Super-GAU im Kernkraftwerk von Tschernobyl, Ukraine sowie die aufkommende Debatte um die Klimaproblematik beeinflussten die energie- und umweltpolitische Diskussion in den Folgejahren maßgeblich und führten u.a. dazu, dass weitere Szenarioanalysen des Energiesystems durchgeführt wurden. Wiederum waren es Enquete-Kommissionen des Bundestages (1990 bis 1994 sowie 1994 bis 1998 zur Klimaproblematik und 1998 bis 2002 zu einem Nachhaltigen Energiesystem), die maßgeblichen Einfluss darauf hatten, dass Szenarien zu einem klimaverträglichen bzw. – dann weiter gefasst – nachhaltigen Energiesystem erstellt wurden (vgl. Hennicke 2004, 2005 sowie Hennicke und Fishedick 2006) .

Mit der Studie ‚Zukunftsfähiges Deutschland‘ des Wuppertal Instituts (Loske et al. 1996) wurde die seit dem Brundtland-Bericht (Hauff 1987) geführte Nachhaltigkeitsdebatte erstmals konkret auf Deutschland übertragen. Es wurden Handlungsziele für verschiedene Bereiche aufgestellt, um die komplexen Anforderungen der Nachhaltigkeit im Zieldreieck von Ökonomie, Ökologie und Sozialem zu operationalisieren.

Mit der Verabschiedung der Klimarahmenkonvention 1992 in Rio de Janeiro (UN 1992)³¹ haben Szenarien und Prognosen für einen weiteren Bereich an Bedeutung gewonnen. Eine der drei Arbeitsgruppen des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), der von der WMO (World Meteorological Organization) eingesetzten Expertenorganisation zur Erforschung der Klimaproblematik, beschäftigt sich konkret mit Szenarien. Dabei handelt es sich um Szenarien zur Entwicklung des Weltklimas bis zum Ende des Jahrhunderts und – die als Eingangsgröße benötigten – globale Emissionsszenarien, die das Energiesystem, das für über 50 % der anthropogenen Treibhausgase verantwortlich ist, sowie weitere Emissionsbereiche abbilden. Den letzten Berichten des IPCC zum Stand der Forschung in Bezug auf die Entwicklung des Weltklimas lag ein spezieller Bericht zu Emissionsszenarien (Nakicenovic et al. 2000), zugrunde, der für den Fourth Assessment Report aktualisiert wurde (IPCC 2007a,b) (zu weiteren Beispielen siehe auch Swart u.a. 2002). Zurzeit werden die ersten Ansätze zu neuen Emissionsszenarien im IPCC diskutiert (vgl. Meinshausen, Hare 2007).

Außerdem verpflichtet die Klimarahmenkonvention die Industriestaaten dazu, in ihren regelmäßig zu erstellenden Nationalberichten eigene Emissionsprojektionen zu erstellen und zu veröffentlichen. Damit existiert für diese Länder erstmals eine völkerrechtliche Verpflichtung zur Erstellung von Prognosen bzw. Szenarien ihres Energiesystems (s.u.).

Neben den Szenarioanalysen des IPCC, die vor allem auf umfangreichen Modellsimulationen des Weltklimas sowie auf quantitativen Modellen zur Emissionsberechnung beruhen, hat das US-Verteidigungsministerium unlängst eine Szenario-Studie herausgegeben, die auf einer eher qualitativen Szenariobildung beruht und die sehr plastisch eine mögliche Folge des Klimawandels thematisiert (Schwartz, Randall 2003). Es

³¹ Nähere Informationen zur Klimarahmenkonvention finden sich auf der website www.unfccc.int.

handelt sich um das in Fachkreisen schon länger diskutierte Phänomen einer möglichen Unterbrechung des Golfstroms, die für Nordamerika und Europa zu einer extremen – und raschen – Abkühlung und damit zu eiszeitähnlichem Klima führen könnte. Dies ist zwar nicht unbedingt das wahrscheinlichste Szenario (Schwartz, Randall 2003, 1), aber wenn es einträte, hätte es katastrophale Folgen, die in dem Bericht analysiert und plastisch dargestellt sind. Die Autoren betonen daher die Notwendigkeit näherer Untersuchungen zu den drei Grundfragen: ‚Wann könnte dieses Ereignis eintreten?‘, ‚Was für Folgen würde es haben?‘ und ‚Wie können wir uns am besten darauf vorbereiten?‘

2.2 Nationale Emissionsprojektionen im Rahmen der Klimarahmenkonvention

Mit der Klimarahmenkonvention und dem am 16.2.2005 in Kraft getretenen Kyoto-Protokoll haben sich die meisten Staaten der Welt zu konkreten Zielen zur Verringerung der Emissionen klimaschädlicher, der so genannten Treibhausgase verpflichtet. Damit gelten für die in Annex I zur Klimarahmenkonvention aufgeführten Industrieländer unter den Unterzeichnerstaaten des Kyoto-Protokolls erstmals völkerrechtlich verbindliche Vorgaben zur Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen (UN 1998).

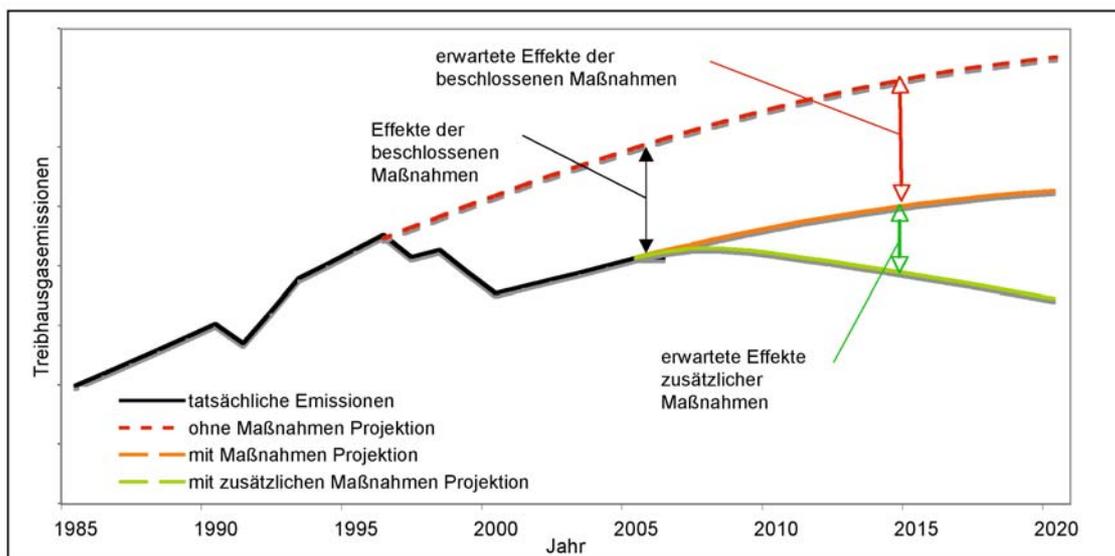
Zur Verifizierung der tatsächlichen Erfüllung der international übernommenen Pflichten zur Minderung der Treibhausgasemissionen durch den jeweiligen Vertragsstaat, haben sich die Staaten in der Klimarahmenkonvention ebenfalls verpflichtet, nationale Inventare der Quellen und Senken von Treibhausgasen zu führen. Diese Inventare sind ein wichtiges, aber nicht hinreichendes Instrument einer regelmäßigen Überprüfung einer verbindlichen nationalen und internationalen Klimaschutzpolitik. Denn es kann das Problem auftreten, dass bei Vorliegen eines Emissionsinventars, das die Verfehlung der gesetzten Ziele anzeigt, keine Reaktionsmöglichkeiten mehr vorliegen³². Zur Entschärfung dieser Problematik, d.h. zur möglichst raschen Verifizierung der jeweiligen nationalen Emissionsminderungsbeiträge, sind – neben der zeitnahen Erstellung der Inventare – Programme zur Emissionsminderung in Verbindung mit einer ‚ex-ante‘ Evaluierung ihrer Wirksamkeit geeignet. Entsprechend fordert die Klimarahmenkonvention von den Industrieländern³³, in ihre alle drei Jahre abzugebenden Nationalberichte neben einer Aufstellung der nationalen Klimaschutzpolitiken eine „genaue Schätzung der Auswirkungen“ der nationalen Klimaschutzmaßnahmen, d.h. Projektio-

³² Aus klimapolitischer Sicht bleibt in diesem Fall als Ausweg nur noch der ‚Vortrag‘ der Zielverfehlung auf das Emissionslimit künftiger Jahre. Dies dürfte aber die Einhaltung der Ziele weiter erschweren, da in der Zukunft nicht nur auf einen mit niedrigeren Emissionen verbundenen Pfad eingeschwenkt werden muss, sondern auch noch zusätzliche Emissionsminderungen (zur Kompensation der in der Vergangenheit nicht erreichten Minderungen) erreicht werden müssen. Siehe dazu auch die entsprechenden Regelungen zur Umsetzung des Kioto-Protokolls.

³³ Exakt: von den in Annex I zur UNFCCC aufgelisteten Staaten.

nen der erwarteten Entwicklung der Treibhausgasemissionen die nicht im Montrealer Protokoll geregelt sind über die nächsten 10 bis 15 Jahre aufzunehmen.

Abbildung 2-2: Hypothetische Emissionsprojektionen für ein Treibhausgas



Quelle: Eigene Darstellung, nach FCCC/CP/1997, englisch, 7

Mit ihrer Entscheidung Nr. 280/2004/EG vom 11. Februar 2004 über ein System zur Überwachung der Treibhausgasemissionen in der Gemeinschaft und zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls (so genannter Monitoring Mechanismus³⁴) hat die EU zudem ihre Mitgliedsstaaten verpflichtet, neben der Berichterstattung über den *tatsächlichen* Fortschritt der Emissionsminderungspolitik im Rahmen ihrer nationalen Treibhausgasinventare auch regelmäßig über den *voraussichtlichen* Fortschritt zu berichten. In diesem Rahmen müssen die Mitgliedsstaaten seit 2005 alle zwei Jahre einen Bericht über ihre „nationalen Vorausschätzungen der Emissionen von Treibhausgasemissionen“ bis 2020 abgeben (Artikel 3 S. 2b). Dabei sollen laut Beschluss sowohl die ‚mit Maßnahmen‘ und ‚mit weiteren Maßnahmen‘ Projektionen als auch die dahinter liegenden politischen Maßnahmen dargestellt werden (vgl. Abbildung 2-2).

In diesem Abschnitt werden die Funktionen der Emissionsprojektionen innerhalb des Instrumentariums der Klimarahmenkonvention dargestellt und in die Methoden der Zukunftsvorausschau eingeordnet. Nationale Emissionsprojektionen sind ein wichtiges Beispiel für die Nutzung von Zukunftsstudien für die politische Planung im internationalen Kontext.

³⁴ Der Monitoring Mechanismus als solcher wurde bereits 1993 eingerichtet und seitdem mehrfach erweitert (vgl. EEA 2000, 8).

2.2.1 Rolle, Definition und Anforderungen

Während für die Erstellung nationaler Inventare der Treibhausgasemissionen mittlerweile international verbindliche detaillierte Richtlinien des IPCC (1996, 2000, 2006) vorliegen, fehlen für die formale und methodische Ausgestaltung der „genauen Schätzung der Auswirkungen“ der ergriffenen Maßnahmen, d.h. für die Emissionsprojektionen, bislang noch methodische Vorgaben.

Lediglich erste sehr grobe Richtlinien wurden von der 5. Konferenz der Vertragsstaaten 1999 in Buenos Aires im Rahmen der Entscheidung 4 (Dec. 4/CP5) zur Abfassung der zum 30.11.2001 fälligen 3. Nationalberichte der Annex I-Staaten beschlossen. Dabei wurden drei verschiedene Emissionsprojektionen („Ohne Maßnahmen (without measures)“, „Mit Maßnahmen (with measures)“ und „Mit zusätzlichen Maßnahmen (with additional measures)“) sowie die Stützjahre 2005, 2010 und 2015 vorgesehen (siehe oben, Abbildung 2-2).

Die entsprechenden „Guidelines on Reporting and Review“ (FCCC/CP/1999/7, 87ff) präzisieren darüber hinaus im Wesentlichen, dass die Projektionen möglichst für alle sechs im Kyoto-Protokoll geregelten Treibhausgase und differenziert nach Sektoren erstellt werden und möglichst transparent dokumentiert werden sollen.

2.2.2 Stand nationaler Emissionsprojektionen

Nationale Emissionsprojektionen wurden als Teile der vier bisher vorzulegenden Nationalberichte der Industrieländer (sog. Annex I-Staaten der Klimarahmenkonvention) erstellt und veröffentlicht. Einen ersten Überblick über die wesentlichen Inhalte, die angewendeten Methoden, die zugrunde liegenden Annahmen und die Kernergebnisse der 2003 im Rahmen der 3. sowie 4. Nationalberichte veröffentlichten Emissionsprojektionen von 32 bzw. 39 Staaten geben die Syntheserichte des Klimasekretariats (FCCC/SBI/2003/7/Add.3 und FCCC/SBI/2007/INF.6/Add.1)³⁵.

Insgesamt enthalten 39 der ausgewerteten 4. Nationalberichte eine Mit-Maßnahmen-Projektion und 22 eine Mit-zusätzlichen-Maßnahmen-Projektion. Nur sechzehn Staaten legten auch eine Ohne-Maßnahmen-Projektion vor. Dabei liegt in fast allen Emissionsprojektionen ein inhaltlicher Schwerpunkt auf den energiebedingten Treibhausgasemissionen, vor allem CO₂. Gründe dafür sind zum einen die zentrale Bedeutung dieses Bereichs für die Gesamtemissionen und die – aufgrund der hier bereits seit längerem bestehenden Erfahrungen mit Prognosen und Szenarien (vgl. Abschnitt 2.1.3) für den Energiebereich weiter fortgeschrittenen methodischen Grundlagen (FCCC/SBI/2003/7/Add.3, 3f).

Als wesentliche Defizite der vorgelegten Projektionen in den 3. Nationalberichten hob das Klimasekretariat das Fehlen von Emissionsprojektionen für den Verkehrsbereich sowie für Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) und die fluoridierten

³⁵ Eine weitere Übersicht über die Emissionsprojektionen gibt auch UNFCCC (2005, 84).

Treibhausgase HFCs, PFCs und SF₆ hervor. Darüber hinaus beschränkten sich viele Projektionen auf den Zeithorizont bis 2010 (FCCC/SBI/2003/7/Add.3, 4). Diese Defizite wurden graduell in den 4. Nationalberichten behoben. So begrenzten nur noch fünf Länder ihre Projektionen auf den Zeitraum bis 2010. Vier Länder projizierten bis 2025 bzw. 2030. Die Effekte der Landnutzung und der Landnutzungsänderungen (LU-LUCF) wurden aber nach wie vor nur von einer Minderheit projiziert (FCCC/SBI/2007/INF.6/Add.1, 39f).

In methodischer Hinsicht (vgl. FCCC/SBI/2003/7/Add.3, 7f.) sind die Projektionen energiebedingter Emissionen, die Projektionen anderer Treibhausgase bzw. Sektoren sowie die Projektionen der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft zu unterscheiden. Diese drei Bereiche werden typischerweise separat betrachtet und mit jeweils individuellen (ggf. über gleiche Rahmenannahmen gekoppelten) Modellen und Ansätzen berechnet.

Die verwendeten *Energie- und Emissionsmodelle* sind im Regelfall entweder reine makroökonomische Modelle oder integrierte Modelle, die makroökonomische top-down und technische bottom-up Ansätze kombinieren. Dabei werden in den makroökonomischen Teilen sowohl allgemeine Gleichgewichts- als auch partielle Gleichgewichtsmodelle eingesetzt, deren Hauptzweck in der Simulation der Wechselwirkungen zwischen Energienachfrage, Wirtschaftswachstum und Energieangebot besteht.

- Die Energienachfrageseite, d.h. die Endnachfragesektoren Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, Private Haushalte und Verkehr, wird nur von einigen Staaten detailliert in sektorspezifischen Submodellen analysiert.
- Die Energieangebotsseite wird dagegen in den meisten Projektionen detailliert abgebildet. Dazu werden entweder dynamische Optimierungsmodelle wie z.B. Markal und EFOM oder Simulationsmodelle wie z.B. ENPEP, PRIMES und NEMS eingesetzt. Für die Stromerzeugung werden z.T. auch in den Simulationsmodellen dynamische Optimierungstechniken eingesetzt.

Für die beiden anderen Bereiche, nicht energiebedingte Emissionen sowie Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft werden dagegen einfachere Modellansätze genutzt. Dabei werden in der Regel die Entwicklungen für Emissionsfaktoren, Aktivitätsdaten und aktivitätsspezifische Wachstumsannahmen verwendet, die zusammen für die jeweiligen Teilbereiche Emissionsprojektionen ergeben. Z.T. wurden die Wachstumsannahmen der im Bereich der energiebedingten Emissionen verwendeten, makroökonomischen Modelle genutzt.

Der Vergleich der *Basisannahmen* der verschiedenen nationalen Emissionsprojektionen zeigt ein interessantes Bild für eine zentrale Annahme, die Entwicklung des Weltmarktpreises für Rohöl (siehe FCCC/SBI/2003/7/Add.3, 9f.). Trotz relativ einheitlicher Quellen – World Energy Outlook der internationalen Energieagentur (IEA), EU Energy Outlook to 2020 und Annual Energy Outlook des US Energieministeriums (DOE-EIA) –

differieren die den verschiedenen Emissionsprojektionen zugrunde liegenden Annahmen für den Ölpreis erheblich. Neun Staaten erwarten für 2010 einen Ölpreis von unter 20 US\$ pro Barrel, während sechs Länder einen Preis von 20 bis 25 US\$ und drei Länder einen Preis über 25\$ pro Barrel annehmen. Dies zeigt eine klare Inkonsistenz der Emissionsprojektionen in Bezug auf eine zentrale – und natürlich für alle Staaten gleiche – Basisgröße³⁶.

Die von den UNFCCC Guidelines empfohlenen *Sensitivitätsanalysen* der Projektionen in Bezug auf die ihnen zugrunde liegenden Annahmen (FCCC/CP/1999/7, 90) wurden von einigen Staaten durchgeführt. Wichtige Gegenstände von Sensitivitätsanalysen waren das zugrunde gelegte Wirtschaftswachstum, die technische Entwicklung sowie die Entwicklung der Energiepreise.

2.2.3 Einordnung in die Methoden der Zukunftsvorausschau

Die Entwicklung nationaler Emissionsprojektionen ist eine transparente und quantifizierte Zukunftsvorausschau in einem definierten Themenbereich, der Energie- und Klimapolitik. Methodisch ist vor allem die Abgrenzung zu Prognosen und Szenarien relevant. Denn Emissionsprojektionen haben vor dem Hintergrund ihrer Zwecke und der an sie gestellten Anforderungen – trotz ihrer Bezeichnung – Elemente sowohl von Szenarien als auch von Prognosen.

Generell gilt zunächst, dass die nationalen Emissionsprojektionen quantitative Ergebnisse zu den zu erwartenden Treibhausgasemissionen des berichtenden Staates liefern sollen. Wie oben dargestellt, greifen die meisten Projektionen – vor allem für den zentralen Bereich der energiebedingten Emissionen – hierfür auf differenzierte Modelle zurück. Sie sind in diesem Zusammenhang also klar als quantitative Arbeiten zu charakterisieren. Ihr Anwendungsbereich liegt zudem eindeutig im Energie- und Umweltbereich, wobei sie auf die in vielen Ländern bereits seit längerem vorhandenen Vorarbeiten im Bereich der Energieprognose zurückgreifen. Eher qualitative Aspekte stehen – zumindest in der offiziellen Definition nicht im Mittelpunkt. Allerdings ist es denkbar, dass im Sinne einer integrierten Methodik z.B. zentrale Annahmen im Rahmen von Stakeholder-Prozessen oder in Delphi-Analysen hinterfragt werden.

Für die Einordnung als Szenarioanalyse sprechen die vorgeschriebenen Varianten („Ohne Maßnahmen“, „Mit Maßnahmen“ und „Mit weiteren Maßnahmen“). Mit diesen sollen mögliche Entwicklungen und Strategien im Sinne einer Exploration analysiert werden. Die „Mit-Maßnahmen“-Projektion wird dabei in der Regel im Sinne eines Basis, Trend- oder ‚Business as Usual‘-Szenario interpretiert, während die beiden anderen Projektionen in sich konsistente Abbildungen von Zukunftspfaden geben

³⁶ Gleichzeitig zeigt sich an diesem Beispiel, wie rasch sich auch zentrale Eckdaten der Projektionen als falsch herausstellen können und angepasst werden müssen, denn zwei bis drei Jahre später erwarten die wichtigsten aktuellen Projektionen ein Preisband von knapp unter 30 bis ca. 65\$ pro Barrel (Lechtenböhrer u.a. 2006, 41), während die EIA Ende 2007 bereits in der Basisvariante noch höhere Weltmarktpreise von 67\$ für 2010, 61\$ für 2020 und 72\$ für 2030 prognostiziert (AEO 2008, 12).

sollen, die sich ohne die ergriffenen klimapolitischen Maßnahmen ergeben hätten bzw. die sich ergeben können, wenn zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden. Damit spannen die Projektionen einen Möglichkeitsraum auf, innerhalb dessen sich die Treibhausgasemissionen eines Staates in den nächsten Jahrzehnten – in Abhängigkeit der Ausgestaltung und Intensität der Emissionsminderungspolitik des Staates – bewegen können. Sie bilden damit ein Set von Szenarien im Sinne der Beschreibung ‚möglicher Zukünfte‘ und mit dem Ziel Handlungsnotwendigkeiten und Handlungsoptionen herauszuarbeiten.

Die nationalen Emissionsprojektionen sollen aber auch prognostische Funktionen erfüllen, wie dies bereits die einzige vorliegende Definition im Konventionstext – der „genauen Schätzung der Auswirkungen“ der ergriffenen Maßnahmen – nahe legt (UN 1992, Art. 12 (2b)). Außerdem, dies gilt insbesondere für die Mit-Maßnahmen Projektion, würde ihre Erstellung als reine Exploration ohne den Anspruch, die aktuell angelegte Entwicklung realistisch wieder zu geben, kaum Sinn machen (vgl. auch Keilmann 1991, 7).

Ein Beispiel hierfür ist die Argumentation des deutschen Nationalen Klimaschutzprogramms von 2000 (Beschluss der Bundesregierung vom 18.10.2000), die aus den für Deutschland vorliegenden Energieprognosen unter Berücksichtigung der bereits ergriffenen Maßnahmen (v.a. die zu diesem Zeitpunkt jüngste quasi ‚offizielle‘ Energieprognose von Prognos und EWI von 1999) bis zum Jahr 2005 eine ‚Deckungslücke‘ zwischen dem Ziel einer Reduzierung der CO₂-Emissionen und der tatsächlich zu erwartenden Entwicklung konstatiert. Die zusätzlich beschlossenen Maßnahmen wurden im Klimaschutzprogramm entsprechend so geplant, dass ihre Umsetzung die für das Jahr 2005 erwartete Deckungslücke von 50 bis 70 Mio. t CO₂-Äquivalent durch zusätzliche Emissionsminderungen schließen sollte³⁷. Hier wurden Projektions- bzw. Prognoseergebnisse also sehr explizit zur Politiksteuerung und Maßnahmeplanung eingesetzt. Interessant ist in diesem Zusammenhang allerdings, dass sich die deutsche Bundesregierung in ihrem 3. Nationalbericht, in den diese Beschlüsse eingeflossen sind, sehr distanziert zur Aussagekraft von Szenarien und Prognosen äußert und sich diese explizit nicht zu eigen macht (Bundesregierung 2002, 117).

Insgesamt können nationale Emissionsprojektionen also klar als überwiegend modellgestützte quantitative Zukunftsstudien charakterisiert werden, die in der Tradition der energie- und umweltpolitischen Szenarioerstellung und -nutzung stehen. Gleichzeitig vereinen sie sowohl zentrale Elemente der Szenariotechnik als auch – vor allem in

³⁷ Warum dieses Ziel dennoch nicht erreicht wurde, wird in Wagner, Lechtenbömer und Thomas (2005) für den Bereich der privaten Haushalte näher analysiert. Dabei zeigt sich, dass die Erwartungen bezüglich der Emissionsminderungswirkung der beschlossenen Maßnahmen aus verschiedenen Gründen nicht erfüllt wurden. Dies waren Verzögerungen und Verwässerungen im Implementierungsprozess der geplanten Maßnahmen sowie die Einbeziehung von Politikfeldern, die in den Kompetenzbereich der EU fallen und somit gar nicht vom deutschen Gesetzgeber zu beeinflussen waren. Daneben waren die mit einzelnen Maßnahmen verknüpften Emissionsminderungserwartungen schlicht – aus methodischen Gründen – überoptimistisch (Wagner, Lechtenbömer, Thomas 2005, 1142).

Form der „Mit-Maßnahmen-Projektion“ – von Prognosen. Eine Analyse ihrer Qualität kann und sollte sich daher an den Kriterien der Evaluierung von Zukunftsstudien orientieren.

2.2.4 Ausblick: Emissionsprojektionen als Instrumente einer zielorientierten Politiksteuerung

Energie- und Emissionsprojektionen bzw. –szenarien sind nicht nur Instrumente innerhalb der Klimarahmenkonvention. Sie haben als Methode der ex-ante Evaluierung nationaler Energie- und Klimaschutzpolitiken im Rahmen einer zielorientierten Politik weitere wichtige Funktionen, die ebenfalls eine hohe Qualität der Emissionsprojektionen notwendig und sinnvoll machen.

Im Mittelpunkt stehen dabei:

- Die *langfristige Konsistenzprüfung* der eingesetzten und geplanten Maßnahmen und Strategien *in einem systemischen Gesamtkontext*. Diese Konsistenzprüfung bezieht sich sowohl auf das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten der Klimaschutz- und Emissionsminderungspolitik, auf die Konsistenz zwischen Klimaschutzpolitik und anderen Politikfeldern sowie den erwarteten Trends in Bevölkerung, Wirtschaft und Technologie, als auch auf die Konsistenz der Politiken verschiedener Staaten im Gesamtkontext³⁸.
- Sie ermöglichen eine Vorab-Bewertung der jeweiligen nationalen Politiken in Bezug auf deren *Zielerreichung* und im Sinne einer Zusammenstellung der vorhandenen nationalen Projektionen zu einem (weltweiten) Gesamtbild und die Bewertung wahrscheinlicher Entwicklungen der Treibhausgasemissionen der relevanten Mitgliedsstaaten der Klimarahmenkonvention³⁹.
- Sie sind wichtig, um die *Notwendigkeit strategischer Weichenstellungen* rechtzeitig erkennen zu können (vgl. Craig et al. 2002, 92f) und somit eine Voraussetzung für eine zielorientierte Politik.
- Sie können *Transparenz über Wirkungen und die Wirksamkeit energie- und klimapolitischer Strategien* schaffen und ermöglichen bzw. fördern so den politischen Diskurs über künftige Klimaschutzstrategien (vgl. z.B. Wagner, Lechtenböhmer, Thomas 2005).

³⁸ So zeigte die erste Zusammenschau nationaler Projektionen der EU-Staaten durch die Europäische Kommission durchaus widersprüchliche Politiken der einzelnen Mitgliedsstaaten auf. Beispielsweise wollen zahlreiche Staaten – ausweislich ihrer Emissionsprojektionen – jeweils einen Teil ihrer Emissionsreduktion durch einen verstärkten Import von Elektrizität erreichen. Es sind jedoch von keinem der in Frage kommenden Staaten entsprechende Exportüberschüsse (und damit steigende Emissionen) in den Projektionen berücksichtigt worden (EEA 2002a, 63f, EEA 2002b, 56ff).

³⁹ Entsprechend enthält der Monitoring Mechanismus der EU neben der Verpflichtung der Mitgliedsstaaten über ihre aktuellen Treibhausgasemissionen zu berichten, unter der Überschrift „Bewertung der Fortschritte und Berichterstattung“ auch die Pflicht, alle zwei Jahre Treibhausgasemissionsprojektionen abzugeben EC 2004 (DEC 280/2004) Art. 5(4).

- Über die periodische Überarbeitung bzw. Aktualisierung der Projektionen ergibt sich die Möglichkeit einer regelmäßigen *Evaluierung* der nationalen Klimaschutzpolitik als Gesamtsystem in Hinblick sowohl auf ihren Beitrag zur Zielerreichung als auch in Hinblick auf ihre Strategieelemente und ihre Konsistenz⁴⁰.
- Insgesamt sind die Projektionen somit auch ein wichtiges Hilfsmittel um gesellschaftlichen und politischen Handlungsdruck in Hinblick auf eine zielorientierte Klimaschutzpolitik und deren zeitnahe Anpassung erst entstehen zu lassen.

Auch um diese Funktionen im Rahmen nationaler Energie- und Klimaschutzpolitik erfüllen zu können, müssen die Projektionen aber eine hohe Qualität aufweisen.

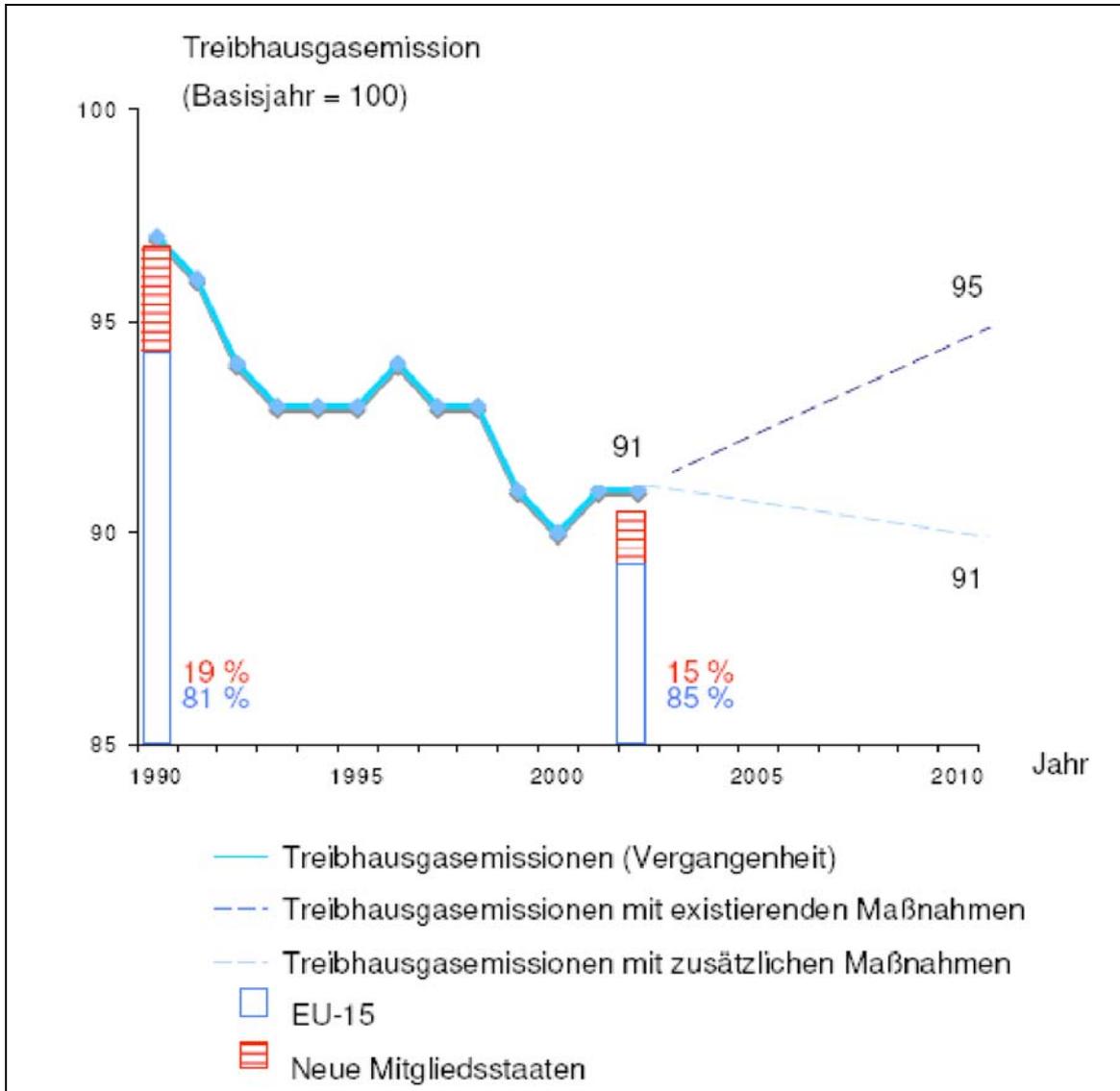
Um aktuelle Informationen über die relevanten Trends der Treibhausgasemissionen zu erhalten und die genannten Funktionen nationaler Emissionsprojektionen zu fördern, werden vor allem auf der Ebene der EU jährlich die Emissionsprojektionen der Mitgliedsstaaten zu einer EU-Projektion zusammengestellt. Allerdings bestehen bislang noch große Probleme in der Vergleichbarkeit der von den einzelnen Staaten gelieferten Projektionen, zusätzlich haben einige Staaten nur einen Teil oder keine der geforderten Projektionen abgegeben. Deshalb steht diese Zusammenstellung, wie auch die entsprechenden Zusammenstellungen des Sekretariats der Klimarahmenkonvention, bislang noch stark im Zeichen von Methodenvergleichen. Dennoch legte die EEA im Jahr 2004 einen Bericht vor, der auf der Basis der Emissionsprojektionen für die Mitgliedsstaaten den erwarteten Emissionstrend („Mit-Maßnahmen“) sowie die Wirkungen der von den Staaten in Betracht gezogenen weiteren Maßnahmen darstellt („Mit weiteren Maßnahmen“) sowie die Trends auf sektoraler Ebene für die EU zusammenstellt, mit dem Ziel Handlungserfordernisse für die Politik auf EU-Ebene abzuleiten.

Die in der folgenden Abbildung 2-3 wiedergegebene aggregierte Emissionsprojektion für die EU23 zeigt, dass die Mitgliedsstaaten insgesamt erwarten, dass die Treibhausgasemissionen – bei Umsetzung der derzeit beschlossenen bzw. implementierten Maßnahmen – gegenüber dem Stand von 2002, in dem die Emissionen 91 % der Emissionen des Basisjahres 1990 betragen, bis 2010 wieder auf etwa 95 % des Ausgangswertes ansteigen werden („with measures“-Projektion). Da sich die EU15 aber im Kyoto-Protokoll zu einer Emissionsminderung bis 2010 (Mittelwert der Jahre 2008 bis 2012) um 8 % gegenüber 1990 verpflichtet hat und die in 2004 beigetretenen neuen Mitgliedsstaaten ebenfalls Minderungsverpflichtungen von zusammen etwa 7,8 % gegenüber 1990 übernommen haben, bedeutet dies, dass die EU mit den beschlossenen Maßnahmen – nach aggregierter Erwartung der Mitgliedsstaaten – ihre Emissionsminderungsverpflichtungen nicht einhalten wird. Wenn weitere Maßnahmen ergrif-

⁴⁰ So hat die Bundesregierung in ihrem aktuellen integrierten Energie- und Klimaprogramm angekündigt die Erfolgsbilanz der ergriffenen Maßnahmen alle 2 Jahre durch unabhängige Gutachter prüfen zu lassen (BMU 2007, 11), wobei die Wirkungen der Maßnahmen u.a. dann im Vergleich zu den erwarteten (prognostizierten) Wirkungen zum Zeitpunkt ihres Beschlusses zu prüfen sein werden.

fen werden, kann das Emissionsminderungsziel für die EU23 insgesamt, ausweislich der „with additional measures“-Projektion, erreicht werden⁴¹.

Abbildung 2-3: Treibhausgasemissionen der EU23 und Emissionsprojektionen



Quelle: Eigene Darstellung, nach EEA 2004, 10

⁴¹ Die zahlreichen Fragen und Probleme, die hinter diesen aggregierten Projektionen stehen, werden im Bericht der EEA (2004) im Detail analysiert. Dies ist z.B. die Frage, wie – in den Projektionen enthaltene – überschüssige Emissionsminderungen einzelner Mitgliedsstaaten mit Zielverfehlungen anderer Mitgliedsstaaten verrechnet werden.

3 Theoretischer Hintergrund: Ableitung von Qualitätsaspekten für Emissionsprojektionen

Emissionsprojektionen weisen als Zukunftsstudien starke Merkmale von Prognosen auf. Im Folgenden (Abschnitt 3.1) wird daher zunächst diskutiert ob und unter welchen Voraussetzungen bzw. mit welchen wissenschaftstheoretischen Einschränkungen rationale Prognosen überhaupt möglich sind.

Um Emissionsprojektionen objektiv bewerten zu können, ist es weiterhin erforderlich, entsprechende Qualitätskriterien zu definieren. Diese werden in Abschnitt 3.2 auf der Basis erkenntnistheoretischer Überlegungen zu Problemen und Grenzen von Prognosen sowie von Überlegungen zur Qualität von Prognosen definiert und mit eher empirisch gewonnenen sowie entscheidungspsychologisch motivierten Ansätzen ergänzt.

Als Ergebnis wird die zentrale Bedeutung der Genauigkeit für Zukunftsstudien allgemein und für Emissionsprojektionen im Besonderen herausgestellt.

3.1 Erkenntnistheoretischer Hintergrund der Erstellung von Prognosen

3.1.1 Definition rationaler Prognosen

Tichy (1988, 335) definiert Prognosen als „Aussagen auf Grund von Gesetzmäßigkeiten innerhalb einer Stichprobe über Sachverhalte außerhalb“. Dabei besteht die Stichprobe für Wirtschaftsprognosen „aus ökonomischen Variablen der Vergangenheit“ und ihre „Aussagen beziehen sich auf die Zukunft. Als Problem sieht er dabei die Tatsache, dass sich Institutionen und Verhaltensweisen mit der Zeit ändern können, die ‚Vergangenheit‘ also nicht mehr repräsentativ für die Zukunft“ sein könnte.

Aus dieser *Definition* einer rationalen Vorhersage bzw. *Prognose als rationaler Ableitung einer Aussage über die Zukunft aus vorhandenen Informationen* folgt, dass Informationen über die Gesetzmäßigkeiten der zu prognostizierenden Welt sowie über die Ausprägungen der aus den Gesetzen resultierenden Zustände (Daten) eine zentrale Rolle für die Erstellung von Prognosen haben. Allerdings sind diese benötigten Informationen nahezu immer unvollständig, teilweise nicht korrekt und darüber hinaus Veränderungen unterworfen, d.h. Daten und Gesetze können sich ändern und es können sich weitere relevante Informationen ergeben.

Mit dieser Definition werden bereits drei wichtige Problemfelder von Prognosen sichtbar: Prognosen beruhen zunächst offenbar auf Induktion, einem Konzept, das unter anderem von Popper massiv kritisiert wurde. Außerdem beruhen sie auf einer „Stabilitätshypothese, die besagt, dass gewisse Grundstrukturen in der Vergangenheit und der Zukunft unverändert wirken“ (Gabler 2004, 2423), d.h. sie leiden offensichtlich unter der Instabilität der zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten der Welt. Sie sind

also, selbst wenn sie auf einer hervorragenden Analyse einer breiten Stichprobe beruhen fehlbar; weil sich die Gesetzmäßigkeiten auf denen sie beruhen geändert haben. Darüber hinaus wird natürlich die Erfassung der relevanten Daten und Gesetzmäßigkeiten durch verschiedene ontologische wie erkenntnistheoretische Probleme erschwert (siehe Abschnitt 3.2).

3.1.2 Einige wissenschaftstheoretische Probleme rationaler Prognosen

Aus wissenschaftstheoretischer Sicht ist wiederholt die Frage gestellt worden, ob wissenschaftliche Prognosen vor allem in den Sozialwissenschaften erkenntnistheoretisch überhaupt möglich seien. Die Wissenschaftlichkeit bzw. Rationalität von Zukunftsvorausschau ist vor diesem Hintergrund aus philosophischer Sicht intensiv in Zweifel gezogen worden. Der eloquenteste Kritiker war vermutlich K. R. Popper, der die Möglichkeit historischer Prognosen aus – seiner Ansicht nach – strikt logischen Gründen ausschloss (Popper 1997, 492⁴², siehe auch Rescher 1998, 204f).

Vor diesem Hintergrund ordnen auch die Zukunftsforscher selbst ihre Disziplin eher vorsichtig ein. So sieht z.B. Peter Schwartz (1991) bereits mit der Wahl des Titels „The art of the long view“ die von ihm propagierte Zukunftsforschung eher als Kunst oder auch Technik, denn als Wissenschaft. Keilmann (1990, 38) zitiert Sir James Ball, der die Bevölkerungsprognose als zu über 50% als Kunst und zu weniger als Wissenschaft bezeichnet und Laitner et al. (2003, 91) bezeichnen energiewirtschaftliche Prognosen ebenfalls eher als Kunst denn als Wissenschaft. H. de Jouvenel spricht in seiner methodischen Einführung der Szenarioerstellung explizit von einer ‚intellektuellen Undisziplin‘⁴³ (Jouvenel 2000, 37).

Ein wichtiger Grund für das Zögern vieler Zukunftsforscher, die eigene Disziplin als Wissenschaft zu kategorisieren, liegt sicher in der grundlegenden philosophischen Kritik der Zukunftsforschung, die vor allem von den kritischen Rationalisten (u.a. von K. Popper) sehr deutlich vorgetragen wurde. Kern dieser Kritik ist zum einen die seit langem geführte erkenntnistheoretische Debatte über die wissenschaftliche Zulässigkeit induktiver Schlüsse, zum anderen das auf Popper zurückgehende, von Hempel und Oppenheim (1948) präzipierte Erklärungsmodell, demzufolge Prognose und Erklärung symmetrisch seien (Weinert 1999, 126) und aus dem folgt, dass wissenschaftliche Prognosen nur dann als möglich und sinnvoll anzusehen sind, wenn ihr Ergebnis durch bekannte und stabile Gesetze rein logisch vorhersagbar ist (Knapp 1978, 15).

Steinmüller (1997, 19) fasst die wesentlichen aus erkenntnistheoretischer Sicht kritisch diskutierten Themenbereiche entsprechend als das „Induktionsproblem, das deduktiv-

⁴² Eine Kurzfassung seiner Widerlegung der historischen Prognose gibt Popper in seinem Vorwort zur englischen Ausgabe des Buchs „Das Elend des Historizismus“. Dabei schließt er allerdings explizit „nicht die Möglichkeit jeder Art von Sozialprognosen aus“ (Popper, 1974, XII).

⁴³ Dabei ist es in diesem Zusammenhang unerheblich, ob „intellectual undiscipline“ (H. de Jouvenel 2000, 37) mit Undisziplin/Nichtdisziplin oder eher mit Undiszipliniertheit übersetzt wird.

nomologische Explikationsschema von Hempel und Oppenheimer“, die „These von der logischen Strukturgleichheit von Erklärung und Vorhersage“ sowie die „Interventionsparadoxien“ zusammen. Im Folgenden sollen diese vier Problemkreise bzw. Kritikrichtungen kurz skizziert werden.

3.1.2.1 Die Stabilitätshypothese und der Determinismus

Wie oben gezeigt, benötigen Prognosen die Hypothese einer in ihren Grundzügen stabilen Welt, in der die aus der Vergangenheit gewonnenen Daten und Gesetzmäßigkeiten – zumindest im Allgemeinen bzw. überwiegend – ihre Gültigkeit auch in der Zukunft behalten⁴⁴.

Dies führt zu der Frage, ob eine rationale Prognose nicht eine deterministische, d.h. im Vorneherein vorbestimmte Welt erfordert, wie sie z.B. von Laplace angenommen wurde (Rescher 1998, 72ff). Laplace entwickelt eine Weltsicht, die davon ausgeht, dass der Lauf der Dinge komplett vorausbestimmt ist. Lediglich die mangelnde Kenntnis der wirkenden Gesetzmäßigkeiten (der Weltformel) verhindere entsprechend komplett richtige Prognosen.

Rescher (1998, 73) argumentiert in diesem Zusammenhang, zunächst, dass eine vollständig determinierte und damit auch im Prinzip vollständig prognostizierbare Welt im Sinne von Laplace nicht existiert. Denn sie sei angesichts der realen Existenz und Wirklichkeit von Zufall und freier Wahl kaum plausibel.

Weiterhin argumentiert er, dass eine vollständige Determiniertheit der Welt aber auch nicht erforderlich sei, um rationale Prognosen machen zu können, so lange nicht gefordert würde, dass diese ‚mit Sicherheit‘ eintreten. Denn auch in einer Welt, in der Zufall und Chaos an der Tagesordnung seien, gebe es hinreichende Grundlagen für gut begründete rationale Prognosen. Im Gegenteil sei die Forderung, dass Prognosen präzise und exakt sowie von unfehlbarer Sicherheit sein müssen unrealistisch und übertrieben. Entsprechende Forderungen würden letztlich Prognosen mit Prophetie („foreknowledge“) verwechseln (Rescher 1998, 74).

Rescher fordert vor diesem Hintergrund als Voraussetzung für Prognosen eine ‚prognosefreundliche Welt‘ („predictively benign world“), die im Allgemeinen eine faire Erwartung erfolgreicher Prognosen zulässt. Dabei fordert er, dass Prognosen gute Begründungen, nicht aber unfehlbare Garantien für ihre Vorhersagen liefern müssen (1998, 74f).

3.1.2.2 Das Induktionsproblem

Wie die voranstehende Definition zeigt, geht es der Prognose im Kern darum Erfahrungen der Vergangenheit auf die Zukunft zu übertragen, d.h. es geht um induktive Schlüsse. Dieses Verfahren wurde bereits im 18. Jahrhundert von David Hume massiv

⁴⁴ Zur Bedeutung der Konstanz für Prognosen siehe auch Hodges, Dewar (1992, 12f).

in Zweifel gezogen. Hume zeigt, dass es keine rationale Garantie für die Richtigkeit induktiver Prognosen geben könne (vgl. Rescher 1998, 64). Ebenfalls kritisch gegenüber der Induktion äußerte sich Popper, in dessen Philosophie das Induktionsproblem ebenfalls eine zentrale Rolle spielt. Er wies das Konzept der Induktion als wissenschaftliches Verfahren vollständig zurück (vgl. Salmon 1981, 116).

Salmon argumentiert dagegen, dass die Zurückweisung der Induktion als Prognosemethode durch Popper letztlich nicht stichhaltig sei und dass rationale Prognosen als Hintergrund praktischer Entscheidungsfragen letztlich mit reinem Deduktivismus wie er von Popper vertreten werde, nicht möglich seien. Wissenschaft und rationale Prognosen enthielten daher unvermeidlich auch induktive Elemente, so Salmon (1981, 125).

In dieselbe Richtung argumentiert auch Rescher (1998, 64f). Er erkennt dabei an, dass es keine Garantie dafür gibt, dass induktive Prognosen letztlich erfolgreich sind und, dass immer die Möglichkeit besteht, dass sie sich letztlich als falsch herausstellen. Dies als Begründung für die Ablehnung der Induktion heranzuziehen geht dagegen nach Rescher zu weit. Denn die Forderung (von Hume, Popper und anderen) nach letztlich unfehlbaren, d.h. nicht falsifizierbaren Prognosen aufzustellen hieße das Unmögliche fordern und sei damit irrational.

Seine Argumentation für die Induktion als Methode beruht dagegen auf drei pragmatischen bzw. praktischen Argumenten: Erstens, dass eine Notwendigkeit der Erstellung von Prognosen existiert, zweitens, dass Induktion als Prognosemethode durchaus erfolgreich sein kann und es auch häufig ist und drittens, dass Induktion zwar eine begrenzte aber dennoch die beste zur Verfügung stehende Methode zur Erstellung von Prognosen ist. Als letzte Rechtfertigung induktiver Prognosen sieht Rescher (1998, 66) schließlich die retrospektive Validierung der Prognosen, d.h. ihre ex-post Analyse, die zwar ebenfalls keine Erfolgsgarantie für Prognosen erzeugen kann, jedoch ein starkes Argument für die Wirksamkeit und die relative Geeignetheit der verwendeten Methode liefern kann.

3.1.2.3 Das deduktiv-nomologische Explikationsschema und die These der logischen Strukturgleichheit von Erklärung und Vorhersage

Ergänzend zur Kritik an der Induktion als rationaler Prognosemethode wurde von Hempel und Oppenheim (1948) das auf Poppers kritischen Rationalismus zurückgehende deduktiv-nomologische Erklärungsmodell entwickelt, und daraus die These abgeleitet derzufolge Prognose und Erklärung symmetrisch seien (Rescher 1998, 165).

Ihr Schema der logischen Struktur von Erklärung und Prognose lautet, dass zwei Voraussetzungen existieren müssen, a) eine Gesetzesaussage und b) eine Bedingung aus denen sich in der Konsequenz c) der Prognosesatz ergibt (vgl. z.B. Steinmüller 1997, 17). Aus der Tatsache, dass diese Struktur für Erklärungen und Prognosen sehr ähnlich sind folgerten Hempel und Oppenheim, dass Erklärung und Prognose symmetrisch seien. Der Unterschied bestünde nur in der zeitlichen Zuordnung, bei der Erklä-

nung wird die Argumentation formuliert, nachdem die Konsequenz eingetreten ist, bei der Prognose bevor sie eingetreten ist (vgl. Rescher 1998, 165).

Aus diesem Schema folgt letztlich, dass rationale Prognosen nur dann als möglich und sinnvoll anzusehen sind, wenn ihr Ergebnis durch bekannte und stabile Gesetze rein logisch vorhersagbar ist (Knapp 1978, 15). Damit behaupten sie letztlich die Unmöglichkeit der meisten in der praktischen Anwendung genutzten Prognosen (Popper 1997, vgl. Rescher 1998, 204f.).

Rescher (1998, 166) wendet gegenüber der Symmetriethese zum einen ein, dass Erklärungen auf Schlussfolgerungen beruhen, die sicher bzw. sehr wahrscheinlich sind, d.h. mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu führen, dass das zu erklärende Phänomen eintritt. Für die Prognose sind erheblich geringere Wahrscheinlichkeiten hinreichend. Zum anderen zeigt er, dass es logische Erklärungen geben kann, die nicht hinreichend sind um Prognosen zu begründen⁴⁵. Laut Steinmüller kann die These der Symmetrie von Erklärung und Prognose inzwischen als Resultat neuerer wissenschaftstheoretischer Erkenntnisse als widerlegt gelten (Steinmüller 1997, 17f).

3.1.2.4 Interventionsparadoxien

Einen weiteren Problembereich von Prognosen in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften bilden Rückkoppelungsphänomene bzw. Interventionsparadoxien bezeichnet wurden, denn Prognosen können bereits durch ihre Veröffentlichung die zukünftige Entwicklung und damit ihr Eintreffen bzw. Nichteintreffen beeinflussen. In diesem Zusammenhang treten sowohl die ‚self-fulfilling‘ als auch die ‚self-destroying-prophecies‘ auf. Bekannte Beispiele sind Aktienkursprognosen, die Anleger zum Kauf der positiv eingeschätzten Aktien veranlassen, was wiederum, wie prognostiziert, zu einem Kursanstieg führt. Darüber hinaus werden Prognosen häufig (bzw. noch häufiger Szenarien) explizit mit dem Zweck erstellt, die von ihnen prognostizierte Entwicklung zu vermeiden (vgl. Hohlstein et al. 2002, 603f). Dagegen kann die Prognose schwerer Staus ggf. ausreichend viele Verkehrsteilnehmer davon abhalten zur Hauptreisezeit abzufahren, so dass Staus effektiv vermieden werden (vgl. Rescher 1998, 51).

Trotz dieser Grundproblematik verweisen Hohlstein et al. (2002, 604) darauf, dass die Feedback-Effekte in der Ökonomie selten von großer oder längerfristiger Bedeutung seien. Rescher (1998, 51) argumentiert im Weiteren, dass die feedback-Probleme theoretisch beherrschbar seien, z.B. durch die Berücksichtigung der (prognostizierten) Wirkung in der Prognose selbst.

⁴⁵ Z.B. wenn eine Person eine spontane Handlung begeht, so ist diese kaum prognostizierbar, obwohl die Erklärung, die Handlung sei aufgrund einer spontanen Eingebung (oder etwas anderem) erfolgt als Erklärung geeignet sei.

3.1.2.5 Fazit

Die hier kurz skizzierte philosophische Grundsatzkritik skeptischer Positionen steht bislang der Praxis der Zukunftsforschung mehr oder weniger konträr gegenüber. Aus praktischer Sicht plädieren daher sowohl Knapp (1978, 8) als auch Rescher für eine pragmatische Umgehensweise mit der Problematik. Kötter (1995, 92) betont in Kritik an Hempel und Oppenheim ebenfalls die Bedeutung einer pragmatischen Sicht der Prognosen und der Prognoseprobleme.

Die voranstehend dargestellten Argumentationslinien zeigen aber, dass diese Einwände aus pragmatischer Sicht zu eng gefasst sind und zumindest teilweise auch widerlegt werden können. So kann z.B. mit Rescher (1998 65) argumentiert werden, dass das induktive Schließen – trotz der berechtigten Kritik – die realistischere beste verfügbare rationale Methode, Erkenntnisse über die Zukunft zu generieren ist. Zudem zeigt seine Argumentation wie die von Knapp und Kötter, dass das Symmetriemodell von Hempel und Oppenheimer übertrieben eng definiert ist. Es wurde außerdem gezeigt, dass rationale Prognosen sinnvoll und möglich sind, ohne eine deterministische Welt (in der alle künftigen Ereignisse von Anfang an vorbestimmt sind) voraussetzen zu müssen.

Hier wird daher der Argumentation verschiedener Autoren gefolgt, dass die Zukunftsvorausschau trotz der diskutierten Problempunkte durchaus Methoden entwickelt hat, die es erlauben rational begründete Aussagen über die Zukunft abzuleiten. Amara (1991) unterstreicht, dass die Zukunftsforschung und insbesondere die Erstellung von Szenarien nicht nur breite Anwendung findet, sondern auch über einen umfangreichen und elaborierten wissenschaftlichen Methodenkanon verfügt, der inzwischen auch relativ gefestigt ist⁴⁶. Steinmüller (2003a, 27) verweist anhand eines Vergleichs der Methodenkompendien von Fowles (1978) und Slaughter (1996) darauf, dass sich der Kern der Zukunftsforschungsmethoden in den letzten Jahren nur wenig erweitert hat. Für Steinmüller und Amara ist mit dem Vorhandensein rationaler Methoden auch das tragende Indiz für die inzwischen erreichte Wissenschaftlichkeit der Zukunftsforschung gegeben.

Auch, wenn die u.a. von Rescher (1998) entwickelten philosophischen Begründungen letztlich nicht unumstritten sind und aus kritischer Sicht unbefriedigend bleiben, bzw. sogar bestritten wird, dass allein der Versuch einer solchen Theorie der Prognose sinnvoll sein kann (Rubinstein 1998, 191, 193), bildet sein Ansatz einer Theorie der Prognose einen wichtigen Rahmen auf einer epistemologisch wie ontologisch begründeten, vor allem aber pragmatisch relevanten (Kötter 1995, 92) Basis Qualitätsanforderungen an Zukunftsaussagen (Prognosen und auch Szenarien) abzuleiten⁴⁷.

⁴⁶ Slaughter (2002, 6) formuliert es so: Die Zukunftsforschung ist erwachsen geworden („has come of age“).

⁴⁷ Rescher bezieht sich in seiner Arbeit explizit nicht auf Szenarien. Dennoch enthalten auch Szenarien – trotz ihres offensichtlich von Prognosen abweichenden Ansatzes – eine ganze Reihe prognostischer

Es bleibt als Fazit festzuhalten, dass – wie von vielen Protagonisten der Zukunftsforschungen betont wird – Prognosen und Aussagen über die Zukunft aus unserem Leben kaum weg zu denken sind. Die Welt, in der wir leben, ist nach gewissen Regeln aufgebaut, die es erlauben, rational begründete Aussagen über die Zukunft zu treffen, und für die es zudem auch eine gewisse Wahrscheinlichkeit gibt, sich im Nachhinein als richtig heraus zu stellen. In der Prognosepraxis gibt es einen Stamm rationaler und mehr oder weniger gefestigter Methoden, die in den vorhergehenden Abschnitten überblicksartig dargestellt wurden, um derartige begründete Aussagen über die Zukunft zu treffen.

Es ist aber ebenfalls nicht von der Hand zu weisen, dass sich die – aus wissenschaftstheoretischer Sicht geäußerten – Zweifel an der Möglichkeit rationaler Aussagen über die Zukunft nicht vollständig widerlegen lassen. Trotzdem kann in pragmatischer Hinsicht davon ausgegangen werden, dass rationale Prognosen, oder allgemeiner, rational begründete und auf objektiven und nachvollziehbaren Methoden und Informationen beruhende Aussagen über die Zukunft mit wissenschaftlichen Methoden und Qualitätsansprüchen erstellt werden können. Es existieren Kriterien, anhand derer rationale Prognosen beurteilt werden können (zu solchen Kriterien und Qualitätsmaßstäben siehe auch Abschnitt 3.2).

McNees, Vizepräsident der Federal Reserve Bank of Boston, drückte dies in seiner Analyse ökonomischer Prognosen so aus: Für Prognosen ‚muss irgendeine Annahme getroffen werden, dass die Zukunft die Vergangenheit widerspiegeln wird. Aber weder Logik noch Ökonometrie können sicherstellen, dass diese Annahme eintreffen wird. Im Gegenteil wird sich die Zukunft fast immer ein wenig von der Vergangenheit unterscheiden. Trotzdem gibt es keine Alternative dazu, anzunehmen, dass aktuelle Prognosen ebenso gut sind wie frühere‘ (McNees 1992, 25).

3.2 Erkenntnistheoretische und ontologische Probleme und Grenzen von Zukunftsstudien und Prognosen

Da Informationen über die Gesetzmäßigkeiten der zu prognostizierenden Welt sowie über die Ausprägungen der aus den Gesetzen resultierenden Zustände (Daten) eine zentrale Rolle für die Erstellung von Prognosen spielen (s.o.), lassen sich auch die Probleme und Grenzen der Erstellung von Prognosen und Szenarien – bzw., allgemeiner, von Zukunftsstudien – nach diesen Bereichen in Problemkategorien gliedern. Hier werden die wichtigsten erkenntnistheoretischen bzw. ontologischen Probleme und Grenzen von Prognosen erläutert und eher entscheidungspsychologisch begründeten Ansätzen aus der Szenariotechnik sowie empirischen Ansätzen aus der Bevölke-

Elemente, für die die Ausführungen Reschers ebenfalls Gültigkeit haben. Das Thema der Qualitätsanforderungen, die an Zukunftsforschung im Allgemeinen bzw. Prognosen und Projektionen im Besonderen gestellt werden können bzw. sollten, wird weiter unten in Abschnitt 3.3 ausführlicher thematisiert.

rungsprognostik Wiedemann (1991) sowie Keilmann (1991) gegenüber gestellt. Dabei wird deutlich, dass sich die eher pragmatischen Fehlerzusammenstellungen auf die erkenntnistheoretisch gewonnenen Problemkategorien zurückführen lassen und diese an praxisrelevanten Stellen weiter auffächern.

Tabelle 3-1: Zentrale Hemmnisse der Prognostizierbarkeit

Ontologische Hemmnisse (,in der Natur der Sache liegend')	Anarchie	Fehlen jeder Gesetzmäßigkeit oder Regelmäßigkeit, die für eine Zukunftsaussage genutzt werden könnten.
	Flüchtigkeit	Fehlen von Stabilität und damit von erfassbaren Gesetzmäßigkeiten.
	Willkür	Willkürliche Elemente, die eine Prognostizierbarkeit verhindern: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Zufall und Chaos</i>, als Zufallsprozesse, erzeugen letztlich unergündbare Zustände, die die Zukunft unbestimmbar zufällig machen; • <i>Freie Wahl</i>, die auch unbegründete und irrationale Entscheidungen zulässt und damit nicht logisch prognostizierbar ist; • <i>Veränderung und Innovation</i>, die neue und damit kaum vorhersehbare Entwicklungsrichtungen eröffnen (können).
	Unschärfe	Zugrunde liegende Daten bzw. Informationen sind unbestimmt bzw. nur vage bestimmbar.
Erkenntnistheoretische Hemmnisse	Unsicherheit	Mangelnde Kenntnis existierender Gesetzmäßigkeiten
	Kurzsichtigkeit	Mangelnde Erfassung der relevanten Informationen durch Unkenntnis, unzureichende Ressourcen etc.
	Unzulänglichkeit der Schlussfolgerung	Mangelnde Fähigkeit, die richtigen Schlussfolgerungen über die Zukunft zu ziehen, trotz bekannter Daten und Gesetzmäßigkeiten

Quelle: nach Rescher 1998, 134, eigene Übersetzung aus dem Englischen, verändert und ergänzt

Bei der Durchführung von Szenarioanalysen und anderen Zukunftsstudien treten – naturgemäß – eine Reihe von Problemen und Begrenzungen auf, die sowohl ontologischen Charakter aufweisen, d.h. in der Natur der Sache bzw. der realen Welt liegen, als auch erkenntnistheoretischen Charakter aufweisen, d.h. in unserer begrenzten Fähigkeit begründet sind, die für die jeweilige Zukunftsstudie relevanten Gegenstände und Gesetzmäßigkeiten genau zu erfassen und zu erkennen (vgl. Rescher 1998, 134 sowie de Jouvenel 2000, 39)⁴⁸. Die zentralen *Hemmnisse der Prognostizierbarkeit* werden in der Tabelle 3-1 dargestellt.

⁴⁸ Die folgenden Ausführungen beruhen maßgeblich auf den Ausführungen von Rescher (1998, 134ff), über die Hemmnisse der Prognostizierbarkeit „Obstacles to predictive foreknowledge“. Sie gelten m.E. aber auch für Zukunftsstudien, deren Methoden (wie z.B. die Szenarioanalyse) nicht auf eine Prognose, sondern „nur“ auf die Skizzierung plausibler Zukunftspfade gerichtet sind. Dies zeigen auch z.B. die Arbeiten von Wiedemann (1991, 31ff) und de Jouvenel (2000, 39), die für Szenarien ganz ähnliche ontologische und erkenntnistheoretische Grundprobleme aufzählen, wie sie von Rescher für die Prognosen herausgearbeitet werden.

Ontologische Grenzen resultieren aus der Tatsache, dass die Zukunft des betrachteten Gegenstands – seien es Energieeinsätze, Bevölkerungsentwicklung, Umweltbelastung oder anderes – zum einen keinen oder so instabilen Gesetzmäßigkeiten unterliegt, dass sie kaum erfassbar ist bzw. zum zweiten prinzipiell offen ist, d.h., dass zukünftige Entwicklungen bislang unbestimmt sind. Da die Realität bestimmt ist durch den *freien Willen* von Akteuren, *Zufall* und *Chaos* sowie durch *Innovation* und *Veränderung*, können sich in jedem Gegenstandsbereich bisher unbeobachtete Zustände und Entwicklungen ergeben, die sich aus heutiger Sicht und auf der Basis existierenden Wissens nur unvollkommen prognostizieren lassen⁴⁹.

Erkenntnistheoretische Grenzen existieren dagegen, weil die Zukunft prinzipiell kognitiv unerreichbar ist, weil es an den erforderlichen Basisdaten fehlt, weil die ihr zugrunde liegenden Regeln und Gesetzmäßigkeiten nicht ermittelbar sind oder weil sie so komplex sind, dass sie aus heutiger Sicht nicht ‚berechenbar‘ sind (vgl. Rescher 1998, 134). Aus praktischer Sicht muss dieser Punkt noch dadurch ergänzt werden, dass wichtige Informationen über das energie-/ökonomische System von Unternehmen erhoben werden, die diese Daten nicht öffentlich machen (Craig u.a. 2002, 87).

3.3 Qualitätskriterien zur Beurteilung von Prognosen und Projektionen

Was ist die Qualität von Prognosen und Projektionen bzw. welche Ansprüche werden an sie gestellt? Auch diese zentrale Fragestellung wurde in systematischer Weise erst von wenigen Autoren und Autorinnen wirklich gestellt, obwohl z.B. Slaughter (2002, 7) darauf hinweist, dass die Qualität für Zukunftsstudien – aufgrund der Schwierigkeit der Materie Zukunft – eine noch größere Rolle spielt als in anderen wissenschaftlichen Disziplinen.

Hier soll die Frage anhand einer Diskussion auf erkenntnistheoretischer Basis, sowie basierend auf der Diskussion um (qualitative) Zukunftsstudien und schließlich anhand eher pragmatisch begründeter Basis politisch/administrativer Zielvorstellungen diskutiert und operationalisiert werden.

Die Beurteilung der Qualität einer Prognose bzw. Projektion ist letztlich eine ‚Metaprognose‘ (Rescher 1998, 50, 52), da im Prinzip eine prognostische Aussage darüber angestrebt wird, ob bzw. mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Prognose oder Projektion eintreffen wird. Eine solche ‚Metaprognose‘ ist aus zwei Gründen von großer Relevanz: Zum einen werden – z.T. konkurrierende und sogar widersprüchliche – Zukunftsstu-

⁴⁹ Dabei fokussieren die methodischen Vorschläge im Bereich der Energie- und Emissionsmodellierung vor allem auf eine bessere Abbildung des Verhaltens unterschiedlicher Akteure sowie auf die verbesserte Einbeziehung der Innovation (vgl. z.B. Laitner u.a. (2003, 88; 2000), Craig u.a. (2002, 87)). Die Berücksichtigung zufälliger Störereignisse (Wild Cards) in Szenarien wird z.B. von Steinmüller erprobt, ist in der Energiemodellierung aber noch nicht wirklich weit verbreitet (vgl. Steinmüller 2003, 55f).

dien für Entscheidungsprozesse zugrunde gelegt. Ein – wenn auch grobes und nie fehlerfreies – Instrumentarium zur Beurteilung dieser Entscheidungsgrundlagen (einzeln sowie im Vergleich untereinander) ist hier sehr wichtig. Zum anderen können diese Kriterien auch als Leitfaden – im Sinne einer guten fachlichen Praxis („rules of good conduct“)– genutzt werden, um entsprechend qualitativ möglichst hochwertige und damit genaue und glaubwürdige Zukunftsaussagen zu treffen.

Da Aussagen über die Zukunft von ihrer Natur her nicht im Voraus falsifiziert (oder auch verifiziert) werden können (siehe oben Kapitel 3.1), kommt es bei ihrer Beurteilung letztlich nur auf die Qualität ihrer Begründung und die Glaubwürdigkeit ihrer Quelle an (Rescher 1998, 131).

Eine Beurteilung von Zukunftsaussagen bzw. -studien kann somit anhand ihrer *Quelle*, anhand ihres *Inhalts* (Rescher 1998, 113ff) sowie in Bezug auf ihre *Präsentation* (Wiedemann 1991, 34) erfolgen. Dabei ist die Präsentation zumindest weitgehend deckungsgleich mit ihrer Transparenz als Teil ihres Inhalts zu sehen.

Wesentliche, sowohl aus theoretischer wie aus pragmatischer Sicht geforderte Kriterien zur Beurteilung der Qualität von Zukunftsstudien und insbesondere Projektionen sind:

1. Der *Informationswert* der gemachten Zukunftsaussagen ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal, weniger in Hinblick auf ihre Güte (die sich eher in ihrer Genauigkeit und Glaubwürdigkeit widerspiegelt), sondern im Blick auf ihre Nutzbarkeit.

Eine Zukunftsstudie ist nur dann sinnvoll und hilfreich, wenn sie *relevante*, d.h. neue Informationen bringt, die so vorher nicht bekannt oder zumindest nicht im Zentrum der Betrachtung standen und somit zur Klärung relevanter Fragestellungen beitragen (vgl. Wiedemann 1991, 27, Rescher 1998, 119f). Mit der Relevanz eng verknüpft ist die Differenziertheit und Präzision der getroffenen Aussagen. Denn je genauer die Zukunftsaussagen einer Studie sind, desto nützlicher ist sie in der Regel für die Ableitung von Konsequenzen. Allerdings existiert generell ein starker Widerspruch („tradeoff“) zwischen dem Detaillierungsgrad einer Zukunftsaussage und ihrer Sicherheit. D.h., je detaillierter eine Zukunftsaussage ist, desto geringer ist letztlich die Wahrscheinlichkeit, dass die Prognose eintreffen wird. Dahingegen kann mit sehr allgemein gehaltenen oder auch sehr vage formulierten Aussagen eine hohe Eintreffenswahrscheinlichkeit verbunden werden (Rescher 1998, 60ff). Die praktische Bedeutung dieses negativen Zusammenhangs machen Craig et al. (2002, 85) deutlich, indem sie Prognosen mit Autoscheinwerfern gleichsetzen, die die vor dem Fahrzeug liegende Dunkelheit erleuchten. Allerdings, und hierauf kommt es den Autoren an, ist es wichtig, nicht nur die Informationen des beleuchteten Bereichs zu benutzen, sondern auch ihre Zuverlässigkeit zu kennen, um richtige Entscheidungen zu treffen. Um im Bild zu bleiben, bei Nebel und starkem Regen können die In-

formationen falsch oder unzureichend sein. Als Lösungsansatz hierfür wird – neben dem aufgeklärten Umgang mit Prognosen – die Verwendung von Konfidenzintervallen für Prognosen vorgeschlagen (z.B. Shlyakhter et al. 1994).

2. Die *Genauigkeit* (accuracy) ist im Gegensatz zur Richtigkeit (correctness) ein bedeutsames praktisches Kriterium für die Qualität und Nützlichkeit einer Zukunftsstudie (vgl. Rescher 1998, 122).

Während die Richtigkeit einer Zukunftsaussage eine Ja- oder Nein-Aussage darstellt, die sich nur im Nachhinein erweisen kann, ist die Genauigkeit einer Zukunftsstudie ein graduelles Maß, das sich darauf bezieht, wie gut, d.h. wie genau, wie detailliert und wie präzise eine Zukunftsaussage ist und in wie weit ihre Aussage in Bezug auf diese Kriterien von der Realität entfernt ist.

Es liegt auf der Hand, dass die Genauigkeit damit ein wesentlich besseres Maß für die Qualität von Zukunftsaussagen ist, als die bloße Richtigkeit, die letztlich auch zufällig sein kann, d.h. nicht unbedingt etwas über die faktische Qualität aussagen muss.

So kann sich z.B. eine schlicht geratene und rational nicht begründete Zukunftsaussage im Nachhinein als richtig erweisen⁵⁰. Damit erlangt sie aber noch lange keine Qualität im hier gemeinten Sinne. Dagegen kann sich eine gut begründete und in sich logische Aussage über die Zukunft dennoch später als falsch erweisen, was nicht bedeutet, dass sie von schlechter Qualität ist. Das Fehlgehen der Zukunftsaussage liegt letztlich an der im voranstehenden Abschnitt dargestellten Grundproblematik rationaler Aussagen über die Zukunft.

Die Bedeutung der Genauigkeit als zentrales Qualitätskriterium für Emissionsprojektionen wird auch von der OECD (1998, 8) hervorgehoben⁵¹. Sie ergibt sich u.a. durch die hohe Relevanz der Emissionsprojektionen im Rahmen der Klimapolitik, da sie in diesem Bereich sowohl Hintergrund der Politikformulierung (Emissionsminderungsziele), der Politikumsetzung (Verteilung von Reduktionspflichten auf Sektoren) als auch Politikevaluierung (Monitoring der Zielerreichung und Angemessenheit der Instrumente) sind (vgl. Abschnitt 2.2.4).

Prognosen und damit auch andere Formen von Zukunftsstudien können zwei grundsätzliche Fehler beinhalten (Rescher 1998, 122): Dies sind zum einen Fehlprognosen (errors of commission), die schlicht an der Realität vorbeigehen

⁵⁰ Hinzu kommt, dass bei ungenauer Analyse auch fehlerhafte Projektionen zufällig als richtig erscheinen können (z.B. weil die Definitionen der Vergleichszeitreihen verändert wurden oder kurzfristige Schwankungen, die von der Prognose nicht vorhergesagt wurden, zu einer Übereinstimmung von Prognose und Ist-Werten geführt haben.). Zu den entsprechend erforderlichen Datenbearbeitungen zur Gewinnung geeigneter Fehlermaße siehe Abschnitt 6.2.

⁵¹ Wörtlich: „the most important of the criteria for projections and estimates of effects of measures listed above is probably *accuracy*.“ (OECD 1998, 8)

und damit in wesentlichen Teilen falsch bzw. fehlerhaft sind; sowie zum anderen Auslassungsfehler (errors of omission), d.h., wesentliche Inhalte oder Trends werden schlicht ausgelassen bzw. bleiben unberücksichtigt – die Studie ist damit lediglich unvollständig. Diese unterschiedlichen Fehlerkategorien können nur mit dem Konzept der Genauigkeit, nicht jedoch mit dem der Richtigkeit erfasst werden.

3. Die *Glaubwürdigkeit* bzw. die Wahrscheinlichkeit einer Zukunftsstudie ist ein weiteres wesentliches Qualitätskriterium.

Um die Glaubwürdigkeit einer Zukunftsstudie zu hinterfragen bzw. zu belegen, gibt es prinzipiell zwei Wege (vgl. Rescher 1998, 123 sowie Schoemaker 1990 und Wiedemann 1991, 34):

Der erste nimmt Bezug auf ihren *Inhalt* und ihre argumentative und informatorische Substanz, d.h., die argumentative Basis der herangeführten Kausalitäten und die Nutzung einer breiten und möglichst umfassenden sowie aktuellen Datenlage sind wesentliche Kriterien zur Beurteilung der inhaltlichen Qualität und darauf basierend der Glaubwürdigkeit einer Zukunftsstudie.

Der andere Beurteilungsweg bezieht sich auf die *Quelle* der Zukunftsaussage. D.h., die dem bzw. den Autoren zugeschriebene Kompetenz, Objektivität und Fairness (Wiedemann, 1991, 34) sowie seine bzw. ihre Erfolgsbilanz (Rescher 1998, 123). Dies bedeutet, dass die Autorität der Quelle einer Zukunftsstudie die zweite wichtige Option ist, über die sich die Glaubwürdigkeit einer Zukunftsstudie ermitteln lässt.

4. Die *Robustheit*, d.h. die Vergleichbarkeit und Übereinstimmung mit anderen Zukunftsaussagen bzw. Studien ist – wenn vorhanden – geeignet, um das Vertrauen in die Aussage zu erhöhen.

Rescher (1998, 125) argumentiert, dass die Verfügbarkeit gleichartiger bzw. gleichgerichteter Zukunftsaussagen oder auch analoger Schlussfolgerungen aus ähnlichen oder gleichen Grundannahmen aus unterschiedlichen Quellen das Vertrauen in die Glaubwürdigkeit dieser Aussagen insgesamt erhöht.

Diese Argumentation läuft praktisch gesehen auf ein grundlegendes Prinzip rationalen wissenschaftlichen Arbeitens hinaus, das besagt, eigene Arbeiten und Argumentationslinien möglichst an den Aussagen anderer Arbeiten zu dem selben oder vergleichbaren Arbeiten zu spiegeln und zu prüfen.

5. Die *Transparenz* der Zukunftsstudie im Sinne einer Offenlegung der genutzten Methoden und im Sinne einer Kenntlichmachung von Werturteilen sowie im Sinne der Verständlichkeit der getroffenen Aussagen und Folgerungen ist ein weiteres wichtiges Qualitätsmerkmal.

Die Forderung nach Transparenz ist ebenfalls eine grundlegende Forderung an das wissenschaftliche Arbeiten an sich. Nur wenn die genutzten Methoden, die angenommenen Regelmäßigkeiten und Daten zur Folgerung von Zukunftsaussagen transparent dargestellt sind, können sie einer Qualitätsbeurteilung unterzogen werden. Transparenz ist damit Grundbedingung für die Beurteilung, ob eine Zukunftsaussage gut begründet ist.

Gleichzeitig, und das gilt insbesondere für Szenarioanalysen, ist es erforderlich, Werturteile und Einstellungen des/der Autoren transparent zu machen. Werturteile spielen in Zukunftsstudien zwangsläufig eine Rolle. Das Element der Vermutung – der Annahme – macht hier noch mehr als in anderen Bereichen ‚objektive‘ Aussagen unmöglich. Da Werturteile aber entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis von Zukunftsstudien haben können, ist es geboten und ein wichtiges Qualitätskriterium, sie transparent zu machen (Amara 1991,648).

Und schließlich ist die Verständlichkeit der getroffenen Aussagen ein zentrales Kriterium – wiederum weniger der Güte als mehr der Nützlichkeit – einer Zukunftsstudie. Die Klarheit der Aussagen, die Einfachheit der Sprache, ihre Angemessenheit in Bezug auf die Zielgruppe, sowie die Eindeutigkeit der verwendeten Konzepte sind dafür relevant (Wiedemann 1991, 43). Gerade mit Bezug auf Szenarien wird aber auch die „erzählerische Qualität“ als wichtiges Kriterium hervorgehoben. Da mit Szenarien und anderen Studien Handlungsbereitschaft hervorgerufen werden soll, ist es wichtig, den ‚Nerv‘ der Zielgruppe – die sich üblicherweise nicht mit Zukunftsstudien befasst – zu treffen.

„Gut ausformulierte qualitative Szenarien [...] sind anschaulich, in der Regel leicht verständlich, beziehen ästhetische und affektive Momente bewusst ein, verdeutlichen Wertungen ihrer Autoren und erleichtern damit Entscheidungsprozesse, von Kommunikationsprozessen ganz zu schweigen. Da die textliche (oder auch bildliche) Ausgestaltung von Szenarien entscheidend für den Verwertungszusammenhang von Zukunftsstudien sein kann, hat das Szenario-Writing den Status eines separaten Arbeitsschrittes und einer futurologischen Arbeitstechnik erlangt.“ (Steinmüller 1997, 62)

3.4 Genauigkeit als zentrales Qualitätskriterium

Als Ergebnis der Diskussion von Qualitätskriterien und von Hemmnissen bzw. Problemen bei der Erstellung rationaler Prognosen bzw. von Emissionsprojektionen zeigt sich, dass insbesondere die Genauigkeit (accuracy) als zentrale Größe zur Beurteilung der Qualität von Zukunftsstudien und insbesondere von Emissionsprojektionen relevant ist. Unter Genauigkeit wird damit zum einen verstanden, wie gut eine Projektion begründet ist, wie detailliert sie ist und wie groß ihre relative Richtigkeit (s.o.) eingeschätzt wird, d.h. welche Erwartung damit verbunden wird, wie nah die Projektion an der Realität liegen wird.

Denn die Genauigkeit der Projektionen bestimmt wesentlich sowohl ihre Nützlichkeit mit Blick auf ihre wesentlichen Zwecke als auch ihre Glaubwürdigkeit. Dabei stehen der prognostische Charakter und die mit ihm verbundenen Anwendungsfelder der Projektionen klar im Vordergrund der Beurteilung:

- Die *ex-ante Evaluierung der Angemessenheit von Politiken* als ein *wesentlicher Zweck* der nationalen Emissionsprojektionen kann, wie oben ausgeführt, nur dann sinnvoll durchgeführt werden, wenn die Projektion möglichst genau ist. Insbesondere, je besser, d.h. je differenzierter argumentiert und je besser mit Informationen und Daten belegt und damit je näher an der Realität die Zukunftsaussagen der Emissionsprojektionen sind, desto höher ist ihre Qualität als Zukunftsaussage einzustufen⁵².
- Dies gilt ebenfalls für den *zweiten Zweck* der Emissionsprojektionen, die *zielorientierte Politiksteuerung*. Auch diese ist nur möglich, wenn die Projektionen möglichst genau sind. Dabei ist die Genauigkeit eng verknüpft mit der Aussagefähigkeit und Detailliertheit der Projektion. Denn für die passgenaue, d.h. zieladäquate Planung und Ausgestaltung politischer Pläne und Programme ist nicht nur eine genaue Globalprojektion erforderlich, sondern es sind vor allem auch weitere Details zu den Quellen, Ursachen und Hintergründen der projizierten Entwicklung nützlich. In dieselbe Richtung argumentieren auch Craig et al. (2002) und Koomey et al. (2003, 82), die betonen, dass die Genauigkeit vor allem mit der Nützlichkeit (also ihrer Detailliertheit) verknüpft ist⁵³.
- Ebenfalls eng verbunden mit der Genauigkeit ist das Kriterium der *Glaubwürdigkeit*, das neben der Güte der Argumentation auch die Quelle und ihre Erfolgsbilanz mit in Betracht zieht (s.o.). D.h. genaue Projektionen erhöhen auch die Glaubwürdigkeit – und damit ganz klar Relevanz und Nützlichkeit – zukünftiger Projektionen (vgl. Keilmann 1991, 11). Dies gilt explizit auch für die nationalen Emissionsprojektionen. Diese werden national wie international rezipiert und ggf. auch ex-post evaluiert. In dem Maße, wie die Projektionen als Instrumente an Bedeutung gewinnen, wird auch ihre Glaubwürdigkeit, gemessen u.a. an ihrer bisherigen Qualität und vor allem Genauigkeit an Relevanz zunehmen.

Informationsgehalt und Transparenz im Sinne einer guten Präsentation sind dagegen Nützlichkeitskriterien – eine sehr relevante und detaillierte sowie gut präsentierte

⁵² Dabei ist die Realitätsnähe nicht in erster Linie durch das Eintreffen der Aussage zu beurteilen, dies kann auch rein zufällig geschehen. Andererseits können auch noch so gut fundierte Zukunftsstudien nicht alle möglichen Zukunftsentwicklungen antizipieren. D.h. auch Zukunftsstudien, die aufgrund von ihnen nicht berücksichtigten Entwicklungen oder Ereignisse (errors of commission, Rescher 1998, 122) nicht eintreffen, können dennoch in den von ihnen betrachteten Bereichen sehr genau, d.h. realitätsnah sein.

⁵³ Die Genauigkeit im Sinne eines möglichst exakten Eintreffens der Projektion dagegen kann zwar im Nachhinein gemessen werden, allerdings äußern Koomey et al. (2003, 82) starke Zweifel ob die Genauigkeit in diesem Sinne signifikant gesteigert werden kann.

Zukunftsstudie hat, wenn sie auch genau und glaubwürdig ist, aus diesem Blickwinkel ebenfalls eine hohe Qualität.

Die übrigen Qualitätskriterien, wie z.B. die Transparenz und Konsistenz und die Robustheit, die eher formaler Natur sind, sind als ‚Sekundärtugenden‘ ebenfalls von Bedeutung und sollten vor dem Hintergrund der schwierigen Bewertung der Genauigkeit sehr ernst genommen werden. In praktischer Hinsicht nehmen sie eine wichtige Rolle im Rahmen der Beurteilung einer Projektion – z.B. auch als Indizien für die der Zukunftsstudie und ihrem Ersteller zugeschriebene Glaubwürdigkeit und Genauigkeit – ein. Sie sind daher wichtig, um es Dritten (z.B. anderen Vertragsstaaten) zu ermöglichen, sich ein eigenes Urteil über die Verlässlichkeit der Emissionsprojektion zu machen (vgl. OECD 1998, 8)⁵⁴.

Ex-post Analyse der Genauigkeit von Emissionsprojektionen

Im Folgenden konzentriert sich die Analyse der Qualität der Emissionsprojektionen auf den hier als wichtigsten herausgestellten Aspekt der Genauigkeit. Dieser wird am Beispiel der amerikanischen Energie- und Emissionsprojektionen der letzten ca. 20 Jahre näher analysiert (siehe dazu Abschnitt 4.1).

Dazu werden die Projektionen der energiebedingten CO₂-Emissionen (d.h. des zentralen Teils der nationalen Emissionsprojektionen, s.u.) näher analysiert:

- Dabei wird entsprechend der voranstehend diskutierten zentralen Aspekte der Genauigkeit zum einen die ex-post feststellbare Exaktheit der Projektionen evaluiert. Diese ist zwar nicht ex-ante bestimmbar und daher auch im engen Sinne kein Qualitätskriterium für Projektionen. Ex-post dagegen kann sie anhand der hier durchgeführten Fehleranalyse quantitativ untersucht werden und gibt entsprechend ein gutes Maß für die Genauigkeit der Projektionen (soweit der von ihnen abgedeckte Zeitraum bereits Realität geworden ist) ab⁵⁵. Die Fehleranalyse gibt dabei ein relatives Maß an. D.h. sie beschränkt sich nicht auf die Aussage, ob die Projektion richtig war oder nicht, d.h. ob sie eingetreten ist oder nicht. Sie gibt im Sinne der Genauigkeit an, in welchem relativen Maß die Projektion eingetreten ist bzw. genauer, in welchem Maß sie die nun eingetretene Realität verfehlt hat.
- Als zweiter Aspekt wird der Aspekt der Begründetheit der Projektionen mit in die Fehleranalyse einbezogen. Dieser Aspekt wird hier durch die Einbeziehung der Teilprojektionen in die Fehleranalyse abgedeckt (siehe die hier vorgenommene Aufteilung der nationalen Emissionsprojektionen in Teilprojektionen in

⁵⁴ Eine wichtige Funktion nimmt hier natürlich auch der „Track record“ (Rescher 1998, 113) ein. Hierfür sind ex-post Evaluierungen, wie z.B. die vorliegende, eine wichtige Voraussetzung. Denn nur durch fundierte wissenschaftliche Analysen der Genauigkeit und Nützlichkeit der bisher vorgelegten Projektionen einer Institution lassen sich entsprechende Erfahrungen zur Beurteilung generieren.

⁵⁵ Zur Diskussion der methodischen Schwierigkeiten, die mit der Fehleranalyse verbunden sind siehe Abschnitt 6.2).

Abschnitt 6-1). In diesem Sinne wird nicht nur analysiert, wie exakt das Gesamtergebnis projiziert wurde sondern auch die Qualität im Sinne der Exaktheit weiterer Detailaussagen sowie im Sinne einer Analyse der Fehlerkompensation zwischen Teilprojektionen betrachtet.

- Drittens werden schließlich verschiedene Einflussfaktoren auf die Fehlerhöhe und damit letztlich die Genauigkeit der Projektionen betrachtet.

Die Berücksichtigung von Fehlerbandbreiten der analysierten Projektionen spielt hier keine Rolle, da die hier untersuchten Prognosen durchgängig als Punktprognosen veröffentlicht werden (s.u.).

4 Methodische Grundlagen der ex-post Evaluierung der Genauigkeit von Emissionsprojektionen

Eine ex-post bzw. retrospektive Analyse der Genauigkeit von Projektionen kann einen wichtigen Beitrag zu ihrem besseren Verständnis und einer Verbesserung ihrer Nützlichkeit leisten (Craig et al 2002, Koomey et al. 2003). Der Durchführung einer ex-post Analyse der Genauigkeit von Treibhausgasemissionsprojektionen steht vor allem ein Mangel an älteren Emissionsprojektionen gegenüber. D.h. es sind bislang noch kaum Emissionsprojektionen vorhanden, die an tatsächlichen Werten überprüft werden können. Dieser Mangel lässt sich jedoch zumindest teilweise umgehen:

- Für den zentralen Bereich der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen werden die als Annual Energy Outlook (AEO) publizierten US-amerikanischen Energieprojektionen der vergangenen Jahre analysiert. Diese werden seit 1983 jährlich von der Energy Information Administration (EIA) im US-Energieministerium erstellt und bilden seit Mitte der 90er Jahre die Basis der offiziellen US-Emissionsprojektionen (Third National Communication 2003). Einen genaueren Überblick über die zur Erstellung der AEOs genutzten Daten und Modelle geben die Abschnitte 5.2 und 5.3, unten.
- Da die energiebedingten CO₂-Emissionen der USA nahezu ein Viertel der weltweiten, durch das Kyoto-Protokoll geregelten anthropogenen Treibhausgasemissionen ausmachen, sind die Energie- und Emissionsprojektionen der AEOs nicht nur das am besten analysierbare Beispiel nationaler Treibhausgasemissionsprojektionen, sondern auch ein sehr relevantes Beispiel.
- Zudem liegen bereits Analysen in Bezug auf die Genauigkeit der Projektionen der AEOs vor.
- Für den hier relevanten Zweck ist es zudem unproblematisch, ältere Energieprojektionen in Emissionsprojektionen verbrennungsbedingter CO₂-Emissionen umzurechnen, da sich die brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren für das mit deutlich über 95 % der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen maßgebliche CO₂ – nahezu – nicht verändert haben und auch die älteren Energieprojektionen alle Informationen zur Berechnung der energiebedingten CO₂-Emissionen enthalten.

Die weiter unten in den Kapiteln 6 und 7 dargestellte ex-post Analyse der Projektionen der energiebedingten CO₂-Emissionen der USA bildet daher den Kern dieser Arbeit.

Im Folgenden sollen zunächst die in den Kapitel 6 und 7 verwendeten Methoden der ex-post Analyse von Projektionen näher erläutert werden.

- Dazu wird zunächst auf die quantitative retrospektive Fehleranalyse von Projektionen eingegangen, die im Bereich der Energie- und Bevölkerungsprojektionen

als etabliert gelten kann und die Auswahl geeigneter Fehlermaße für die quantitativ deskriptive Analyse in Kapitel 6 begründet.

- Da es sich bei Emissionsprojektionen um komplexe Arbeiten handelt, ist es wichtig herauszuarbeiten, welche wesentlichen und typischen Elemente sie enthalten und welche dieser Bestandteile prinzipiell einer Beurteilung der Genauigkeit unterzogen werden können. Dazu werden die zu analysierenden Emissionsprojektionen näher auf ihre relevanten Elemente hin untersucht, um damit eine Basis für die Analyse zu gewinnen.
- Danach werden, basierend auf den im voran stehenden Kapitel angestellten theoretischen Überlegungen, empirischen Beobachtungen sowie auf einer Literaturanalyse einschlägiger Arbeiten zur Genauigkeit von Energieprojektionen und Bevölkerungsprognosen, eine Reihe von Untersuchungshypothesen zu Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Emissionsprojektionen formuliert. Diese dienen dann als Grundlage für die hypothesengestützte Analyse der Einflussfaktoren auf die Genauigkeit nationaler Emissionsprojektionen in Kapitel 7.

4.1 Quantitative ex-post Evaluierung

Die Genauigkeit (nicht zu Verwechseln mit Richtigkeit, s.o.) ist, wie in Abschnitt 3.3 gezeigt wurde, ein zentrales Qualitätskriterium von mittel- und langfristigen Projektionen. Craig et al. (2002) sowie Koomey et al. (2003) argumentieren sehr klar, dass vor allem der ex-post Vergleich mittel- und langfristiger Energieprognosen mit der im Nachhinein eingetretenen Wirklichkeit ein wichtiges Hilfsmittel sowohl zum Verständnis vorhandener Projektionen als auch zur Verbesserung künftiger Projektionen ist⁵⁶.

Dabei verstehen sie unter einer ex-post Analyse bzw. Retrospektive jede ‚sorgfältige Analyse einer Prognose, die durchgeführt wird, nachdem die Periode, die von der Prognose abgedeckt wird‘ ganz oder teilweise ‚Geschichte geworden ist‘ (Koomey 2003, 80)⁵⁷. Sie grenzen die ex-post Analyse damit von ex-ante angelegten Modellvergleichen ab.

Retrospektive Analysen sollten dabei nach Koomey et al. (2003, 80) mehr sein, als ein simpler Vergleich prognostizierter Energieverbräuche mit historischen Daten. Sie sollten vielmehr eine möglichst detaillierte Analyse nach Sektoren, Energieträgern und Anwendungen darstellen, um wirklich verstehen zu können, warum sich Prognose und Wirklichkeit unterscheiden.

⁵⁶ Dabei ist unter Verbesserung nicht primär eine Steigerung der Genauigkeit zu verstehen. Koomey et al. (2003, 82) sowie Craig et al. (2002) argumentieren explizit, dass eine Verbesserung der Genauigkeit letztlich unsere Möglichkeiten übersteige und verweisen auf die Argumentation, dass mittel- und langfristige Energieprojektionen in der Klassifizierung von Hodges und Dewar (1992,8ff) nicht validierbare Modelle seien, die entsprechend auch nur eine eingeschränkte Genauigkeit und Präzision in der Prognose erzeugen können. Sie argumentieren dagegen, dass durch retrospektive Analysen die Nützlichkeit der Projektionen im Sinne der von ihnen identifizierten Funktionen von Prognosen gesteigert wird.

⁵⁷ Eigene Übersetzung aus dem Englischen.

Vor diesem Hintergrund soll hier eine differenzierte quantitative Analyse verschiedener Jahrgänge einer wichtigen nationalen Energie- und Emissionsprojektion durchgeführt werden.

Die Fehleranalyse nimmt Bezug auf bereits vorliegende Untersuchungen der Genauigkeit der amerikanischen Energieprojektionen. Die jährlich produzierten US-Energieprojektionen sind bereits Gegenstand einer Reihe von Untersuchungen in Bezug auf ihre Fehler gewesen (vgl. Koomey et al. 2003, 81f und O'Neill/Desai 2005, 980f). Dabei wurden diese Analysen sowohl von der EIA selbst als auch von Dritten durchgeführt.

- In Craig et al. (2002) werden ältere, vor 1980 erstellte Projektionen untersucht. Dabei stellen Craig et al. als Hauptergebnis eine signifikante Überschätzung der Energiebedarfe fest, da Störereignisse, wie die Ölpreiskrisen und die dadurch bedingten Effizienzsteigerungen der Energienutzung, nicht vorhergesehen worden waren.
- Jüngere, zwischen 1978 und 1993 erstellte Projektionen werden von Cohen et al. (1995) analysiert, wobei die Autoren eine Verbesserung der Projektionen zwischen dem Ende der 1970er Jahre und Mitte der 1980er Jahre konstatieren.
- Für die jüngste Periode von 1982 bis 2003, während der sich – nach Ende der Ölpreiskrisen – die Energiesysteme relativ stabil entwickelten, konnte dies in der Untersuchung von O'Neill und Desai (2005) allerdings nicht belegt werden.
- Shlyakhter et al. (1994) untersuchen die Projektionen der Jahre 1983 bis 1987 vor allem in Hinblick auf ihre sektorale Disaggregation und setzen sich dabei mit der ex-ante Erstellung von Konfidenzintervallen der Energieprojektionen auseinander⁵⁸.
- In den Evaluationen, die die EIA seit 1996 jährlich selbst durchführt und veröffentlicht (u.a. Sitzer 1996, Holte 2001, Sanchez 2003, Earley, Honeycut 2005, Wade 2007), werden für Ist-Jahre jeweils die prozentualen Abweichungen der Prognosewerte aller vorhandenen AEOs von den historischen Werten berechnet. Als gesamtes Fehlermaß dient dann der Mittelwert der absoluten Fehler. D.h., es wird für jedes Jahr berechnet, wie weit die für dieses Jahr vorhandenen Projektionen im Mittel falsch lagen. Dabei werden die Projektionen für den Endenergieeinsatz, Produktion und Importsaldo sowie Preise jeweils nach Energie-

⁵⁸ Shliakhter et al. (1994) interpretieren dabei die in den AEOs angegebenen Sensitivitätsanalysen in Form einer unteren (typischerweise low oil price) Variante mit niedrigerem Ölpreis als in der Basisvariante und einer oberen Variante mit höherem Ölpreis als Konfidenzintervalle (was sie m.E. weder sind noch sein sollen) und ermitteln anhand einer ex-post Analyse, dass die Bandbreite der so angenommenen Konfidenzintervalle typischerweise für die AEOs um den Faktor 3 zu klein ist. Sie konstruieren dann – immer noch basierend auf den Ergebnissen der beiden Sensitivitätsanalysen – neue, breitere Konfidenzintervalle.

trägern sowie CO₂ evaluiert. Dabei fehlt diesen Evaluierungen sowohl eine Korrektur um Basisjahreffekte, als auch um kurzfristige Schwankungen.

4.1.1 Ansatz der hier durchgeführten Analyse

Die hier durchgeführte Analyse erweitert die Methode der Untersuchung von O'Neill und Desai (2005, 2003). Diese Studie quantifiziert für eine hier relevantere jüngere Periode Fehler in den Energieprojektionen für die USA und untersucht ihre Ursachen näher. Dazu differenziert sie zwischen Fehlern, die bedingt sind durch ungenaue Basisdaten oder durch periodische Schwankungen, die von den Modellen nicht erfasst werden können, sowie Fehlern in den Trendprojektionen des Wachstums des Bruttoinlandsprodukts und der Energieintensität (s.u.).

Aufbauend auf dieser Untersuchung wird hier eine detaillierte Analyse durchgeführt, um Fragen, die in bisherigen Arbeiten offen bleiben mussten, durch einen stärker detaillierten Untersuchungsansatz näher beleuchten zu können.

Um die hier relevante Frage nach der Genauigkeit der Treibhausgasemissionsprojektionen näher beantworten zu können,

- wird das Modell zum einen erweitert auf die Analyse der Genauigkeit und der Fehlerursachen der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen, die sich über die entsprechenden Emissionsfaktoren aus den Energieprojektionen errechnen.
- Zum anderen wird das Modell verfeinert, d.h. als wichtigste Analysekomponente wird im Folgenden die von O'Neill und Desai als wesentlich herausgestellte Unsicherheit in der Projektion der gesamtwirtschaftlichen Energieintensität näher analysiert. O'Neill und Desai geben drei mögliche Gründe für die Ungenauigkeit der Projektionen der Energieintensität⁵⁹ an: eine im Modell falsch (zu gering) eingeschätzte Einkommenselastizität der Endenergienachfrage, eine falsche Einschätzung der Preiselastizität der Nachfrage ggf. kombiniert mit zu hohen Preisprognosen⁶⁰ und eine Überschätzung der (technischen) Effizienzsteigerung der Energienutzung.

Um der Frage, der genaueren Lokalisierung der Fehlerursache näher nachzugehen,

- wird zunächst eine sektorale Disaggregation des Modells nach den vier Endenergienachfragesektoren Haushalte, GHD-Sektor, Industrie und Verkehr vorgenommen⁶¹ und entsprechende Genauigkeitsmaße ermittelt. Hierdurch soll beleuchtet werden, ob die Unterschätzung der Energieintensität sektoral unter-

⁵⁹ Die gesamtwirtschaftliche Energieintensität wurde in den AEOs generell erheblich unterschätzt.

⁶⁰ Die größten offensichtlichen Fehler in den AEOs betreffen typischerweise die Energiepreise, die – zumindest für die Zeit von 1982 bis 2004 – fast durchgängig überschätzt wurden (vgl. z.B. Holte 2001, Sitzer 1996, 111f.)

⁶¹ Für diese vier Sektoren werden die Endenergieeinsätze separat prognostiziert.

schiedliche Muster zeigt. Dadurch können ggf. weitere Einsichten in mögliche Fehlerursachen gewonnen werden.

- In einem weiteren Schritt wird für die AEOs 93 bis 04 eine weitere Modellebene gebildet. Aufgrund der für diese AEOs verfügbaren detaillierteren Daten war es möglich, sektorale Energiedienstleistungsmaße zu bilden und diese anhand verfügbarer Ist-Daten zu prüfen. Die Energiedienstleistungsmaße stellen ein vereinfachtes Maß für die tatsächliche Energiedienstleistungsnachfrage in den Nachfragesektoren dar. Sie bilden daher eine bessere Bezugsgröße für die Bestimmung der Energieintensität als es die reine BIP-bezogene Energieintensität darstellt (vgl. Wade 2002, IEA 2004).

Da die ex-post Analyse das ursprüngliche Prognosemodell nur unvollständig abbildet, ist davon auszugehen, dass unterhalb der hier untersuchten Detailebene weitere Modellannahmen relevant sind⁶². Diese können Hintergrundvariablen darstellen und insbesondere einen Grund für Korrelationen zwischen Fehlern darstellen. Wenn z.B., was häufig der Fall ist, die Energieintensität eines Sektors im Modell in Abhängigkeit des Energiepreises modelliert wird, so ist zu erwarten, dass sich ein Fehler in der Projektion des Energiepreises spiegelbildlich im Fehler der Projektion der Energieintensität wiederfindet. Da es die Datenlage nicht hergibt, alle diese Abhängigkeiten stets für alle analysierten Modelle zu rekonstruieren, soll hier versucht werden, zu erwartende Korrelationen von Fehlern aufgrund der Modellstrukturen zu identifizieren und ggf. die Stärke der Korrelation – soweit auf der gegebenen Datenbasis sinnvoll möglich – statistisch zu messen.

4.1.2 Konfidenzintervalle als Maßstab der Prognoseunsicherheit

Häufig werden, empirisch (aufgrund der ex-post Analyse von Prognosen) ermittelte oder auf der Basis von Expertenschätzungen generierte Konfidenzintervalle genutzt, um mit der den Prognosen inhärenten Unsicherheit umzugehen (vgl. Shlyakther et al. 1994, 119).

Die Angabe von Unsicherheiten als Qualifizierung zu ‚scheinbar‘ exakten Ergebnissen gehört in vielen Bereichen zur guten wissenschaftlichen Praxis. Sie wird z.B. bei der Erstellung der nationalen Treibhausgasinventare explizit in den entsprechenden IPCC Richtlinien gefordert (vgl. IPCC 2006, Bd. 1, Kap. 3).

In Energie- und Emissionsprojektionen werden Konfidenzintervalle der Punktprognosen dagegen in aller Regel nicht angegeben. Hier werden, höchstens, Sensitivitätsana-

⁶² Dieses Problem gilt letztlich allgemein für Projektionen. Da Energieeinsatz und Emissionen von individuellen Entscheidungen und individuellen Technologien abhängen, die sich wiederum zu Gruppen von Techniken und zu Sektoren zusammenfassen lassen, die ihrerseits weiter aggregiert werden können, ist jedes Modell zwangsläufig eine Verallgemeinerung von noch detaillierteren Zusammenhängen, deren Wirkungen und Wechselwirkungen explizit im Modell oder implizit über Annahmen oder Zeitreihen abgeschätzt werden.

lysen bezüglich zentraler Modellparameter durchgeführt. Dies sind in der Regel Alternative Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Energiepreise oder des Wirtschaftswachstums. Qualitative bzw. wenn möglich quantitative Sensitivitätsanalysen empfiehlt auch die UNFCCC (vgl. FCCC/CP/1999/7, 90) in den Guidelines für die Erstellung der nationalen Emissionsprojektionen.

Allerdings zeigen sowohl die empirischen Untersuchungen von Shlyakhter et al. (1994) als auch verschiedene qualitative Einschätzungen, dass Sensitivitätsanalysen als Indikatoren für die Konfidenzbereiche der Projektionen ungeeignet sind. Das ergibt sich aus der Tatsache, dass die aufgetretenen Projektionsfehler deutlich größer waren als die Bandbreiten der Sensitivitätsanalysen.

Hinzu kommt, dass die Angabe von Unsicherheitsbandbreiten von Prognosen ihre Nutzung nicht erleichtert. Vor allem, wenn die Bandbreiten größer sind als die Bandbreite der durchgeführten Sensitivitätsrechnungen. Im Ergebnis ist es höchstwahrscheinlich so, dass die zusätzlichen Informationen, die Angaben zur Unsicherheit, bei der Nutzung unberücksichtigt bleiben und Entscheidungen auf der Basis der Punktprognose getroffen werden.

Konfidenzintervalle werden hier nicht in die ex-post Analyse einbezogen. Der Grund ist schlicht, dass sie weder für die hier untersuchten AEOs noch üblicherweise für andere nationale Emissionsprojektionen zur Verfügung stehen (s.o.). Würden die Ergebnisse der bestehenden Projektionen mit den jeweiligen Konfidenzbereichen angegeben, wäre eine ex-post Fehleranalyse sinnvoll, um zu identifizieren, ob und inwieweit die angegebenen Vertrauensbereiche auch die eingetretenen Prognosefehler richtig antizipiert haben.

4.1.3 Relevante Elemente von Emissionsprojektionen – Konzentration auf zentrale Basisgrößen

Emissionsprojektionen sind komplexe Prognosen bzw. Szenarien. Daher ist es wichtig herauszuarbeiten, welche wesentlichen und typischen Elemente sie enthalten und welche dieser Bestandteile prinzipiell einer Beurteilung der Genauigkeit unterzogen werden können. Solche Elemente sind für den Bereich der verbrennungsbedingten Emissionen:

- Wichtige externe Basisdaten, wie z.B. Bruttoinlandsprodukt, Bevölkerung, Weltmarktpreise für Erdöl, etc.
- Wichtige Basisannahmen zur Entwicklung der Wirtschaftsstruktur, zur Entwicklung des Verkehrs, zu den abgeleiteten Energiepreisen, etc.
- Prognostizierte Größen (entweder durch Submodelle oder durch direkte Schätzung etc.), wie z.B. Energieintensitäten verschiedener Sektoren, Energieträgerstrukturen, Kraftwerkspark, Ausstattungsgrade, etc.
- Zwischenergebnisse, wie z.B. Energieeinsätze verschiedener Sektoren

- Endergebnisse, wie z.B. Primärenergieeinsätze nach Energieträgern und Emissionen

Da Projektionen der verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen auf unterschiedlichsten Modellen beruhen, die sich sowohl in ihrem Detaillierungsgrad, als auch im Ansatz (technisch bottom-up vs. ökonometrisch, Simulationsansätze vs. Optimierungsansätze etc.) deutlich voneinander unterscheiden, kann diese Aufteilung auf relevante Elemente nicht für alle denkbaren Projektionen Gültigkeit verlangen. Die hier aufgezeigten Kernelemente sollen trotzdem möglichst allgemeingültig sein, d.h. in möglichst vielen Emissionsprojektionen vorhanden und relevant sein; sie orientieren sich daher vorrangig an den im Folgenden zugrunde gelegten Beispielen aus den USA, gleichzeitig ist die Gliederung möglichst allgemeingültig gewählt, so dass die entsprechenden Daten in den meisten Emissionsprojektionen zur Verfügung stehen sollten bzw. leicht angegeben werden können (vgl. Kapitel 6.1).

Für die Zwecke dieser Arbeit wird damit im Prinzip ein schematisches (notwendigerweise vereinfachtes) Modell einer Emissionsprojektion verbrennungsbedingter Treibhausgasemissionen erstellt⁶³. Dieses Modell wird in den folgenden Schritten sowohl für die systematische Analyse der im Modell enthaltenen Teilprojektionen und Emissionsprojektionen in Kapitel 6 als auch für die Untersuchung der Fehlerhypothesen in Kapitel 7 verwendet. Dabei ist klar, dass die Definition eines solchen ‚Testmodells‘ notwendigerweise Schwächen und Vereinfachungen bedingt:

- Die gewählte Modelstruktur ist sowohl vereinfacht, als auch nicht allgemeingültig, da unterschiedliche Emissionsprojektionen sehr unterschiedliche Strukturen aufweisen können.
- Mit der Definition von Kennwerten, die im Rahmen der Emissionsprojektion ermittelt werden wird zudem eine Vereinfachung dahingehend vorgenommen, dass diese Kennwerte z.T. selbst Gegenstand komplexerer Submodelle und eigener Prognoseanstrengungen sein können.
- Außerdem wird implizit eine Unabhängigkeit der unterschiedlichen Kenngrößen angenommen, die in der Realität z.T. explizit nicht gegeben ist. So sind Energieintensitäten in vielen Modellen explizit von der Entwicklung der Energiepreise abhängig und die Marktanteilsveränderungen von Energieträgern an deren relative Preise gekoppelt, d.h. entsprechende Fehler in diesen Kenngrößen sind – je nach Modellkonstruktion der fraglichen Emissionsprojektion – nicht unabhängig von den Fehlern in Bezug auf die Prognose der jeweils relevanten Hintergrundgröße.
- Die wohl wichtigsten Hintergrundgrößen in Projektionsmodellen – d.h. die Größen, die die spezifischen Energieeinsätze beeinflussen – stellen die Energiepreisprognosen sowie die Erwartungen über entsprechende Elastizitäten dar

⁶³ Siehe die genaue Beschreibung in Abschnitt 6.1 und Abbildung 6-1.

(vgl. z.B. die Beschreibung des Nationalen Energie-Modellierungs-Systems NEMS in Kapitel 5.3). Diese werden hier aber nicht untersucht, da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde⁶⁴.

Das hier als repräsentativ für die Abbildung der energiebedingten CO₂-Emissionen in nationalen Emissionsprojektionen gewählte Analysemodell wird in Kapitel 6.1 näher dargestellt.

4.1.4 Wahl des Fehlermaßes

Bei der Wahl des Fehlermaßes orientiert sich die hier durchgeführte Analyse ebenfalls an der Arbeit von O’Niell und Desai (2003, 2005), sowie an ähnlichen Ansätzen von Keilmann (1991, 1998). Als Fehlermaße werden primär die prozentuale sowie die absolute prozentuale Abweichung (=Betrag der prozentualen Abweichung) der Projektionswerte von den historischen Realwerten verwendet, wobei es vor allem darauf ankommt, genau herauszuarbeiten, was von der untersuchten Projektion eigentlich prognostiziert werden sollte, und welche Daten als historische Vergleichsdaten herangezogen werden können. Dazu werden die sichtbaren Fehler in der Fehleranalyse entsprechend differenziert (vgl. Abschnitt 6.1).

Dabei erfolgt, wie Ahlburg und Lutz (1998, 5) resümieren, die Wahl des Fehlermaßes in den allermeisten Evaluierungen willkürlich. D.h. das Fehlermaß wird vom Autor der Analyse nach praktischen oder anderen Gesichtspunkten festgelegt. Ahlburg und Lutz argumentieren demgegenüber, dass sich das Fehlermaß eigentlich an der Kosten- bzw. Nutzenfunktion des Nutzers der Projektion orientieren müsste⁶⁵. D.h., zunächst müssten die entsprechenden Präferenzen der – häufig diffusen – Nutzergruppe der untersuchten Projektion ermittelt werden. Das Fehlermaß sollte dann so festgelegt werden, dass es dieser Funktion möglichst gut entspricht.

Die Kostenfunktion der Nutzer kann entweder symmetrisch sein, d.h. positive wie negative Fehler der Projektion (d.h. Über- und Unterschätzungen der Realität) verursachen einen ähnlichen Schaden, oder asymmetrisch, wenn z.B. der Schaden einer Unterschätzung kleiner ist als der einer Überschätzung⁶⁶. Ebenso kann die Schadensfunktion linear zur (prozentualen) Fehlprognose verlaufen oder, in Fällen in denen

⁶⁴ Die Einbeziehung dieser monetären Größen würde zum einen eine weitere Ausweitung des Analysemodells erfordern und, was schwerer wiegt, weitere z.T. signifikante Datenprobleme aufwerfen, da sowohl die intertemporale als auch die internationale Vergleichbarkeit dieser monetären Größen problematischer ist, als die von Energiegrößen. Zudem mangelt es in vielen Emissionsprojektionen an geeigneter Dokumentation dieser Daten. Daher werden die hier als Hintergrundgrößen bezeichneten Einflussfaktoren nicht direkt untersucht. Eine solche Untersuchung wäre aber für folgende Arbeiten denkbar und ggf. interessant.

⁶⁵ In die gleiche Richtung argumentieren sowohl Tichy (1988, 340) als auch Auffhammer (2005, 3), der herausstellt, dass eine gegebene Prognose nur dann optimal für einen Nutzer ist, wenn sich seine Kostenfunktion mit der des Prognoseerstellers deckt.

⁶⁶ Dies wäre z.B. bei Umsatz- oder Marktprognose eines Unternehmens der Fall. Während eine Unterschätzung in der Regel unproblematisch sein sollte, kann eine Überschätzung der künftigen Umsätze etc. sehr rasch zu schwerwiegenden Problemen führen (Auffhammer 2005, 7).

große Fehler sehr teuer sind, durch eine quadratische Fehlerfunktion abgebildet werden (Ahlburg, Lutz 1998, 5).

Die exakte Kostenfunktion der Nutzer ist aber in den meisten Fällen sowohl aufgrund der Unbestimmtheit der Zielgruppe als auch der Breite ihrer Interessen nur schwer einzuschätzen.

Auffhammer (2005) diskutiert die implizite Kostenfunktion der EIA bei der Erstellung der AEOs, indem er wichtige Projektionsergebnisse statistisch auf Korrelation gegen verschiedene symmetrische und asymmetrische Fehlermaße testet und so eine implizite Kostenfunktion der EIA – für die die Projektionen rational wären – ermittelt⁶⁷. D.h., er nutzt die ex-post ermittelten Fehler der Projektionen unter der Annahme, die Projektionen seien rational um die Kostenfunktion zu bestimmen.

Als Ergebnis zeigt sich, dass die impliziten Kostenfunktionen der EIA in dieser Interpretation offenbar asymmetrisch sind, was Auffhammer vor allem auf eine Mischung unterschiedlicher impliziter Kostenfunktionen der individuellen Bearbeiter zurückführt (2005, 20). Als ein wesentliches Ergebnis stellt Auffhammer heraus, dass vor allem die Energieintensitätssteigerung sehr konservativ eingeschätzt wird, was er als asymmetrische Kostenfunktion interpretiert⁶⁸.

Da zunächst die Kostenfunktion der Nutzer nationaler Emissionsprojektionen nicht bekannt ist, sollen hier einige Überlegungen dazu angestellt werden:

Wird das Gesamtergebnis, die *CO₂-Emissionen*, überschätzt, dann hat das ggf. zur Konsequenz, dass unnötig harte Politikansätze beschlossen werden und die Kosten der Emissionsreduktion zu hoch angesetzt werden und so ggf. auch entsprechende Minderungspolitiken unter mangelnder politischer Akzeptanz leiden⁶⁹. Wird eine Mitgliedschaft im Kyoto-Protokoll zugrunde gelegt, und der feste Wille, die eingegangenen Ziele zu erreichen, so führt die Überschätzung zu ggf. unnötigen Kosten, sichert aber gut den Erfolg der Politik ab⁷⁰.

Werden sie dagegen unterschätzt, so kann es – bei Kyoto-Staaten – passieren, dass die entsprechende Minderungs politik nicht ausreichend ausgestattet wird und die

⁶⁷ Die genaue Methodik von Auffhammer soll hier nicht wiedergegeben werden. Er evaluiert zudem aufgrund der mangelnden Konsistenz längerer Zeitreihen jeweils nur die Prognosen über einen Zeithorizont von 1 und 2 Jahren (Auffhammer 2005, 12). Entsprechende Bearbeitungen der Zeitreihen, wie sie hier vorgenommen werden (siehe Kapitel 6) zieht er nicht in Betracht.

⁶⁸ Er zitiert aber auch die Untersuchung von O’Niell und Desai (2005), die vor allem die Fehler der BIP-Projektionen als Ursache der Fehlprojektionen der Energieeffizienz herausarbeiten, deren Ergebnis aber, wie die hier durchgeführte Analyse in Abschnitt 6.3.1 zeigt, z.T. auf eine Fehlinterpretation der historischen BIP-Zeitreihen zurückzuführen ist.

⁶⁹ Koomey (2007) stellt diesen Zusammenhang für die Überschätzung der Kosten der Emissionsreduktion durch die EIA in den entsprechenden Analysen zum AEO’97 heraus. Er interpretiert diese als eine der Ursachen für die Haltung der US-Administration, dem Kyoto-Protokoll nicht beizutreten.

⁷⁰ Bei einer 5-jährigen Compliance Periode besteht allerdings die Möglichkeit, nachzusteuern und ggf. zu „starke“ Emissionsminderungen als politisches Kapital zu nutzen oder tatsächlich in Rahmen von Kyoto an andere Staaten zu verkaufen und so die Kosten zumindest teilweise wieder einzuspielen.

eigenen politischen Ziele verfehlt werden, was zu entsprechenden Zahlungspflichten führen kann.

Insgesamt würde hier tendenziell – je nach Standpunkt – also eher die Unterschätzung der Emissionen als teuer aufgefasst werden, als die Überschätzung der Emissionen. Es wird aber auch deutlich, dass ein und derselbe Fehler je nach Betroffenen sehr unterschiedliche Kosten bzw. auch Nutzen haben kann (Tichy 1988, 340).

Ähnliche Verhältnisse sollten sich auch für die Projektionen der Emissionen der einzelnen Nachfragesektoren ergeben.

Dieses Ergebnis könnte dafür sprechen, auch ein entsprechendes Fehlermaß zu verwenden, das die Unterschätzung von Emissionen stärker gewichtet als die Überschätzung. Allerdings würde solch ein Maß schwer zu kumulieren sein, wenn es darum geht, die Fehler einzelner Teilschritte und -bereiche der Emissionsprojektion miteinander zu verbinden.

Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden, basierend auf den Arbeiten von O’Niell und Desai (2003, 2005), der prozentuale Fehler als Maß gewählt⁷¹. Er gewichtet zwar negative wie positive Prognosefehler gleich, ermöglicht aber durch die explizite Unterscheidung positiver und negativer Fehler (im Gegensatz z.B. zum Quadratfehler) die analytische Unterscheidung von Unter- und Überschätzungen.

4.2 Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Emissionsprojektionen

Die Genauigkeit von Emissionsprojektionen wird durch eine ganze Reihe von Einflussfaktoren beeinträchtigt. Diese werden hier basierend auf den theoretischen Überlegungen in Kapitel 3 sowie auf empirischen Beobachtungen dargestellt, z.B. zur Genauigkeit von Bevölkerungsprojektionen, von denen sich eine Reihe direkt auch auf Emissionsprojektionen übertragen lassen. Weitere empirische Hinweise wurden aus der vorliegenden Literatur zur Genauigkeit von Energie- und Emissionsprojektionen abgeleitet.

Keilmann (1990, 56ff) stellt unter Bezugnahme auf zahlreiche Literaturquellen sowie eigene Ergebnisse insgesamt 16 Fehlerhypothesen für Bevölkerungsprognosen zusammen, die auch im Zusammenhang mit Energie- und Emissionsprojektionen Relevanz haben. Dabei unterscheidet er

- *erstellungsspezifische Faktoren*, d.h. Faktoren die sich aus dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung ergeben – derselbe Prognostiker bzw. dieselbe Institution würde demnach mit denselben Methoden und denselben Inputdaten je

⁷¹ Der prozentuale Fehler gibt die Abweichung der Projektion von der im Nachhinein eingetretenen Realität in Prozent an. Entscheidend hierbei ist es aber adäquate Vergleichsdaten zu nutzen. Gleichung 6-3 unten gibt die entsprechende Formel des hier überwiegend genutzten Trendfehlers an.

nach Erstellungszeitpunkt bzw. den zu diesem Zeitpunkt herrschenden Verhältnissen unterschiedliche Prognosen abgeben;

- *prognosespezifische Faktoren*, die sich aus der Methode, den Daten, der Länge des Projektionszeitraums sowie ggf. auch der Rolle der erstellenden Organisation ergeben und
- *weitere Faktoren*, die sich vor allem auf den Prognosegegenstand beziehen. Diese Faktoren bieten zum Teil Erklärungsansätze für die erstellungszeitspezifischen Einflussfaktoren an, z.B. wirken sich Innovation und verhaltensbeeinflusste Variablen vor allem durch Diskontinuitäten bzw. Brüche vorherrschender Trends aus.

In enger Anlehnung an Keilmann werden im Folgenden 17 Fehlerhypothesen für Energie- und Emissionsprojektionen aufgestellt, die dann im Verlauf der Arbeit ausgewählt und näher auf ihre Relevanz überprüft werden.

4.2.1 Erstellungszeitspezifische Einflussfaktoren

Die ersten zwei Faktoren sind erstellungszeitspezifische Einflussfaktoren auf die Genauigkeit bzw. Qualität von Projektionen.

1. Unregelmäßigkeiten und neuere Veränderungen in der realen Entwicklung verstärken Prognosefehler:
 - a. Der von Ascher (1978, 53)⁷² so genannte „assumption drag“ bezeichnet die Beobachtung mehrerer Autoren, dass Prognosen, die in Zeiten steigender Geburtenraten erstellt wurden, die tatsächliche Entwicklung über-, Prognosen die in Zeiten sinkender Geburtenraten erstellt wurden die tatsächliche Entwicklung unterschätzten; d.h., dass Annahmen in Prognosen weiterverwendet werden (hier hohe, niedrige Geburtenraten), obwohl sie sich in der Realität bereits als überholt herausgestellt haben (vgl. Keilmann 1990, 58). Ähnliche Beispiele lassen sich in der Wirtschaftsprognose (vgl. Tichy 1988, 431) und auch im Bereich der Energieprognosen finden. Ein sehr bekanntes Beispiel sind Energieprogramme der Bundesregierung, die die Trendbrüche bzw. Trendänderungen von hohen Wachstumsraten des Energieverbrauchs hin zu einem stagnierenden Trend in Folge der beiden Ölpreiskrisen 1973/74 sowie 1979/80 nicht richtig prognostizierten (siehe dazu die Ausführungen in Abschnitt 2.1.3.4).

Ein Hintergrund für derartige Fehler ist die Tatsache, dass es in der Praxis überaus schwer ist, Trendänderungen von bloßen kurzfristigen Abweichungen bei insgesamt unverändertem Trend zu unterscheiden. Der

⁷² Zitiert nach Keilmann (1990, 58).

Fehler gilt damit auf jeden Fall nur für Prognosen, die nicht aus rein mathematischen Modellen abgeleitet sind (denn diese würden in der einen oder anderen Weise auf die veränderten Daten reagieren⁷³), sondern solcher, deren zentrale Modellparameter von Prognostikern aufgrund der ‚Extrapolation bestehender Regelmäßigkeiten die in aktuellen Trends beobachtet werden‘ (Keilmann 1990, 58) sowie den bestehenden Erwartungen über die zukünftige Entwicklung unter nicht schematischer Berücksichtigung der aktuellen Daten geschätzt werden. Dabei kann die ‚Schätzung‘ durchaus auch auf implizite oder explizite Modelle zurückgreifen. Wichtig ist allerdings, dass sich die Erwartungen über die zukünftige Entwicklung der Variablen nicht ausschließlich auf die Vergangenheitsentwicklung derselben stützen

- b. Große *Schwankungen der genutzten Basisdaten* werden z.B. für Ungenauigkeiten von Prognosen, die mithilfe ökonomischer Zeitreihenextrapolationen erstellt werden, verantwortlich gemacht, wobei es aber auch gegenteilige Untersuchungen z.B. aus der Bevölkerungsprognose gibt.

Da die jeweiligen *Erwartungen* zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung großen Einfluss auf ihren Inhalt und damit ihre Genauigkeit haben und diese wiederum stark durch die aktuelle Situation, d.h. durch die aktuelle Ausprägung und/oder den aktuellen Trend der wesentlichen Prognosevariablen bestimmt werden (vgl. Rescher 1998, 221f), ergibt sich wie unter 1.a bzw. häufig entgegengesetzt ein starker Einfluss aktueller kurzfristiger Entwicklungen auf die langfristigen Prognosen. D.h., kurzfristige Schwankungen bzw. Veränderungen von Trends werden als Trendwende überinterpretiert. H. Landsberg (1985), Leitautor einer großen Energieprognosestudie für die USA (Landsberg et al. 1963), folgerte zwei Jahrzehnte später rückblickend: „One is a captive of the time of writing or calculating, typically without realizing it.“ (Koomey et al. 2003, 77). Keilmann (1990, 58) gibt mehrere Beispiele von Untersuchungen zu Bevölkerungsprognosen an, die diesen Effekt bemerken. Die Höhe der Veränderungsrate einer Variable ist demnach häufig entscheidend für die Prognose derselben, wenn subjektive Extrapolationsmethoden verwendet werden.

2. Zudem hat die *Stabilität des Trends* zum Erstellungszeitpunkt bzw. auch danach hohe Relevanz für die Genauigkeit der Prognose. Generell, so belegen es zahlreiche Evaluierungen von Energieprojektionen (z.B. Craig u.a. 2002, 94;

⁷³ Insofern liegt dem Fehler natürlich auch ein ontologisches Hemmnis zugrunde. Die zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten sind nicht so weit verständlich, dass ein genaues Modell erstellt werden könnte.

Linderoth 2002, 61) wie auch viele Analysen aus der Bevölkerungsprognose, werden in Zeiten relativ stabiler Entwicklungen ohne größere strukturelle Veränderungen häufig auch recht genaue Prognosen erstellt. McNees (1992, 28) unterscheidet (für ökonomische und finanzwissenschaftliche Prognosen bis zu einem Jahr) explizit zwischen einfachen, d.h. relativ kontinuierlichen und schwer zu prognostizierenden, ‚hektischen‘ Perioden. Der Umkehrschluss jedoch lässt sich nach Keilmann (1990, 58) jedoch nicht ohne weiteres belegen. So lassen sich ungenaue Prognosen nicht allein durch instabile Trends erklären⁷⁴.

4.2.2 Methodische bzw. prognosespezifische Einflussfaktoren

Die folgenden Einflussfaktoren 3 bis 12 sind in erster Linie Einflussfaktoren, die in der Prognose selber, bzw. in der Person des Erstellers der Prognose liegen:

3. Einige Autoren haben hohe Korrelationen zwischen dem *Startjahr* einer Prognose und ihrer Genauigkeit festgestellt. Allerdings, so die Argumentation von Keilmann (1990, 59), liefert dieser lediglich statistische Zusammenhang keine kausale Begründung für die jeweiligen Prognosefehler. Er ist damit nur eine Bezeichnung für die Summe der individuellen Fehlereinflüsse einer bestimmten Prognose (mit diesem Startjahr).
4. Der *Wechsel bzw. die Veränderung des methodischen Ansatzes* der Prognose könnte ebenfalls einen Einfluss auf die Genauigkeit ausüben. Im Prinzip kann argumentiert werden, dass die jeweilige Methode nur dann verändert wird, wenn die neue Methode verbesserte Prognosen liefert. Allerdings verneinen O’Niell und Desai (2005, 992) in ihrer Analyse der Projektionen der EIA eine Verbesserung der Projektionen durch den seit 1994 erfolgten Modellwechsel (siehe dazu Abschnitt 5.3)⁷⁵. Einzelnen Ergebnissen, die z.B. darauf hinweisen, dass methodische Verbesserungen (im Sinne der Einbeziehung zusätzlicher Variablen) seit den 60er Jahren die Bevölkerungsprognosen genauer gemacht haben, steht jedoch die Erkenntnis entgegen, dass für spezielle Prognosen z.T. einfache Methoden besser abschneiden als komplexere Prognoseansätze. Tichy (1988, 341) erwähnt dazu, dass der Formalisierungsgrad und die Modelldetaillierung bei multivariaten Prognosen keinen signifikanten Einfluss auf die Prognosequalität hat.
5. Die Nutzung von *Expertenschätzungen* könnte ebenfalls einen Einfluss auf die Qualität der Prognose haben. In Abschnitt 2.1.2 wurden verschiedene auf Expertenschätzungen beruhende Methoden der Zukunftsvorausschau dargestellt. Die von Keilmann zitierten Untersuchungen vermuten allerdings nur geringen

⁷⁴ Keilmann verweist hier auf die Ausführungen von Henshel (1982, 74).

⁷⁵ Allerdings stellt das neue Modell der EIA (NEMS) keinen grundlegenden Methodenwechsel, sondern eher eine Weiterentwicklung des bis dahin genutzten Modells dar (vgl. O’Niell, Desai 2005, 981).

Nutzen bzw. sogar die Einführung systematischer Verzerrungen durch Expertenschätzungen⁷⁶. Ahlburg und Lutz (1998, 6f) plädieren dagegen sehr dafür, Expertenwissen stärker in Prognosen zu nutzen. Insbesondere wenn eine Prognose durch mehrere Teiltrends beeinflusst wird und diese auch getrennt dargestellt werden können, würde dies die Genauigkeit verbessern.

6. Die *Rolle der durchführenden Organisation* auf die Prognosequalität wurde nach Keilmanns Recherchen nur von einer einzigen Studie für den Bereich der Verkehrsplanung belegt (Dennis 1987). Dieser zufolge verhält sich die Genauigkeit der Prognosen einer Organisation umgekehrt zur Entscheidungsbefugnis derselben. Das könnte bedeuten, je größer der Entscheidungsbefugnisse und damit auch die Verantwortung für gestaltende Entscheidungen einer Organisation sind, desto stärker werden ihre Prognosen möglicherweise durch Zweck- bzw. Rechtfertigungserwägungen beeinflusst und offenbar in ihrer Genauigkeit verzerrt⁷⁷.
7. Diese Fehlerhypothese lässt sich noch durch den Aspekt *Zweck der Prognose* ergänzen. Craig u.a. (2002, 88ff) identifizieren als zweite von insgesamt sieben Anwendungen langfristiger Energieprognosen, dass diese als Unterstützung zum Verkauf von Ideen oder zur Erreichung politischer Ziele eingesetzt werden. Als Belege führen sie den 1973 von Präsident Nixon propagierten Plan einer Energieunabhängigkeit der USA bis 1980⁷⁸ und die interessengeleiteten übertriebenen Stromverbrauchsprognosen der US Atomenergiekommission⁷⁹ an. Solche Prognosen, deren eindeutiger Zweck nicht in einer möglichst guten Prognose der Zukunft, sondern in der Beeinflussung politischer Prozesse besteht, sind vor diesem Hintergrund häufig falsch, wie die angeführten Beispiele eindrucksvoll belegen.
8. Für zeitreihenbasierte Methoden wurde unter anderem der Einfluss *Länge der Basisperiode bzw. die Zahl der verwendeten Ist-Datenpunkte* untersucht. Allerdings konnte hieraus keine eindeutige Schlussfolgerung für die Prognosegenauigkeit gezogen werden. Die *Art der genutzten Daten* (jährlich, monatlich etc.) dagegen, hat, so die Analysen, einen Einfluss auf die Prognosegenauigkeit.

⁷⁶ Siehe dazu auch Kapitel 2.1.3.3 zur Rolle und zu den Problemen von Expertenbefragungen in Zukunftsstudien.

⁷⁷ Hier wäre zusätzlich zu bedenken, dass wichtige Prognosen (wie z.B. die Prognose der Wirtschaftsentwicklung) von der zuständigen Organisation bei entsprechenden Instituten in Auftrag gegeben werden. Dabei können entsprechende politische Wertungen weitergegeben werden. In diesem Fall wäre auch die scheinbar unabhängige, weil nicht entscheidungsbefugte Organisation von der Verzerrung betroffen. Andererseits kann auch explizit eine unabhängige, kritische Prognose gewünscht sein.

⁷⁸ Siehe auch Laitner u.a. (2003, 87).

⁷⁹ Siehe dazu z.B. auch Smil (2000, 253).

9. Ein signifikanter Einfluss wird der *Länge der Prognoseperiode*, d.h. dem Prognosehorizont zugeschrieben (vgl. z.B. Linderoth 2002, 54). Allgemein stellen mehrere Analysen fest: Je länger der Prognosehorizont, desto ungenauer ist die Projektion. Wobei Rescher (1998, 78) darauf hinweist, dass es auch einen ‚Dämpfungseffekt‘ geben kann, der in speziellen Fällen dazu führen kann, dass längerfristige Projektionen genauer sind als kurz- bzw. mittelfristige.
10. Mehrere empirische Belege lassen sich dafür finden, dass die Regel *einmal über(unter)schätzt immer über(unter)schätzt* (stabile Fehlerrichtung) in einer recht hohen Anzahl von Fällen zutrifft. Fälle, in denen die reale Trendlinie die der Projektion kreuzt, lassen sich – zumindest in der Bevölkerungsprognose nur selten finden⁸⁰. Generell ist damit offenbar der Prognosefehler des Vorjahres ein guter Indikator für den aktuellen Prognosefehler.
11. Eine Reihe von Studien, so Ahlburg und Lutz (1998, 5) und Keilmann (1990, 60), legen nahe, dass die (schematische) *Kombination mehrerer Prognosen häufig genauer* ist, als eine einzige Prognose⁸¹. Keilmann interpretiert das so, dass die Vielzahl der realen Situationen während des Prognosezeitraums durch keine Methode optimal abgedeckt sein kann. Interessant ist, dass sich diese empirische Beobachtung mit den theoretischen Überlegungen Reschers deckt, der zeigt, dass – zumindest für einige Zusammenhänge, aber nicht zwangsläufig – der Mittelwert verschiedener Projektionen häufig eine bessere Prognose darstellt, als die meisten individuellen Prognosen und zwar insbesondere, wenn diese Kombination über einen längeren Zeitraum durchgeführt wird⁸² (Rescher 1998, 92). Allerdings weisen Ahlburg und Lutz (1998, 5) auch darauf hin, dass die Kombination verschiedener Prognosen nicht ohne Berücksichtigung der jeweiligen individuellen Qualität der Prognosen stattfinden sollte, und dass die Prognosen ggf. entsprechend gewichtet werden sollten.
12. Eine Fehlerhypothese, die sich nicht explizit in Keilmanns Liste findet, ist die Kompensation von Fehlern aus Teilprognosen bei aggregierten Projektionen. Es finden sich in der Literatur jedoch zahlreiche Hinweise für die Kompensation von Fehlern aus Teilprognosen in der jeweiligen zusammengesetzten Projektion. Umgekehrt aber im Effekt analog bemerkt Tichy: „Disaggregation verschlechtert die Prognosequalität eher“ (1988, 341). Aggregierte Prognosen erscheinen z.T. richtig, wobei dies lediglich darauf zurückzuführen ist, dass sich

⁸⁰ Dies bestätigt z.B. die Analyse Keilmanns (1991, 60) für Bevölkerungsprognosen.

⁸¹ Eine methodisch ausgefeiltere Kombination unterschiedlicher individueller Projektionen, z.B. im Rahmen der Delphi-Methode (s.o.), zur Erstellung einer Gesamtprojektion ist hier nicht gemeint.

⁸² Wenn z.B. Bevölkerungs- oder Wachstumsprognosen von mehreren Prognostikern regelmäßig abgegeben werden, so ist der Mittelwert zwar nicht zwangsläufig besser als die beste individuelle Prognose, allerdings wird im Zeitverlauf die Rangliste wechseln, d.h., wenn immer nur der Prognose eines Prognostikers (Instituts) geglaubt würde, ist die Chance hoch, dass diese auch einmal sehr schlecht ist. Der Mittelwert dagegen wird in bestimmten Themenbereichen über den Zeitverlauf eine gute Wahl sein.

die Fehler in den Teilprognosen gegenseitig kompensieren. So berichtet beispielsweise Smil (2000), dass er den Energieverbrauch Chinas gut prognostiziert habe, weil er a) das Wirtschaftswachstum erheblich unterschätzt und gleichzeitig b) die Energieeffizienzsteigerung ebenfalls drastisch unterschätzt hatte. Der entgegengesetzte Fehler wurde bei den Energieprojektionen der EIA für die USA gemacht, was sich aus den Analysen von O'Neill und Desai (2005) ergibt. Hier wurden das Bruttoinlandsprodukt systematisch zu hoch und die Energieeffizienzsteigerung ebenfalls zu hoch projiziert. Zahlreiche weitere Effekte dieser Art berichtet auch Linderoth (2002), der die Energieprognosen der IEA für die OECD-Staaten analysiert hat. Hier kompensieren sich sowohl innerhalb einzelner Länder Fehler in verschiedenen Sektoren, als auch für jeden Sektor Fehler in verschiedenen Ländern, so dass die aggregierten Prognosen, sowohl für den gesamten Energieverbrauch als auch für den Verbrauch einzelner Sektoren meist genauer sind (scheinen), als die für einzelne Sektoren in einzelnen Ländern.

4.2.3 Weitere (vor allem gegenstandsspezifische) Faktoren

Die letzten vier Einflussfaktoren beziehen sich auf weitere Einflussbereiche, die vor allem im Gegenstand der Prognose begründet sind.

13. Prognosefehler sind dort am größten, wo *verhaltensbedingte Variablen* Gegenstand sind. Diese Beobachtung deckt sich mit der ontologischen Kategorie der Willkür durch *freie Wahl*, die auch unbegründete und irrationale Entscheidungen zulässt und damit – zumindest für das Individuum – nicht logisch prognostizierbar ist (vgl. Rescher 1998, 134 und Tabelle 1). Craig u.a. (2002, 110f.) sowie Laitner u.a. (2003, 88, 90f.) beschreiben diesen Aspekt – zusammen mit technologischer Innovation – als einen der wichtigsten Fehler von Energieprojektionen, der insbesondere dadurch zustande komme, dass historische Gesetze bzw. Parameter für die Projektion zugrunde gelegt werden, die Veränderlichkeit menschlicher Aktivitäten aber nicht berücksichtigt wird. Der wichtigste Hintergrund dafür ist die Tatsache, dass im Bereich von Politiken und Technologien Skaleneffekte (d.h. selbstverstärkende Trends), institutioneller Wandel und Pfadabhängigkeiten existieren (Craig u.a. 2002, 111). D.h., bei verhaltensbedingten Variablen sind ggf. schwer zu prognostizierende Trendbrüche eher zu erwarten, als bei anderen Variablen.
14. Zwischen der *absoluten Größe* (der prognostizierten Größe) und dem Prognosefehler besteht – nach Beobachtung mehrerer Autoren (vgl. Keilmann 1991, 61) – ein klarer Zusammenhang. Dieser Zusammenhang, der vermutlich auch auf andere Themenbereiche übertragbar ist, beruht im Wesentlichen auf dem ‚Gesetz der großen Zahl‘. D.h., individuelle (siehe Hypothese 13) oder stochastische Abweichungen fallen umso geringer ins Gewicht, je größer die betrachtete Grundgesamtheit ist.

15. Die *Veränderungsrate* (der zu prognostizierenden Größe) dagegen ist offenbar positiv mit dem Prognosefehler korreliert (Keilmann 1991, 61). D.h., je stärker sich der Energieeinsatz oder die Bevölkerung ändert (wächst oder sinkt), desto ungenauer ist offenbar die Prognose. Erklären lassen sich solche Phänomene ggf. durch die ontologische Kategorie der Unschärfe sowie ggf. auch durch die Einflüsse von Willkür, freier Wahl und Zufall. Da die meisten Größen entweder echte oder zumindest unechte Bestandsgrößen sind, sind bei ihnen die ontologischen Unsicherheitskategorien in ihrer Wirksamkeit typischerweise beschränkt. D.h., der Bestand, der sich aus dem Vorjahr ergibt, ist in der Regel gut erfassbar und ebenfalls kaum von zufälligen Einflüssen betroffen. Die Wirkung der ontologischen Prognosehemmnisse dagegen bezieht sich im Wesentlichen auf die Veränderungen, d.h. auf eventuelle Abgänge von Beständen sowie Zugänge von Beständen. Bei Variablen mit hohen Änderungsraten ist die Chance, dass hier zufällige oder im Vorhinein nicht sichtbare Einflüsse einen signifikanten Einfluss auf den Prognosefehler haben, damit erwartungsgemäß größer.
16. Die *Frequenz der zugrunde liegenden Basisdaten* könnte ebenfalls mit der Prognosegenauigkeit korreliert sein. Dies gilt z.B. für grundlegende Trends denen zyklische Entwicklungen überlagert sind. Hier gilt, dass Prognosen in der Regel längerfristige Trends abbilden (sollen). Kurzfristige – z.B. konjunkturelle oder zyklische oder (im Falle von Energieprognosen) temperaturbedingte – Abweichungen vom längerfristigen Trend dagegen, können (und sollen) meist nicht von den Prognosemodellen erfasst werden (vgl. auch O'Neill/Desai 2005, 983).
17. Technologische Veränderungen (*Innovation*) haben einen zentralen Einfluss auf die Prognosegenauigkeit. Hier sieht Keilmann – vor dem Hintergrund seines Forschungsgebietes Bevölkerungsprognose – lediglich den Aspekt der Verbesserung der Prognosemethoden und –hilfsmittel, für den er eine positive Wirkung auf den Prognosefehler annimmt⁸³. Allerdings ist die Innovation bzw. der technologische Wandel in vielen Bereichen – u.a. im Bereich von Energie- und Emissionsprojektionen (vgl. Craig u.a. 2002, 111) – auch und vor allem ein ganz bedeutender Einflussfaktor für die Veränderung von der Prognose zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten. Deshalb ist die Prognose des technischen Wandels in dem interessierenden Feld sowohl ein wichtiger Teilbereich von Prognosen⁸⁴ als auch ein zentraler Grund für Prognosefehler. Da Innovati-

⁸³ Dieser Aspekt sollte in der hier gewählten Gliederung am ehesten im Zusammenhang der Hypothese zum Methodenwechsel diskutiert werden.

⁸⁴ Allerdings spielt die ‚technische Innovation‘ gerade auch im Feld der Bevölkerungsprognose eine Rolle. So hatte die Entwicklung wirksamer empfängnisverhütender Mittel und die folgende Diffusion in vielen Ländern einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der Fertilitätsraten und damit sicher auch auf die Genauigkeit der Bevölkerungsprognosen.

on tendenziell eher sprunghaft verläuft und auch in ihrer genauen Ausprägung nur schwer prognostizierbar ist, bildet sie nach Rescher (1998, 134) neben Zufall und Chaos sowie dem freien Willen das dritte grundlegende Prognosehemmnis. Für Koomey (2002, 2007) ist das Beharren auf statischen Verhältnissen und Relationen, das die meisten Prognosemodelle voraussetzen, sogar der zentrale Fehlergrund⁸⁵. Durch diese modellimmanente ‚Trägheit‘ schätzen die meisten Prognosen die Offenheit der Zukunft viel zu gering ein und unterschätzen dadurch auch die Möglichkeiten der Anpassung von Systemen. Umgekehrt überschätzen diese Prognosen die Kosten der Abkehr vom einmal eingeschlagenen Pfad und stellen so z.T. ein Hemmnis gegenüber der Einleitung alternativer Politikpfade dar.

4.2.4 Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen und Grenzen der Prognostizierbarkeit

Die oben hergeleiteten Hypothesen zu möglichen Fehlern und Grenzen von Prognosen lassen sich auf die ihnen zugrundeliegenden ontologischen und erkenntnistheoretischen Grenzen der Prognostizierbarkeit sozialer Systeme zurückführen. Die folgende Tabelle gibt hierzu eine Übersicht, die zeigt, welche der Fehlerhypothesen auf welche Kategorie von Grenzen (siehe Übersicht in Kapitel 3) zurückzuführen ist.

Die Übersicht zeigt, dass die *erstellungszeitspezifischen Einflussfaktoren* zu den möglichen Einflussfaktoren auf die Qualität von Prognosen überwiegend auf die erkenntnistheoretische Begrenzungen der Prognostizierbarkeit in Form der Unzulänglichkeit der Schlussfolgerung (bei gleichzeitig vorhandener Datenlage und Kenntnis über die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten) zurückzuführen sind. Ontologisch spielen hier die Kategorien der Flüchtigkeit und der Unschärfe eine Rolle. Denn die unterliegenden Trends sind vor dem Hintergrund der Unschärfe aus den vorhandenen Daten nur schwer zu erkennen. Es werden entweder sich bereits in den Daten abzeichnende Trends irrtümlich als kurzfristige Schwankungen eingeschätzt (Unschärfe) oder umgekehrt kurzfristige Schwankungen als Trendwende überinterpretiert.

Die *prognosespezifischen Einflussfaktoren* sind – neben teilweise ausschließlich statistisch begründeten Einflussfaktoren – ebenfalls vorwiegend auf erkenntnistheoretische Kategorien zurückführbar. Im Vordergrund stehen hier die Kurzsichtigkeit und die Unsicherheit, d.h. die mangelnde Erfassung von Informationen bzw. der zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten z.B. aufgrund der Begrenztheit der verwendeten Methodik bzw. der genutzten Expertenschätzungen. Die Hypothesen 6 und 7 dagegen beruhen wiederum zunächst auf der Unzulänglichkeit (aufgrund des Einflusses institutioneller oder anderer Interessen), die richtigen Schlussfolgerungen zu ziehen. Dagegen sind die Hypothesen 8 und 9 vorwiegend ontologisch zu erklären. Selbst bei guten Prognosen haben z.B. mit steigendem Zeithorizont Zufall, Chaos und Willkür eine im

⁸⁵ „The Big Mistake“, wie Koomey (2002, 511) ihn nennt.

Zeitverlauf typischerweise zunehmende Chance die (richtig prognostizierten) Trends zu verändern.

Tabelle 4-1: Zuordnung der Einflussfaktoren auf die Qualität von Projektionen zu erkenntnistheoretischen und ontologischen Grenzen der Prognostizierbarkeit

	Einflussfaktor	Zugrundeliegende Grenze		
		Epistemologisch	Ontologisch	
Erstellungszeitspezifisch	1) Unregelmäßigkeiten und neuere Veränderungen in der realen Entwicklung a) Übersehen von Trendänderungen b) Schwankung der Basisdaten c) Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen	Unzulänglichkeit der Schlussfolgerung	(Flüchtigkeit / Unschärfe)	
	2) Stabilität des Trends			
Prognose-spezifisch	3) Startjahr der Prognose	<i>(nur statistisch)</i>		
	4) Wechsel der Methodik 5) Nutzung von Expertenschätzungen 6) Rolle der durchführenden Organisation 7) Interessen/Zweck der Prognose 8) Länge der Basisperiode	Kurzsichtigkeit Unsicherheit (Unzulänglichkeit)	—	
	9) Zeithorizont (Länge der Prognoseperiode) 10) Stabile Fehlerrichtung	Kurzsichtigkeit —	Zufall/Chaos	
	11) Kombination von Prognosen 12) Aggregierte Prognosen	<i>(nur statistisch)</i>		
	Gegenstandsspezifisch	13) Verhaltensbedingte Variablen 14) Absolute Größe der zu prognostizierenden Variable	—	Willkür (freie Wahl)
		15) Veränderungsrate der zu prognostizierenden Variable 16) Frequenz der zugrunde liegenden Basisdaten		Unschärfe
17) Einfluss der Innovation		Innovation		

Quelle: eigene Darstellung

Die *gegenstandsspezifischen Einflussfaktoren* dagegen sind überwiegend auf ontologische Kategorien zurückzuführen. Es ist klar, dass z.B. stärker verhaltensbedingte Variablen aufgrund der größeren Rolle der Willkür schwerer zu prognostizieren sind. Hinzu kommen ggf. auch noch epistemologische Probleme, der mangelnden Kenntnis der zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten und z.T. auch der Datengewinnung.

5 Der Untersuchungsgegenstand: Die Annual Energy Outlooks der US-Energy Information Administration

Wie bereits erläutert, werden in dieser Arbeit die jährlichen Energieprojektionen (Annual Energy Outlook) der EIA als Untersuchungsgegenstand analysiert. Als Hintergrund für diese Analyse in den folgenden Kapiteln 6 und 7 soll hier zunächst

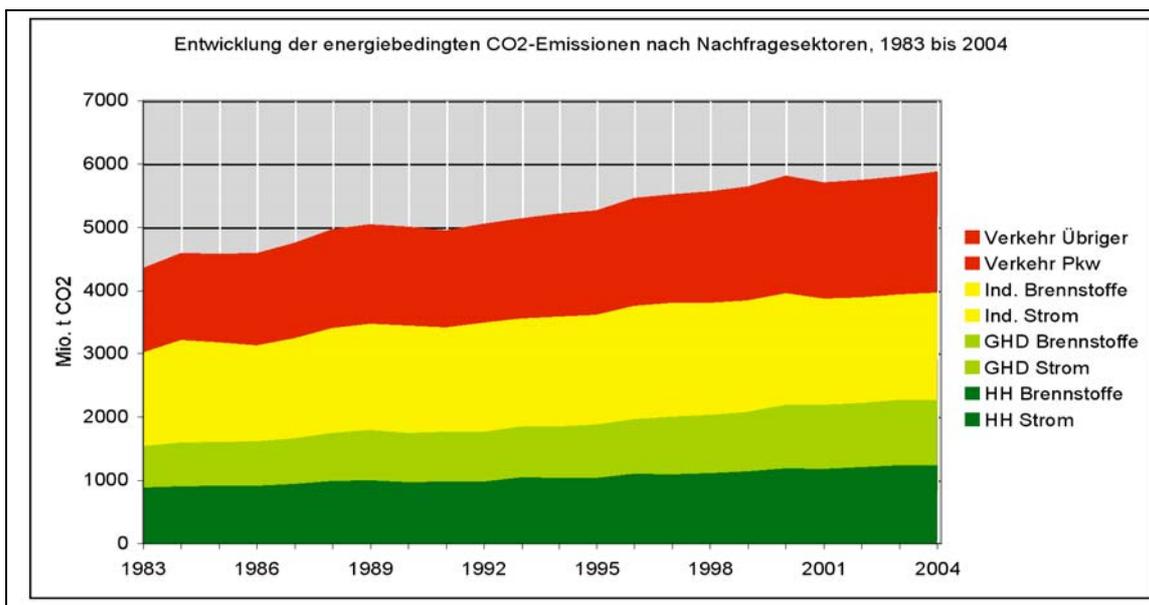
- in Abschnitt 5.1 kurz die Entwicklung des Energiesystems sowie der energiebedingten CO₂-Emissionen der USA von 1983 bis 2004 in Bezug auf die später in der Analyse herangezogenen Variablen dargestellt werden. Diese historische Entwicklung bildet zum einen die Realität ab, an der die Projektionen in Bezug auf ihre Genauigkeit überprüft werden und zum anderen zeigt sie die jeweils zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung herrschende Situation, die einen Einfluss auf die Prognose haben kann.
- Danach wird in Abschnitt 5.2 das System der Energiestatistik mit Schwerpunkt auf der hier vor allem interessierenden Energienachfrageseite kurz charakterisiert. Denn Projektionen, wie auch ihre Ex-post Analyse sind von der entsprechenden – gerade im Bereich der Endenergienachfrage und der Energiedienstleistung oft nur lückenhaften – Datenbasis abhängig, die auch einen Einfluss auf die Prognosequalität haben kann.
- Schließlich wird in Abschnitt 5.3 eine Übersicht über die von der EIA zur Erstellung der Projektionen verwendeten Energieprognosemodelle IFFS und NEMS gegeben, um die Struktur und den Aufbau der Projektionen nachvollziehen zu können.

5.1 Realentwicklung: Energiedienstleistungen, Endenergieeinsatz und CO₂-Emissionen der Energieverbrauchssektoren der USA, 1983 bis 2004

Zwischen 1983 und 2004 sind die energiebedingten CO₂-Emissionen der USA um insgesamt 35% von etwas mehr als 4,3 Mrd. t auf fast 5,9 Mrd. t angestiegen (zwischen 1984 und 2004 lag der Anstieg bei 29%, siehe Abbildung). Das entspricht im Jahr 2003 etwa 23,2% der weltweiten energiebedingten CO₂-Emissionen, deren Anteil gegenüber 23,4% im Jahr 1990 nahezu konstant geblieben ist (vgl. IEO 2006).

Die jährliche Zuwachsrate über die beiden Jahrzehnte zwischen 1984 und 2004 betrug damit ca. 1,6% pro Jahr. Die wesentlichen Wachstumsbeiträge zu dieser Entwicklung lieferten der Stromeinsatz des GHD-Sektors, auf den allein gut ein Drittel des Emissionszuwachses zurückzuführen war, der Kraftstoffeinsatz der Pkw sowie der Stromeinsatz der Haushalte.

Abbildung 5-1: Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen nach Sektoren, 1983 bis 2004

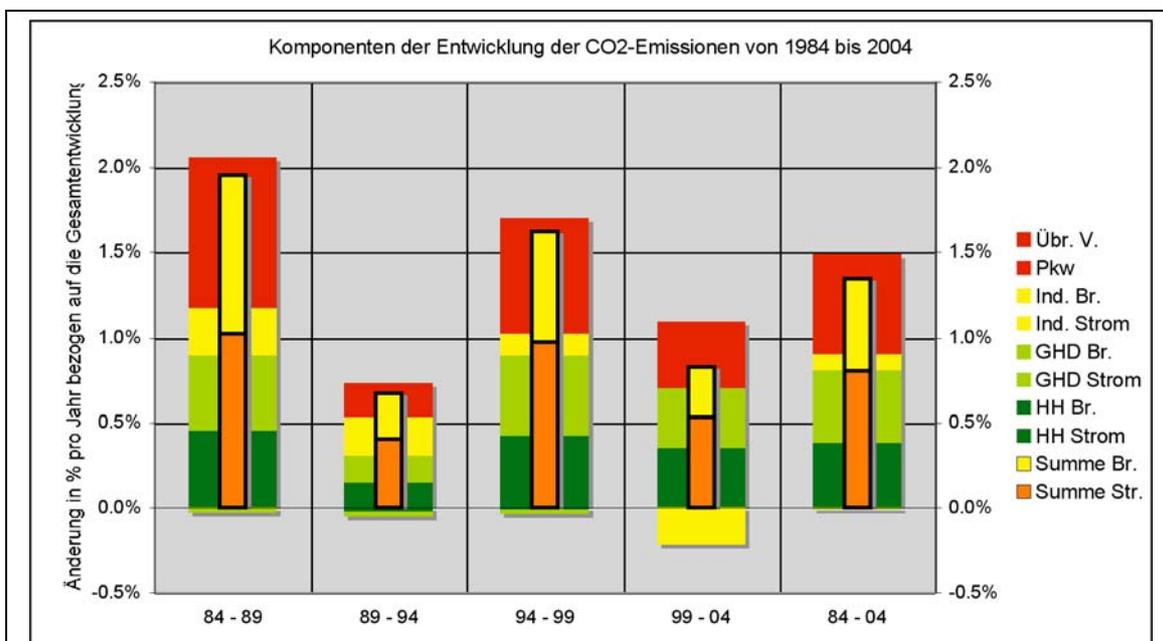


Ind. = Industrie; GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (commercial sector); HH = Haushalte

Quelle: eigene Darstellung nach EIA (div. Jg.) und eigenen Berechnungen

Einen kleineren Anteil an der Emissionszunahme hatten der Energieeinsatz des übrigen Verkehrs (Güterverkehr, Luftverkehr) sowie der Stromeinsatz der Industrie. Die brennstoffbezogenen Emissionen aller Nachfragesektoren blieben dagegen – im Mittel des Gesamtzeitraums – nahezu konstant (vgl. Abbildung 5-1).

Abbildung 5-2: Komponenten der Wachstumsraten der CO₂-Emissionen nach Sektoren, 1984 bis 2004



Übr. V. = Übriger Verkehr (ohne Kraftstoffeinsatz der Pkw); Ind. = Industrie; GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (commercial sector); Br = Brennstoffe, Str. = Strom

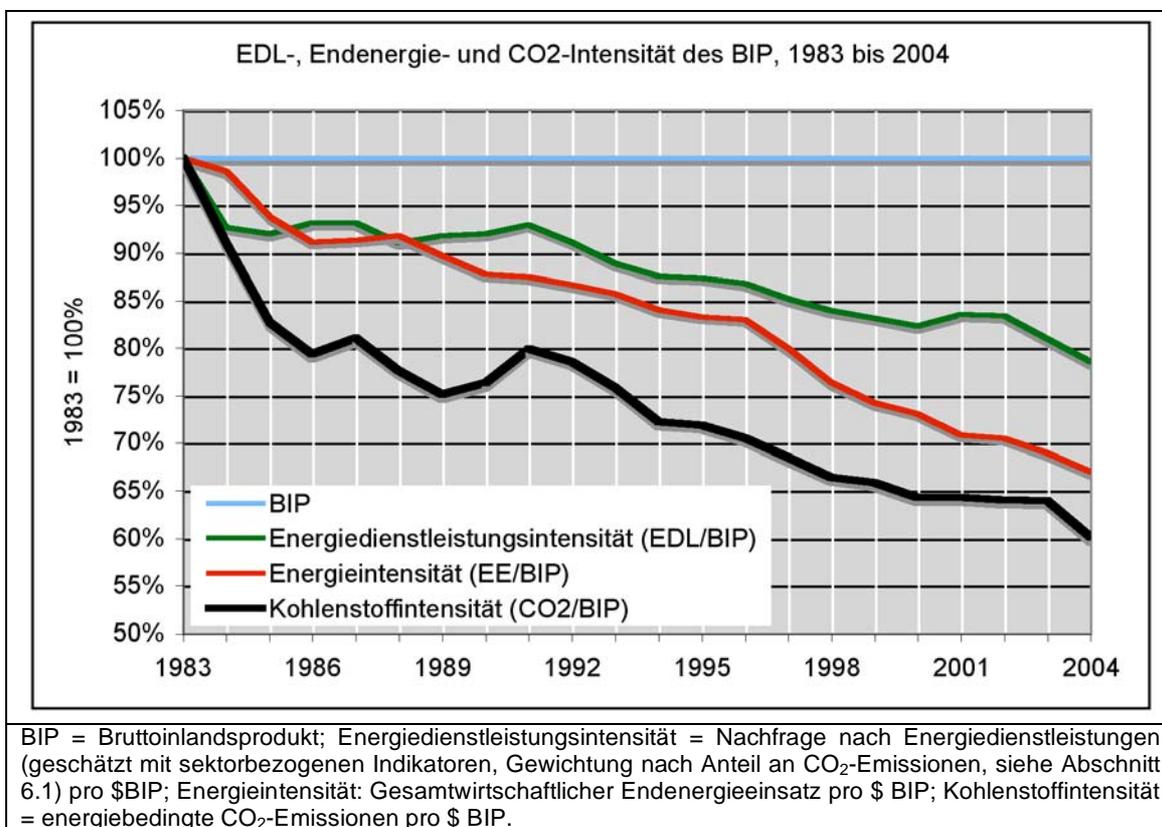
Quelle: eigene Darstellung nach EIA (div. Jg.) und eigenen Berechnungen

Werden, wie in Abbildung 5-2, einzelne Fünfjahreszeiträume betrachtet, so lassen sich deutlich die Perioden mit hohen Zuwachsraten sowie die Perioden mit rezessionsbedingt niedrigeren Zuwachsraten der Emissionen unterscheiden.

Die Beiträge der Sektoren zum Emissionszuwachs sind relativ stabil, mit Ausnahme der Industrie und des übrigen Verkehrs, deren Zuwachsraten in der letzten Periode negativ bzw. deutlich verringert ausfielen.

Die folgende Abbildung zeigt, dass trotz der starken Zunahme der CO₂-Emissionen die gesamtwirtschaftliche Kohlenstoffintensität, d.h. der Quotient aus den energiebedingten CO₂-Emissionen und realem Bruttoinlandsprodukt im selben Zeitraum um fast 40% abgenommen hat.

Abbildung 5-3: EDL-, Endenergie- und CO₂-Intensität des BIP, 1983 bis 2004



Quelle: eigene Darstellung nach EIA (div. Jg.) und eigenen Berechnungen

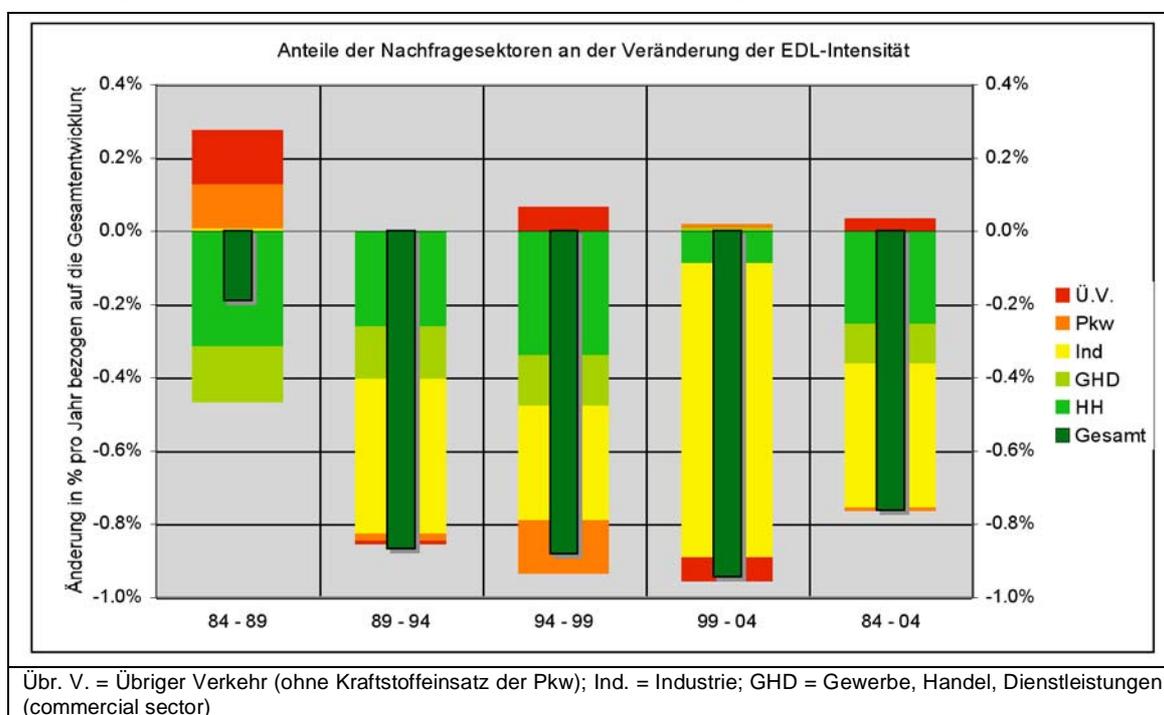
Der Rückgang der Kohlenstoffintensität ist dabei – anders als z.B. in der EU und in Japan (vgl. IEA 2004, 50) – zu mehr als 50% auf eine Verringerung der Energiedienstleistungsintensität zurück zu führen – d.h. darauf, dass die Nachfrage nach Energiedienstleistungen (so weit sie quantitativ abgeschätzt werden kann) langsamer angestiegen ist, als das BIP – und zu knapp einem Drittel auf eine Verringerung der Energieintensität. Der Rest entfiel auf eine Verringerung der Kohlenstoffintensität der eingesetzten Energie.

Dabei lassen sich verschiedene Zeiträume unterscheiden. Bis 1989 war die Verringerung des Emissionsfaktors die entscheidende Größe zur Dekarbonisierung des BIP, unterstützt durch einen Rückgang der EDL-Intensität.

Die Energieintensität bezogen auf die EDL blieb bis 1988 nahezu konstant – bei sich kompensierenden Effekten zwischen Strom und Brennstoffintensität. Von 1988 bis 1991 ging sie leicht zurück, da der rückläufige Brennstoffeinsatz die Zunahme der Stromintensität überwog. Danach blieb die Endenergieintensität bis 1996 wieder nahezu bei 0, um danach deutlich abzunehmen.

Die Kohlenstoffintensität bezogen auf den Energieeinsatz entwickelte sich ab 1991 negativ, wofür vor allem der steigende Stromanteil am Energieeinsatz verantwortlich war.

Abbildung 5-4: Anteile der Nachfragesektoren an der Entwicklung der EDL-Intensität, 1984 bis 2004



Quelle: eigene Darstellung nach EIA (div. Jg.) und eigenen Berechnungen

Die voranstehende Abbildung gibt einen Überblick darüber, wie der Rückgang der EDL-Intensität⁸⁶ – als wichtigste Komponente der Dekarbonisierung des BIP in den USA – in der betrachteten Periode auf die verschiedenen Nachfragesektoren zurückzuführen ist. Die Abbildung zeigt, dass der Rückgang der EDL-Intensität, der im Durchschnitt bei knapp 0,8% pro Jahr lag, vor allem in den Sektoren Industrie und

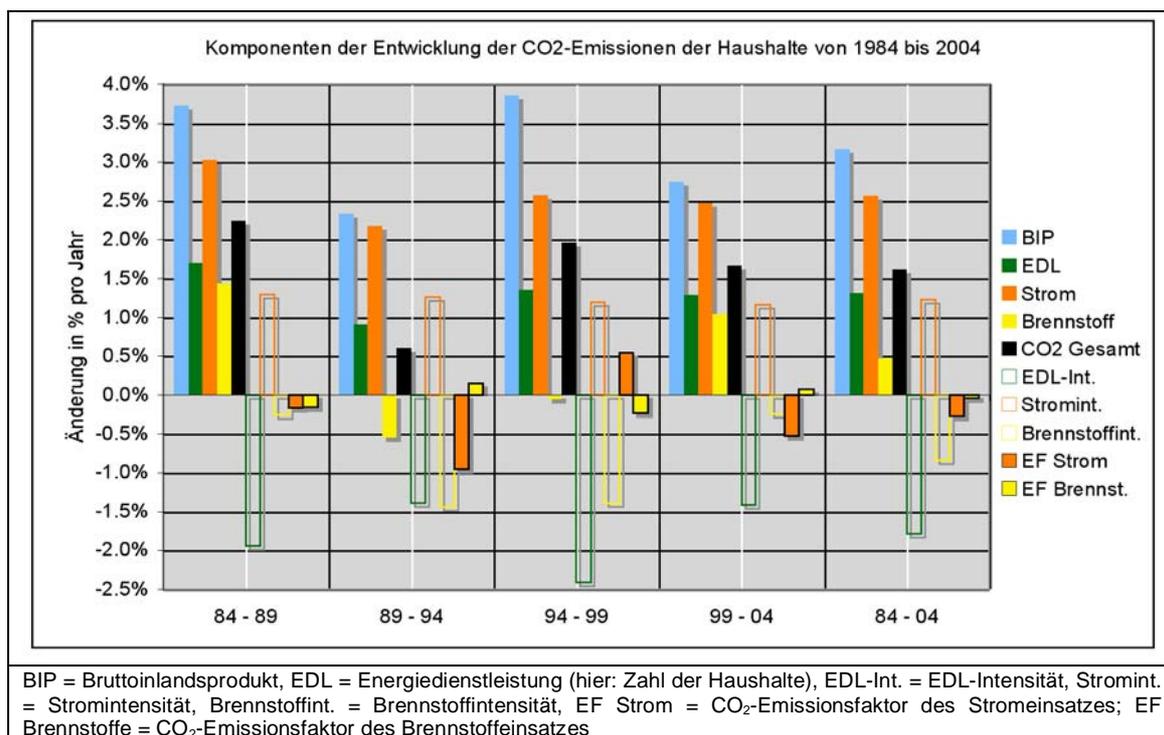
⁸⁶ Zur Gewichtung der EDL, die jeweils für jeden Sektor individuelle Größen sind, wurde der jeweilige Anteil an den CO₂-Emissionen verwendet. Die in den Sektoren als vereinfachte Indikatoren der EDL genutzten Zeitreihen sind in den entsprechenden Abschnitten des Kapitels 6.3 näher erläutert.

Haushalte sowie etwas schwächer im GHD-Sektor stattgefunden hat. Der Anteil des Verkehrsbereichs an der EDL hat sich dagegen – CO₂-gewichtet – kaum verändert.

Detailanalyse nach Endnachfragesektoren

Diese Hintergründe der Entwicklung der CO₂-Emissionen lassen sich in den folgenden Grafiken für die einzelnen Nachfragesektoren im Detail nachvollziehen, wobei auf der Ebene des Energieeinsatzes bzw. der Energieintensität zusätzlich zwischen Strom und Brennstoffen unterschieden wird.

Abbildung 5-5: Komponenten der Entwicklung der CO₂-Emissionen der Haushalte, 1984 bis 2004



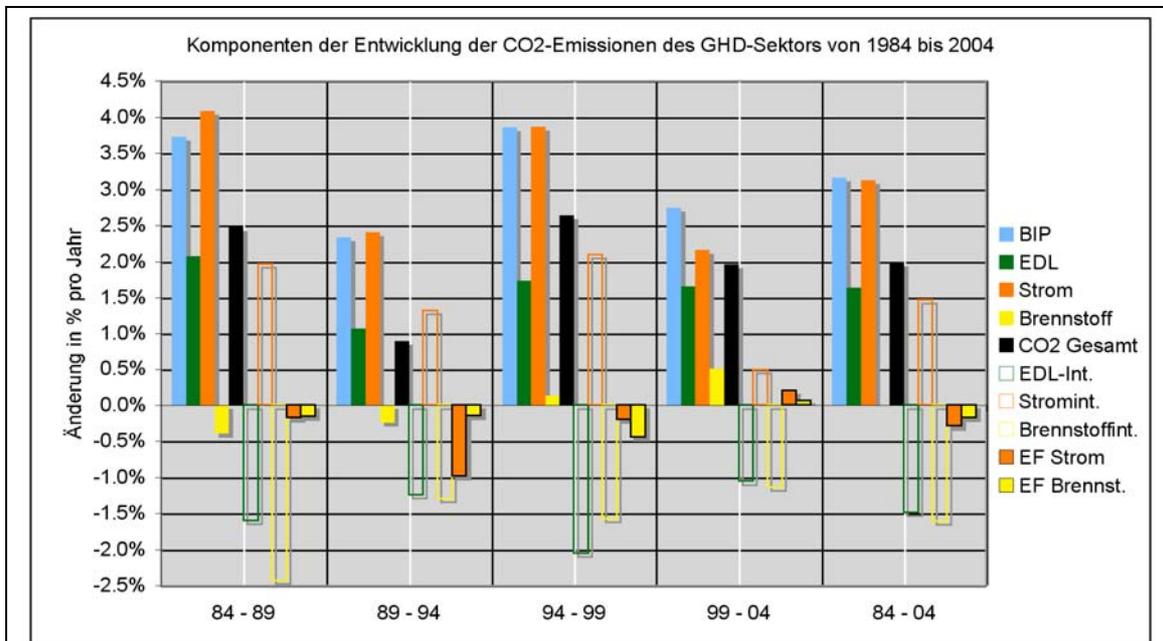
Quelle: eigene Darstellung nach EIA (div. Jg.) und eigenen Berechnungen

Im Haushaltssektor zeigt sich die deutliche Entkoppelung von EDL und BIP, die mit etwa -1,8% pro Jahr der wesentliche Einflussfaktor in diesem Sektor ist. Da die Zahl der Haushalte – die hier als vereinfachter EDL-Indikator verwendet wird (vgl. Abschnitt 6.1) – deutlich langsamer angestiegen ist, als das BIP, ergibt sich hieraus ein Rückgang der Nachfrage nach EDL bezogen auf einen \$ BIP⁸⁷. An zweiter Stelle steht die steigende Stromintensität der EDL, die dazu führte, dass der Stromeinsatz nahezu parallel zum BIP zunahm. Dies wurde nur leicht durch die sinkende Brennstoffintensität

⁸⁷ Dies ist letztlich der Kehrwert eines – ansteigenden – BIP pro Haushalt. Zwar ist die Zahl der Haushalte eine letztlich nur unbefriedigende Indikatorgröße für die EDL im Haushaltssektor. Jedoch war aufgrund von Datenrestriktionen hier eine präzisere und zugleich für die Realentwicklung und die Projektionen gleichartige Darstellung der EDL nicht möglich. Dennoch ermöglicht schon die hier realisierte grobe Darstellung der EDL-Ebene genauere Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Wirtschaftsentwicklung und Energieeinsatz bzw. Emissionen.

kompensiert, so dass sich im Haushaltssektor im Ergebnis ein stärkerer Anstieg der CO₂-Emissionen, als der EDL ergab.

Abbildung 5-6: Komponenten der Entwicklung der CO₂-Emissionen des GHD-Sektors, 1984 bis 2004



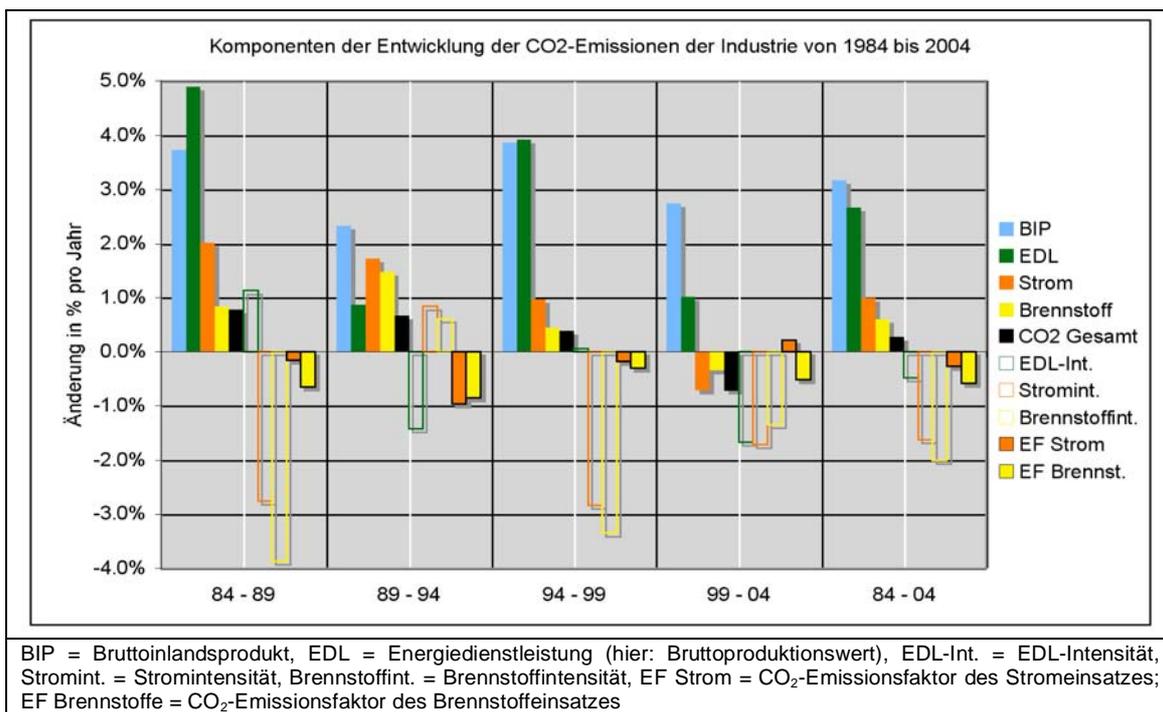
BIP = Bruttoinlandsprodukt, EDL = Energiedienstleistung (hier: Gebäudefläche im GHD-Sektor), EDL-Int. = EDL-Intensität, Stromint. = Stromintensität, Brennstoffint. = Brennstoffintensität, EF Strom = CO₂-Emissionsfaktor des Stromeinsatzes; EF Brennstoffe = CO₂-Emissionsfaktor des Brennstoffeinsatzes

Quelle: eigene Darstellung nach EIA (div. Jg.) und eigenen Berechnungen

Ganz ähnlich ist die Entwicklung auch im GHD-Sektor verlaufen, wie die Abbildung 5-6 zeigt. Auch hier hat sich mit durchschnittlich 1,5% pro Jahr eine starke Entkoppelung von BIP und EDL ergeben, die aber für den Strombereich durch steigende Stromintensität voll kompensiert wurde. Die Rückgänge der Brennstoffintensität waren allerdings höher als im Haushaltssektor, so dass der Brennstoffeinsatz des Sektors nahezu konstant blieb. Die stark gestiegenen Stromeinsätze führten auch hier zu einem rascheren Anstieg der CO₂-Emissionen als der EDL.

In der Industrie kam es dagegen nur zu einer geringfügigen Entkoppelung von BIP und EDL (Value added), wobei sich diese vor allem in den beiden durch Rezessionen und damit geringerem BIP gekennzeichneten Phasen ergab. D.h. in diesen Phasen wuchs die industrielle Wertschöpfung langsamer als das gesamtwirtschaftliche BIP. Strom- und Brennstoffintensität verringerten sich dagegen deutlich, um 1,6 bzw. 2,0% pro Jahr, wobei dieser Trend lediglich in der Periode 1989 bis 1994, in der die EDL mit unter einem Prozent pro Jahr nur sehr langsam zunahm, unterbrochen wurde. Im Ergebnis wuchsen Strom- und Brennstoffeinsatz der Industrie nur um 1,0 bzw. 0,6% pro Jahr, wobei sie in der letzten Periode sogar absolut rückläufig waren. Aufgrund zusätzlich rückläufiger Emissionsfaktoren vor allem bei den Brennstoffen nahmen die CO₂-Emissionen der Industrie noch langsamer – um 0,3% pro Jahr – zu, wobei auch sie von 1999 bis 2004 um 0,7% pro Jahr zurückgingen.

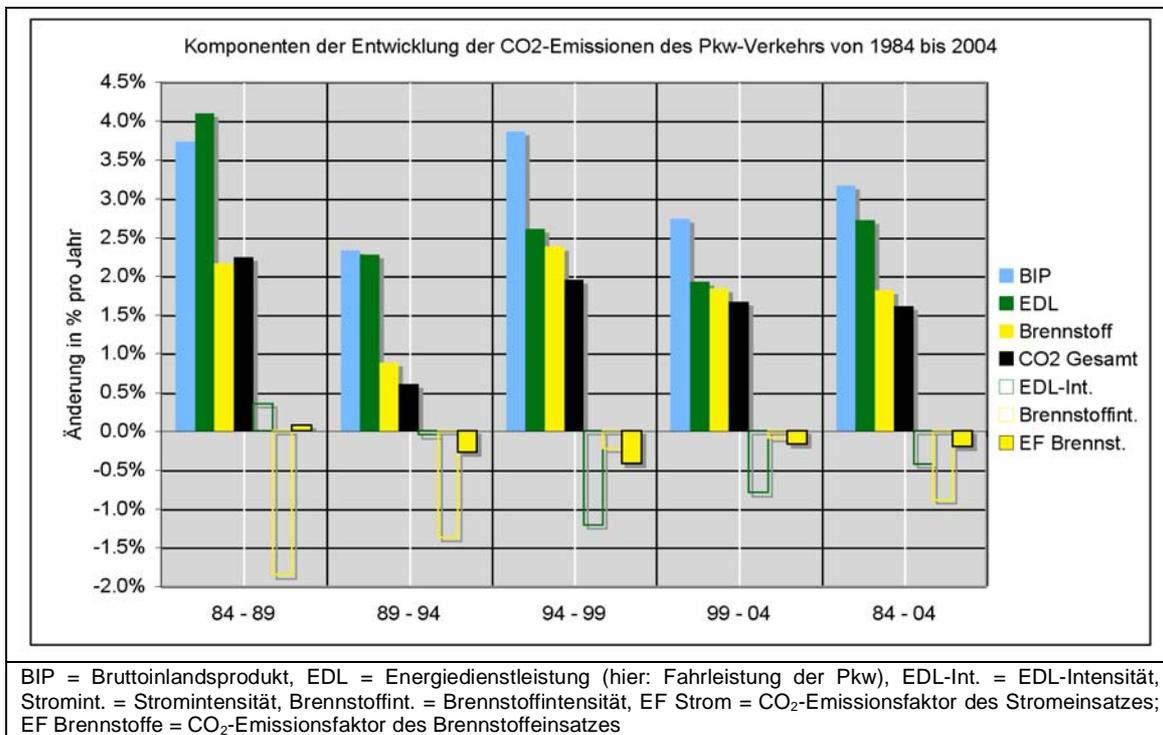
Abbildung 5-7: Komponenten der Entwicklung der CO₂-Emissionen der Industrie, 1984 bis 2004



Quelle: eigene Darstellung nach EIA (div. Jg.) und eigenen Berechnungen

Im Bereich des Pkw-Verkehrs wuchs die EDL nahezu parallel zum BIP wie die folgende Abbildung 5-8 zeigt.

Abbildung 5-8: Komponenten der Entwicklung der CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs, 1984 bis 2004



Quelle: eigene Darstellung nach EIA (div. Jg.) und eigenen Berechnungen

Erst in den letzten beiden Perioden ergab sich eine leichte Entkoppelung. Die Fahrleistung wuchs zwischen 1994 und 2004 um etwa 1% pro Jahr langsamer als das BIP. Dagegen sank die Energieintensität in den ersten beiden Perioden deutlich um 1,9 bzw. 1,4% pro Jahr. In den letzten beiden Perioden dagegen blieb sie nahezu konstant, so dass sich Kraftstoffeinsatz und CO₂-Emissionen weitgehend parallel zur EDL entwickelten.

Zusammenfassung

Die Darstellung der Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen und ihrer Ursachen – Wirtschaftswachstum sowie Energiedienstleistungsnachfrage, Strom- und Brennstoffintensität – nach Nachfragesektoren zeigt, dass der relativ kontinuierliche Anstieg der Emissionen um durchschnittlich 1,6% pro Jahr über den hier betrachteten 20-Jahreszeitraum vor allem auf drei Hauptursachen zurückzuführen ist:

- Im Vordergrund steht dabei der Stromeinsatz des GHD-Sektors, der allein gut ein Drittel der zusätzlichen Emissionen ausmachte. Zwar entfielen 1984 nur knapp 10% der Gesamtemissionen auf diesen Bereich, jedoch betrug der Zuwachs bis 2004 75%, bei einem gleichzeitigen Anstieg des Stromeinsatzes um 85%. Hauptursache dieses Zuwachses war eine jährliche Steigerung der Stromintensität bezogen auf die EDL (Gebäudefläche im GHD-Sektor) um durchschnittlich 1,5%, die die Entkoppelung der EDL vom BIP vollständig kompensierte. Hintergrund dieses Trends dürften vor allem die in dieser Zeit stattgefundenene Ausstattung des GHD-Sektors mit I&K-Technik, sowie steigende Anteile klimatisierter Flächen und ggf. auch ein steigender Anteil elektrischer Beheizung gewesen sein (Krackeler u.a. 1998, Laitner 2003, 14f., IEA 2004).
- An zweiter Stelle steht der Kraftstoffeinsatz der Pkw, der zusammen mit den dadurch verursachten Emissionen um 1,6% pro Jahr bzw. insgesamt um 38% anstieg. Da der Kraftstoffeinsatz der Pkw 1984 für gut 19% der CO₂-Emissionen verantwortlich war, entspricht der absolute Zuwachs nahezu dem des Stromeinsatzes des GHD-Sektors. Die Ursachen für diesen starken Zuwachs unterscheiden sich für die Zeit vor 1994 und nach 1994 grundsätzlich. Während zunächst die EDL (Fahrleistung der Pkw) nahezu identisch mit dem BIP zunahm, wurden in der ersten Dekade signifikante Energieintensitätsreduktionen um mehr als 1,5% pro Jahr im Bereich der Pkw erreicht. Nach 1994 kam die Intensitätsverringering nahezu zum Erliegen, da die entsprechenden Verbrauchsstandards für Pkw (CAFE) vor dem Hintergrund des Einbruchs der Ölpreise nach 1985 nicht mehr verbessert worden waren (vgl. Geller u.a. 2006, 563). Dafür stellte sich eine leichte Entkoppelung der EDL vom BIP-Zuwachs – in der Größenordnung einer EDL-Intensitätsverringering um etwa 1% pro Jahr – ein. Insgesamt aber reichen diese Effekte nur aus, um das Emissionswachstum auf etwa die Hälfte des BIP-Zuwachses zu begrenzen.
- Der dritte wichtige Bereich ist der Stromverbrauch im Haushaltssektor, auf den 1984 12% der energiebedingten Emissionen entfielen. Aus ganz ähnlichen Gründen wie im GHD-Sektor stieg auch hier die Stromintensität pro Haushalt

(als EDL-Maß) um insgesamt 66% bis 2004 an, was eine Zunahme der entsprechenden CO₂-Emissionen um 57% bewirkte.

Weniger ins Gewicht fallen dagegen die Zunahmen der Energieeinsätze des übrigen Verkehrs, die mit 33% zwischen 1984 und 2004 nur leicht oberhalb der durchschnittlichen Wachstumsrate lagen und die Zuwächse beim Stromeinsatz der Industrie in Höhe von 15%.

Die Brennstoffeinsätze in Haushalten und GHD sowie die zugehörigen Emissionen blieben im hier betrachteten Zeitraum nahezu konstant (+9% bzw. -3%), was zum Teil auch auf den mäßigenden Einfluss des Klimawandels zurückzuführen war (s.u., Kapitel 6)⁸⁸. Auch die brennstoffbedingten Emissionen der Industrie blieben über den gesamten Zeitraum fast unverändert, was vor allem auf den Rückgang der spezifischen Brennstoffeinsätze seit 1999 zurückzuführen war. Hintergrund dieser Entwicklung waren neben Effizienzsteigerungen auch Strukturwandelexeffekte zwischen einzelnen Branchen sowie innerhalb von Branchen hin zu weniger energieintensiven Produkten und hierbei vor allem die Auswirkungen der ‚Informationsökonomie‘ (vgl. IEA 2004, 52 sowie Laitner 2003, 14f⁸⁹).

⁸⁸ Allerdings hat sich der Klimawandel beim Stromeinsatz des GHD-Sektors und in geringerem Maße des Haushaltsbereichs auch energieverbrauchssteigernd ausgewirkt.

⁸⁹ Laitner zitiert eine Reihe weiterer Analysen, die ebenfalls die Ansicht vertreten, dass die Beschleunigung des Energieintensitätsrückgangs – neben geringfügigen Temperatureffekten – vor allem auf das Wachstum der Informationsökonomie zurückzuführen sei.

5.2 Basisdaten: Kurzüberblick über die Endenergienachfragestatistik der USA

Die hier analysierten Projektionen der Endenergienachfrage der Sektoren Haushalte, GHD, Industrie und Verkehr beruhen in Bezug auf die Analyse der Ist-Entwicklungen auf entsprechenden Statistiken der Energieeinsätze der Nachfragesektoren sowie entsprechenden Erhebungen der energierelevanten Aktivitäten in den Sektoren, die vorwiegend im Rahmen von Zensus-Erhebungen sowie durch Stichprobenbefragungen ermittelt werden.

Die Qualität der vorliegenden Daten über die historische Entwicklung der Ist-Situation ist entscheidend, sowohl für die Formulierung der Projektionsmodelle und insbesondere die jeweilige Schätzung und Anpassung der entsprechenden treibenden Parameter als auch für die entsprechende Ex-post Analyse der Projektionen (vgl. z.B. Koomey et al. 2003).

Wichtig sind dabei

- zunächst die Verfügbarkeit detaillierter statistischer Angaben über energierelevante Aktivitäten, wie z.B. Gebäudeflächen, Ausstattungsraten der Haushalte und Unternehmen mit energieverbrauchenden Geräten, Energieeinsatz nach Branchen und Verwendungsarten in der Industrie etc.;
- darüber hinaus ist es für die Erstellung und Evaluierung von Projektionen wichtig, dass die Detaildaten in möglichst guten und konsistenten Zeitreihen vorliegen.

Im Folgenden wird vor dem Hintergrund dieser beiden Hauptanforderungen ein kurzer Überblick über die US-Endenergienachfragestatistik gegeben.

Die hier relevanten Energieeinsatzdaten stammen dabei vor allem aus zwei Hauptquellen:

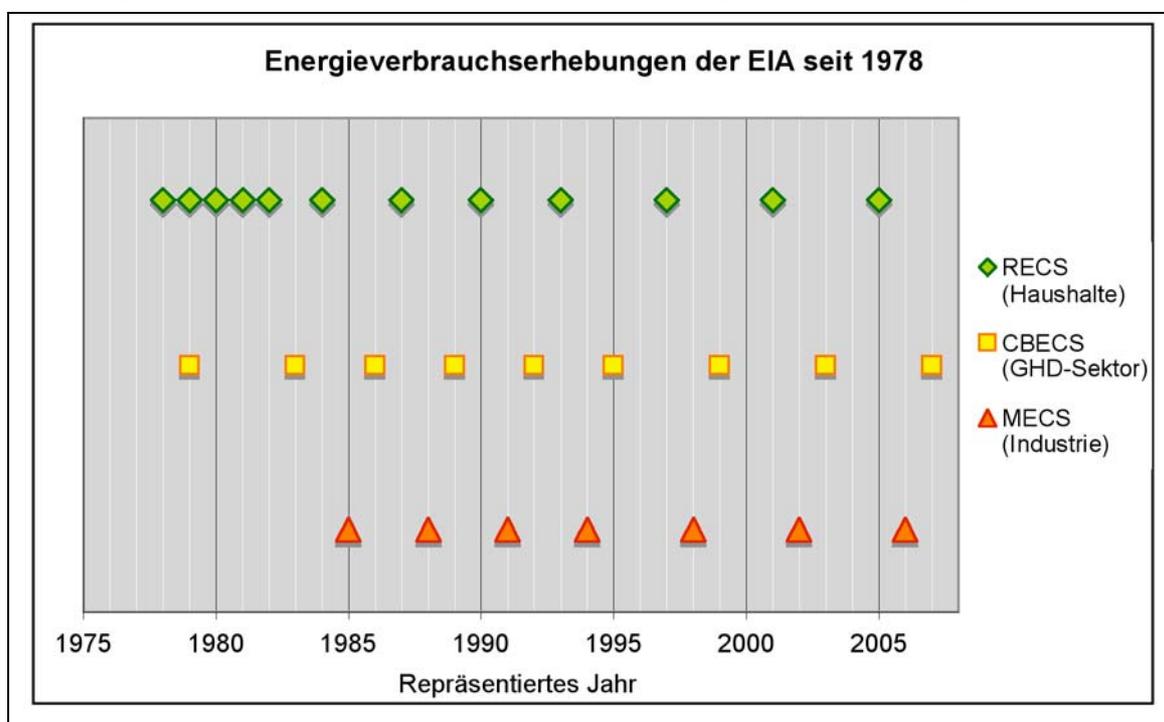
- Zunächst sind dies die Top-Down Daten Energiestatistiken, die sich aus den monatlichen Meldungen der Energieversorger sowie den Absatzstatistiken der Brenn- und Kraftstofflieferanten zusammensetzen. Diese Daten geben vor allem auf aggregiertem Niveau Auskunft über die tatsächlichen Energieeinsätze der einzelnen Energieträger und z.T. Sektoren. Schwachpunkte dieser Daten liegen vor allem in der Erklärung der Absätze, d.h. sie liefern typischerweise keine Informationen dazu, wo und für welche Zwecke die Energie eingesetzt wird.
- Diese Thematik wird seit Ende der 70er Jahre durch bottom-up Erhebungen der Energieverbräuche der Nachfragesektoren abgedeckt. Da die aus diesen Erhebungen abgeleiteten Informationen für die Projektion der Energieeinsätze wie

für die Evaluation der Projektionen bedeutsam ist, soll sie hier kurz dargestellt werden.

Die USA verfügen über eine sehr detaillierte Energieeinsatzstatistik für die Sektoren Haushalte, GHD und Industrie, die im internationalen Vergleich als vorbildlich eingestuft wird (Schlomann u.a. 2000, 61)⁹⁰.

Anders als z.B. in Japan wird bisher auf eine modellgestützte Interpolation der Zwischendaten verzichtet, so dass keine Zeitreihen zu Verfügung stehen (Schlomann, 2000, 73). Dies wurde inzwischen ansatzweise geändert. Anfang 2007 veröffentlichte die EERE erstmals jährliche Endenergienachfrageindikatoren, die unter anderem auf den Ergebnissen der Energieverbrauchserhebungen basieren und deren Inhalte zum Teil modellgestützt in Zeitreihen umsetzen⁹¹.

Abbildung 5-9: Übersicht über die Jahre der periodischen Energieverbrauchserhebungen der EIA



Quelle: eigene Darstellung, EERE 2007

Die Abbildung 5-9 zeigt, für welche Jahre von der EIA Energieverbrauchserhebungen in den Sektoren Haushalte, GHD und Industrie durchgeführt wurden. Die Erhebungen begannen für die Haushalte und den GHD-Sektor Ende der 1970er Jahre und wurden überwiegend alle drei Jahre durchgeführt. Seit 1986 werden auch in der Industrie

⁹⁰ Nähere Informationen dazu finden sich auf der Website der IEA. Eine vergleichende Darstellung der Energiestatistik für die Sektoren Haushalte und GHD in deutscher Sprache findet sich in Schlomann u.a. (2000, 60ff.).

⁹¹ Einen Einblick in die Probleme, die dabei entstehen, eine konsistente Zeitreihe zu erstellen, gibt die Darstellung der EDL im GHD-Sektor in Abschnitt 6.3.3.1.

entsprechende Daten erhoben. Aus Kostengründen werden die Erhebungen seit Mitte der 90er Jahre nur noch alle 4 Jahre durchgeführt (Schlomann 2000, 61).

Endenergiestatistik für den Haushaltssektor

Im Haushaltssektor wurden seit 1978 neun Verbrauchserhebungen als Repräsentativerhebungen mit ca. 5000 teilnehmenden Haushalten durchgeführt, wobei in den letzten Jahren persönliche Befragungen durch Telefoninterviews ersetzt wurden. Dabei werden nicht nur zahlreiche energieverbrauchsrelevante Daten in den Haushalten erhoben, sondern diese auch mit Daten der Energieversorger sowie ggf. der Vermieter ergänzt bzw. abgeglichen, wodurch ein vollständigeres und zuverlässigeres Bild des Energieeinsatzes entsteht (vgl. Schlomann 2000, 61).

Im Rahmen des Residential Energy Consumption Survey (RECS) werden in den befragten Haushalten die hauptsächliche Beheizungsart, der Energieeinsatz sowie die Ausstattung mit diversen Energie einsetzenden Geräten erfragt. Weitere Daten, Beheizungsart der Wohnungen bzw. Wohngebäude, werden zudem im Rahmen der alle zwei Jahre durchgeführten Wohngebäudeerhebungen⁹² ermittelt. Außerdem werden im RECS auch zahlreiche Informationen zu den Energiekosten der Haushalte erfragt.

Endenergiestatistik für den GHD-Sektor

Die Erhebungen im GHD-Sektor beziehen sich auf kommerziell genutzte Gebäude (CBECS – Commercial Buildings Energy Consumption Survey, bis 1986: Non-Residential Buildings Energy Consumption Survey). Dabei werden vor allem Energieeinsätze nach Energieträgern, Gebäudeflächen, überwiegender Nutzungsart des Gebäudes, Energieeinsatz nach Anwendungszwecken⁹³ und Energiekosten erhoben.

Im GHD-Sektor zeigt sich exemplarisch, welche Probleme bei der Generierung von Zeitreihen entstehen können. Durch eine Veränderung der Abgrenzungen entstanden zwischen einzelnen CBECS-Publikationen Brüche in der Zeitreihe – die auch Einflüsse auf die Genauigkeit der entsprechenden Energieprojektionen hatten (s.u. Kapitel 6.3.3).

Ein weiterer Schwachpunkt des CBECS besteht darin, dass die Ergebnisse nach vorwiegender Nutzung⁹⁴, nicht aber nach Branchen bzw. Wirtschaftszweigen aufgeteilt sind.

Endenergiestatistik für die Industrie

Für die Industrie werden seit 1986 Manufacturing Energy Consumption Surveys (MECS) durchgeführt. Im Rahmen dieser Erhebungen werden ca. 15.000 bis 18.000

⁹² Bureau of the Census, American Housing Survey for the United States, biennial surveys

⁹³ Raumwärme, Klimatisierung, Lüftung, Warmwasser, Beleuchtung, Kochen, Kühlung, Bürogeräte und andere.

⁹⁴ Insgesamt werden hier 14 Nutzungsarten unterschieden.

repräsentativ ausgewählte Industriebetriebe aus allen Branchen in Bezug auf ihren Energieeinsatz nach Energieträgern sowie wichtigen Verwendungszwecken und ihren Energiekosten befragt. Als Basisdaten werden Umsatz, Wertschöpfung und Beschäftigtenzahl erhoben. Dabei wurde der MECS in den Jahren 1998 und 2002 von der SIC-Klassifizierung auf die NAICS-Klassifizierung umgestellt. Die Gewichtung der einzelnen Branchen erfolgt dabei u.a. nach ihrer Energieintensität.

Als Energienutzungsarten werden indirekte Nutzung in Kesseln oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, direkte Nutzung in Prozessen (Prozesswärme/-kälte, Kraft, elektrochemische Prozesse, andere Prozesseinsätze) sowie sonstige nicht prozessspezifische Nutzungen (Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung, Transport auf dem Firmengelände, Stromerzeugung und andere) unterschieden (AER 2002).

Endenergiestatistik für den Verkehr

Die Datenbasis für den Verkehrssektor weicht von denen der übrigen Nachfragesektoren ab. Wichtige Basisdaten werden von der Federal Highway Administration geliefert, die umfangreiche Verkehrsstatistiken, basierend auf Zählungen, Befragungen sowie zahlreichen weiteren regionalen Datenlieferungen erstellt. Ein wichtiger Hintergrund ist die Aufteilung eines Teils des Mineralölsteueraufkommens nach dem Verkehrsvolumen in den Bundesstaaten. Für diesen Zweck werden zahlreiche Statistiken erhoben. In den AERs werden daraus die energierelevanten Daten übernommen. Dies sind vor allem die durchschnittliche Fahrleistung und der durchschnittliche Verbrauch von Pkw, Kleintransportern incl. der sogenannten Sports Utility Vehicles (SUVs) sowie Lkw.

5.3 Projektionsmodell der Annual Energy Outlooks: Die Modelle IFFS und NEMS

Die Annual Energy Outlooks werden von der EIA seit 1982 jährlich erstellt. Dazu wurde bis 1992 das IFFS (Intermediate Future Forecasting System) und ab 1993 das NEMS (National Energy Modelling System) verwendet. Beide Modelle sind komplexe technisch/ökonomische ‚bottom-up‘ Energiesystemmodelle⁹⁵ und können auch als partielle Gleichgewichtsmodelle des Energiesektors der amerikanischen Volkswirtschaft verstanden werden, wobei dessen Nachfrage und Produktionsfunktionen in den Modellen sehr detailliert abgebildet werden (O’Niell, Desai 2005, 981).

Die entsprechenden Energieprojektionen der EIA bauten dabei bereits auf Vorarbeiten seit Anfang der siebziger Jahre auf. In der Folge der ersten Ölpreiskrise startete Präsident Nixon 1973 das „Project Independence“, dessen erklärtes Ziel es war, die Abhängigkeit von Ölimporten bis zum Jahr 1980 auf Null zu verringern (vgl. Craig et al. 88f). In diesem Rahmen wurden auch die ersten Energieprognosen der damaligen US-Energiebehörde erstellt und ein erstes Prognosemodell entwickelt. Gegen Ende der siebziger Jahre wurde dieses Modell bereits durch differenzierte am Oak Ridge National Laboratory entwickelte Energienachfragemodelle für die verschiedenen Sektoren ergänzt (Zalkind 1983, 219).

Auf dieser Basis wurde Anfang der 1980er Jahre ein integriertes, aber gegenüber den vorherigen Modellen auf der Nachfrageseite vereinfachtes und an die verfügbaren statistischen Daten besser angepasstes Energieprojektionsmodell, das Intermediate Future Forecasting System (IFFS) entwickelt (Zalkind 1983, 220). Anfang der 90er Jahre wurde das IFFS als Ergebnis der Arbeit einer Expertenkommission zum National Energy Modelling System (NEMS) weiter entwickelt, wobei vor allem die weitere Integration der einzelnen Modellteile sowie die Umstellung auf ein PC-basiertes System im Vordergrund standen (National Research Council 1992).

Da die Projektionsmodelle der EIA die Basis der im Folgenden analysierten Projektionen bilden, sollen sie – mit Schwerpunkt auf ihrer Abbildung der Nachfragesektoren – hier kurz dargestellt werden.

5.3.1 1982 bis 1992: Das Intermediate Future Forecasting System (IFFS)

Das Intermediate Future Forecasting System (IFFS) war ein in der Computersprache Fortran programmiertes Modellpaket, das als kostengünstige Vereinfachung und Weiterentwicklung mehrerer älterer Modelle entstand (Zalkind 1983, 219f, Murphy 1983, 68f). Dabei stand die Abbildung und iterativen Integration der verschiedenen

⁹⁵ Zur Charakterisierung von bottom-up um Vergleich zu top-down Modellen des Energiesystems siehe z.B. Wilson, Swisher (1993, 254ff.).

Energiemärkte für Erdgas, Kohle, Öl und Strom sowie der Energienachfrage im Vordergrund (vgl. die Modellübersichten in Shaw, Murphy 1983, 5 und AEO 1983, 254).

Die Verbindung des IFFS mit den einzelnen Energienachfragemodulen erfolgte über drei Schnittstellen bzw. Datengruppen. Zunächst gehen – teilweise dem IFFS entnommene teilweise externe Rahmendaten als Treibergrößen in die Energienachfragemodule ein. Sie werden ergänzt durch die vom IFFS generierten Energieträgerpreise. Im Ergebnis liefern die vier Nachfragemodule entsprechende Nachfragemengen nach Energieträgern an das IFFS zurück.

5.3.2 Ab 1993: Das National Energy Modelling System (NEMS)

Das NEMS wurde erstmals für die Erstellung der Projektionen des AEO'93 verwendet und löste damit das bis dahin verwendete IFFS ab. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die seit 1994 unveränderte Grobstruktur des Modells. Die Grobstruktur entspricht dabei der des IFFS, wobei das ‚Marktmodul für Mineralölprodukte‘, das ‚Modul der internationalen Energiemärkte‘, das ‚Erneuerbare Energien Modul‘ und die Aufteilung des Öl- und Gassektors in ein Versorgungs- und ein Verteilungsmodul ergänzt wurden. Außerdem wurde die regionale Disaggregation von 4 auf 9 bzw. 10 Teilregionen gesteigert.

Ökonomische Basisprojektionen über die Entwicklung des BIP nach Sektoren sowie das verfügbare Einkommen, die Zahl der Einwohner und Haushalte werden im Makroökonomik-Modul – vielfach basierend auf externen Projektionen (siehe Abschnitt 6.3.1) – simuliert. Die Verbindung zu den Weltenergiemärkten und ihren Preistrends wird durch das internationale Energiemodul gewährleistet.

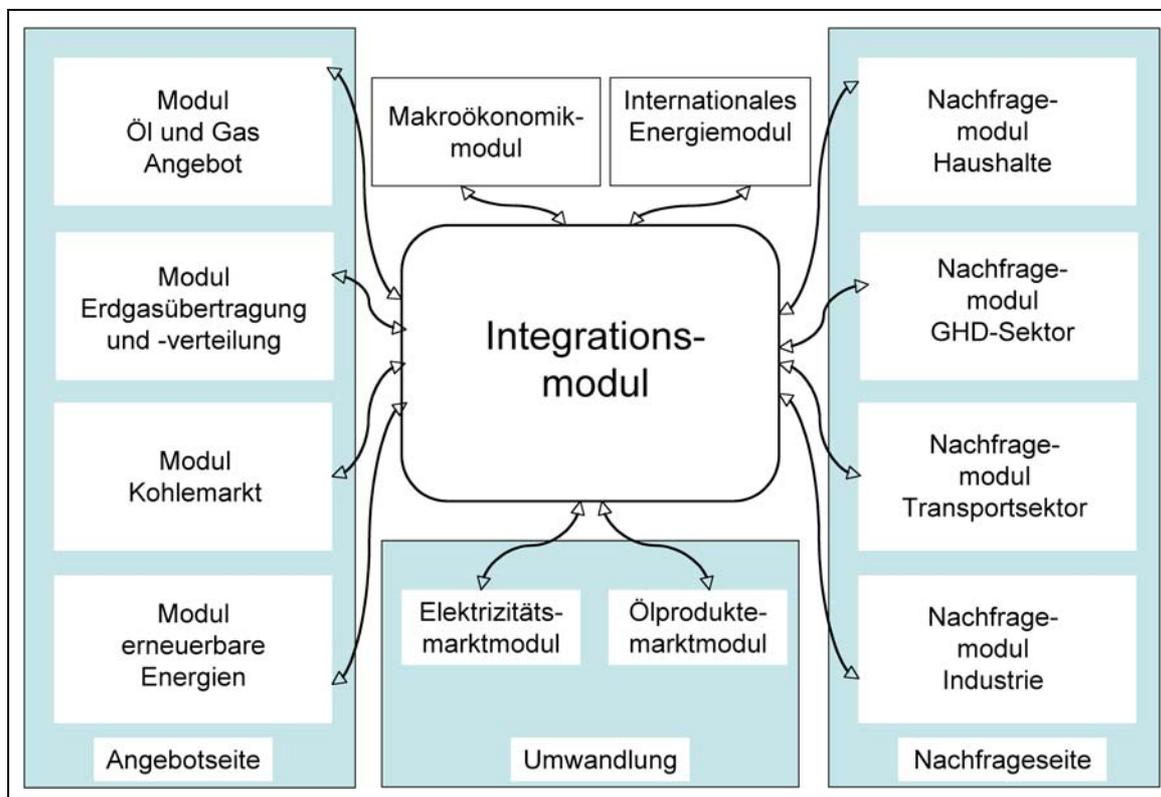
Die Endenergienachfrage wird in den vier Nachfragemodulen Haushalte, GHD, Industrie und Verkehr simuliert. Die Angebotsseite setzt sich ebenfalls aus vier Modulen zusammen, dem Öl- und Gasversorgungsmodul, dem Gasverteilungsmodul, dem Kohlemarktmodul und dem Modul für erneuerbare Energien. Die Energieumwandlung wird in zwei Modulen, dem Elektrizitätsmarktmodul und dem Ölproduktmarktmodell⁹⁶ abgebildet.

Die Interaktionen zwischen den einzelnen Modulen, die zum einen über zentrale ökonomische Indikatoren und zum anderen über Energieträgermengenströme und Energiepreise erfolgen, werden von einem Integrationsmodul gesteuert. Da die Nachfragemodelle die Energieträgernachfrage u.a. in Abhängigkeit der Energiepreise generieren und die Angebots- und Umwandlungssektoren ihrerseits u.a. aufgrund der Energieträgernachfrage die Preise generieren, entsteht so ein interdependentes System. Zusätzliche Feedback-Effekte ergeben sich durch die Rückwirkungen der Energiekostenentwicklung auf die Produktion in wichtigen Nachfragesektoren, die ihrerseits die makro-

⁹⁶ Die Übersetzung ist hier irreführend: Das Modell beinhaltet die Simulation der Raffinerien sowie des Mineralölproduktemarktes (IEA 1996, 36).

ökonomischen Indikatoren – geringfügig (Wade 2007,1) – beeinflussen. Dabei ergeben sich die Projektionen schließlich aus einer iterativen Optimierung des Gesamtsystems⁹⁷.

Abbildung 5-10: Übersicht über das National Energy Modelling System (NEMS)



Quelle: eigene Übersetzung nach EIA 1996, 8 / 2003, 10

5.3.3 Die Modellierung Energienachfrage im IFFS und im NEMS

Im Folgenden werden die vier Energienachfragemodule des IFFS bzw. NEMS näher dargestellt. Dabei wird auf die Beschreibungen der Nachfrageseite des IFFS im AEO 1983, von Shaw und Murphy (1983), Zalkind (1983), Murphy et al. (1988) sowie des NEMS in den Modelldokumentationen der EIA (1996, 1998 sowie 2003) zurückgegriffen. Durch die Verwendung von Quellen über eine Zeitspanne von 20 Jahren ergibt sich ein Überblick über die zeitlichen Veränderungen der Module für den hier relevanten Zeitraum.

Die Darstellung orientiert sich dabei an der Struktur des Modells und den darin abgebildeten Variablen. Allerdings werden die Daten häufig nicht in demselben Detaillierungsgrad publiziert, so dass für die ex-post Analyse eine deutlich vereinfachte Modellstruktur verwendet werden muss (siehe Abschnitt 6.1).

⁹⁷ Die Module enthalten zusätzlich eine regionale Aufteilung auf typischerweise neun Teilregionen der USA (O’Niell, Desai 2005, 981), die hier aber nicht näher betrachtet wird.

5.3.3.1 Energienachfrage im Haushaltssektor

Die nachfolgenden Kurzbeschreibungen der jeweiligen Nachfragemodule des IFFS und des NEMS zeigen, dass deren Grundcharakteristika seit 1983 gleich geblieben sind. Allerdings ist der Detaillierungsgrad des Modells schrittweise von ursprünglich z.B. 4 Energieanwendungen auf aktuell mehr als 20 ausgeweitet worden. Zudem wurde die Modellierung von Entscheidungsprozessen in den Haushalten weiter differenziert und die Modellierung neuer Energieversorgungstechniken wie z.B. Solarstromerzeugung und Brennstoffzellen in das Modell aufgenommen.

Haushaltsnachfragemodell des IFFS

Das Haushaltsmodell des IFFS bildet die vier Energienachfragekategorien Raumwärme, Warmwasser, Klimatisierung und Andere einzeln ab. Dabei wird nach den Energieträgern Strom, Erdgas, Heizöl und Flüssiggas sowie vereinfacht zusätzlich Kohle, Holz und Solarwärme unterschieden.

Im Detail wird vor allem der Gebäudebestand modelliert, wobei Ein- und Mehrfamilienhäuser, sowie vier Altersgruppen differenziert werden. Die Energieträgerwahl für Beheizung und Warmwasser wird für die prognostizierten Neubauten mit einer preisgesteuerten Wahrscheinlichkeitsfunktion geschätzt.

Haushaltsnachfragemodul des NEMS (RDM, Residential Demand Module)

Das Haushaltsnachfragemodul deckt die Nachfrageprojektionen des Haushaltssektors ab, differenziert nach sieben Endenergieträgern sowie Solarenergie und Geothermie ab (EIA 2003, 21ff).

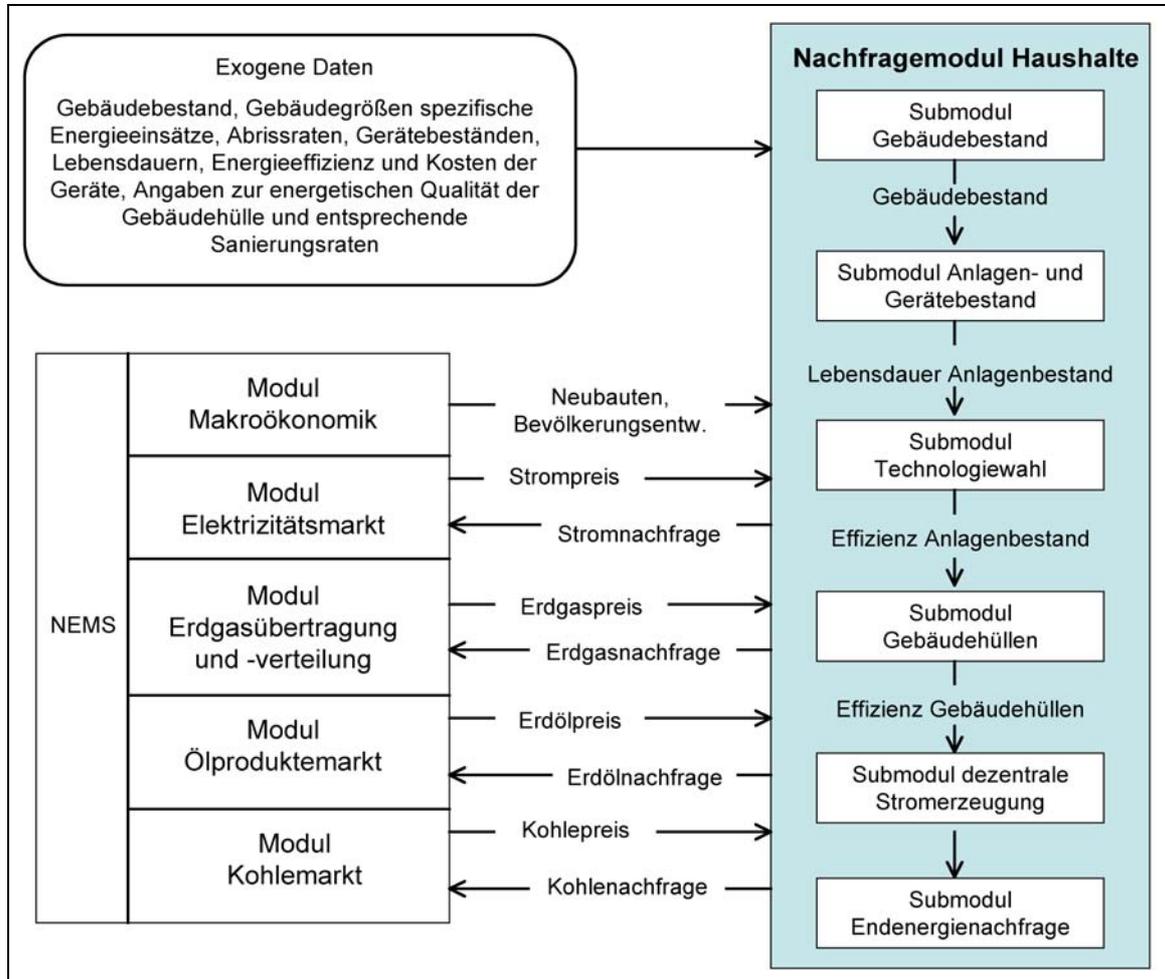
Die Abbildung gibt einen Überblick über die wesentlichen Wechselwirkungen des Moduls mit dem NEMS sowie die eingehenden externen Daten.

Das Schema zeigt, wie das Haushaltsnachfragemodell die Struktur des Sektors abbildet:

- Basisdaten sind die Bevölkerungsprojektion sowie die Prognose der Haushaltsgründungen aus dem NEMS.
- Ergänzt werden diese durch Strukturangaben zum Gebäudebestand, zu Gebäudegrößen und spezifischen Energieeinsätzen, zu Abrissraten, Gerätebeständen und Lebensdauern, Energieeffizienz und Kosten der Geräte, Angaben zur energetischen Qualität der Gebäudehülle und entsprechender Sanierungsraten. Die ergänzenden Angaben stammen dabei überwiegend aus den periodisch durchgeführten Verbrauchserhebungen im Haushaltssektor (RECS).
- Das Gebäudebestands-Submodul projiziert die Abrisse bestehender Gebäude nach Gebäudetypen und –alter sowie den Neubau nach Gebäudetypen. Die Größe sowie die Typen der Neubauten werden aus der Vergangenheitsentwicklung extrapoliert. Das Gebäudebestands-Submodell ist die Basis sowohl für das

Geräte- und Anlagenbestands-Submodul, als auch für das Submodul zur Gebäudehülle.

Abbildung 5-11: Grobstruktur des Haushaltsnachfragemoduls des NEMS



Quelle: eigene Übersetzung, nach EIA 2003, 22

- Das Geräte- und Anlagenbestands-Submodul⁹⁸ schreibt den vorhandenen Geräte und Anlagenbestand in den Wohngebäuden fort, wobei – soweit verfügbar – die Alterstruktur sowie die jeweilige Effizienz der Bestandsgeräte im Modell abgebildet werden. Das Modell unterscheidet dabei nach elf Heizungstypen, fünf Klimaanlagearten, sechs Warmwasserbereitungsgeräten, je zwei Kühlschrank- und Gefrierschranktypen, drei Beleuchtungssystemen, drei Energieträgern zum Kochen sowie elektrischen und gasbetriebenen Wäschetrocknern. Gegenüber 1996 sind im NEMS 2003 noch Geschirrspüler, Waschmaschinen sowie die dezentralen Stromerzeugungstechnologien Brennstoffzellen und Photovoltaik in das Modell aufgenommen worden (siehe Tabelle 5-1).

⁹⁸ Vgl. auch die detailliertere Beschreibung von Kydes und Waide (1998).

Tabelle 5-1: Im NEMS abgebildete Geräte und Anlagen im Haushaltssektor, 1996 und 2003

NEMS 1996	NEMS 2003
Heizungssysteme:	Elektrokamin, Elektrische Luft-Luft Wärmepumpe, Gasbrenner, Gaszentralheizung, Petroleumofen, Flüssiggas, Ölofen, Ölzentralheizung, Holzofen, Erdreichwärmepumpe, Erdgaswärmepumpe
Raumklimatisierung:	elektrisches Einzelraumklimagerät, zentrale Klimaanlage, Elektrische Luft-Luft Wärmepumpe, Erdreichwärmepumpe, Erdgaswärmepumpe
Warmwasserbereiter:	Solar, Erdgas, Elektrisch, Heizöl, Flüssiggas
Kühlgeräte:	18 cubic foot Kühl-Gefrier Kombi; 25 cubic foot, Kombigerät side by side mit Eiswürfelbereiter
Gefriergeräte:	Kühltruhe manuelle Abtauung, Gefrierschrank, manuelle Abtauung
Beleuchtung:	Glühlampen, Kompaktleuchtstofflampen, Quecksilberdampflampen
Wäschetrockner:	Erdgas, Elektrisch
Kochen:	Erdgas, Elektrisch, Flüssiggas
—	Geschirrspüler Waschmaschinen Brennstoffzellen Photovoltaikanlagen

Quelle: eigene Darstellung nach IEA 1996, 41 und 2003, 23

- Das folgende Technologiewahl-Submodell simuliert die Entscheidungen bei der Neu- bzw. Ersatzbeschaffung von Heizungs- und Klimatisierungssystemen sowie von Warmwasserbereitungssystemen, dem Energieträger für Kochen sowie die übrigen Geräte. Die Entscheidungen werden dabei mehrstufig simuliert:
 - Ausgehend von der tatsächlichen Brennstoffwahl in der Vergangenheit und der jeweiligen Wirtschaftlichkeit der Technologien werden die Wahl der Beheizungsart und i.d.R. davon abhängig die der Warmwasserbereitung und des Kochens festgelegt. Beim Ersatz von Anlagen und Geräten wird ein begrenzter Energieträgerwechsel in Abhängigkeit der relativen Wirtschaftlichkeit sowie der Verfügbarkeit berücksichtigt.
 - In einem zweiten Schritt wird die Entscheidung für unterschiedlich effiziente Technologien simuliert, die hier mit einer Effizienz- und Kostenbandbreite versehen sind. D.h., effizientere Geräte sind durchgängig teurer als weniger effiziente, wobei dieser Abstand typischerweise als mit der Zeit sinkend angenommen wird (IEA 2003, 25). Mit einer Annahme über die Bereitschaft der Konsumenten in effizientere Geräte einer bestimmten Kategorie zu investieren wird die empirische Beobachtung reflektiert, dass – aus welchen Gründen auch immer – nicht immer

die effizienteren Geräte gekauft werden, obwohl ihre Lebenszykluskosten niedriger liegen, als die der ineffizienteren Alternative⁹⁹.

- Das Gebäudehüllenmodul baut ebenfalls auf dem Gebäudebestandsmodul auf und simuliert die energetische Qualität der Gebäudehülle in Abhängigkeit der Energiepreise, wobei Neubauten und Bestandsverbesserungen separat modelliert werden und eventuelle Mindeststandards berücksichtigt werden.
- Neu im NEMS 2003 (gegenüber 1996) ist das folgende Submodul zur dezentralen Stromerzeugung, das Photovoltaik und Brennstoffzellenheizgeräte berücksichtigt. Ihre Verbreitung wird ebenfalls anhand der Wirtschaftlichkeit der Investition modelliert, wobei staatliche Subventionen mit berücksichtigt werden¹⁰⁰.
- Als letztes Submodul ermittelt das Endenergienachfrage-Submodul die Nachfrage des Sektors nach Endenergieträgern. Dabei werden sowohl die Ergebnisse der vorherigen Submodule (d.h. Entwicklung des Geräte- und Anlagenbestands sowie der Gebäudehüllen) als auch nutzungsbedingte Effekte durch die Entwicklung der Haushaltsgrößen und das verfügbare Einkommen sowie ‚Rebound‘-Effekte¹⁰¹ mit berücksichtigt.

5.3.3.2 Energienachfrage im GHD Sektor

Auch die Modellierung der Energienachfrage im GHD-Sektor hat sich evolutorisch entwickelt ist aber in ihrer Grundstruktur über die Jahre ähnlich geblieben. Allerdings wurde der Detaillierungsgrad auch hier signifikant gesteigert. Die Zahl der betrachteten Nutzungsarten stieg von ursprünglich 6 auf 11 an. Zusätzlich werden im NEMS 10 Energieanwendungen in gewerblich genutzten Gebäuden unterschieden und die dezentrale Energieerzeugung separat modelliert. Ausgeweitet wurde entsprechend auch das Entscheidungsmodul, das von einem Energieträgerwahlmodul zu einem Technologiewahlmodul ausgebaut wurde.

⁹⁹ Diese Beobachtung wird über eine entsprechende implizite „Verzinsungserwartung“ der Haushalte für die verschiedenen Investitionen simuliert. die entsprechende Rate („Hurdle-Rate“) lag im AEO’93 zwischen 15% für Heizungssysteme und 140% für Einzelraum-Klimatisierungsgeräte, wobei sie die implizite Verzinsungserwartung der Konsumenten widerspiegeln soll.

¹⁰⁰ Dieses Modul ist für die hier analysierten Vergangenheitszeiträume nicht relevant, da die entsprechenden Technologien noch kaum verbreitet waren. Es wird aber in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

¹⁰¹ Rebound-Effekte entstehen in der aktuell implementierten Version des NEMS dadurch, dass durch wirtschaftliche Einsparmaßnahmen der spezifische Energieeinsatz z.B. zur Wohnungsbeheizung oder der Pkw sinkt, aber die Haushalte im Ergebnis ein höheres verfügbares Einkommen übrig behalten. Dieses wiederum steuert z.T. die Nachfrage nach Energiedienstleistungen, z.B. im Verkehrssektor. Es wird dann die Effizienzsteigerung der Pkw durch mehr Fahrten wieder ausgeglichen (Rebound) (vgl. die Berechnung dieser Effekte für ein Energieeinsparprogramm für Deutschland von Hohmeyer (2006, 101f)). Zur umfangreichen Diskussion über die Existenz und Relevanz von Rebound Effekten für die Energieeffizienzpolitik sei auf den Überblicksartikel von Dimitropoulos (2007) sowie auf die Ausführungen von Geller und Attali (2005, 5f) verwiesen.

GHD-Nachfragemodell des IFFS

Das GHD-Modell des IFFS wird, wie die übrigen Nachfragemodule durch Makroökonomische Rahmendaten sowie die Energieträgerpreise des IFFS gesteuert und liefert entsprechende Energieträgernachfragen an das IFFS zurück (Zalkind 1983, 221).

Die Haupttreibergröße des Submodells ist die Flächenprognose gewerblich genutzter Gebäude, die im Submodell auf der Basis der Bevölkerungs- und der Einkommensentwicklung generiert wird (Murphy et al 1988, 415). Dabei wird nach 6 Nutzungsarten der Gebäude, Warenlager (Großhandel), Institutionen, Büros, Hotels, Handel, Übrige, sowie drei Energieträgern, Erdgas, Strom und Heizöl unterschieden (Shaw, Murphy 1983 28f).

Die Aufteilung auf Energieträger erfolgt nach Nutzungsarten der Gebäude, für Neubauten von gewerblich genutzten Gebäuden sowie für bestehende Gebäude (Zalkind 1983, 221).

GHD-Nachfragemodul des NEMS (CDM, Commercial Demand Module)

Das GHD-Modul entspricht in seiner Struktur weitgehend dem Haushaltsmodul, wie die folgende Übersichtsgrafik zeigt.

Die fünf Submodule entwickeln wiederum aus der Projektion der Flächen und der Geräte- bzw. Anlagenbestände sowie der dezentralen Stromerzeugung die Endenergienachfrage:

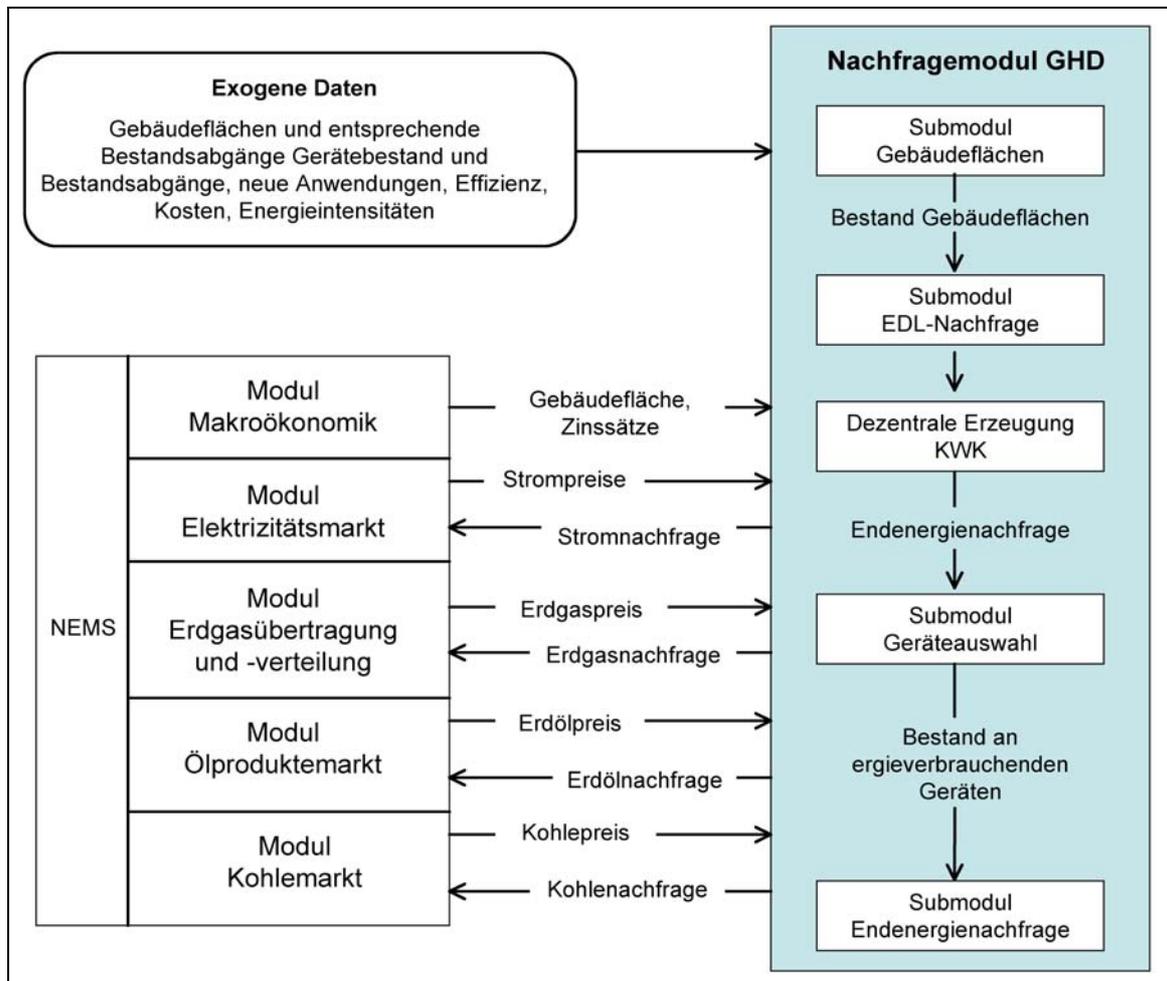
- Das Gebäudeflächen-Submodul baut dabei auf der nach Gebäudetypen¹⁰² differenzierten Projektion der Flächenzuwächse des makroökonomischen Moduls auf und passt diese im Wesentlichen der Abgrenzung der Energieverbrauchererhebungen an.
- Zentral ist das darauf aufbauende EDL-Nachfrage Submodell. Basierend auf der Gebäudefläche, seiner Nutzungsart sowie der jeweiligen Region wird die flächenspezifische EDL-Nachfrage für zehn Anwendungen projiziert: Heizung, Raumkühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung, Kochen, Kühlen und Gefrieren, PCs, andere Bürogeräte sowie andere Nutzungsarten – basierend auf bisherigen Trends¹⁰³,
- Das Submodul dezentrale Erzeugung und Kraft-Wärme Kopplung (KWK) ist hier ebenfalls neu hinzugekommen und simuliert zehn verschiedene Technologien der dezentralen Stromerzeugung bzw. KWK-Technologien: Photovoltaik,

¹⁰² Die Gebäude werden nach elf Typen der vorwiegenden Nutzung unterschieden. Dies sind: Werkstätten, Bildungseinrichtungen, Lebensmitteleinzelhandel, Lebensmitteldienstleistungen, Gesundheitswesen, Beherbergungsgewerbe, Große Bürogebäude, kleine Bürogebäude, Handel und Dienstleistungen, Warenhäuser sowie Andere (EIA 2003, 27).

¹⁰³ Die Anwendungen haben sich Vergleich zum NEMS 1996 nicht geändert. Lediglich die PCs und die übrigen Bürogeräte wurden 1996 noch zusammengefasst.

Brennstoffzellen, Motor-Blockheizkraftwerke, Turbinen bzw. Mikroturbinen, Dieselmotoren, kohle- müll- oder holzgefeuerte KWK-Anlagen sowie Kleinwasserkraft. Die Wahl der Technologien erfolgt wiederum auf der Basis ökonomischer Kalküle (geforderte Amortisationszeiten), wobei Subventionen mit einbezogen werden.

Abbildung 5-12: Grobstruktur des GHD-Nachfragemoduls des NEMS



Quelle: eigene Übersetzung, nach EIA 2003, 28

- Das Geräte-Auswahl-Submodul ermittelt, mit welchen Technologien die EDL-Nachfrage in den einzelnen Sektoren gedeckt wird. Dabei werden für jeden der zehn Anwendungsbereiche eine Reihe von möglichen Technologien¹⁰⁴ berücksichtigt. Diese wurden z.T. zwischen 1996 und 2003 modifiziert, wobei sowohl Technologien feiner differenziert wurden, als auch andere stärker zu-

¹⁰⁴ Die Beschreibung des NEMS von 2003 listet insgesamt 76 verschiedene Technologien für 7 der genannten 10 Anwendungsbereiche auf (EIA 2003, 32), wobei die Heizungstechnologien noch weiter nach sich in der Zukunft dynamisch entwickelnden Effizienzstandards aufgegliedert sind. Die restlichen drei Anwendungsbereiche PCs, Bürogeräte und andere wurden weniger detailliert analysiert, da sie als kleinere Gruppen eingestuft werden (EIA 2003, 30).

sammengefasst wurden. Wie im Haushalts-Modul werden auch hier die Entscheidungen nach ökonomischen Kriterien getroffen, wobei Anschaffungskosten, Energiekosten und Wartungskosten über 30 Jahre einbezogen werden. Zusätzlich werden anwendungsspezifische implizite Diskontraten gebildet, die alle Faktoren repräsentieren, die dazu führen, dass nicht die ökonomisch effizienteste Technologie gewählt wird.

- Aus den in den vorangehenden Submodulen projizierten Geräte- und Anlagenbeständen ergibt sich dann im Energieverbrauchs-Submodul der Endenergieeinsatz, wobei zusätzliche Anpassungen aufgrund der kurzfristigen Preisentwicklung (kurzfristige Preiselastizität des Einsatzes), aufgrund von erwarteten Rebound-Effekten, der Effizienzsteigerung sowie eine Klimabereinigung stattfinden¹⁰⁵.

5.3.3.3 Energienachfrage der Industrie

Die Modellierung der Endenergienachfrage der Industrie wurde im Zeitverlauf durch die Ergänzung vor allem des bottom-up Modellansatzes deutlich differenzierter gestaltet. Während die Branchenaufteilung nahezu gleich geblieben ist, wurde die Modellierung der Energieanwendungen und vor allem der entsprechenden Bereitstellungstechnologien durch die Entwicklung eines Technologiewahlmoduls maßgeblich ergänzt. Die Endenergienachfrage der Industrie wird im NEMS wie in den übrigen Nachfragesektoren vorwiegend bottom up geschätzt, während im IFFS noch die ökonometrische top-down Vorgehensweise vorherrschte.

Industriemodell des IFFS

Wie das entsprechende Vorgängermodell ist das industrielle Wärme- und Strommodell des IFFS ein ökonometrisches versorgungsseitiges Modell (Zalkind 1983, 224). Die Energienachfrage wird zunächst nach Wärme, Prozessdampf aus Kesseln sowie Strom sektorweise anhand ökonometrischer Schätzgleichungen aus den (Produktions-)Faktoren, Kapitalverfügbarkeit, Arbeits- und Materialindex sowie Energiepreis prognostiziert. Dabei werden 17 Subsektoren gemäß der 2-Steller der SIC (Standard Industrial Classification) unterschieden (Shaw, Murphy 1998, 16).

Im nächsten Modellschritt erfolgt die energieträgerpreisorientierte Energieträgerwahl. Die Kohlenachfrage sowie der nicht energetische Einsatz werden dabei separat betrachtet und unterliegen keiner direkten Substitution (Shaw, Murphy 1998, 17).

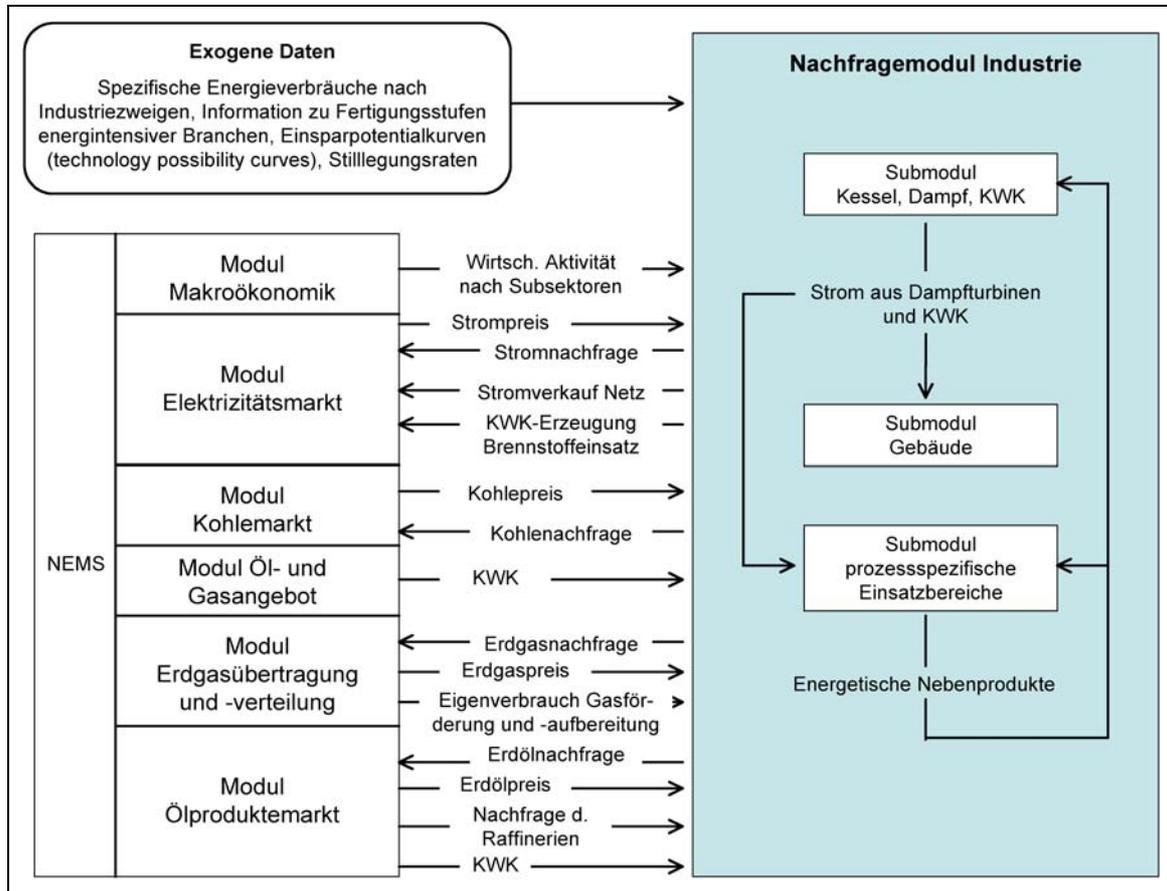
Industrie-Nachfragemodul des NEMS (IDM, Industrial Demand Module)

Das Industrie-Modul des NEMS weist eine, im Vergleich zu den beiden voranstehend beschriebenen Nachfragemodulen, etwas komplexere Struktur auf.

¹⁰⁵ Zu den Ergebnissen einer aktuellen NEMS-Projektion vgl. Macdonald (2004, 9).

Die Industrie wird im NEMS in einem kombinierten bottom-up und top-down Ansatz modelliert. Dabei wird die in den betrachteten Industriebranchen eingesetzte Technologie bottom-up modelliert, das ‚Verhalten‘ der Akteure dagegen top-down ökonomisch geschätzt.

Abbildung 5-13: Grobstruktur des Industrie-Nachfragemoduls des NEMS



Quelle: eigene Übersetzung, nach EIA 2003, 34

Das Industriemodul teilt die Industrie nach ihrem Energieeinsatz in insgesamt 18 Branchen auf, sieben energieintensive und zwei nicht energieintensive Branchen des verarbeitenden Gewerbes sowie neun Branchen der nicht verarbeitenden Industrie (Landwirtschaft, Bergbau, Bauindustrie).

Innerhalb der Branchen werden drei Energieeinsatzbereiche unterschieden, Kessel und KWK-Anlagen, Gebäude und prozessspezifische Einsatzbereiche, wobei Wärme und Strom, die im Kessel und KWK-Submodell erzeugt wurden, in den Nachfragemodulen Gebäude und Prozesse genutzt werden und ggf. an des Netz abgegeben werden. Energienebenprodukte aus entsprechenden Produkten (z.B. der Papierindustrie) werden entweder in Prozessen direkt oder in Kesseln/KWK-Anlagen genutzt.

- Das Kessel und KWK-Submodul repräsentiert die ‚traditionelle‘ industrielle KWK, deren Hauptzweck in der Bereitstellung von Dampf und Wärme liegt.

Nichttraditionelle KWK-Anlagen, die primär für die Stromeinspeisung betrieben werden, werden dagegen im Elektrizitäts-Modul abgebildet. Der Zubau von mit Biomasse gefeuerten KWK-Anlagen orientiert sich in den Projektionen am Anfall entsprechender Reststoffmengen. Für die übrige KWK wird angenommen, dass sie primär durch Gasturbinen abgedeckt wird. Diese werden errichtet, wenn der entsprechende Bedarf an Dampf besteht und Gasturbinenanlagen ökonomisch attraktiv sind, wobei ‚akzeptierbare‘ Amortisationszeiten zugrunde gelegt werden (EIA 2003, 35). In gewissem Umfang können im Kessel- und KWK-Modul auch Brennstoffwechsel auftreten.

- Der größte Teil des industriellen Energieeinsatzes wird durch spezifische Prozesse bestimmt. Für die energieintensive Industrie werden dabei jeweils pro Branche mehrere Anwendungsbereiche bzw. Prozessschritte definiert. Die Modellierung der eingesetzten Technologien in den energieintensiven Branchen erfolgt in zwei Schritten:
 - Zunächst wird die Technologie nach Altersgruppen in einem Technologiebestandsmodell abgebildet. Alte Anlagen und Maschinen werden entsprechend ihrer Lebensdauer außer Dienst gestellt und neue entsprechend investiert. Zusätzliche Anlagen werden investiert, wenn der jeweilige Kapitalbestand nicht ausreicht, um die im makroökonomischen Modul projizierten Produktionsmengen zu erzeugen.
 - Die Entscheidung über die jeweilige Technologie (d.h. vor allem Effizienz) der Neu- bzw. Ersatzinvestitionen wird anhand von Annahmen zur zeitlichen Entwicklung der Marktdurchdringung von Technologien gefällt. Die Energieintensität der typischen Anlagen entwickelt sich dabei im Zeitverlauf in Abhängigkeit der Energiepreise, wobei die maximale Effizienzsteigerung durch ingenieurtechnisch geschätzte so genannte „technology-possibility-curves“ begrenzt wird, die die jährliche Verringerung der Energieintensität bestehender Anlagen (durch nachträgliche Verbesserungen und/oder Verbesserungen im Betrieb) sowie neuer Anlagen abbilden (Unruh 2002, 8ff; EIA 2007, 35).
- Die Gebäudeenergienachfrage wird in einem eigenen relativ einfachen Submodul abgebildet, das die Beschäftigtenzahl des jeweiligen Sektors als Treibergröße verwendet (EIA 1996, 51).

Insgesamt ergeben sich aus diesen Submodulen die Nachfragevektoren der Industrie für die einzelnen Energieträger.

5.3.3.4 Energienachfrage des Verkehrs

Die Modellierung der Energienachfrage des Verkehrs wurde zwischen 1983 und 2000 schrittweise weiterentwickelt. Dabei wurde auch hier vor allem das Modell weiter detailliert und z.T. weiter differenziert. So wurden die anfangs nur grob geschätzten

Modi Bahn und Schiff inzwischen mit in das Frachttransportmodul integriert. Die kommerziell genutzten leichten Nutzfahrzeuge wurden separat vom Personenverkehr modelliert. Darüber hinaus wird, vor allem für den Personenverkehr, inzwischen eine Palette von Effizienztechnologien in den Fahrzeugen explizit im Prognosemodell abgebildet. Weiterhin bleibt aber das Energienachfragemodul zentral, das die Verkehrsnachfrage und damit letztlich die Energieeinsätze des Straßenpersonenverkehrs abbildet und das vor allem auf dem verfügbaren Einkommen und den Kraftstoffpreisen als Treibergrößen beruht.

Verkehrsmodell des IFFS

Das Verkehrsmodell des IFFS erstellt separate Projektionen für leichte und schwere Straßenfahrzeuge sowie den Luftverkehr. Im Straßenverkehr projiziert das Modell die Neuwagenverkäufe, die Fahrleistung der Fahrzeuge sowie die spezifischen Kraftstoffverbräuche als Funktionen des verfügbaren Einkommens sowie für die Fahrleistung zusätzlich als Funktion der Kraftstoffpreise. Die Energienachfrage ergibt sich dann über die spezifischen Verbräuche. Für den Luftverkehr bildet die Zahl der Fahrgastkilometer die treibende Prognosegröße, wobei die Flugzeugflotte, der Auslastungsgrad und andere Variablen in die Modellierung eingehen. Die Energieeinsätze der übrigen Transportmodi (vor allem Bahn und Schiff) werden lediglich preisabhängig geschätzt (Shaw, Murphy 1983, 17f).

Verkehr-Nachfragemodul des NEMS (TRAN, Transport Demand Module)

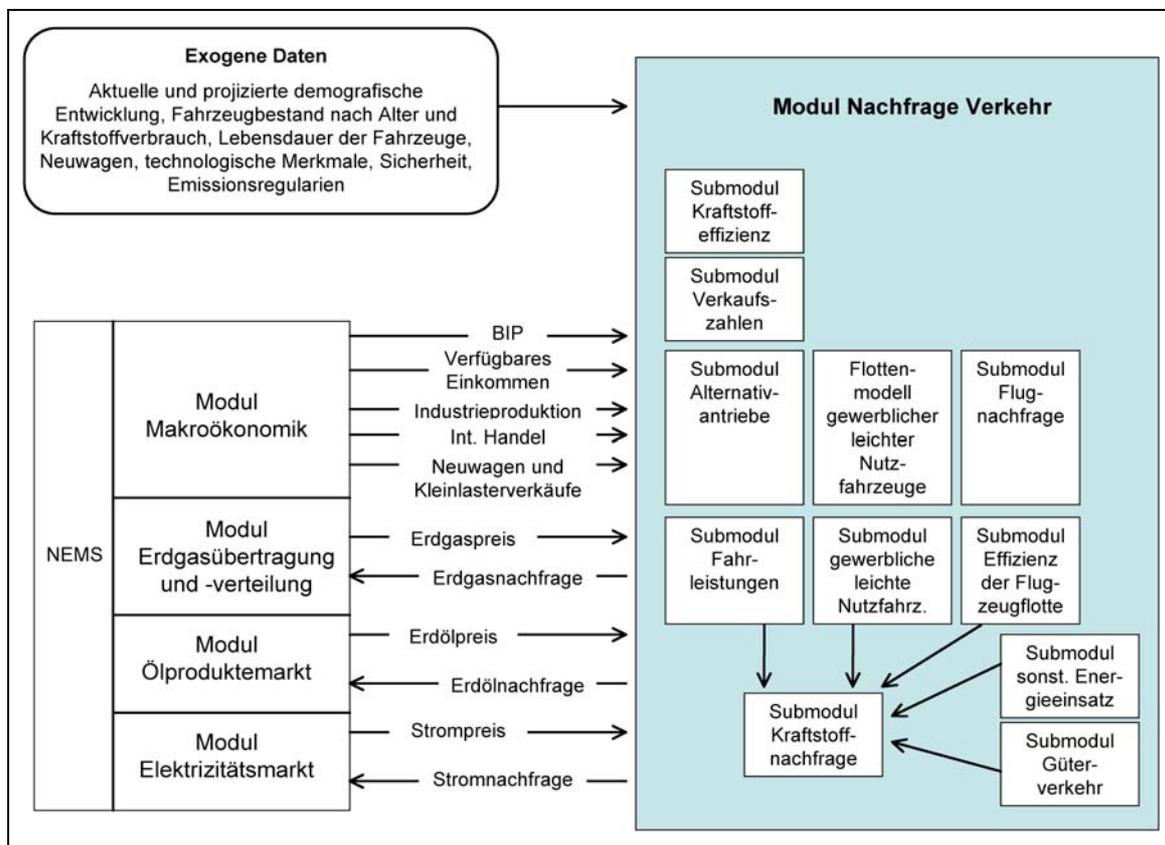
Das Verkehrs-Nachfragemodul des NEMS unterteilt sich zunächst in fünf Teilsektoren, Pkw und privat genutzte Kleintransporter, kommerziell genutzte Kleintransporter, Luftverkehr, Frachtverkehr sowie sonstige Energieverbraucher (z.B. Pipelines), die je nach Bedeutung unterschiedlich differenziert abgebildet werden.

Der Teilsektor Pkw wird in vier Submodulen abgebildet:

- Das erste Submodul ist das Kraftstoffeffizienz-Submodul. In diesem werden die spezifischen Verbräuche der neu auf den Markt kommenden Pkw, SUVs und Kleintransporter projiziert. Dazu werden diese nach zwölf Größenklassen sowie 15 Motortypen (Benzin, Diesel und 13 alternative Antriebstechnologien) unterschieden. Für die Pkw wird zudem eine differenzierte Bandbreite von Effizienztechnologien modelliert, die je nach ökonomischer Effizienz und Nutzen für den Käufer in den Neufahrzeugen zum Einsatz kommen. Dabei steigt bei zunehmenden Kraftstoffpreisen sowohl die Effizienz der Fahrzeuge innerhalb einer Klasse, als auch der Marktanteil der kleineren Fahrzeugklassen gegenüber dem Trend als auch der Anteil alternativer Antriebe.
- Das Verkaufszahlen-Submodul prognostiziert dann die gesamten Absatzzahlen an Pkw pro Region.

- Das Alternativantriebe-Submodul prognostiziert die Marktanteile der einzelnen Antriebsgruppen, konventionelle Motoren, Hybridfahrzeuge, alternative Motoren, Brennstoffzellenfahrzeuge sowie Batteriefahrzeuge¹⁰⁶. Dabei werden der Entscheidung wiederum die Gesamtkosten der Alternativen sowie die Verfügbarkeit der Kraftstoffe zugrunde gelegt.
- Aus den spezifischen Verbräuchen der Fahrzeugflotte, die sich aus den ersten drei Submodulen ergibt, und dem Ergebnis des Fahrleistungs-Submoduls errechnet sich dann der Kraftstoffbedarf. Bestimmungsgrößen der Fahrleistung sind dabei die Kraftstoffkosten pro km, das verfügbare Einkommen pro Kopf, wobei das Ergebnis noch an das unterschiedliche Fahrverhalten von Frauen bzw. Männern angepasst wird.

Abbildung 5-14: Grobstruktur des Transport-Nachfragemoduls des NEMS



Quelle: eigene Grafik, nach EIA 2003, 38

Der Energieeinsatz der kommerziell genutzten Pkw und Kleintransporter sowie Klein-Lkw wird in zwei Submodulen modelliert, die beide sowohl die Bestände, als auch die spezifischen Verbräuche und die Fahrleistungen der entsprechenden Fahrzeugkategorien modellieren.

¹⁰⁶ Innerhalb der Gruppen werden noch verschiedene Kraftstoffalternativen bzw. Technologiealternativen berücksichtigt (IEA 2003, 38f.).

Der Flugverkehr wird in zwei Stufen modelliert:

- Das Flugverkehrsnachfragemodell bestimmt die Nachfrage sowohl nach Passagier- als auch nach Güterflugverkehr, wobei die fünf Marktsegmente Geschäftsreisen, Privatreisen und internationale Flüge sowie Frachtflüge und Frachttransport in Passagiermaschinen unterschieden werden. Für jedes Marktsegment wird die Verkehrsnachfrage als Funktion der Kosten sowie des verfügbaren Einkommens, des BIP sowie der Exporte bestimmt.
- Das Flugzeugverbrauchs-Submodul bestimmt den Verbrauch der Flugzeugflotte nach zwei Flugzeugtypen, wobei die Bestandsentwicklung durch eine logistische Funktion angenähert wird. Treiber der Effizienz ist hier vor allem die Technik der neuen Flugzeuge, die von der Verfügbarkeit von Energieeffizienz-techniken sowie ihrer Wirtschaftlichkeit abhängt.

Der Frachtverkehr wird in einem separaten Submodul abgebildet. Dieses leitet zunächst aus den Industrieproduktionsprojektionen des NEMS die Güterverkehrsnachfrage in Tonnenkilometern für Bahn, Frachtschiffe und Lkw ab und im zweiten Schritt die Fahrzeugkilometer der Lkw. Die Lkw werden zudem nach mittleren und schweren Lkw unterschieden. Die Entwicklung des spezifischen Kraftstoffbedarfs der Lkw wird nach den Größenklassen auf der Basis historischer Trends projiziert. Hinzu kommen technische Verbesserungen, deren Marktdurchdringung wiederum von ihrer Wirtschaftlichkeit abhängt. Für Bahn- und Schiffsverkehr werden die spezifischen Energieeinsätze sowie eventuelle preisabhängige Effizienzsteigerungen grober geschätzt.

Das letzte Submodul enthält zahlreiche weitere Verkehrsaktivitäten, wie z.B. Militär, Ausflugschiffe, Massentransportmittel, Pipelines und Schmierstoffverbrauch, die in Abhängigkeit geeigneter Treibergrößen geschätzt werden.

5.3.3.5 Zusammenfassung zur Modellierung der Energienachfrage

Die Energienachfrage wird in den Modellen der EIA seit 1983 und bereits vorher im Rahmen einer technischen bottom-up Modellierung auf der Basis detaillierter sektoraler Nachfragemodelle prognostiziert.

- Diese Modelle bilden die jeweiligen Energiedienstleistungen in den Sektoren z.T. vereinfacht ab. Die Prognosen der Energiedienstleistungen leiten sich dabei vor allem von makroökonomischen Rahmendaten und zum Teil von den prognostizierten Energiepreisen ab.
Dabei wurde die Abbildung der Energiedienstleistungsnachfrage in den Sektoren im Zeitverlauf, beim Wechsel von IFFS zu NEMS, aber auch danach in mehreren Schritten immer weiter ausdifferenziert. Im Ergebnis wurde die Zahl der abgebildeten Energiedienstleistungen bzw. Energieanwendungen über den hier betrachteten Zeitraum deutlich gesteigert.

- Die entsprechenden Technologien zu Bereitstellung der Energiedienstleistungen und ihre technische Effizienz wurde im ursprünglichen Modell relativ einfach abgebildet. Lediglich für die Gebäude gab es bereits Bestandsmodelle. Die übrigen Technologien wurden überwiegend über Effizienzkennwerte, deren künftige Entwicklung z.T. ökonomisch geschätzt wurde abgebildet. Inzwischen werden hier zahlreiche wichtige Technologien und zusätzliche technische Effizienzmaßnahmen direkt in den Modulen des NEMS abgebildet. Über entsprechende Investitionsentscheidungsmodule werden die jeweiligen Bestände an energieanwendenden Technologien in den einzelnen Sektoren dynamisch entwickelt.
- Die Energieträgerwahl wiederum wurde bereits im IFFS auf der Basis relativer Preisänderungen modelliert. Dieses Prinzip wird immer noch, nun aber ergänzt um die Technologiewahl im Modell genutzt.
- Über die explizite modellgestützte Berücksichtigung der Investitionsentscheidungen haben Aspekte wie implizite interne Zinssätze, die auch die Hemmnisse gegen die weitere Ausbreitung von Effizienztechnologien mit abbilden sollen, Effekte des verfügbaren Einkommens, einschließlich der Rebound-Effekte eine stärkere Bedeutung erhalten.

Insgesamt ist die Modellierung der Energienachfrage in den jährlichen Energieprojektionen der EIA über die Jahre von 1983 bis 2004 kontinuierlich mit der selben Modellphilosophie und der selben sektoralen Disaggregation erfolgt. Die Interaktionen der einzelnen Nachfragemodule mit dem Gesamtmodell sind dabei weitgehend gleich geblieben. Eckdaten der Nachfragemodellierung bilden sozioökonomische Rahmendaten aus dem Gesamtmodell oder aus externen Datenquellen sowie die modellierten Energieträgerpreise, Ergebnis sind die Nachfragevektoren nach Energieträgern.

In Schritten weiterentwickelt, wurden dabei der Detaillierungsgrad der einzelnen Submodule, und die Modellierung der Energieeinsätze einzelner Anwendungsbereiche. Letztere wurden zunächst überwiegend anhand ökonomischer Analysen und/oder Expertenschätzungen prognostiziert. Inzwischen enthalten die Submodelle für die wichtigsten Anwendungsbereiche detaillierte Modellierungen der eingesetzten Techniken sowie zukünftiger Effizienztechnologien, anhand derer die spezifischen Energieeinsätze stärker endogen ermittelt werden. Die Weiterentwicklung des Modells erfolgte dabei bei der Umstellung vom IFFS auf das NEMS sowie danach in, je nach Submodell, verschiedenen Schritten.

6 Quantitativ-deskriptive Fehleranalyse der ausgewählten Teilprognosen der AEOs

Am Beispiel der US-Energieprognosen (bzw. –projektionen) der vergangenen Jahre, die in Emissionsprojektionen verbrennungsbedingter CO₂-Emissionen umgerechnet wurden, soll die Genauigkeit von Emissionsprojektionen für diesen – maßgeblichen Emissionsbereich¹⁰⁷ – überprüft werden.

Die sich aus den Energieeinsatzprognosen der AEOs ergebenden CO₂-Emissionen werden hier als zu untersuchende Prognosen bzw. Projektionen definiert. Ihre einzelnen Komponenten (vom BIP bis zum Emissionsfaktor, siehe Abbildung 6-1 unten) werden entsprechend als Teilprognosen charakterisiert.

Dabei werden die hier als relevant eingestuften Teilaspekte bzw. Elemente des Analysemodells (siehe folgender Abschnitt) mit geeigneten Fehlermaßen systematisch, d.h. für jeden Energienachfragesektor, daraufhin untersucht, wie genau sie in der Vergangenheit prognostiziert wurden, wie sich die Fehler in Abhängigkeit des betrachteten Zeitraums, der Prognosedauer und der Prognose selbst verändert haben und wo die größten Schwachpunkte sowie ggf. die wichtigsten Verbesserungspotentiale bestehen. Zusätzlich werden die als relevant herausgearbeiteten Fehler der Energie- und Emissionsprojektionen mit Referenzprojektionen verglichen, die als einfache lineare Extrapolation des Trends der jeweils sechs letzten Ist-Jahre erstellt wurden.

Im Anschluss an die umfassend angelegte, d.h. alle hier im Projektionsmodell ausgewählten Teilprojektionen abdeckende Analyse in diesem Kapitel, werden dann im folgenden Kapitel 7 ausgewählte Hypothesen zu möglichen Einflussfaktoren auf die Prognosegenauigkeit jeweils anhand geeigneter Beispiele näher analysiert.

¹⁰⁷ Die energiebedingten CO₂-Emissionen machen etwa 80% der gesamten Treibhausgasemissionen der USA aus (2005: 79,2%) und sind seit 1990 stärker angestiegen als der Mittelwert aller Treibhausgasemissionen der USA (EPA 2007).

6.1 Prognosemodell und Fehlerkombination

Die hier näher zu untersuchenden Projektionen der CO₂-Emissionen der USA werden mit Hilfe detaillierter Energiemodelle erstellt (s.o.). Die Projektionen setzen sich daher aus einer ganzen Reihe von Detailprojektionen zusammen, die über mehrere Stufen additiv bzw. multiplikativ verknüpft die Zielprojektion – energiebedingte CO₂-Emissionen – ergeben. Aus diesem Set von Detailprojektionen wurden für die weitere Analyse die hier interessierenden Teilprojektionen ausgewählt. Die folgende Abbildung gibt das aus diesen Projektionen gebildete Analysesystem der Emissionsprojektionen wieder. Dabei wird das detaillierte Prognosemodell verwendet, das auch die Ebene der Energiedienstleistung (EDL) in vereinfachter Form einbezieht. Für dieses Modell stehen aber nur Daten für die Projektionen ab dem AEO'92 zur Verfügung.

Dieses Analysesystem ist eine vereinfachte Repräsentation des eigentlich verwendeten Modells der EIA¹⁰⁸. Die Vereinfachung ermöglicht es zum einen, die Analyse auf eine begrenzte Anzahl von Parametern bzw. Variablen zu beschränken, dabei aber die Bandbreite der Prognose sowie ihre Tiefe bis hin zur Energiedienstleistung zu erfassen. Zum anderen erleichtert es die Übertragbarkeit der hier durchgeführten Analysen, denn der hier definierte Satz von Teilprognosen ist standardisierbar und das gebildete System ist hinreichend allgemein und wird in dieser oder sehr ähnlicher Form und Disaggregation in den meisten Energiemodellen verwendet, so dass es prinzipiell auch zur Analyse anderer Energie- und Emissionsprojektionen geeignet ist.

Gleichzeitig ist eine derartige Beschränkung auf ein vereinfachtes Prognosemodell auch der Datenverfügbarkeit geschuldet, die vielfach keine weitere Detaillierung des Modells zulässt¹⁰⁹.

Die folgende Abbildung 6-1 zeigt, wie sich im hier gewählten Modell die definierte Zielprojektion ‚energiebedingte CO₂-Emissionen‘ über mehrere Schritte – basierend auf der grundlegenden Projektion des Bruttoinlandsprodukts – additiv bzw. multiplikativ aus verschiedenen Teilprojektionen zusammensetzt¹¹⁰:

- Das Projektionsmodell beginnt auf der Ebene des wichtigsten Einzelindicators, des Bruttoinlandsprodukts.
- Das BIP wirkt im hier gebildeten Modell über die multiplikative Verknüpfung mit sektorspezifischen Faktoren, die hier als *EDL-Intensitäten* bezeichnet werden,

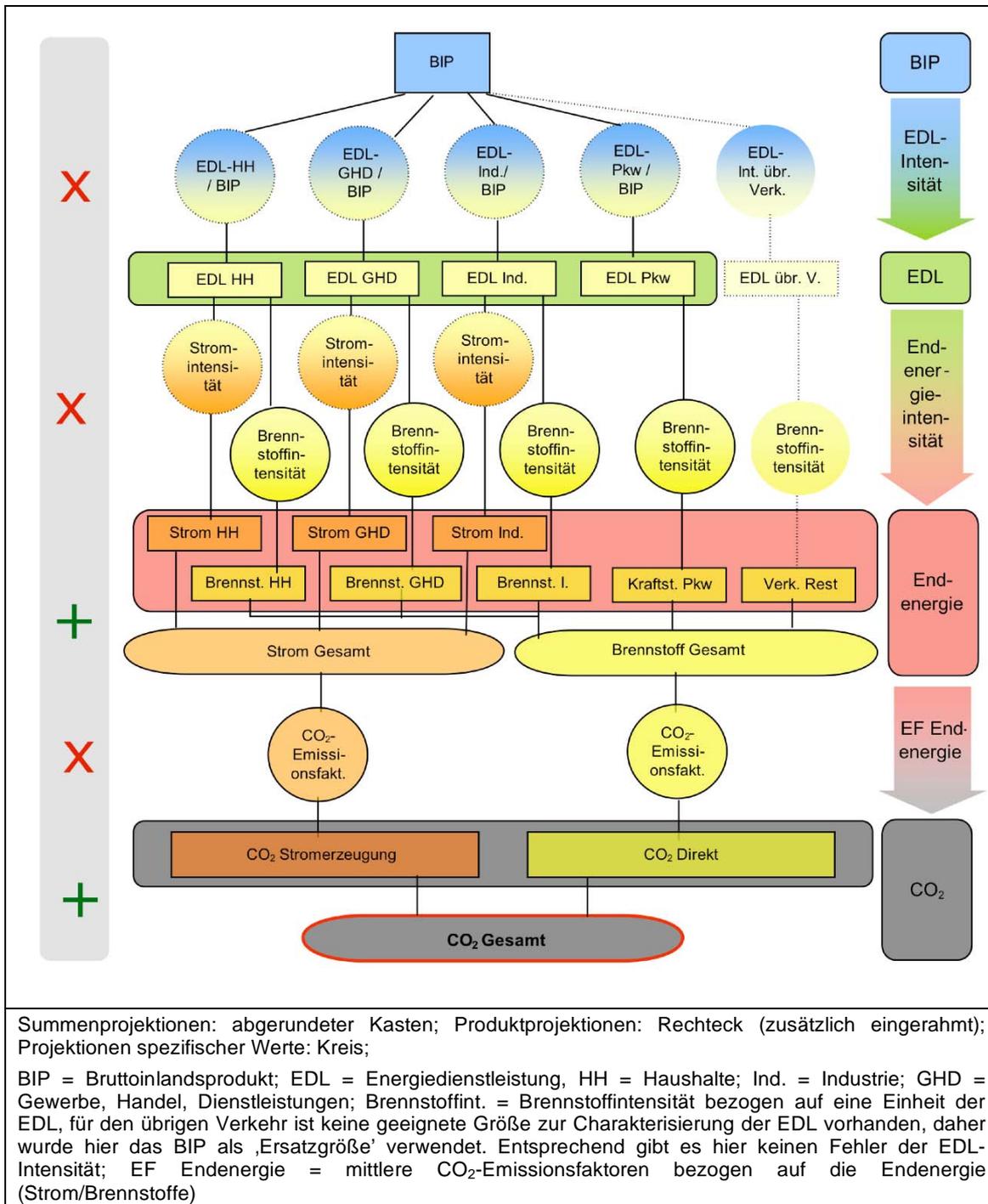
¹⁰⁸ Siehe die Beschreibung des NEMS in Kapitel 4.3.

¹⁰⁹ Nähere Diskussionen der jeweils verfügbaren Prognosedaten und historischen Daten finden sich in den Abschnitten zu den einzelnen Sektoren.

¹¹⁰ Eine weitere Diskussion der Verknüpfung der einzelnen Teilprojektionen sowie der damit verbundenen Fehlerkompensationen findet sich in Abschnitt 7.3.4.

Sie geben an, wie stark sich die EDL-Nachfrage im jeweiligen Sektor in Bezug auf das BIP im Zeitverlauf verändert¹¹¹.

Abbildung 6-1: Verwendetes Analysemodell der Projektionen



Quelle: eigene Abbildung

¹¹¹ Da beide Größen z.T. (z.B. im Haushaltssektor) stark unabhängig voneinander sind, ergeben sich hier z.T. hohe Fehlerkompensationen, Fehlprojektionen des BIP werden dann durch ggf. unabhängige Projektionen der Haushalte oder anderer EDL-Größen kompensiert (s.u.).

- Es ergeben sich im nächsten Schritt die jeweiligen Prognosen der *Energiedienstleistung*. Sie sind hier aus Datenmangel vereinfachend als sektorbezogene EDL-Indikatoren (Zahl der Haushalte, m² Bürofläche, industrielle Wertschöpfung, und Fahrleistung der Pkw) abgebildet.
- Im nächsten Schritt werden die – EDL-bezogenen – Strom- und Brennstoffintensitäten analysiert. Sie geben – als Mischwert über die hier nicht abbildbare Bandbreite einzelner Energiedienstleistungen – den jeweiligen Strom- bzw. Brennstoffeinsatz im entsprechenden Sektor an, der benötigt wird, um eine Einheit der EDL bereit zu stellen. Sie sind damit zugleich ein erster, wenn auch noch sehr grober Näherungswert für die tatsächliche, technische Energieeffizienzentwicklung in den Nachfragesektoren.
- Die sich wiederum multiplikativ ergebenden Strom- und Brennstoffeinsätze der Sektoren summieren sich dann zu den Gesamteinsätzen an Strom und Brennstoffen.
- Aus diesen ergeben sich über entsprechende Emissionsfaktoren der Stromerzeugung (einschließlich Transport und Verteilung) sowie des Brennstoffmixes die CO₂-Emissionen der Strom- bzw. Brennstoffnutzung.
- Im letzten Schritt werden diese dann wieder additiv zu Gesamtemissionen aggregiert.

Die Gesamtprojektion der CO₂-Emissionen setzt sich – entsprechend der hier gewählten Modelldefinition – also über mehrere Aggregationsstufen aus insgesamt 29 Projektionen, davon 15 Produktprojektionen und zwei Summenprojektionen zusammen. Die Gesamtprojektion stellt dabei dann die 30. Projektion und die dritte Summenprojektion dar¹¹². Im Folgenden werden die Projektionen der einzelnen Variablen als Detailprojektionen bezeichnet, aus denen sich letztlich die Gesamtprojektionen der energiebedingten CO₂-Emissionen ergeben.

¹¹² Die sektorbezogenen Analysen weiter unten gehen häufig noch zusätzlich auf den gesamten Endenergieeinsatz des jeweiligen Sektors ein, der sich entweder als Summenprojektion aus den jeweiligen Strom- und Brennstoffeinsätzen ergibt, oder als eigene Produktprojektion, basierend auf der Energieintensität des Sektors. Im eigentlichen Analysemodell wird aber darauf verzichtet, strom- und brennstoffbezogene Ergebnisse bereits auf Sektorebene zu addieren, da hierdurch die Interpretation der CO₂-bezogenen Ergebnisse erschwert wird, denn der Emissionsfaktor bezogen auf die Endenergie hängt dann nicht nur von der Kraftwerkseffizienz und der Brennstoffstruktur sondern auch vom Verhältnis Strom/Brennstoffe ab.

6.2 Datenaufbereitung und Fehlertypen

Im Folgenden werden die Energie- und Emissionsprojektionen der AEOs im Detail anhand der jeweiligen historischen Entwicklung auf ihre Genauigkeit überprüft. Um die Genauigkeit einer Prognose zu überprüfen, d.h. retrospektive Evaluierungen durchzuführen, ist es erforderlich, herauszuarbeiten, was die Prognose genau aussagen sollte und was tatsächlich eingetreten ist. Dazu werden A) geeignete, sowohl historische als auch Prognosedaten als Vergleichsbasis und B) entsprechende Fehlermaße benötigt.

Im Folgenden wird zunächst für jedes dieser beiden Elemente eine kurze Übersicht gegeben. Die Darstellung der Datenaufbereitung im Detail sowie der Fehleranalysen erfolgt dann in den jeweiligen Abschnitten in Kapitel 6.3.

6.2.1 Aufbereitung geeigneter historischer Zeitreihen

Um eine Überprüfung der Genauigkeit der Projektionen anhand historischer Vergleichsdaten vornehmen zu können, müssen zum einen detaillierte Angaben aus den Projektionen, den AEOs, verfügbar sein, zum anderen müssen die entsprechenden historischen Zeitreihen in analoger Definition verfügbar sein. Diese zunächst trivial erscheinende Forderung wirft bei näherem Hinsehen größere Probleme für die Durchführung retrospektiver Überprüfungen von Prognosen auf¹¹³:

- Zum Teil bauen die Projektionen auf Modellen auf, in denen Trends simuliert werden, die nicht immer auch statistisch bekannt sind. Dies betrifft hier vor allem die Ebene der Energiedienstleistung. Die Submodelle des NEMS enthalten mehr oder weniger detaillierte Repräsentationen der Nachfragesektoren. Die Daten dafür sind aber teilweise nicht statistisch erfasst (z.B. der Stromverbrauch bestimmter Geräte) oder werden nur periodisch über Stichprobenerhebungen ermittelt. D.h., in diesen Fällen sind zwar detaillierte Prognosen erstellt worden, es sind aber keine entsprechenden Daten zur Prüfung ihrer Genauigkeit vorhanden¹¹⁴.
- Häufig werden auch detaillierte Daten der Prognosen nicht in den entsprechenden Berichten ausgewiesen, so dass auch von dieser Seite eine Beschränkung entsteht. Dies betrifft z.B. den Verkehrsbereich, für den keine Prognoseergebnisse nach Verkehrsträgern veröffentlicht werden, was die entsprechende Vergleichbarkeit mit historischen Daten erschwert (s.u.). Auch im Industriebereich enthalten die Projektionen wesentlich mehr Details, als veröffentlicht werden. So wurden – ausschließlich – für den AEO'02 detaillierte Angaben zur Projekti-

¹¹³ Vgl. Koomey u.a. (2003, 87).

¹¹⁴ Hinzu kommt, dass diese Daten auch nicht in den AEOs veröffentlicht wurden und daher auch aus diesem Grund nicht für eine Evaluierung zur Verfügung stehen.

on des Energieeinsatzes der Industrie nach Branchen sowie Technologien veröffentlicht (Unruh 2002), die normalerweise nicht zur Verfügung stehen.

- Drittens werden historische Zeitreihen z.T. später durch methodische Verbesserungen verändert, so dass Brüche in Zeitreihen entstehen und die aktuell verfügbaren historischen Zeitreihen effektiv in einer anderen Definition erhoben worden sind als die Prognose derselben Zeitreihe. In diesen Fällen hat die Prognose eine anders definierte Größe prognostiziert, als heute berichtet wird, wodurch entsprechende – nicht der Prognose zuzurechnende – Fehler entstehen. Beispiele hierfür finden sich z.B. im Bereich des BIP und der EDL der Industrie.

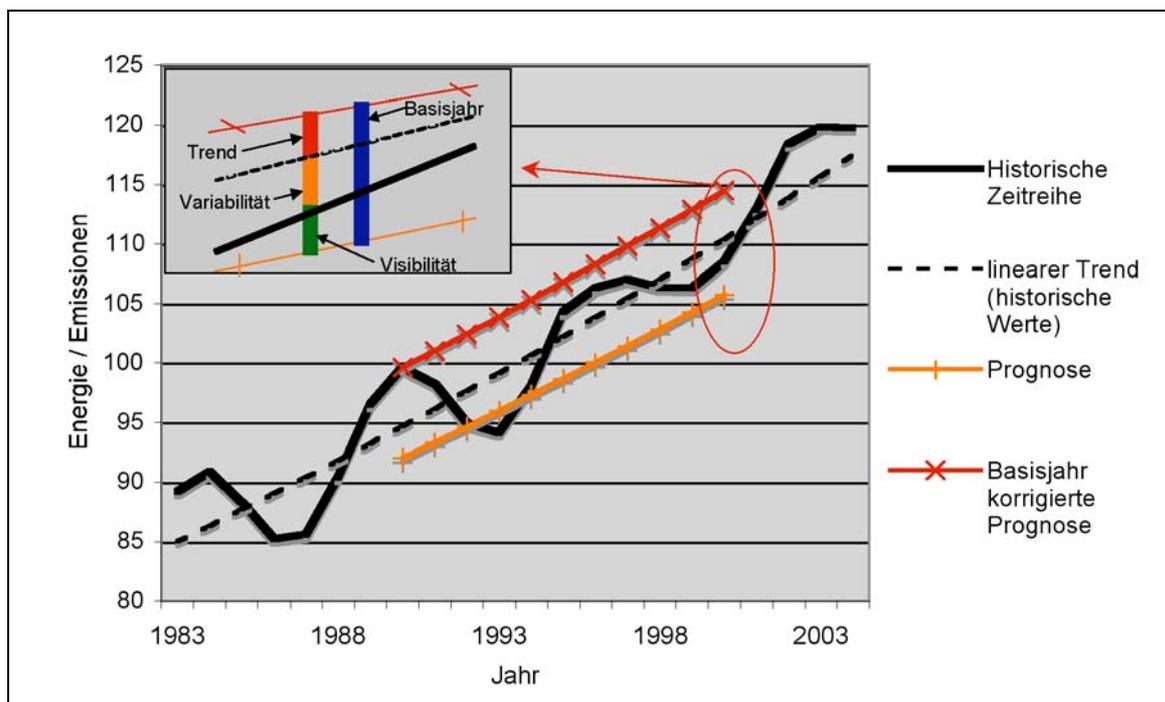
Die im Rahmen dieser Arbeit konkret auftretenden Probleme der Datenaufbereitung werden in den jeweiligen Abschnitten zu den einzelnen Nachfragesektoren im Detail diskutiert.

6.2.2 Fehleraufteilung

Neben der Aufbereitung vergleichbarer historischer und Prognosedaten müssen entsprechende Fehlermaße eingesetzt werden, um die Genauigkeit der Projektionen in Bezug auf ihre eigentliche Intention beurteilen zu können.

Dazu werden die sichtbaren Fehler (d.h. die Differenz zwischen den Prognosewerten und den historischen Werten) in Anlehnung an die Methodik von O’Niell und Desai (2005) auf drei verschiedene Fehlerkomponenten (siehe Abbildung) aufgeteilt.

Abbildung 6-2: Fehleraufteilung und Fehlertypen der ex-post Analyse von Energie- und Emissionsprojektionen



Quelle: eigene Abbildung, verändert nach O’Niell, Desai (2005, 983)

Der sichtbare Fehler, der sich aus dem direkten Vergleich der historischen Daten mit den in der Prognose projizierten Werten ergibt (Visibilität), hat zunächst nur eine geringe Aussagefähigkeit. Er wird hier in seine (sich, wie die Abbildung zeigt, ggf. gegenseitig kompensierenden) Komponenten Basisjahrfehler, Variabilitätsfehler und Trendfehler aufgeteilt. Diese drei Fehlerkomponenten werden im Folgenden näher erläutert.

6.2.2.1 Basisjahrfehler

Der Basisjahrfehler gibt die Abweichung der Prognose von den historischen Daten im Startjahr an. In UN Bevölkerungsprognosen wurde der Basisjahrfehler von Detailedaten als teilweise wichtigster Grund für Abweichungen der Projektionen von der Realität erkannt (Keilmann 1998, 37).

Hintergrund für diesen Fehler ist die Tatsache, dass die meisten Projektionsmodelle im Kern überwiegend auf Veränderungsraten von Parametern beruhen, die an die jeweiligen letzten verfügbaren Ist-Daten angepasst werden.

Da die historischen Daten aber in der Regel erst mit einer mehr oder weniger großen Verzögerung zur Verfügung stehen, wird oft auf vorläufige Daten oder auf Schätzungen der aktuellen Daten zurückgegriffen. Beide Wertetypen können aber mehr oder weniger signifikante Fehler aufweisen, die sich entsprechend in der Prognose fortsetzen.

Der Basisjahrfehler von Projektionen wird hier als prozentuale Abweichung des Prognosewerts im Startjahr von der – im Nachhinein bekannten – historischen Datenreihe berechnet:

Gleichung 6-1: Basisjahrfehler

$$BE_{P,A} = \frac{X_{P,t_0}}{X_{hist,t_0}} \cdot 100$$

wobei:

- $BE_{P,A}$: Basisjahrfehler der Prognose P , des Jahrgangs A
- X_{P,t_0} : Prognosewert der Prognose P für das Startjahr t_0
- X_{hist,t_0} : Historischer Wert für das Jahr t_0

Abweichend wäre es auch denkbar, den Basisjahrfehler auf den linearen Trend der historischen Zeitreihe und nicht auf einen einzigen Jahreswert zu beziehen. Denn es ist ja gerade nicht Ziel der Projektion z.B. klimabedingte Schwankungen der Basisdaten zu berücksichtigen¹¹⁵. Das Problem hierbei ist allerdings, dass es im Nachhinein schwer ist, festzulegen, auf welchen linearen Trend sich die Autoren der Projektion hätten beziehen wollen bzw. sogar bezogen haben.

Die entsprechenden Startjahre der Projektionen, d.h. das jeweils letzte Jahr, für das historische Daten verwendet wurden, ergeben sich aus den Beschreibungen in den AEOs. In einigen AEOs waren hierzu allerdings keine Angaben verfügbar, so dass das

¹¹⁵ Daher verwenden viele Projektionen ohnehin klimabereinigte Basisdaten.

Startjahr in Anlehnung an die übliche Vorgehensweise der EIA festgelegt wurde. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die jeweiligen Startjahre der Projektionen, wobei für alle in den AEOs enthaltenen und hier evaluierten Teilprojektionen das gleiche Startjahr zugrunde gelegt wurde.

Tabelle 6-1: Basisjahre der verwendeten AEOs

AEO	Basisjahr		
	verifiziert	Vermutet	verwendet
1983	1983		1983
1984		1983	1983
1985	1984		1984
1986	1985		1985
1987	1986		1986
1988	kein AEO (Umstellung der Benennungskonvention)		
1989	1987		1987
1990		1988	1988
1991	1989		1989
1992		1990	1990
1993		1991	1991
1994		1992	1992
1995		1993	1993
1996		1994	1994
1997	1995		1995
1998	1996		1996
1999	1997		1997
2000	1998		1998
2001	1999		1999
2002	2000		2000
2003	2001		2001
2004	2002		2002

Quelle: eigene Zusammenstellung, AEOs der EIA (div. Jg.)

6.2.2.2 Variabilitätsfehler

Der zweite Fehler, der Variabilitätsfehler, errechnet sich aus der Abweichung der historischen Daten vom linearen Trend und berücksichtigt den Effekt, dass mittel- und langfristige Projektionen typischerweise längerfristige Trends, nicht aber die kurzfristigen, z.B. klima- oder konjunkturbedingten Schwankungen prognostizieren sollen. Der Variabilitätsfehler hängt also nur vom betrachteten Zeitraum ab. Idealerweise wird er als Abweichung vom linearen Trend des Projektionszeitraum der zu evaluierenden Projektion gebildet.

Gleichung 6-2: Variabilitätsfehler

$$VE_{H,t} = \frac{X_{hist,t}}{Trend_{H,t}} \cdot 100$$

wobei:

$VE_{H,t}$: Basisjahrfehler der historischen Zeitreihe H , für das Jahr t

$Trend_{H,t}$: Wert des Trends der historischen Werte (hier: linearer Trend der Jahre 1992 bis 2004) für Jahr t

$X_{hist,t}$: Historischer Wert von H für das Jahr t

Hierbei sind allerdings zwei Aspekte zu beachten:

- Zunächst liegt der Bildung eines linearen Trends zur Herausfilterung von kurzfristigen Schwankungen lediglich die Annahme zugrunde, dass die Projektion eine mehr oder weniger lineare Entwicklung projizieren wollte. Diese Annahme ist allerdings für die meisten Detailprojektionen als pragmatisch zu rechtfertigen, weil auch exponentielle Projektionen mit kleinem Exponenten einen über die hier relevanten eher kurzen Zeiträume einen annähernd linearen Verlauf zeigen. Eventuelle Brüche in Trends, die durch diese Annahme ggf. verdeckt würden sind dagegen ohnehin sehr selten (siehe unten Abschnitt 7.2.3).
- Zum anderen ist es bei Projektionen, deren Prognosehorizont noch nicht erreicht ist, schwer zu entscheiden, welcher Trend der Bildung des Variabilitätsfehlers zugrunde zu legen ist, da der Projektionszeitraum nicht dafür in Frage kommt.

Hier wird für den Variabilitätsfehler in Anlehnung an das Vorgehen von O’Niell und Desai (2005), der lineare Trend des Untersuchungszeitraums zugrunde gelegt. Dabei werden je nach Analyse entweder der lineare Trend der Jahre 1983 bis 2004 oder der Trend der Jahre 1992 bis 2004 zugrunde gelegt. Der letztere wird in diesem Kapitel generell genutzt, da die hier durchgeführten Analysen die Energiedienstleistungsebene einbeziehen, für die die Projektionen erst ab dem AEO’92 überhaupt Prognosedaten liefern.

Die Abweichung, die sich daraus ergibt, dass der Variabilitätsfehler für jedes Kalenderjahr nur einmal berechnet wird – mit dem linearen Trend des Zeitraums 1992 bis 2004 – und nicht für jeden AEO mit dem jeweiligen Startjahr neu beginnend, scheint hier tolerabel. Die Trends unterscheiden sich im Regelfall nur geringfügig. Allerdings sollte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden, dass bei der Variabilitätsfehlerbildung leichte Unschärfen möglich sind.

6.2.3 Trendfehler

Der dritte Fehlertyp ist der Trendfehler. Er ist der entscheidende Fehler, da er bereits um die Effekte des Basisjahrfehlers und des Variabilitätsfehlers (s.o.) bereinigt wurde.

Der Trendfehler misst also den Fehler, der um etwaige Basisjahrabweichungen bereinigten Projektionen gegenüber dem linearen Trend (siehe oben, Abbildung 6-2).

Damit vergleicht er letztlich die projizierte Veränderung einer Prognosevariablen mit der linearisierten historischen Entwicklung derselben Variablen. Die – häufig bestehenden – Abweichungen im Basisjahr wurden durch die Basisjahrkorrektur der Werte bereinigt, die periodischen Schwankungen in der historischen Zeitreihe mit dem Variabilitätsfehler geglättet.

Der Trendfehler gibt somit den ‚eigentlichen Fehler‘ der Projektion an, indem er ‚Störereignisse‘, die von der Projektion auch nicht projiziert werden sollten, gezielt ausblendet.

Die Basisjahrkorrektur erfolgt dabei analog zum Vorgehen bei der Ermittlung des Basisjahrfehlers, d.h. alle Werte der Projektion werden mit dem Faktor multipliziert, der sich aus dem Verhältnis des Basisjahrwertes, der Projektion und dem entsprechenden Realwert ergibt.

Die so modifizierten Projektionswerte werden dann mit dem linearen Trend der Jahre 1992 bis 2004 verglichen¹¹⁶ und die relative Abweichung der Projektionswerte vom linearen Trend ermittelt. Dabei handelt es sich dann um die Trendfehler für die einzelnen Prognosejahre.

Gleichung 6-3: Trendfehler

$$TE_{P,t} = \left(\frac{P_t}{\frac{P_{t_0}}{Trend_{Ht}} - 1} \cdot \frac{H_{t_0}}{H_t} - 1 \right) * 100$$

wobei:

- $TE_{P,t}$: Trendfehler der Prognose P für das Jahr t
- P_t : Prognosewert des Jahres t
- P_{t_0} : Prognosewert des Startjahres t_0
- $Trend_{Ht}$: Wert des linearen Trends der historischen Werte für Jahr t
- H_{t_0} : Historischer Wert des Startjahres t_0

Im Folgenden wird der in Gleichung 6-3 definierte Trendfehler in der Regel als Durchschnittswert für einen bestimmten Prognosehorizont angegeben. Dann ist der Trendfeh-

¹¹⁶ Die älteren Projektionen werden abweichend mit dem linearen Trend der Jahre 1983 bis 2004 verglichen. Für Prognosen spezifischer Variablen (EDL-Intensität, Strom-, Brennstoff- und Endenergieintensität, Emissionsfaktor) wird zudem der lineare Trend nicht autonom aus den jeweiligen Ist-Werten gebildet, sondern als Quotient der Trends der vor- und der nachgelagerten Projektion gebildet. Dieses Vorgehen hat den Vorteil einer konsistenteren Fehlerbestimmung, d.h. die zusammenhängenden Trends lassen sich auseinander errechnen, was bei einer unabhängigen Trendbildung der spezifischen Werte nicht möglich wäre: Es ergäben sich dann zwei Trends z.B. der historischen CO₂-Emissionen, einmal der Trend der sich als Produkt der Trendwerte der Endenergieeinsätze und der Emissionsfaktoren errechnet und der davon abweichende Trend der historischen CO₂-Emissionswerte.

ler einer bestimmten Projektion für einen Prognosehorizont von n (z.B. 3, 5 oder 7) Jahren der Mittelwert der Fehler der ersten n Jahre der Projektion.

Wird dagegen nur ein Trendfehler nur für einen AEO angegeben, dann handelt es sich jeweils um den Mittelwert aller hier evaluierbaren Jahre, d.h. den Mittelwert der Jahre vom ersten Projektionsjahr bis zum Endjahr der Projektion bzw. bis zum Jahr 2004 (falls die Projektion noch länger läuft).

6.2.4 CO₂-gewichteter Trendfehler

Die vorliegende Untersuchung hat letztlich zum Ziel, den Trendfehler der CO₂-Emissionsprojektionen der AEOs zu ermitteln. Dieser wiederum setzt sich aus verschiedenen Teilfehlern zusammen. Um diese Teilfehler in ihrem Zusammenwirken besser beurteilen zu können, wird im Folgenden neben den prozentualen Trendfehlern (bezogen auf die jeweilige Projektion) auch ein CO₂-gewichteter Trendfehler berechnet.

Tabelle 6-2: Anteile der Nachfragesektoren an den energiebedingten CO₂-Emissionen der USA, von 1983 bis 2004 / Wichtungsfaktoren

In %	Haushalte			GHD			Industrie			Verkehr			Summe		
	Str.	Brst.	Ges.	Str.	Brst.	Ges.	Str.	Brst.	Ges.	Pkw	ü. V.	Ges.	Str.	Brst.	Ges.
1983	12,1	7,8	20,0	10,0	5,2	15,2	12,5	21,3	33,8	20,0	11,0	31,0	34,7	65,3	100
1984	11,7	7,6	19,3	10,0	5,2	15,1	12,6	22,6	35,2	19,3	11,0	30,3	34,3	65,7	100
1985	12,0	7,7	19,7	10,4	4,8	15,2	12,6	21,7	34,3	19,7	11,1	30,8	35,1	64,9	100
1986	12,1	7,5	19,5	10,5	4,7	15,3	12,2	21,0	33,3	19,5	12,4	31,9	34,9	65,1	100
1987	12,2	7,3	19,5	10,7	4,6	15,3	12,3	21,2	33,5	19,5	12,3	31,8	35,1	64,9	100
1988	12,2	7,4	19,6	10,7	4,6	15,3	12,2	21,3	33,5	19,6	12,1	31,6	35,1	64,9	100
1989	12,3	7,4	19,7	11,0	4,6	15,6	12,5	20,8	33,3	19,7	11,8	31,5	35,9	64,1	100
1990	12,3	6,8	19,1	11,1	4,5	15,6	12,5	21,3	33,9	19,1	12,4	31,5	36,0	64,0	100
1991	12,5	7,0	19,6	11,2	4,6	15,8	12,4	20,8	33,3	19,6	11,8	31,4	36,3	63,7	100
1992	12,1	7,1	19,2	11,0	4,5	15,5	12,6	21,6	34,2	19,2	12,0	31,1	35,8	64,2	100
1993	12,8	7,2	20,0	11,4	4,4	15,7	12,5	20,7	33,2	20,0	11,0	31,0	36,7	63,3	100
1994	12,6	7,0	19,6	11,4	4,3	15,7	12,6	20,7	33,3	19,6	11,8	31,4	36,7	63,3	100
1995	12,7	6,9	19,5	11,6	4,3	15,9	12,3	20,7	33,0	19,5	12,1	31,6	36,6	63,4	100
1996	12,8	7,1	19,9	11,6	4,4	15,9	12,2	20,6	32,8	19,9	11,4	31,3	36,6	63,4	100
1997	12,8	6,7	19,5	12,2	4,3	16,5	12,3	20,4	32,7	19,5	11,7	31,3	37,4	62,6	100
1998	13,7	6,1	19,7	12,7	4,0	16,6	12,3	19,6	32,0	19,7	11,9	31,7	38,7	61,3	100
1999	13,6	6,4	20,0	12,6	3,9	16,6	12,1	19,3	31,4	20,0	12,1	32,1	38,4	61,6	100
2000	13,6	6,5	20,2	13,3	4,1	17,3	12,2	18,4	30,6	20,2	11,7	31,9	39,1	60,9	100
2001	14,0	6,4	20,4	13,9	4,0	17,9	11,2	18,4	29,6	20,4	11,7	32,1	39,1	60,9	100
2002	14,3	6,5	20,8	13,6	4,0	17,7	11,2	18,0	29,2	20,8	11,5	32,3	39,3	60,7	100
2003	14,4	6,6	21,1	13,6	4,1	17,7	11,4	17,5	29,0	21,1	11,1	32,2	39,6	60,4	100
2004	14,4	6,5	20,8	13,6	3,9	17,5	11,3	17,7	29,1	20,8	11,8	32,6	39,4	60,6	100

Str.: Anteilige Emissionen aus dem Stromeinsatz des Sektors; Brst.: Emissionen des Brenn-/Kraftstoffeinsatzes;
Ges.: Anteilige Emissionen des Endenergieeinsatzes des Sektors; ü.V.: Emissionen des übrigen Verkehrs (incl. Strom)

Quelle: eigene Berechnung, AEO 2003

Der CO₂-gewichtete Trendfehler errechnet sich dabei aus dem Trendfehler (TE, siehe oben) gewichtet mit dem Anteil des jeweiligen Subsektors (siehe Tabelle 6-2) auf den

sich der Fehler bezieht an den gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen im jeweiligen Jahr.

Der gewichtete Trendfehler weist damit direkt aus, wie groß der Fehler der Prognose der gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen der USA gewesen wäre, wenn alle anderen Faktoren richtig prognostiziert worden wären.

Die CO₂-gewichteten Fehler lassen sich entweder multiplikativ (für Projektionen die multiplikativ verknüpft sind) oder additiv direkt miteinander zu den jeweiligen Fehlern der nächsten Stufe der Projektion verknüpfen. Hierdurch lassen sich die Fehler einzelner Teilprojektionen besser zueinander in Beziehung setzen.

6.2.5 Lineare Extrapolation als Kontrollgröße

Um die ermittelten Fehler für die einzelnen Projektionen besser beurteilen zu können, wird hier zusätzlich eine Kontrollgröße gebildet. Hierzu wird für jede hier untersuchte Projektion jedes AEO eine zweite Projektion erstellt. Diese wird ohne Verwendung eines Modells ausschließlich als lineare Extrapolation der jeweils letzten sechs Jahre der historischen Zeitreihe der jeweiligen Größe erstellt¹¹⁷. D.h., es ergibt sich eine einfache schematische Projektion, die der gleichen Fehleranalyse unterzogen wird, wie die eigentliche Projektion. Aus dem Vergleich der Trendfehler beider Projektionen ergibt sich eine erste Messlatte für die Genauigkeit der AEO-Projektionen. Dabei muss allerdings mit Vorsicht vorgegangen werden, denn die bloße Tatsache, dass eine Projektion einer Variablen einen höheren Fehler aufweist als eine schlichte Trendextrapolation, ist noch kein Qualitätsmaß, denn dieser Effekt könnte sich auch rein zufällig ergeben haben. Aus der Häufung solcher Effekte z.B. für einzelne Variablen können allerdings durchaus Schlussfolgerungen gezogen werden.

6.2.6 Fehlerdarstellung

Die folgenden Analysen beziehen sich schwerpunktmäßig auf 13, insgesamt auf 21 Projektionen der energiebedingten CO₂-Emissionen der USA¹¹⁸. Dabei werden je AEO bis zu 36 Teilprojektionen¹¹⁹ berücksichtigt, die sich zusammen zur Projektion der CO₂-Emissionen kombinieren (siehe Projektionsmodell, Abbildung 6-1). Für jede dieser Teilprojektionen werden Fehler für jedes projizierte historische Jahr bis einschließlich 2004 gebildet. Das bedeutet, dass für jeden der betrachteten Fehlertypen bzw. Fehlerkomponenten größenordnungsmäßig 1'000 einzelne Fehler berechnet werden. Für

¹¹⁷ Die Regressionsgerade für die Vergangenheitsdaten wird nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet.

¹¹⁸ Für die 13 AEOs von 1992 bis 2004 liegen Angaben zur Berteilung der EDL-Ebene vor. Daher werden sie im Folgenden schwerpunktmäßig analysiert.

¹¹⁹ Bruttoinlandsprodukt, EDL-Intensität der 4 Nachfragesektoren (für den Verkehrssektor werden 2 Intensitäten unterschieden), EDL der Nachfragesektoren, Strom- und Brennstoffintensitäten der Nachfragesektoren, Strom-, Brennstoff- und Endenergieeinsätze, CO₂-Emissionen und Emissionsfaktoren für Strom und Brennstoffe sowie Endenergie.

jede einzelne Projektion sind es, je nach Alter der Projektion, immer noch im Durchschnitt mehr als 100 Einzelfehler pro Fehlertyp.

Um diese Fülle an Ergebnissen zu systematisieren, wurden mehrere Darstellungsformen gewählt, die die Fehler zu sinnvollen und interpretierbaren Aggregaten zusammenfassen:

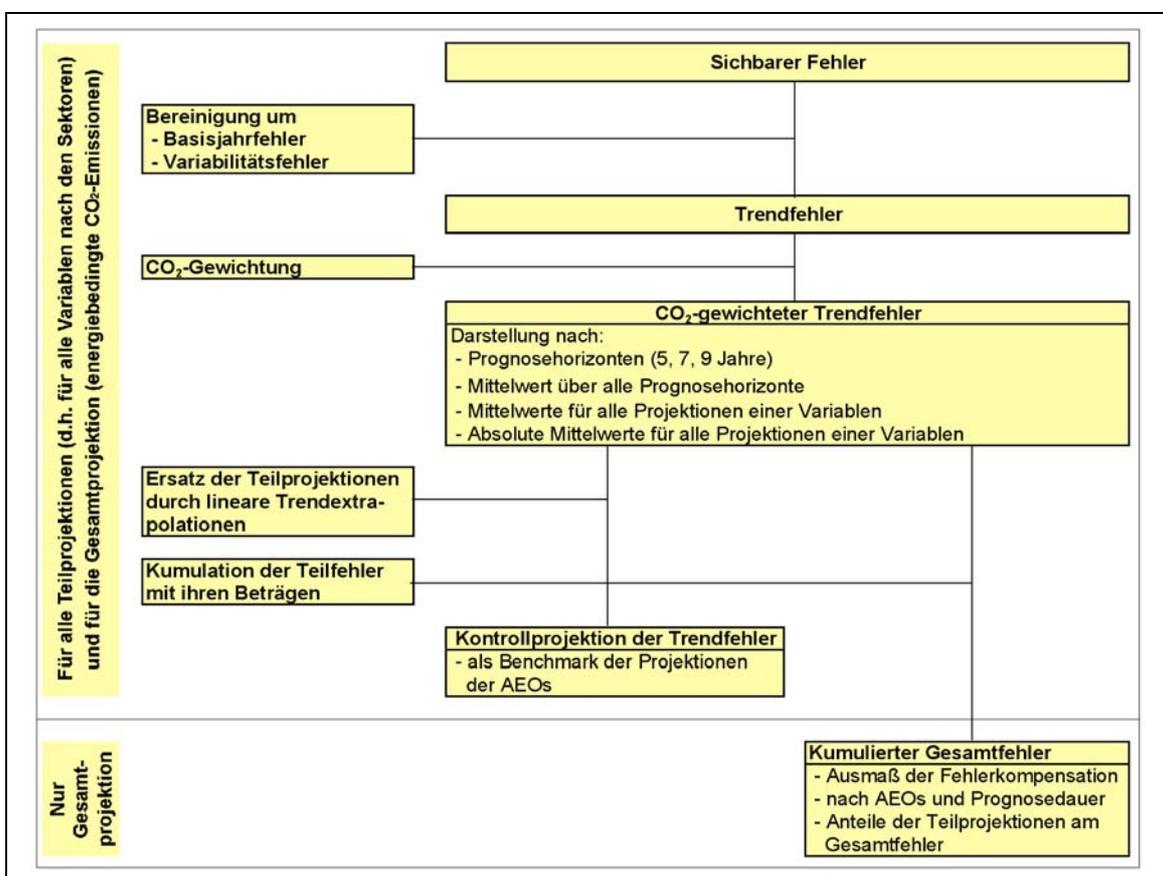
- Für jeden Fehlertyp jeder Teilprojektion wird für jeden AEO der *Mittelwert der Fehler* gebildet. D.h., für jeden AEO wird – für die jeweils evaluierbare Prognoseperiode – ein mittlerer Fehler gebildet. Damit sind die einzelnen AEOs in Bezug auf den jeweiligen Fehlertyp und die jeweilige Teilprojektion miteinander vergleichbar. Die Mittelwertbildung hat jedoch zwei Nachteile. Einzelfehler mit entgegengesetzten Vorzeichen kompensieren sich gegenseitig und im Vergleich der AEOs miteinander muss beachtet werden, dass jeder AEO sowohl eine andere Prognoseperiode als auch eine andere Prognosedauer abdeckt. Um diese Schwachpunkte auszugleichen werden weitere Darstellungsformen hinzugezogen.
- Zunächst wird – ebenfalls für die gesamte jeweils relevante Prognoseperiode – zusätzlich der *Mittelwert der Absolutwerte der Einzelfehler* gebildet (kurz: Absoluter Mittelwert). Dieser Mittelwert vermeidet Fehlerkompensationen zwischen Fehlern mit entgegengesetzten Vorzeichen.
- Um die Tatsache zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Projektionen jeweils unterschiedliche Prognosedauern aufweisen¹²⁰, wird zusätzlich der *Mittelwert der Fehler über eine bestimmte Prognosedauer* gebildet. Im Folgenden werden aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Regel die mittleren Fehler für Prognosedauern von 5, 7 und 9 Jahren dargestellt.

¹²⁰ Diese Unterscheidung ist wichtig, weil die Prognosedauer häufig einen wichtigen Einfluss auf die Fehlerhöhe hat (siehe die entsprechenden Analysen in Kap. 7.3.2).

6.3 Fehleranalyse der Projektionen des BIP und der Nachfragesektoren

Im Folgenden werden die Fehler der im hier zugrunde gelegten Projektionsmodell (siehe Abbildung 6-1) vorkommenden Größen im Einzelnen analysiert. Dazu werden die voranstehend genannten Fehleranalysen jeweils für das BIP und die einzelnen Nachfragesektoren getrennt dokumentiert. Am Ende erfolgt dann eine analoge Analyse des Gesamtfehlers bezogen auf die hier im Zentrum stehende Projektion der CO₂-Emissionen. Das folgende Schema gibt eine Übersicht über die prinzipielle Vorgehensweise.

Abbildung 6-3: Ablaufschema der quantitativen Fehleranalyse



Quelle: eigene Darstellung

Zunächst wird dabei für das BIP sowie die Nachfragesektoren jeweils kurz die Datenaufbereitung skizziert und anschließend die sichtbaren Fehler, die Basisjahr- und die Variabilitätsfehler. Nach einer Bereinigung um Basisjahr- und Variabilitätsfehler ergeben sich dann die Trendfehler der Projektionen, die den ‚eigentlichen‘ Fehler darstellen (s.o.).

Die Trendfehler werden schließlich im Detail für die einzelnen Variablen dargestellt und interpretiert, sowohl als Mittelwert für jeden AEO als auch bezogen auf verschiedene Projektionsdauern. Gleichermaßen werden auch die CO₂-gewichteten Trendfehler analysiert, die einen direkten Rückschluss der Auswirkungen der Detailfehler auf das Gesamtergebnis ermöglichen.

Zusätzlich werden die Trendfehler aller Teilprojektionen mit den entsprechenden Fehlern einer Kontrollprojektion, der linearen Trendextrapolation der jeweils letzten sechs Jahre der historischen Zeitreihe, verglichen, die als eine Messlatte für die Qualität der Projektion gelten kann.

Für die letztendliche Analyse der Fehler der Projektionen der energiebedingten CO₂-Emissionen wird neben den vorgenannten Fehlermaßen – nun bezogen auf das Gesamtergebnis –, zusätzlich der kumulierte Gesamtfehler gebildet. Dieser gibt an, in welcher Art und in welchem Ausmaß sich die Fehler der einzelnen Detailprojektionen gegenseitig kompensieren.

6.3.1 Fehleranalyse der Projektionen des Bruttoinlandsprodukts

Das Bruttoinlandsprodukt ist die grundlegende ‚Treibergröße‘ der Energieprojektionen (vgl. O’Niell, Desai 2005, 988). Es geht zum Teil direkt als wesentliche Komponente der Energiedienstleistung – z.B. in der Industrie, deren prognostizierte Wertschöpfung (value added) eine Teilkomponente des Bruttoinlandsprodukt bildet – oder indirekt über abhängige Größen wie die Flächenentwicklung im GHD-Sektor, das Budget der Privathaushalte (das dann über die verfügbaren Finanzmittel für Investitionsentscheidungen in Haushalten sowie im Personenverkehr maßgeblich ist) und die Güterverkehrsnachfrage in die Projektionen ein¹²¹. Auch wenn andere Größen, wie z.B. Einwohner, Zahl der Haushalte etc., weitere wichtige Inputvariablen der Energieprojektionen sind, so ist das BIP dennoch das ‚beste zusammenfassende Maß für das gesamtwirtschaftliche Wachstum [...] und damit ein guter Näherungswert für den globalen Einfluss ökonomischer Aktivitäten auf die Energiemärkte‘ (Wade 2007, 2¹²²).

Bei der Erstellung der AEOs wird die BIP-Projektion¹²³ extern vorgegeben. Sie stammt aus einem umfangreichen Modell des Beratungsunternehmens DRI (Data Resources Inc.) (EIA 1998a, 14), einer Tochter des Unternehmens Global Insight. Das Macroeconomic Activity Module (MAM) des NEMS nutzt die externe BIP-Prognose, um die

¹²¹ Damit wird lediglich die Bedeutung des Bruttoinlandsprodukts im NEMS und damit für die Erstellung der Energie- und Emissionsprojektionen beschrieben. Das heißt aber nicht, dass diese Kausalität in allen Fällen auch in der Realität existiert. Insbesondere soll hier klargestellt werden, dass es sich bei der Relation aus BIP und Energieeinsatz definitiv nicht um eine unbeeinflussbare oder gar konstante Größe handelt, eine Ansicht, die in den 1970er Jahren vielfach vertreten wurde (vgl. Koomey 2002, 512).

¹²² Eigene Übersetzung des englischen Originals. Ebenso äußern sich z.B. Earley und Honeycut (2005, 1).

¹²³ Normalerweise werden drei Varianten, eine Referenz-, eine obere und eine untere Variante verwendet (vgl. z.B. EIA 1998a, 14). Hier liegt der Fokus aber auf der Referenzvariante.

Feedbacks des BIP mit den Energiesektoren in der jeweiligen Projektion abzubilden. Durch diese Rückwirkungen werden auch die BIP-Projektionen selbst modifiziert (vgl. EIA 1998a, 13ff). Diese Feedbacks sind allerdings gesamtwirtschaftlich gesehen sehr klein und verändern das extern prognostizierte BIP – wenn überhaupt – nur in geringem Maße (Wade 2007, 1).

Trotz dieser zentralen Bedeutung des BIP für die Energie- und Emissionsprojektionen haben sich die entsprechenden Projektionen in den vorliegenden Evaluierungen als eine der fehleranfälligen Größen erwiesen (vgl. Wade 2007, 2,7, O’Niell, Desai 2005, 988).

Um die Prognosefehler der BIP-Projektionen näher analysieren zu können, muss zunächst geklärt werden, wie Prognosegrößen und Realdaten miteinander vergleichbar sind. Während diese Frage bei den physikalischen Energiegrößen noch recht einfach zu beantworten ist, besteht hier für den Bereich des BIP ein größeres Problem.

Die Realwerte, d.h. die historischen BIP-Zeitreihen werden durch das Bureau of Economic Analysis (BEA) des US-Handelsministeriums erstellt. Dabei werden sowohl Nominalzeitreihen, d.h. in jeweiligen Preisen als auch Realzeitreihen geführt. Diese Werte werden jedoch regelmäßig etwa alle fünf Jahre revidiert und verbessert. Die größten methodischen Veränderungen waren dabei die Umstellung der Ausweisung vom Bruttosozialprodukt (BSP) auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Jahr 1992 (BEA 1991, 8) sowie die Umstellung der Umrechnung der nominalen in reale Werte, die seit dem Jahr 1996 mit verketteten Werten durchgeführt wird (Parker et al. 1995, 39ff). Zusätzlich wird der erfasste Bereich der Wirtschaftsaktivitäten von Zeit zu Zeit an den aktuellen Stand der Diskussion angepasst¹²⁴.

Während die Umstellung vom BSP auf das BIP nur kleine Änderungen in den Absolutwerten verursachte und nur geringe Kompatibilitätsprobleme zwischen Prognosen (bis einschließlich AEO’92 als BSP) und Realdaten bewirkt hat, hat die Umstellung auf verkettete Realwertreihen größere Auswirkungen, da die realen Projektionen, die in den AEOs bis einschließlich AEO’97 mit einem fixen Basisjahr erstellt wurden, nun nicht mehr mit den verketteten Werten der historischen Zeitreihen vergleichbar sind¹²⁵ (Earley, Honeycut 2005, 3). Die IEA nutzt in ihrer jährlichen Evaluierung der AEOs vor diesem Hintergrund die nominalen BIP-Werte zur Fehleranalyse. O’Niell und Desai dagegen untersuchen die BIP-Prognosen in realen Werten, wofür sie die Projektionen

¹²⁴ Eine derartige Veränderung im Rahmen einer Revision der BIP-Berechnung – die Berücksichtigung staatlicher Investitionen – wird, einschließlich ihrer Effekte auf die BIP-Berechnung, von Parker et al. (1995, 34ff) näher dargestellt. Eine Übersicht über die Veränderungen gibt Fixler (2004).

¹²⁵ Zur Erläuterung der Unterschiede der beiden Konzepte siehe z.B. Parker et al. (1995, 39ff) oder Landefeld et al. (2003).

der AEOs, die auch als Realwerte mit verschiedenen Basisjahren vorliegen, in verkettete 1996er \$-Werte umrechnen (2005, 982)¹²⁶.

Entscheidend für die Untersuchung der Genauigkeit der BIP-Projektionen ist die Tatsache, dass die BEA nach jeder größeren Revision die Zeitreihen aktualisiert und ab diesem Zeitpunkt nur noch Zeitreihen gemäß der nun geltenden BIP-Definition veröffentlicht. D.h., dass die heute verfügbaren historischen Daten ein anderes BIP beschreiben, als die entsprechenden zeitgenössischen Statistiken, selbst wenn die nominalen Werte verglichen werden. Typischerweise weisen die heute verfügbaren Zeitreihen (siehe z.B. BEA 2004) für weiter zurückliegende Jahre ein höheres BIP aus, als es seinerzeit veröffentlicht wurde, da die heutige Definition des BIP eine umfassendere ist (Fixler 2004, 3). Dieses Problem wurde von der EIA inzwischen erkannt und erstmals in der Evaluierung 2004 explizit benannt. Eine Lösung für diese Inkonsistenz wird aber nicht vorgeschlagen (Earley, Honeycut 2005, 3).¹²⁷

Die Veränderungen der BIP-Zeitreihe stellen damit ein wichtiges Beispiel für die von Koomey et al. (2003, 87) geäußerte Notwendigkeit konsistenter langer Zeitreihen von wichtigen Daten für retrospektive Analysen von Prognosen. Hier zeigt sich ebenfalls, dass durch die Umstellung von Statistiken die ex-post Überprüfung von Projektionen stark erschwert werden kann.

6.3.1.1 Datenaufbereitung

Wie oben gezeigt, ist es schwierig, geeignete Zeitreihen für den Vergleich der BIP-Prognosen mit historischen Daten zu generieren. Die beiden wesentlichen Probleme dabei sind:

- Die Umstellung der Berechnung des realen BIP von basisjahrbezogenen auf verkettete Werte.
- Die regelmäßige nachträgliche Korrektur der historischen BIP-Werte durch die BEA aufgrund methodischer Veränderungen der Erfassung.

Die EIA umgeht das erste Problem durch die Nutzung nominaler BIP-Werte in ihrer jährlichen Evaluierung. Das zweite Problem dagegen wird nicht adressiert. Es wurde

¹²⁶ Durch diese Umrechnung wird m.E. aber die Gewichtungproblematik nicht aufgehoben (vgl. auch Earley, Honeycut 2005, 3). Daher wird weiter unten ein anderer Berechnungsweg dargestellt.

¹²⁷ Dieser Effekt ist auch der wesentliche Grund für den von O’Niell und Desai (2005, 988) festgestellten signifikanten und durchgängig negativen Basisjahrfehler der BIP-Prognosen; und nicht die von ihnen vermutete mangelhafte Datenbasis (2005, 992). So wurde z.B. das BSP im (AEO83, 38) für das Startjahr 1983 nominal mit 3.313,1 Mrd. US\$ angegeben. Im (AEO85, 57) wird als historischer Wert für 1983 ein nominales BSP von 3.304,9 Mrd. angegeben, was um 1,6% niedriger liegt. Der Vergleich des BSP des Startjahres des AEO’85 mit den im (AEO’87, 42) angegebenen historischen Werten zeigt dagegen, jeweils auf \$ des Jahres 1985 umgerechnet, einen Unterschied von 3,3%. Diese durchaus bestehenden Schwankungen sind aber, im Vergleich zu den in Abbildung 6-3 angegebenen Abweichungen von der derzeitigen historischen Zeitreihe, die bei sieben bis acht Prozent liegen, sehr gering.

allerdings inzwischen erkannt und seit der Evaluierung 2004 (Earley, Honeycut 2005, 3) in der Evaluierung explizit gemacht.

O’Niell und Desai (2003, 2005) dagegen verwenden in ihrer ex-post Evaluierung reale verkettete Werte, die durch Umrechnung der ursprünglich angegebenen Realwerte gewonnen wurden (2005, 982). Die nachträgliche Korrektur der BIP-Werte war ihnen, wie die Analyse der Basisjahrfehler zeigt, nicht bewusst¹²⁸.

Um die o.g. Probleme zu umgehen wurden hier die folgenden Umrechnungen genutzt:

- Die Verwendung von Realwerten des BIP ist für die weitergehende Analyse der Projektionen des Energiesystems sehr vorteilhaft, da die nominalen Werte inflationsbedingt sehr hohe Zuwachsraten aufweisen, was die Analyse von Energieintensitäten etc. extrem erschwert, da diese nur durch die reale Entwicklung, nicht aber durch die Inflation getrieben werden. Zur Berechnung der Werte des realen BIP wurden hier die Originalwerte des in den AEOs angegebenen nominalen BIP verwendet und mit dem Deflator in der aktuellen historischen Zeitreihe der BEA (2004) in 2000er verkettete \$-Werte umgerechnet. So kann eine weitgehend konsistente reale Zeitreihe in verketteten Werten erstellt werden, die darüber hinaus auch die tatsächlichen Werte der Projektionen gut widerspiegelt¹²⁹. Gleichzeitig wurde auch die Problematik der Umrechnung basisjahrbezogener Werte vermieden¹³⁰. Die sich hieraus ergebenden Werte werden hier als synthetisches reales BIP bezeichnet und liegen den folgenden Analysen zugrunde.
- Das Problem der Veränderung der historischen Daten durch die BEA lässt sich im Nachhinein nicht ohne weiteres bereinigen, denn für eine nachträgliche Umstellung der AEOs auf die aktuelle BIP-Definition stehen selbst der EIA nicht alle erforderlichen Daten zur Verfügung (Earley, Honeycut 2005, 3). Hier wird daher hilfsweise der Basisjahrfehler für diese Korrektur verwendet. Der Basisjahrfehler repräsentiert für das Basisjahr der jeweiligen Projektion weitestgehend exakt die nachträgliche Veränderung der historischen Werte, da die seinerzeit verwendeten nominalen Werte fast exakt bekannt waren, ein ‚echter‘ Basisjahrfehler bei den BIP-Werten also nicht vorkommt. Da der Trendfehler um den Basisjahrfehler bereinigt wird, wird dieser hier direkt verwendet und angenommen,

¹²⁸ Die Arbeit von O’Niell und Desai wurde in einer ersten Fassung 2003 veröffentlicht. Zu diesem Zeitpunkt wurde dieser Effekt auch in den Evaluierungen der EIA noch nicht erwähnt.

¹²⁹ Die verbleibende Ungenauigkeit des Deflators, die daraus resultiert, dass er sich tatsächlich auf ein etwas anders definiertes BIP bezieht, hat hier nahezu keine Auswirkung.

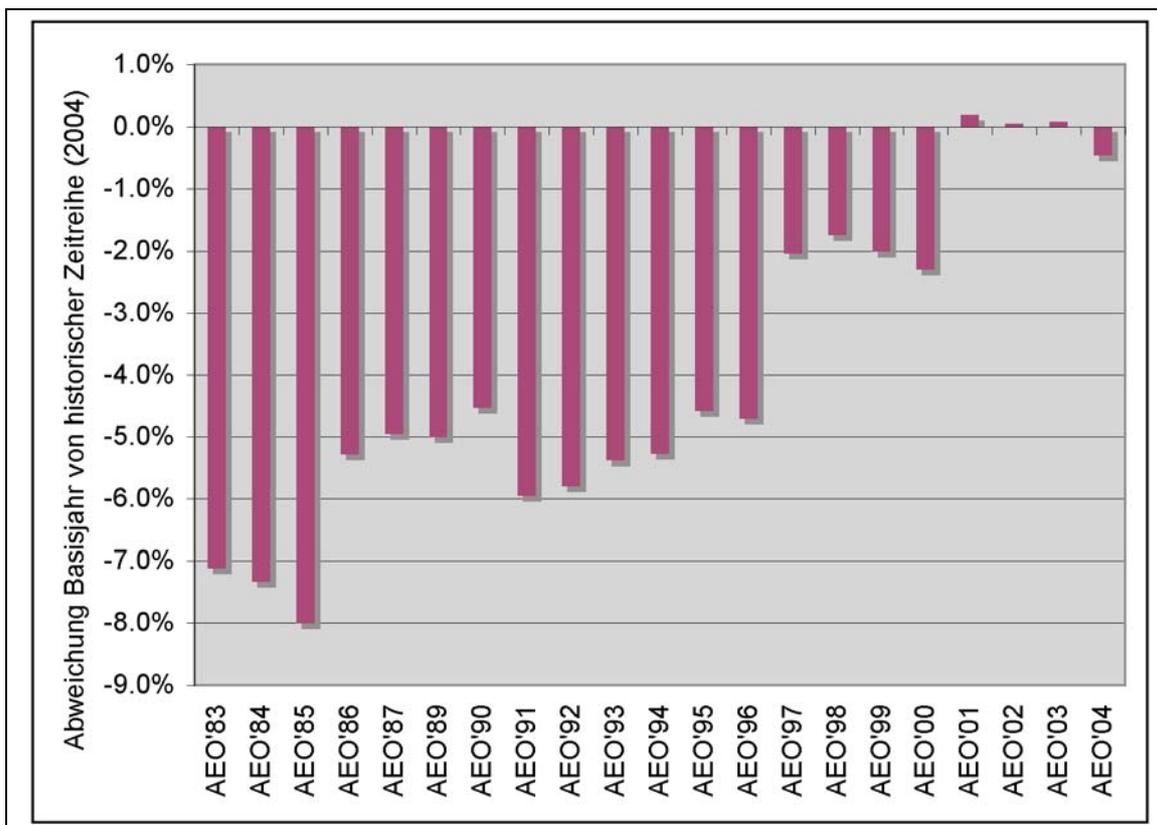
¹³⁰ Realwerte, die auf einem bestimmten Basisjahr beruhen weisen nach einer längeren Zeit eine signifikante Abweichung von der tatsächlichen Entwicklung aus, da die Gewichtungen der einzelnen Wirtschaftszweige nicht mehr mit der Realität übereinstimmen (vgl. z.B. Landefeld et al. 2003).

dass der durch die Korrektur historischer Werte entstandenen Fehler weitgehend ausgeschaltet ist¹³¹.

6.3.1.2 Basisjahrkorrektur

Um einen Vergleich der BIP-Projektionen mit der Realität zu ermöglichen, wurde, wie voranstehend geschildert, eine entsprechende Basisjahrkorrektur der Werte vorgenommen. Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht über die nominale BIP-Entwicklung im Vergleich zu den jeweiligen Startwerten der AEOs.

Abbildung 6-4: Basisjahrabweichung der BIP-Projektionen von der aktuellen historischen Zeitreihe



Quelle: eigene Berechnungen, historische Werte: BEA (2004), AEO-Werte: EIA (div. Jg.)

Dabei wird deutlich, dass die rückwirkenden Korrekturen¹³² z.T. sehr deutliche ex-post Veränderungen des BIP bewirkten. Diese werden generell immer größer, je weiter die

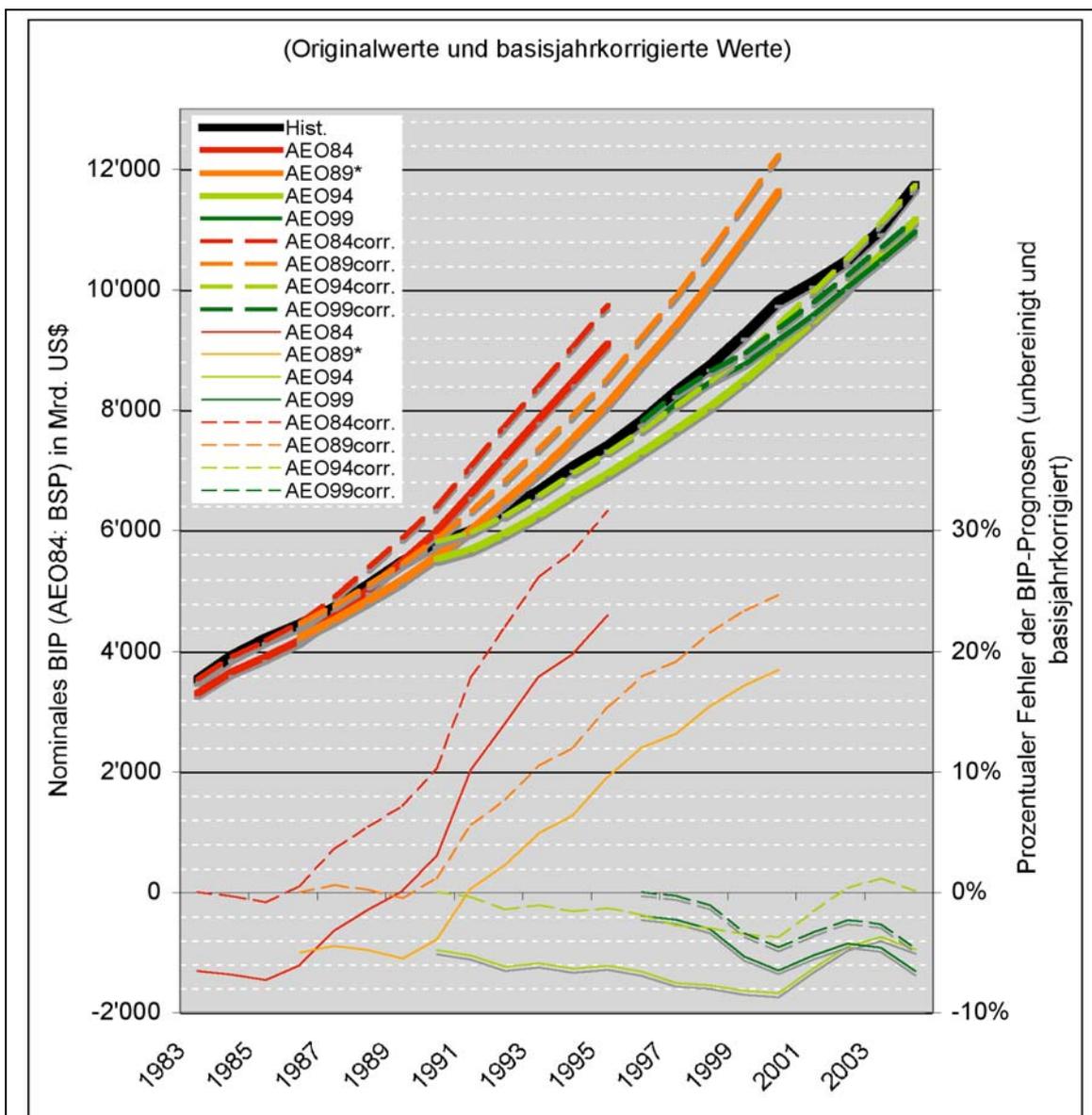
¹³¹ Dies stimmt nicht exakt, da der Basisjahrfehler über den Prognosezeitraum konstant gehalten wird. Tatsächlich ist es aber möglich, dass die im Nachhinein dem BIP hinzugefügten Aggregate ggf. stärker gewachsen sind als der Durchschnitt des BIP (bzw. ganz korrekt: seinerzeit als stärker wachsend prognostiziert worden wären, wenn man sie denn schon als Teil des BIP angesehen hätte). D.h., es ist zu vermuten, dass auch nach der Korrektur ein kleiner Teil des Trendfehlers weiterhin nicht ein Fehler der Prognose, sondern ein Artefakt der Analyse als Ergebnis der inkonsistenten Zeitreihe ist. Der größte Teil dieses künstlichen Fehlers dagegen sollte durch die Basisjahrbereinigung ausgeschaltet sein.

¹³² Im Rahmen der etwa alle fünf Jahre stattfindenden „comprehensive revisions“ (vgl. Fixler 2004, 3).

betrachteten Jahre zurückliegen. Dabei ergeben sich ‚Stufen‘ jeweils entsprechend der „comprehensive revisions“. D.h., etwa alle fünf Jahre wurde auch in der Vergangenheit das BIP schon angepasst. Die BIPs der jüngeren AEOs weisen also bereits eine umfassendere BIP-Definition auf als die älteren. Für die letzten vier AEOs ergibt sich kein entsprechendes Problem.

Die hier festgestellten Basisjahrfehler werden zur Bereinigung der BIP-Projektionen genutzt. Die folgende Abbildung 6-5 stellt dies für vier Projektionen beispielhaft dar.

Abbildung 6-5: Korrigierte und unkorrigierte Projektionen des nominalen BIP und Prognosefehler



Oben/linke Ordinate: BIP, historische Entwicklung in der aktuellen Definition und ausgewählte Projektionen, gestrichelte Linien: um Basisjahrabweichung korrigiert.
 Unten/rechte Ordinate: prozentualer Fehler der Projektionen, gestrichelt: um Basisjahrabweichung korrigiert

Quelle: eigene Berechnungen; historische Werte: BEA 2004, AEO-Werte: EIA, div. Jahre

Die dicken durchgezogenen Linien geben die unkorrigierten Prognosewerte wieder, wie sie von der EIA für ihre Fehleranalyse verwendet werden. Dünn sind die entsprechenden prozentualen Fehler eingetragen (rechte Ordinate). Der Vergleich mit der aktuellen historischen Entwicklung des BIP zeigt deutlich die Abweichung der Projektionen nach unten. Sie zeigt auch, dass diese Abweichung bei den jüngeren Projektionen kleiner wird. Die gestrichelten Linien geben die entsprechenden basisjahrkorrigierten Werte wieder.

Es fällt auf, dass gerade bei den älteren Projektionen die – nachträglich produzierte – Abweichung der Basisjahrwerte zu einer Verschleierung der signifikanten Überschätzung der BIP-Entwicklung führt. Das zukünftige BIP wurde in diesen Projektionen – trotz einer kleineren Berechnungsgrundlage – absolut überschätzt. D.h. hätte es keine ‚wachstumssteigernden‘ Revisionen gegeben, wäre die Überschätzung des BIP noch deutlich höher ausgefallen. Die jüngeren AEOs haben dagegen das künftige BIP eher unterschätzt, wobei hier der absolute Fehler durch die Korrektur deutlich verkleinert wird.

Nur durch diese Korrektur der Projektionen können – wie oben geschildert – sinnvolle Vergleiche zwischen den BIP-Projektionen und der real eingetretenen Entwicklung angestellt werden.

Im Folgenden werden analog zu den hier gezeigten Nominalwerten korrigierte synthetische Realwerte des BIP für die weitere Analyse genutzt.

6.3.1.3 Variabilitätsfehler

In der folgenden Abbildung wird der Variabilitätsfehler des realen BIP für die Jahre der historischen Zeitreihe dargestellt. Dies ist die Abweichung der tatsächlichen Werte vom langjährigen linearen Trend¹³³. Es zeigt sich, dass das BIP in den Jahren bis 1990 im Vergleich zur Gesamtperiode überdurchschnittlich hoch lag. In den 1990er Jahren (von 1991 bis 1998) dagegen war das BIP-Niveau unterhalb der Trendlinie, ab 1999 dann wieder über dem Trend, wobei man den Einbruch der Jahre 2001 bis 2003 deutlich erkennt. Wird der Variabilitätsfehler nur auf die kürzere Periode, 1990 bis 2004 bezogen, so ergibt sich ein grundsätzlich vergleichbares Bild. Allerdings waren die Abweichungen weniger stark.

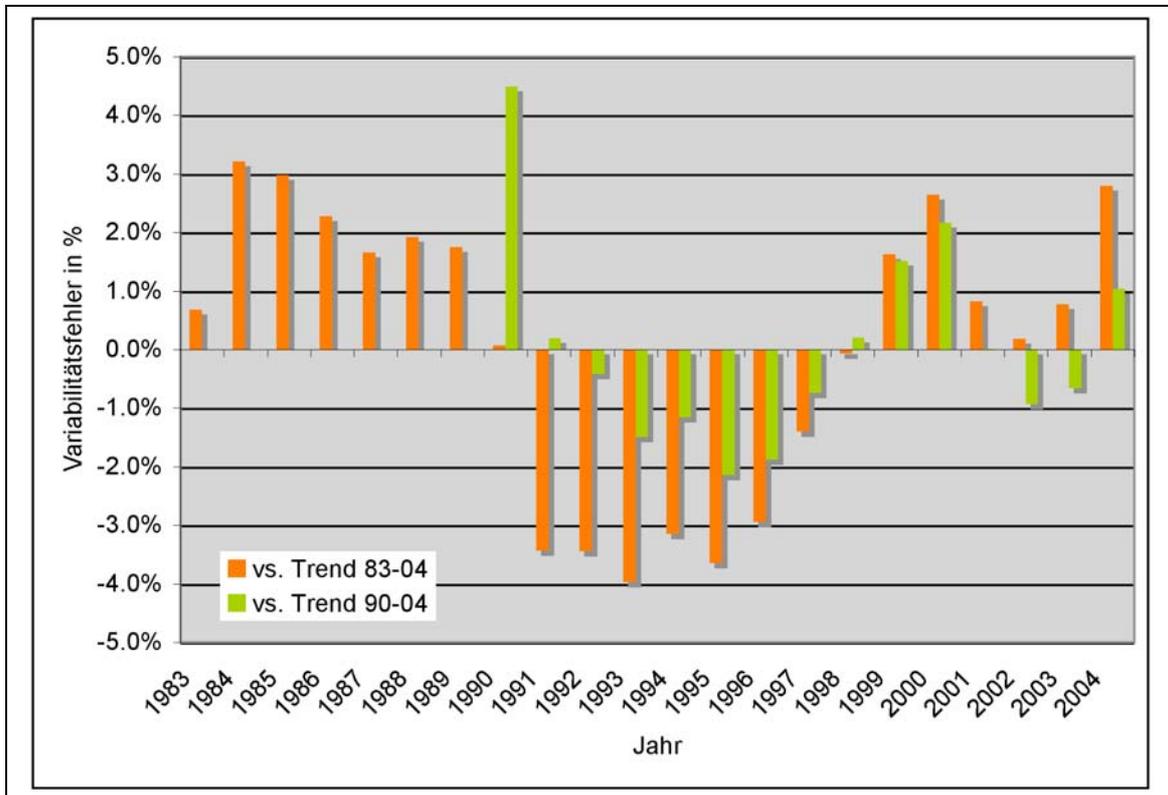
Diese Schwankungen werden durch die separate Ausweisung des Variabilitätsfehlers transparent gemacht, denn die Projektionen zielen ja auf den langfristigen Trend, nicht auf die Prognose der zyklischen Schwankungen ab¹³⁴. In den einzelnen Projektionen beträgt der Einfluss des Variabilitätsfehlers im Mittel 0,29%, der mittlere absolute

¹³³ Dabei stellt der hier ausgewiesene Variabilitätsfehler im Kontext dieser Analyse auf das absolute Niveau des BIP ab, nicht auf die jeweilige Wachstumsrate.

¹³⁴ Vergleiche Abschnitt 6.2.2.2. Allerdings ist die Wahl des Trends hier in gewisser Weise willkürlich, da die Projektionen jeweils den Trend über ihre Prognoseperiode prognostizieren, nicht den z.B. der Jahre 1983 bis 2004.

Variabilitätsfehler liegt bei 2%, d.h. die durch die Variabilität bedingten Fehler sind deutlich kleiner als die Basisjahrabweichung. Gleichzeitig gleichen sie sich weitgehend gegenseitig aus (was bei der Definition dieses Fehlers zu erwarten ist).

Abbildung 6-6: Variabilitätsfehler des BIP bezogen auf den linearen Trend der Jahre 1983 bis 2004 sowie 1990 bis 2004



Quelle: eigene Berechnungen

6.3.1.4 Fehleraufteilung

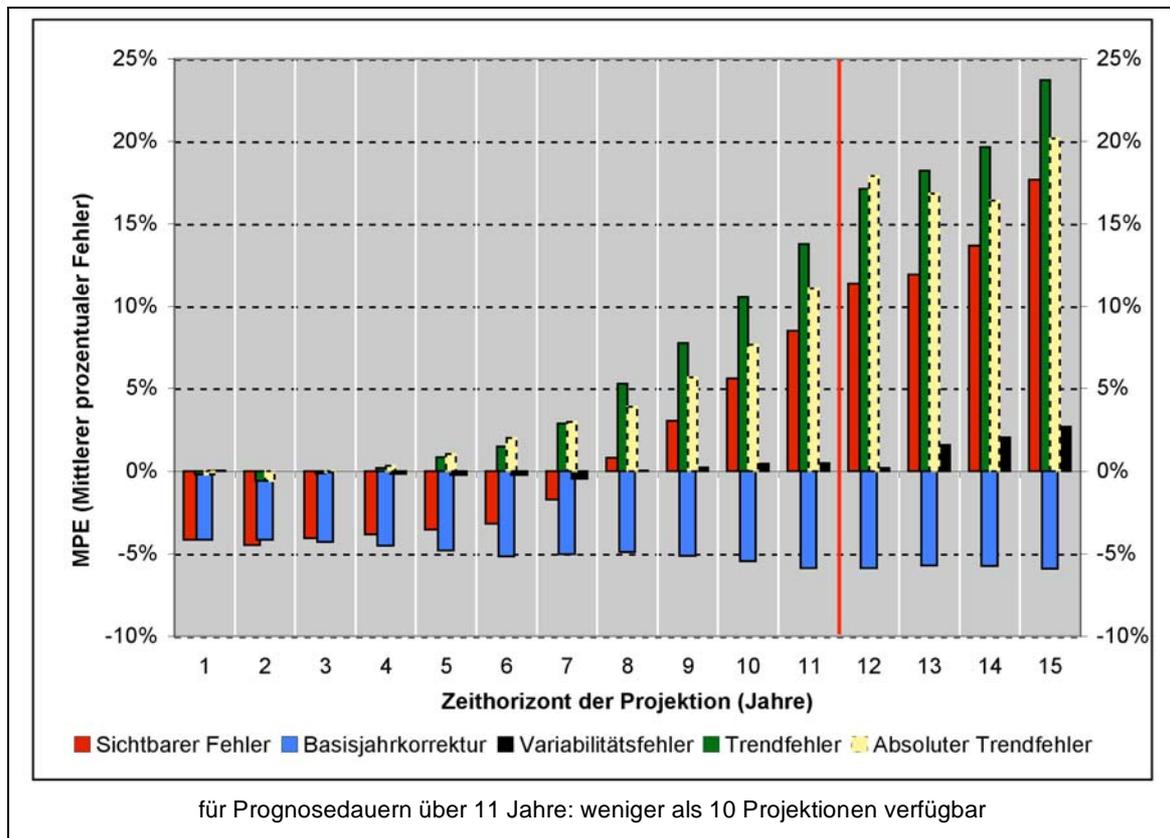
In den folgenden drei Abbildungen wird der sichtbare Fehler, d.h. die sichtbare Abweichung der prognostizierten Werte des BIP von den tatsächlichen historischen Werten auf die verschiedenen Ursachen aufgeteilt und dabei der Zusammenhang zwischen dem sichtbaren Fehler und dem hier interessierenden Trendfehler aufgezeigt. Die Abbildungen weisen dabei jeweils eine andere Perspektive bzw. Blickrichtung (mittlerer Fehler nach Prognosedauer, Prognosejahr, Projektion) auf die Fehler der BIP-Projektionen auf, um diese entsprechend analysieren und bewerten zu können.

Die *Fehleraufteilung nach der Prognosedauer* zeigt dabei ein sehr kontinuierliches Bild:

- Der *sichtbare Fehler* liegt für kurze Prognosedauern bis zu sechs Jahren im Durchschnitt bei etwa -4%, d.h. die Prognosen haben die tatsächliche Entwicklung unterschätzt. Im Mittelwert wechselt er zwischen dem siebten und achten Jahr der Projektionen das Vorzeichen es kommt im Mittel zu einer Überschätzung der tatsächlichen Entwicklung. Ab dem achten Prognosejahr wird der

sichtbare Fehler dann von Jahr zu Jahr größer und steigt auf bis zu 12% an. Ab dem zwölften Jahr setzt sich dieser Trend nicht mehr so eindeutig fort. Allerdings sind für diese Zeiträume auch nur vergleichsweise wenige Projektionen verfügbar, so dass hier sowohl prognosespezifische Effekte als auch zeitraumbezogene Effekte einen maßgeblichen Einfluss gewinnen¹³⁵.

Abbildung 6-7: Fehleraufteilung der BIP-Projektionen nach Prognosedauer



Quelle: eigene Berechnungen

- Die *Basisjahrabweichung* (s.o.) liegt bei etwa -5%, wobei sie für kurze Prognosehorizonte aufgrund des höheren Anteils jüngerer Projektionen etwas niedriger liegt. Die Basisjahrabweichung erklärt zudem vollständig den negativen sichtbaren Fehler der kürzeren Prognosen. Ab dem 5. Prognosejahr liegt die negative Abweichung sogar deutlich höher.
- Der *Variabilitätsfehler* spielt im Mittelwert über verschiedene Prognosedauern erwartungsgemäß kaum eine Rolle. Bei den kurzen Prognosedauern liegt er im

¹³⁵ Diese Zeiträume werden vor allem durch ältere Projektionen abgedeckt. Diese liegen durchgängig zu hoch, allerdings stärker während der 1990er Jahre, da in diesem Zeitraum ohnehin ein unterdurchschnittliches BIP zu verzeichnen war. Gegen Ende der 1990er Jahre dagegen stieg das BIP überdurchschnittlich, so dass hier der sichtbare Fehler der älteren Projektionen wieder zurückgeht.

Mittel nahezu bei Null. Für die 7 bis 11-Jahresprognosen liegt er im Schnitt bei -1 bis -2% (Überwiegen der 1990er Jahre in der Stichprobe).

- Der sich ergebende *Trendfehler* weist eine durchschnittliche Überschätzung der BIP-Entwicklung im Mittel aller jeweils verfügbaren Projektionen für jede Prognosedauer aus. Zusätzlich weist er einen kontinuierlich ansteigenden Trend aus. D.h., im Mittel gilt, dass der Trendfehler mit der Prognosedauer kontinuierlich ansteigt. Bei Prognosedauern bis zu 7 Jahren verläuft der Anstieg dabei relativ langsam. Ab dem 8. Jahr steigt der Fehler dann von durchschnittlich 6% auf 15% im elften Jahr an. Die folgenden noch größeren Fehler beruhen dagegen auf einer zu schmalen Datenbasis, um noch als aussagekräftig gelten zu können.
- Der Vergleich zwischen Trendfehlern und *absoluten Trendfehlern* zeigt, dass für kurze Zeithorizonte sowohl positive als auch negative Trendfehler auftreten, wodurch es bei der Mittelwertbildung über alle Projektionen einer Prognosedauer zu einer signifikanten Kompensation zwischen Über- und Unterschätzungen kommt. Ab einer Dauer der Projektionen von 5 Jahren überwiegen dann aber eindeutig positive Trendfehler, ab 8 Jahren überschätzen alle verfügbaren Projektionen das BIP.

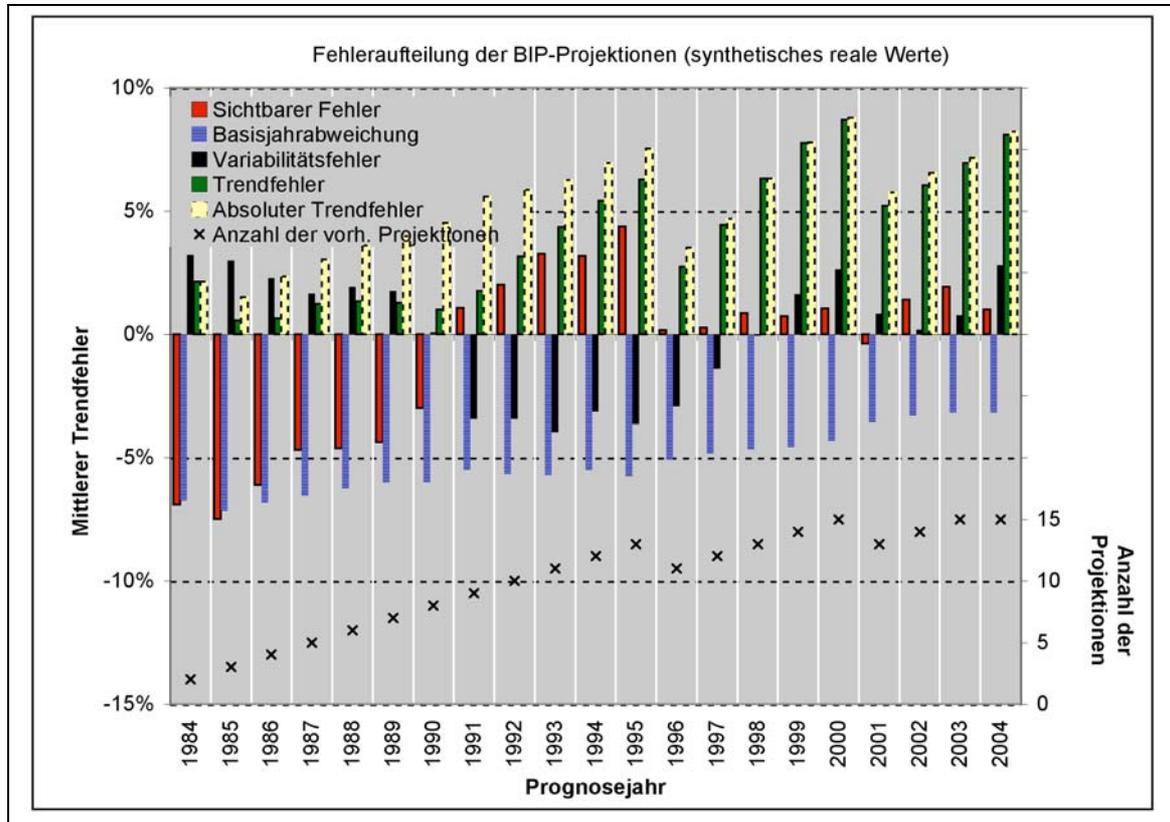
Es zeigt sich also, dass der von der EIA in ihrer Evaluation der Prognosegenauigkeit zugrunde gelegte sichtbare Fehler ein ähnliches Fehlermuster aufweist, wie der Trendfehler. Allerdings wird nach der Bereinigung, um vor allem den Basisjahreffekt – der in diesem Fall kein Prognosefehler ist, sondern ein Problem der historischen Zeitreihe (s.o.) – deutlich, dass das BIP für alle Prognosehorizonte, nicht nur solcher über 8 Jahre im Schnitt überschätzt wurde und dass das Ausmaß dieser Überschätzung deutlich höher ist, als es der sichtbare Fehler erwarten ließe. Der Variabilitätsfehler hat dagegen bei einer Mittelwertbildung über Prognosedauern nahezu keinen Einfluss auf die Genauigkeit.

Die Darstellung der *Fehleraufteilung nach Prognosejahr* (siehe Abbildung 6-8) zeigt, dass

- der sichtbare Fehler im Mittel über alle Projektionen für alle Jahre bis einschließlich 1990 negativ ist. D.h. in allen Jahren überwiegen Projektionen mit negativem Fehler. In den Folgejahren dagegen weisen die Projektionen für alle Jahre im Mittel eine, ab 1996 nur noch sehr leichte, Überschätzung auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in allen Jahren die langfristigen Prognosen mit positivem sichtbarem Fehler die kürzerfristigen mit negativem Fehler überwiegen.
- Der wesentliche Hintergrund für die Unterschätzung des BIP in den jeweils aktuelleren Projektionen für alle Jahre liegt in der Basisjahrabweichung, die für fast alle Jahre größer ist als der sichtbare Fehler. Die Basisjahrabweichung weist eine mit der Zeit betragsmäßig leicht sinkende Tendenz auf, was auf die

höheren Anteile jüngerer Projektionen zurückzuführen ist (wie oben gezeigt nimmt der Basisjahrfehler bei den AEOs im Zeitverlauf ab).

Abbildung 6-8: Fehleraufteilung der BIP-Projektionen nach Prognosejahr



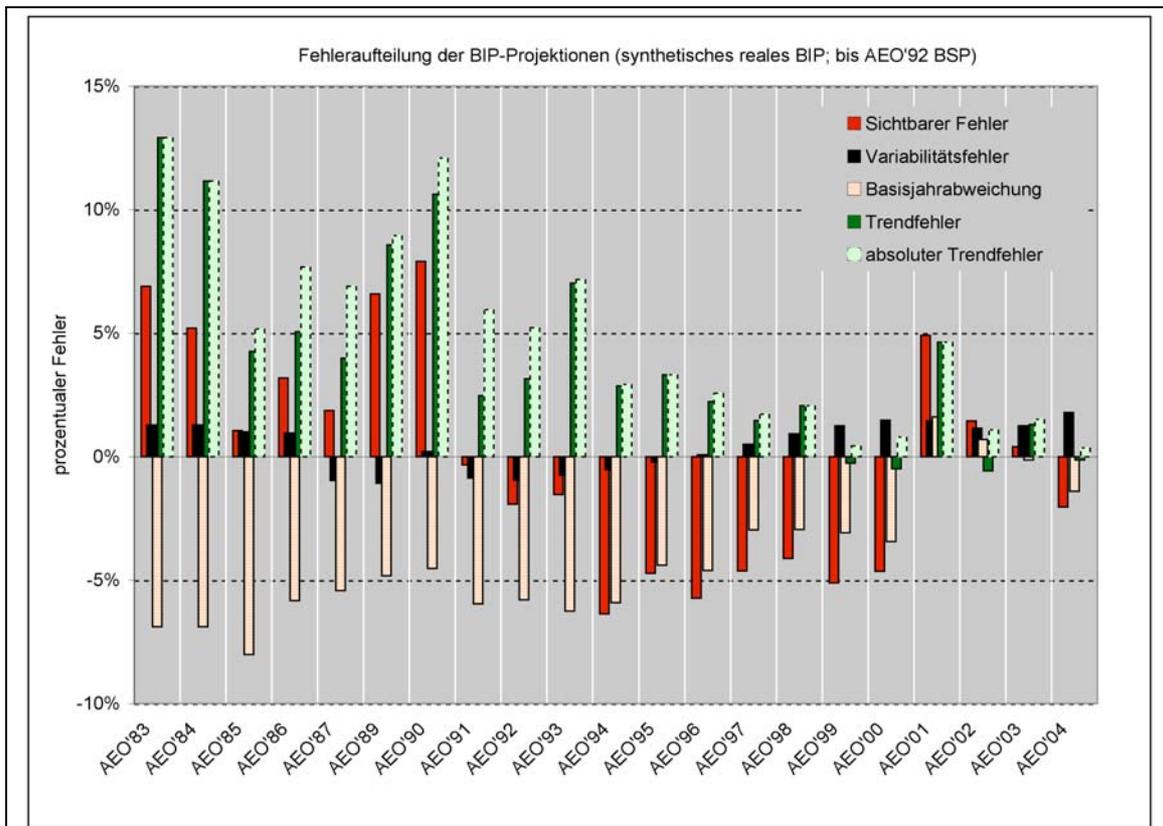
Quelle: eigene Berechnungen

- Die Bedeutung des Variabilitätsfehlers wird in dieser Darstellung deutlich.
- In den Jahren bis 1995 ergeben sich z.T. sehr große Kompensationen positiver und negativer Trendfehler, für die Jahre danach dagegen nur sehr geringe bzw. z.T. gar keine. Das bedeutet, dass für die Jahre nach 1995 fast ausschließlich Projektionen mit positivem Trendfehler vorhanden sind.
- Der Trendfehler, insbesondere in der Form des absoluten Trendfehlers, weist außerdem ein charakteristisches Muster auf, das mit der Zahl der vorhandenen Projektionen korreliert. Grund für die zwischen 1995 und 1996 sowie zwischen 2000 und 2001 deutlich zurückgehenden Trendfehler ist die Tatsache, dass die langlaufenden älteren Projektionen jeweils bis 1995 bzw. 2000 reichen. In den Folgejahren sind dann jeweils deutlich weniger und vor allem kürzere Projektionen vorhanden. Durch den Fortfall der besonders stark abweichenden ältesten Projektionen sinkt auch der mittlere Trendfehler.

In dieser Darstellung zeigt sich besonders deutlich, dass eine bloße Mittelwertbildung aller Projektionen für jeweils ein Jahr, wie diese in den Evaluierungen der IEA vorge-

nommen wird, zu deutlichen Fehlinterpretationen führen kann, wenn lediglich der sichtbare Fehler berücksichtigt wird. Während die sichtbaren Fehler im Mittel negativ sind und in der Tendenz kleiner werden, d.h. auf eine sich verringemde Unterschätzung des BIP hinzudeuten scheinen, macht der Trendfehler deutlich, dass beinahe das Gegenteil der Fall ist. Das BIP wurde tatsächlich überschätzt und die Fehler nehmen im Mittel zu, wobei aber auch sichtbar wird, dass die jeweilige Datenlage, d.h. die Anzahl, das Alter und die jeweilige Prognosedauer der vorhandenen Projektionen deutliche Spuren im Fehlermaß hinterlassen.

Abbildung 6-9: Fehleraufteilung der BIP-Projektionen nach AEO



Quelle: eigene Berechnungen

Die abschließende Analyse zur *Fehleraufteilung* betrifft die mittleren Fehler *jeweils bezogen auf eine Projektion/einen AEO*.

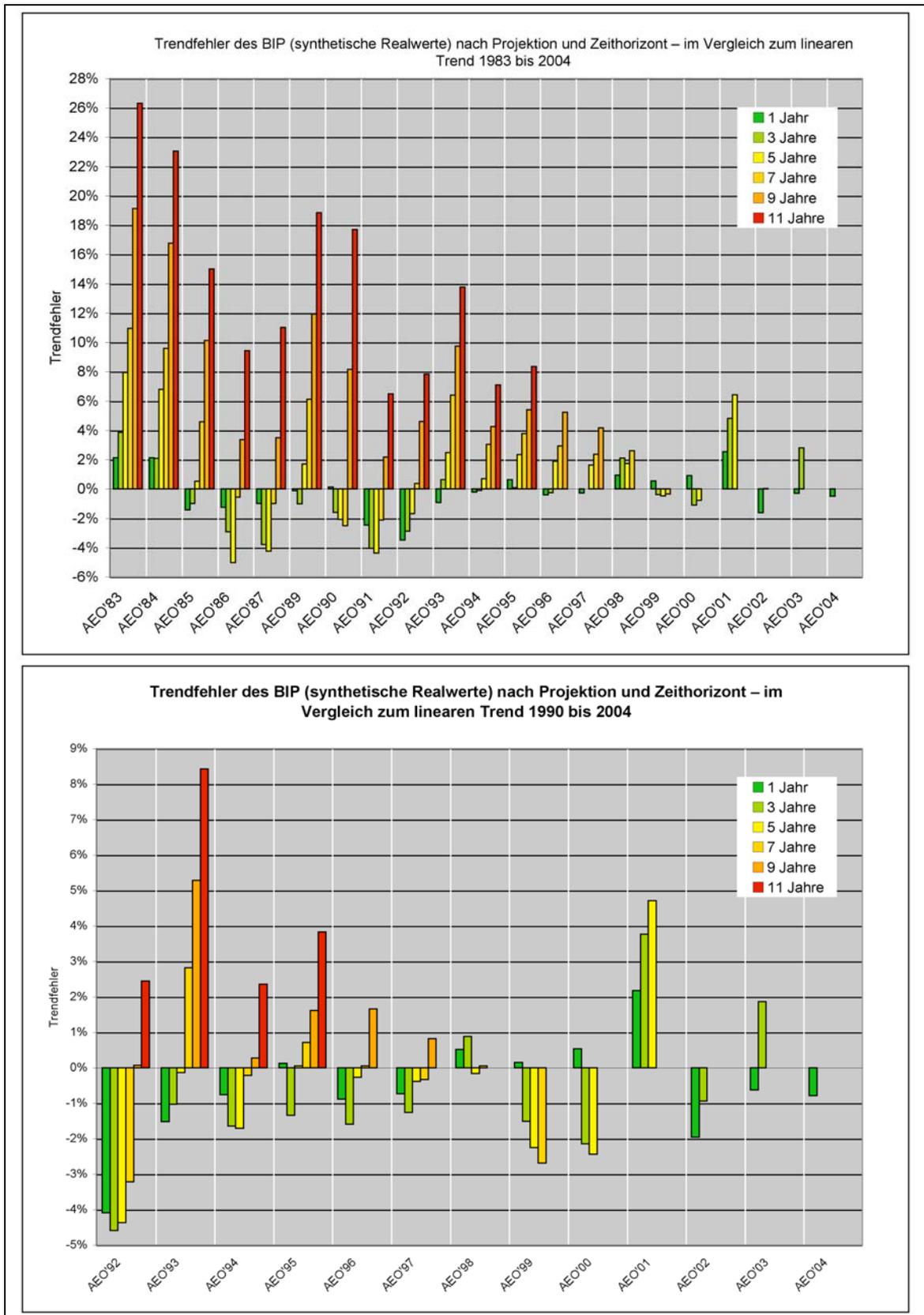
- Hier zeigt sich bei den *sichtbaren Fehlern* zunächst das Bild, das auch die Evaluierungen der EIA ergibt. Während die älteren AEOs bis 1990 das BIP im Schnitt über ihre Prognosedauer überschätzten, weisen die späteren AEOs bis 2000 – für den bereits evaluierbaren Zeitraum – eine Unterschätzung des BIP auf. Für die allerjüngsten AEOs ist die Tendenz uneinheitlich, aber hier sind auch erst sehr wenige Jahre überprüfbar.

- Dieses Bild ist allerdings durch die Basisjahrabweichung signifikant verzerrt. Bezogen auf den *Trendfehler* weisen die allermeisten AEOs eine Überschätzung des BIP (soweit bereits überprüfbar) auf. Dabei kommt es nur bei den AEOs 86 bis 92 zu Fehlerkompensationen. Alle anderen AEOs weisen durchgängig positive Trendfehler auf.
- Die Tendenz der Trendfehler der einzelnen AEOs ist generell leicht sinkend, d.h. die neueren AEOs weisen geringere mittlere Trendfehler auf als die älteren. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass für die neueren AEOs bisher nur wenige Jahre zur Überprüfung vorhanden sind. Wenn berücksichtigt wird, dass – wie oben gezeigt – die Prognosefehler mit zunehmender Prognosedauer ansteigen, dann ist es fraglich, ob neuere AEOs genauer sind als die älteren.

Dieser Punkt wird in der folgenden Abbildung noch näher beleuchtet. Dargestellt sind ausschließlich die Trendfehler aller Projektionen, allerdings nicht wie in den voran stehenden Abbildungen als Mittelwerte sondern jeweils für 1, 3, 5 bis 11 Jahre im Voraus. D.h., in dieser Abbildung werden eventuelle Effekte der Prognosedauer auf die Genauigkeit transparent gemacht. Faktoren, die den Prognosezeitraum betreffen – und nicht durch den Variabilitätsfehler berücksichtigt sind – können dagegen auch hier nicht weiter differenziert werden.

Werden die AEOs jeweils für eine einheitliche Prognoselänge verglichen, so ergibt sich ein nicht ganz eindeutiges Bild. Für längere Prognosedauern von 7, 9 und 11 Jahren zeigt sich ein uneinheitlicher, im Mittel aber sinkender Trend. D.h. für die AEOs bis 95 bzw. 97/99 gilt, dass die längerfristigen Projektionen im globalen Trend mit der Zeit immer besser, d.h. genauer, geworden sind. Für die kürzeren Prognoseperioden von 5 und weniger Jahren lässt sich diese Aussage aber nicht treffen. Es lässt sich für diese Zeitspannen kein eindeutiger Trend zur Verkleinerung oder Vergrößerung der Fehler erkennen.

Abbildung 6-10: Trendfehler der BIP-Projektionen der AEOs 1983 bis 2004 für verschiedene Prognose-dauern



Quelle: eigene Berechnungen

6.3.1.5 Zusammenfassung

Insgesamt ergibt die Detailanalyse der Fehler der BIP-Projektionen der AEOs, dass

- der sichtbare Fehler gerade bei der Evaluierung der BIP-Projektionen zu deutlichen Fehlinterpretationen führen kann¹³⁶, denn die hier gezeigte Basisjahrabweichung, die sich aus der periodisch erfolgenden methodischen Veränderung der BIP-Berechnung ergibt, maskiert in signifikanter Weise die tatsächlichen Fehler der Projektionen.
- Im Ergebnis zeigt sich, dass fast alle AEOs die BIP-Entwicklung signifikant überschätzen, wenn der lineare Trend der Jahre 1983 bis 2004 als Vergleich herangezogen wird. Wobei einzelne ältere AEOs einen mittleren Trendfehler von über 10% aufweisen. Die AEOs nach 1990 dagegen weisen typischerweise mittlere Fehler von 2 bis 3% auf.
- Werden die jüngeren AEOs ab 92 dagegen gegenüber dem linearen Trend der Jahre 1990 bis 2004 evaluiert, dann halten sich Über- und Unterschätzungen des BIP weitgehend die Waage. Für kürzere Projektionsdauern dominieren in dieser Sichtweise klar die Unterschätzungen des BIP.
- Trotzdem kann nicht gefolgert werden, dass die AEOs mit der Zeit besser geworden sind. Eine Korrektur um die Prognosedauer zeigt, dass vor allem für kürzere Prognosedauern keine Verbesserungstendenz im Sinne geringerer Trendfehler existiert.
- Die Trendfehler steigen im Durchschnitt mit dem Prognosehorizont signifikant an. Dabei weisen Projektionen bis zu 7 Jahren im Durchschnitt Fehler von unter 5% auf, danach steigt der Fehler selbst im Mittelwert stark an.

Diese Ergebnisse zeigen, dass bereits für die grundlegende Größe BIP klare Fehler in den Projektionen existieren. Diese müssten, würden sie nicht an anderer Stelle kompensiert, bereits zu großen Fehlern der CO₂-Emissionsprojektionen von in der Regel deutlich mehr als 2% führen¹³⁷.

¹³⁶ Was auch schon von O’Niell und Desai (2005) herausgearbeitet wurde.

¹³⁷ Unter der Annahme, dass das BIP tatsächlich, wie im Analysemodell unterstellt, die alleinige Treibergröße der Projektion darstellt und alle anderen aufbauenden Projektionen (spezifischer Energieeinsatz etc.) korrekt wären. In diesem Fall überträgt sich der prozentuale Fehler der BIP-Projektionen direkt auf die CO₂-Emissionsprojektionen, die (bei einem Gewichtungsfaktor des BIP von 100%) exakt den gleichen Fehler von in der Regel deutlich mehr als 2% aufweisen würden.

6.3.2 Fehleranalyse der Projektionen für den Haushaltssektor

Die Fehler der Energie- und Emissionsprojektionen werden in analoger Struktur in den einzelnen Endnachfragesektoren analysiert, bevor eine zusammenfassende Darstellung der Gesamtfehler folgt. Im Haushaltsbereich werden zunächst der Basisjahr- und Variabilitätsfehler der Projektionen dargestellt, um danach die um diese beiden ‚maskierenden‘ Effekte bereinigten Trendprojektionen näher auf die Hauptquellen der Fehler der Endenergieprojektion näher zu analysieren.

6.3.2.1 Basisjahrfehler

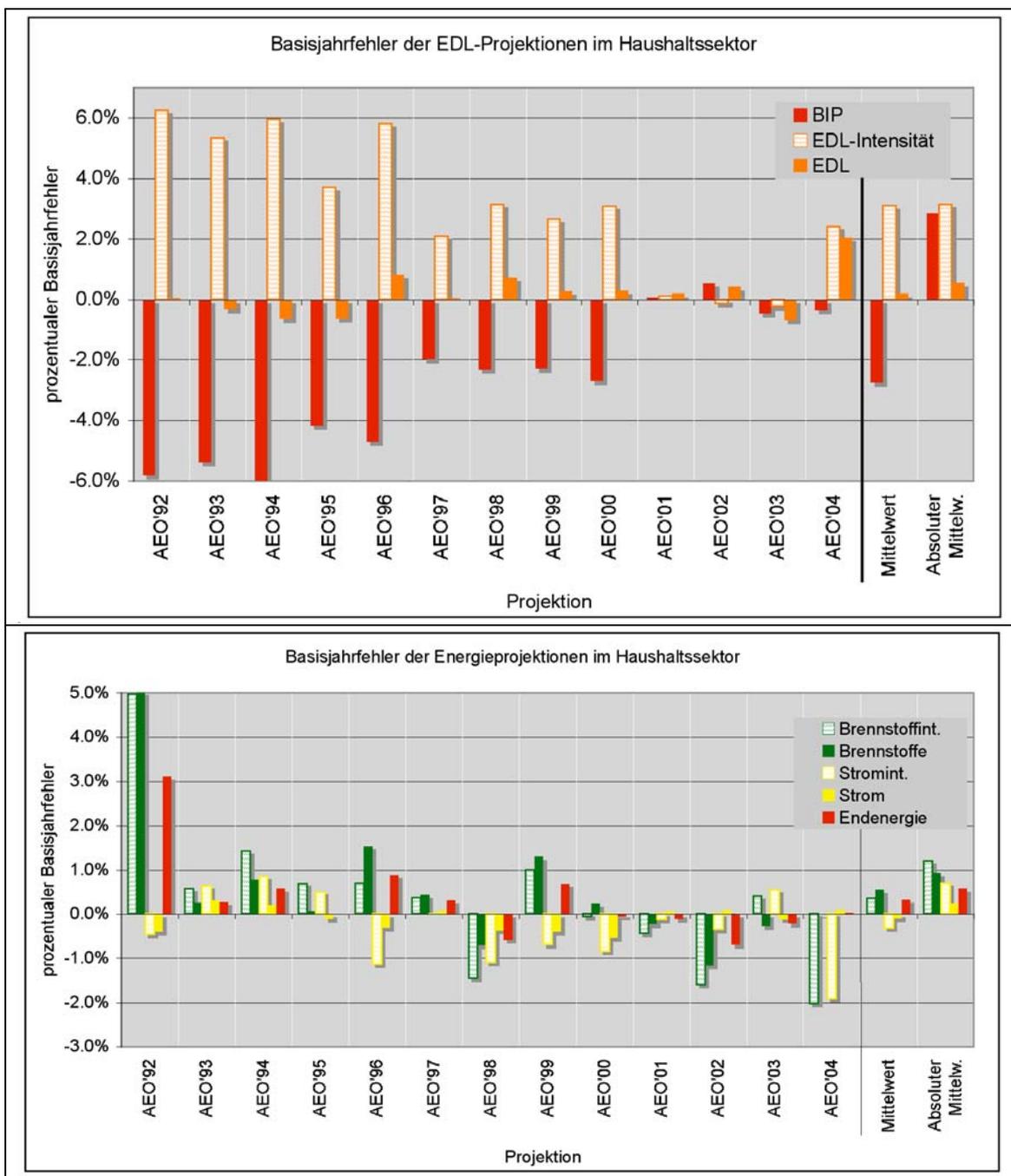
Zunächst wird der Basisjahrfehler der im Haushaltssektor relevanten Variablen einschließlich des BIP für alle hier relevanten AEOs dargestellt. Die folgende Abbildung 6-11 gibt einen Überblick, zunächst über die EDL-Projektionen und dann über die Endenergie-Projektionen.

Es zeigt sich, dass die deutlich negativen Basisjahrfehler des BIP (s.o.) von etwa 4 bis 6% in den AEOs 92 bis 95 und von ca. 2% in den AEOs 96 bis 00 jeweils durch etwa gleich große positive Fehler der EDL-Intensität des BIP¹³⁸ kompensiert werden. Die EDL, hier Zahl der Haushalte, weist entsprechend nur sehr geringe Basisjahrfehler von in der Regel deutlich unter einem Prozent auf. Hintergrund für diese systematische Fehlerkompensation ist die Tatsache, dass die Zahl der Haushalte eine eigenständige Prognosegröße ist (EIA 1998a), deren Ausmaß auch frühzeitig und weitgehend genau bekannt ist, so dass kaum Abweichungen zwischen Prognosestartjahr und historischer Zeitreihe auftreten. Die EDL-Intensität dagegen ist hier eher als abhängige Größe zu charakterisieren, die Fehlerkompensation ist also ein Effekt der Unabhängigkeit beider Variablen.

Die Basisjahrfehler der Endenergieprojektionen setzen sich basierend auf der EDL-Projektion aus der Brennstoff- und der Stromintensität der Haushalte bezogen auf die EDL, d.h. dem Brennstoffeinsatz und dem Stromeinsatz pro Haushalt zusammen. Da die EDL kaum Basisjahrfehler aufweist sind jeweils die Basisjahrfehler von Brennstoff- bzw. Stromintensität und Brennstoff- bzw. Stromeinsatz annähernd gleich groß. Sie sind – abgesehen vom Ausreißer AEO'92 – als klein zu bezeichnen und betragen im Regelfall unter 2, meist ca. 1%. Im Mittel liegen die Basisjahrfehler der Brennstoffe etwas höher als die des Stroms und sind positiv gerichtet, während die des Stroms im Schnitt negativ ausfallen. Der resultierende Fehler des Endenergieeinsatzes ist das gewichtete Mittel der Fehler von Brennstoff- und Stromeinsatz. Er liegt im Durchschnitt bei 0,3 bzw. im Mittel der Absolutwerte bei 0,6% und damit in etwa der selben Höhe wie der Basisjahrfehler der EDL. Auch hier liegen konsistente Basisdaten vor, die kaum Basisjahrfehler aufweisen.

¹³⁸ Die EDL-Intensität des BIP wird hier definiert als Einheit der EDL des jeweiligen Sektors (hier Haushalte) pro Einheit des BIP.

Abbildung 6-11: Basisjahrfehler der AEOs 92 bis 04 im Haushaltssektor



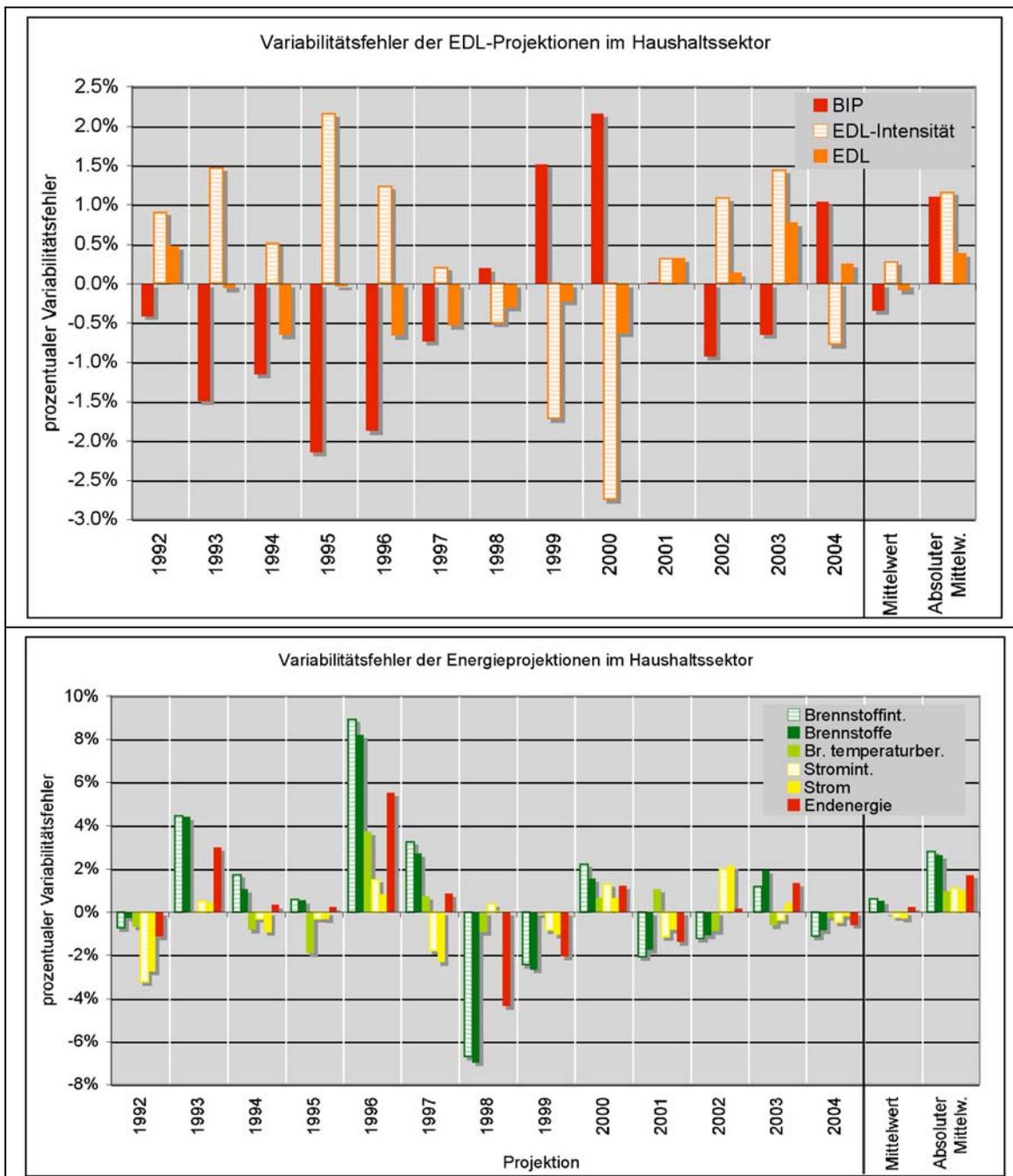
Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt zeigt sich also, dass der Basisjahrfehler im Haushaltsbereich kaum eine Rolle spielt. Sowohl EDL als auch Endenergieeinsatz sind gut bekannte Größen, deren Daten kaum revidiert werden müssen. Hierdurch werden im Basisjahr die existierenden Fehler bzw. Abweichungen der Basisjahre der BIP-Projektionen im Haushaltssektor direkt kompensiert. Die in der weiteren Fehleranalyse erfolgende Basisjahrkorrektur wird sich also nur geringfügig auf die Ergebnisse der Fehleranalyse zu EDL und Endenergieeinsatz auswirken.

6.3.2.2 Variabilitätsfehler

Neben dem Basisjahrfehler wird auch der Variabilitätsfehler aus der Fehleranalyse eliminiert, denn er repräsentiert die kurzfristigen Abweichungen der historischen Zeitreihe vom langfristigen Trend, deren Prognose in der Regel von den hier zu analysierenden mittel- und langfristigen Projektionen nicht angestrebt wird. Dabei wird hier der lineare Trend der Jahre 1992 bis 2004 zugrunde gelegt.

Abbildung 6-12: Variabilitätsfehler der AEOs 92 bis 04 im Haushaltssektor



Quelle: eigene Berechnungen

Die Variabilitätsfehler werden hier entsprechend ihres Auftretens nach Prognosejahren dargestellt. In Bezug auf einzelne Zeithorizonte oder einzelne Projektionen kommt es in der Regel zu einer weitgehenden Kompensation der Variabilitätsfehler einzelner Jahre¹³⁹.

Für die Variabilitätsfehler von BIP, EDL und EDL-Intensität des BIP im Haushaltssektor zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Basisjahrfehler. Das BIP weist eine relativ homogene Abweichung vom Trend auf, bis 1997 ist sie negativ, danach zunächst positiv, schwankt aber in den letzten Jahren. Diese Abweichung wirkt sich nicht auf die EDL (Zahl der Haushalte) aus. Deren Variabilitätsfehler ist mit einer mittleren absoluten Fehlerhöhe von weniger als 0,5% deutlich kleiner und bis einschließlich 2000 durchgängig negativ, danach positiv. Entsprechend ist der Variabilitätsfehler der EDL-Intensität in der Regel dem des BIP entgegengerichtet, so dass die Abweichungen der BIP-Entwicklung weitgehend kompensiert werden.

Im nächsten Schritt, von der EDL zur Endenergie, zeigt sich eine Differenzierung zwischen den Variabilitätsfehlern der Brennstoff- und der Stromeinsätze. Die Brennstoffeinsätze weisen einen absoluten mittleren Fehler von ca. 2,6%, die Stromeinsätze einen Fehler von nur 1% auf. Die größeren Schwankungen der Brennstoffeinsätze sind weitgehend auf Temperaturschwankungen zurückzuführen, wie der zusätzlich angegebenen Variabilitätsfehler der temperaturbereinigten Werte zeigt. Letztere weisen einen absoluten Variabilitätsfehler von 0,9%, d.h. in derselben Höhe wie der Stromeinsatz auf. Aufgrund der geringen Variabilitätsfehler der EDL sind für alle Größen des Endenergieeinsatzes die Fehler der spezifischen und der absoluten Werte nahezu gleich. Der Mittelwert, der für beide Größen bei knapp -1% liegt, zeigt, dass sich diese eher kurzfristigen Schwankungen rasch wieder kompensieren. Der Variabilitätsfehler des Endenergieeinsatzes wird erwartungsgemäß durch die Schwankungen des Brennstoffeinsatzes dominiert.

Der Variabilitätsfehler hat im Bereich der Haushalte also insgesamt nur eine geringe Bedeutung. Er ist geeignet, zyklische Schwankungen sowie temperaturbedingte Schwankungen der Werte weitgehend zu bereinigen. Obwohl sich die Variabilitätsfehler auf längere Sicht ohnehin gegenseitig kompensieren, ist dieses Fehlermaß geeignet, die o.g. Schwankungen, sofern sie in einer bestimmten Periode stärker auftreten als in einer anderen, für die Analyse zu separieren.

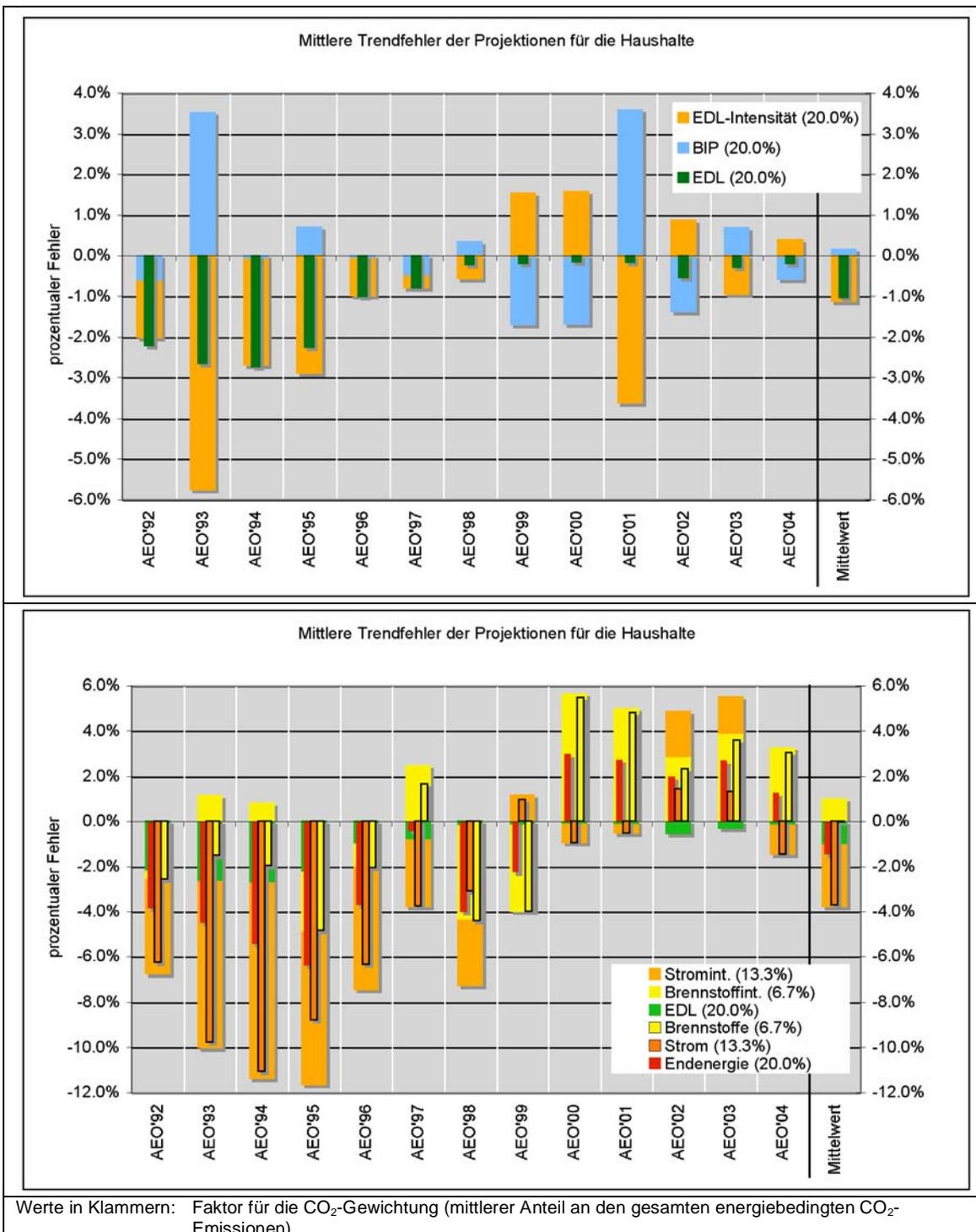
6.3.2.3 Trendfehler der Prognosevariablen

Nachdem durch die Definition des Basisjahrfehlers und des Variabilitätsfehlers wichtige Fehlerkomponenten erfasst und sichtbar gemacht wurden, die keine Prognosefehler im eigentlichen Sinn darstellen – da die Prognosen erstens von der Datenlage zur Erstel-

¹³⁹ Da der Variabilitätsfehler ja gerade die Abweichung vom linearen Trend darstellt, ist es logisch, dass sich über längere Zeiträume positive und negative Abweichungen in etwa die Waage halten. Ausnahmen können auftreten, wenn bestimmte Perioden in einer Darstellung überwiegen.

lungszeit abhängig sind, Basisjahrfehler also kaum vermieden werden können und kurzfristige klima- oder konjunkturbedingte Schwankungen nicht Gegenstand der Prognose sind (s.o.) – sollen im Folgenden die Trendfehler der Prognosen im Haushaltsbereich untersucht werden.

Abbildung 6-13: Mittlere Trendfehler der Projektionen im Haushaltsbereich der AEOs 92 bis 04



Der Trendfehler ist zum einen um die Basisjahrabweichung bereinigt und wird nicht als prozentuale Abweichung von der tatsächlichen historischen Zeitreihe, sondern als Abweichung von ihrem linearen Trend gemessen.

Die voranstehende wie die folgenden Abbildungen geben die so definierten prozentualen Prognosefehler im Haushaltsbereich wieder¹⁴⁰.

Die Abbildung oben stellt für die Treibergrößen BIP und EDL (Zahl der Haushalte) sowie dann für den Endenergieeinsatz von Strom und Brennstoffen die mittleren prozentualen Trendfehler der einzelnen AEOs dar, wobei für alle AEOs die Projektionen vom ersten Prognosejahr bis zum Jahr 2004 in die Fehleranalyse einbezogen wurden. Die mittleren Fehler beziehen sich damit jeweils auf unterschiedlich viele Jahre und auf unterschiedlich lange Zeiträume. Während der Trendfehler beim BIP zwischen -1,8 und +3,6% lag und damit wechselnde Richtungen aufwies, wurde die Zahl der Haushalte in den Projektionen durchgängig um 0,2 bis 2,7% (160.000 bis 2,9 Mio.) unterschätzt. Ab dem AEO'98 wurde die EDL – im Mittel der evaluierten Prognosejahre – weitgehend genau projiziert. Da die Prognosen der Haushaltszahlen unabhängig in die Prognosen eingehen, kommt es überwiegend zu einer entsprechenden Fehlerkompensation zwischen dem BIP und der EDL-Intensität des BIP (s.u.).

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Endenergieprojektionen. Die Endenergienachfrage der Haushalte wurde in allen Projektionen bis einschließlich des AEO'99 im Mittel um 2,3% bis 6,4% bzw. 250 bis 860 PJ unterschätzt¹⁴¹, in allen jüngeren Projektionen dagegen überschätzt. Dabei wurde der spezifische Brennstoffeinsatz fast durchgängig überschätzt. Kompensiert wurde dies allerdings zu einem kleinen Teil durch die Unterschätzung der EDL in den älteren AEOs aber vor allem durch die Unterschätzung des spezifischen Stromeinsatzes. Ab dem AEO'00 ist die Prognosegenauigkeit der EDL wie auch des Stromeinsatzes deutlich höher, so dass nun die – vor allem klimawandelbedingte (s.u.) – Überschätzung des spezifischen Brennstoffeinsatzes der Hauptgrund für eine Überschätzung des Endenergieeinsatzes ist.

CO₂-gewichtete Trendfehler nach Prognosedauer

Da der Vergleich der oben angestellten AEOs und seine Ergebnisse aber durch die jeweils unterschiedlich langen Prognosedauern verzerrt sein können, werden im Folgenden die gleichen Fehler nach Prognosedauer für 5, 7 und 9 Jahre unterschieden dargestellt. Um die Fehler in ihrer Bedeutung für den Gesamtfehler der CO₂-Projektion einordnen zu können und die Fehler bezüglich ihrer Relevanz direkt miteinander vergleichen zu können, werden entsprechend CO₂-gewichtete Fehler angegeben.

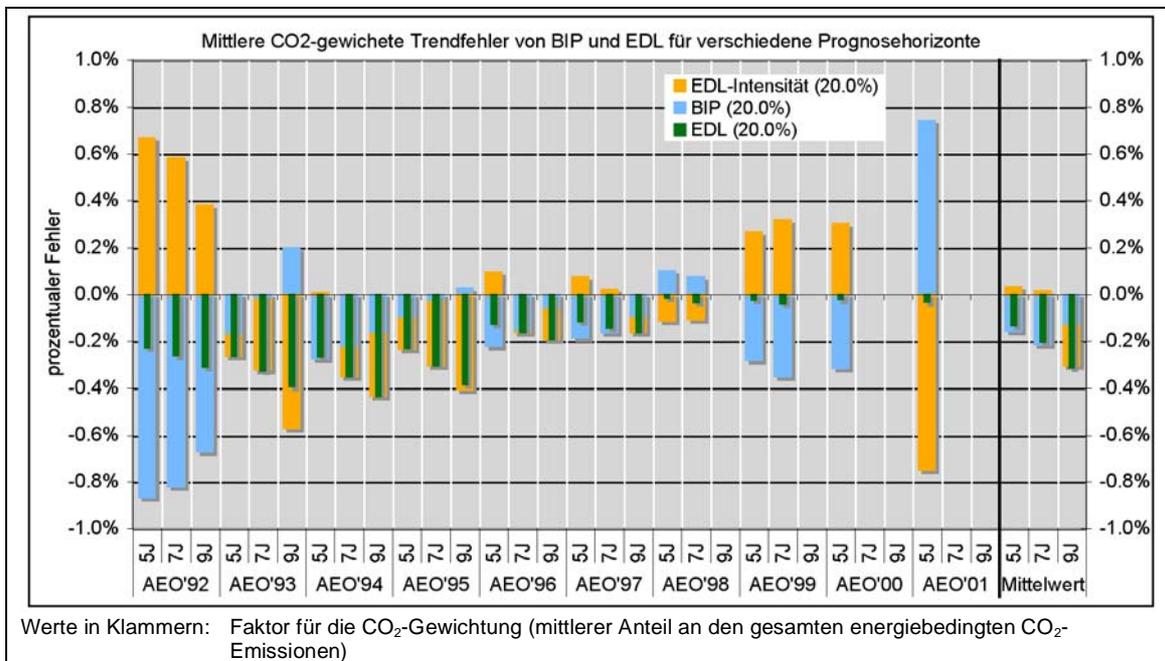
¹⁴⁰ Hier werden die Fehler direkt in Bezug auf die zu prognostizierende Größe bezogen. Weiter unten werden dagegen CO₂-gewichtete Werte angegeben, die den Vorteil haben, dass sie direkt die Wirkung auf den Gesamtfehler anzeigen.

¹⁴¹ Der AEO'97 stellt mit einem Fehler von nur -0,4% hier eine Ausnahme dar.

Dabei zeigt sich zunächst für die Treibergrößen des Endenergiebedarfs im Haushaltssektor, dass der – mit Ausnahme der AEO'92 und der AEOs ab 99' – durchgängig negative Trendfehler der BIP-Projektionen ganz überwiegend durch eine Unterschätzung der EDL-Intensität verstärkt wird.

Die EDL selbst wurde in allen betrachteten AEOs für alle berücksichtigten Zeithorizonte durchgängig zu gering projiziert (s.o.), wobei der CO₂-gewichtete Trendfehler typischerweise nach fünf Jahren etwa -0,1% betrug um auf etwa -0,3% nach neun Jahren anzusteigen. Im Mittel finden sich negative Fehler der BIP-Prognosen, die für Prognosehorizonte bis 7 Jahren leicht durch positive Fehler der EDL-Intensität abgeschwächt werden. Für den Prognosehorizont von neun Jahren dagegen verstärken sich beide Fehler. Die EDL selber weist ebenfalls einen negativen Trendfehler auf, der mit dem Prognosehorizont größer wird.

Abbildung 6-14: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Projektionen von BIP und EDL im Haushaltssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte

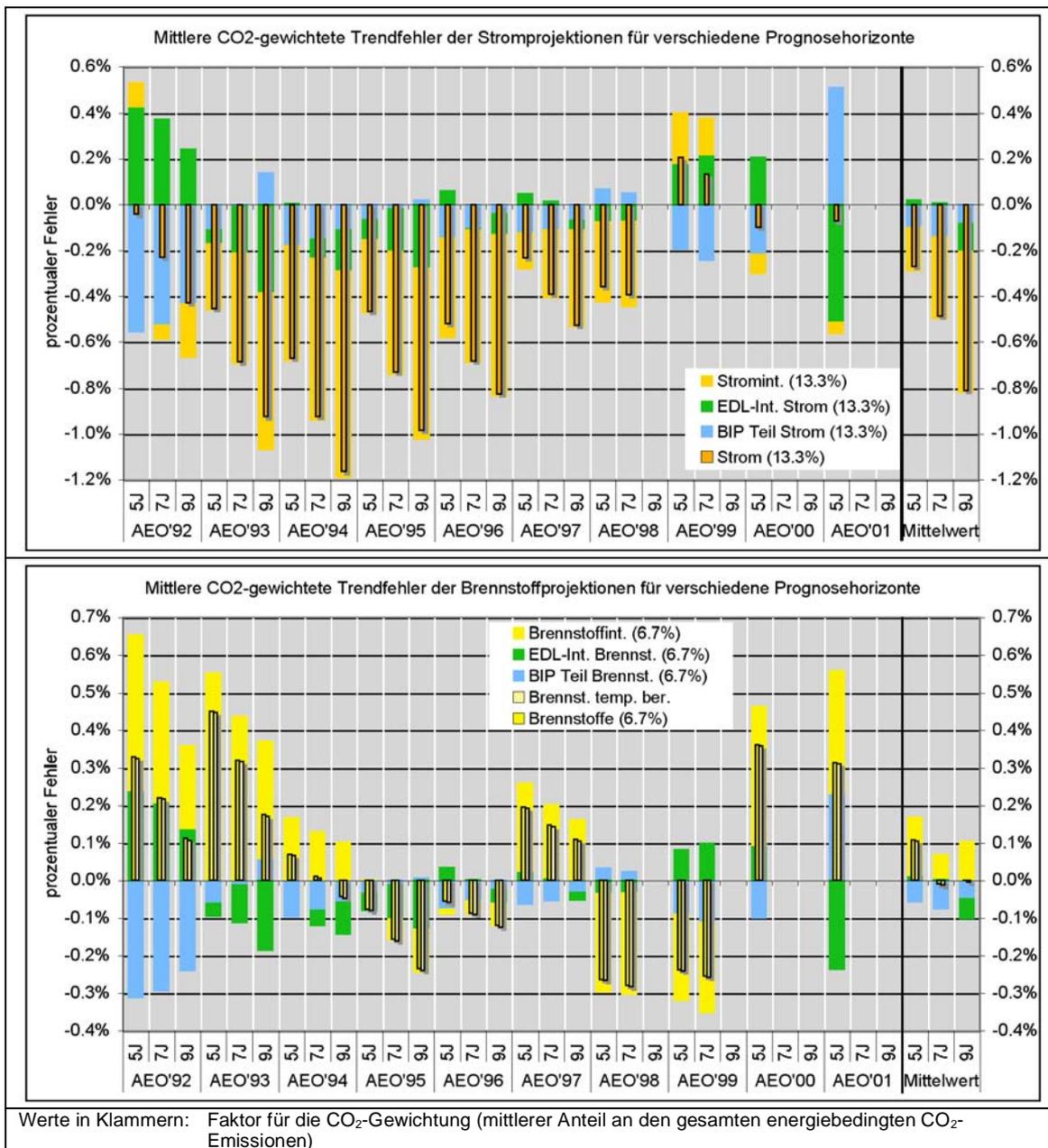


Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Fehler der EDL-Prognose im Zeitverlauf kleiner werden. Sie weist ab 1998 kaum noch einen Fehler auf. Dies gilt aber nicht für die beiden anderen BIP-bezogenen Fehler.

Im nächsten Schritt werden die auf der EDL aufbauenden Energieprojektionen betrachtet, die in der folgenden Abbildung näher dargestellt sind. Dabei werden die Fehler der Strom- und der Brennstoffprojektionen separat betrachtet und auf ihre Ursachen, anteiliger Fehler des BIP, der EDL-Intensität und der Strom- bzw. Brennstoffintensität zurückgeführt.

Abbildung 6-15: Fehlerkombination der Strom- und Brennstoffprojektionen im Haushaltssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



Quelle: eigene Berechnungen

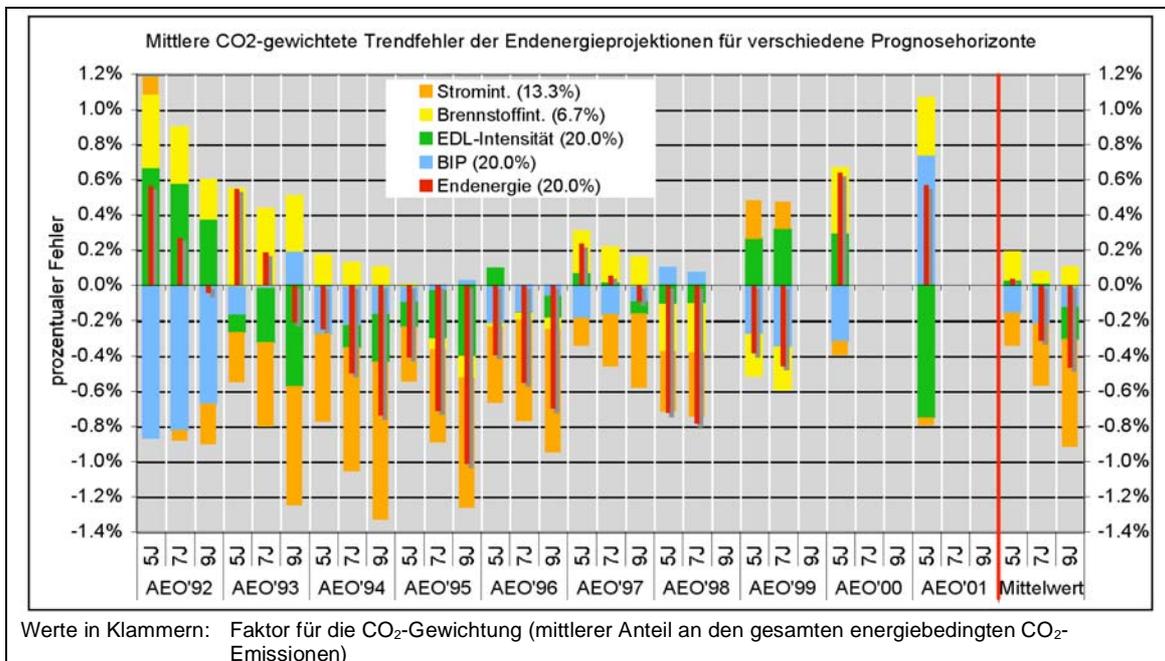
Dabei sind die Fehler bei Strom und bei den Brennstoffen recht unterschiedlich verteilt. Die Stromeinsätze der Haushalte werden mit Ausnahme des AEO'99 durchgängig deutlich, d.h. um CO₂-gewichtet bis zu 1,2%¹⁴² unterschätzt. Im Mittel steigt der Trendfehler der Stromverbrauchsprojektionen von -0,3% bei Prognosehorizonten von 5 Jahren auf -0,8% bei Prognosehorizonten von 9 Jahren an, wobei die Unterschätzung

¹⁴² Der CO₂-Gewichtungsfaktor für den Stromeinsatz der Haushalte beträgt durchschnittlich 13,3 %. D.h. ein gewichteter Fehler von 1,2% beträgt 9% bezogen auf den Stromeinsatz. Der Stromeinsatz wird also um bis zu 9% unterschätzt.

der Stromintensität der EDL mit einem Anteil von 77 bis 84% wesentlich für den Fehler verantwortlich ist.

Bei den Brennstoffen dagegen ist das Bild uneinheitlich, die CO₂-gewichteten Trendfehler schwanken von -0,28 bis 0,45%, wobei die CO₂-Emissionen der Brennstoffe nur etwa halb so stark ins Gewicht fallen, wie die des Stroms. Auch hier ist der Fehler der Brennstoffintensität entscheidend für die Fehler, wobei kein eindeutiger Trend steigender Fehler mit steigender Prognosedauer zu erkennen ist. Die Trendfehler gegenüber den temperaturbereinigten Werten unterscheiden sich in dieser Darstellung kaum von denen gegenüber den Realwerten, für den relativ kurzen Zeitraum von 1992 bis 2004 wird der Effekt des Klimawandels bereits durch den Trendfehler entsprechend bereinigt. Anders ist dies allerdings, wenn die Trendfehler mit Bezug auf den Trend der Jahre 1983 bis 2004 berechnet werden (siehe Exkurs weiter unten).

Abbildung 6-16: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen im Haushaltssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



Quelle: eigene Berechnungen

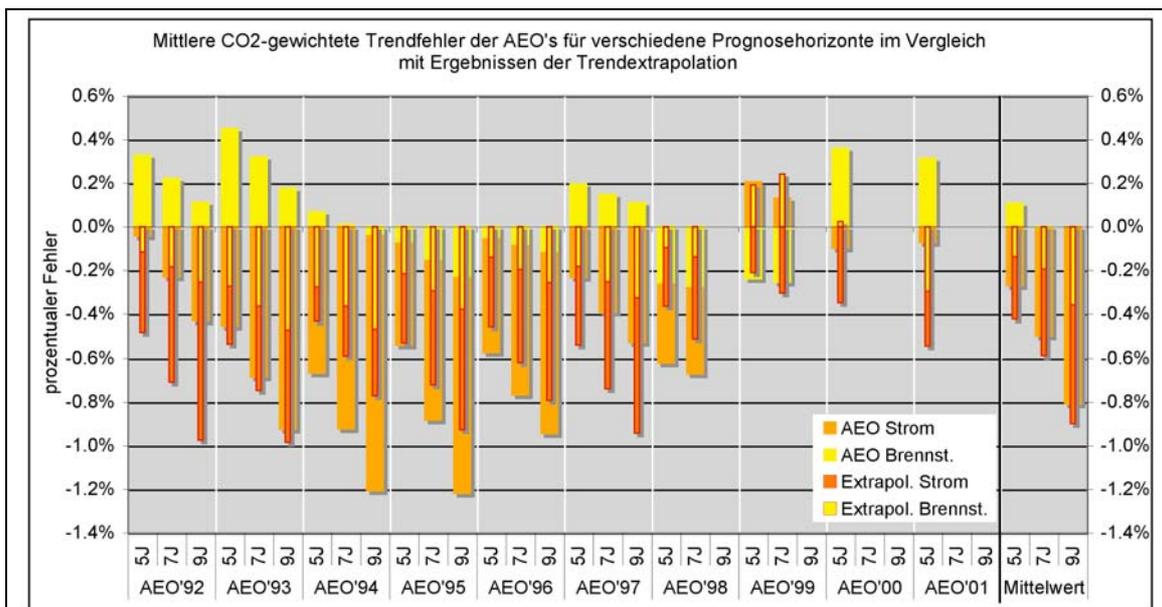
Der als gewichtetes Mittel resultierende CO₂-gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen¹⁴³ wird wie die Abbildung 6-16 zeigt, überwiegend durch den Fehler der Stromverbrauchsprojektionen bestimmt. Die Unterschätzung des Stromverbrauchs wird dabei noch verstärkt durch die mittlere Unterschätzung des BIP sowie z.T. der

¹⁴³ Der CO₂-gewichtete Fehler der Endenergieprojektion ist der endenergiegewichtete mittlere Fehler der Brennstoff- und Stromprojektionen. Aufgrund des um etwa ein Drittel geringeren Emissionsfaktors für Brennstoffe im Vergleich zu Strom hat der Fehler der Brennstoffe aber ein insgesamt höheres Gewicht, als es in den Abbildungen erscheint. Im Gegensatz zu anderen Fehlerkombinationen lässt sich damit der Fehler der Endenergieprojektion nicht direkt aus der Grafik erschließen.

EDL. Die Fehler beim Brennstoffeinsatz dagegen wirken überwiegend (nicht in allen AEOs) leicht kompensierend. Insgesamt kompensieren sich die Fehler beim Endenergieeinsatz für Prognosehorizonte von 5 Jahren vollständig, danach zeigt sich ein mit dem Prognosehorizont klar ansteigender CO₂-gewichteter Trendfehler von 0,3% bzw. 0,5% für Prognosehorizonte von 7 bzw. 9 Jahren.

Im Gegensatz zur Projektion der EDL ist hier kein klarer Trend der Verbesserung der Projektionen bei neueren AEOs zu erkennen.

Abbildung 6-17: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen und der Trendextrapolationen der Haushalte nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



AEO: Trendfehler der AEOs; Extrapolation: Ergebnis der linearen Extrapolation des linearen Trends der Treibergrößen für die jeweils sechs letzten Jahre vor Prognosebeginn.

Quelle: eigene Berechnungen

Im Vergleich der CO₂-gewichteten Trendfehler der AEOs nach Projektionsdauern mit den Ergebnissen der linearen Extrapolation (Abbildung 6-17) zeigt sich, dass für vier Projektionen (AEOs 94 – 96 und 98) die lineare Extrapolation der Vergangenheits-trends der spezifischen Variablen¹⁴⁴ eine – für den hier analysierten Zeitraum – genauere Projektion ergeben hätte als die AEOs. In den übrigen fünf Fällen dagegen waren die AEOs genauer. Für den Stromeinsatz weisen sowohl die Trendextrapolationen als auch die AEOs eine Unterschätzung der tatsächlichen Entwicklung auf, die Trendextrapolationen weisen im Durchschnitt allerdings deutlich geringere Trendfehler auf als die AEOs, hier zeigt sich, dass die Projektionsmodelle den starken Anstieg der Stromeinsätze trotz steigenden Trends bis Ende der 90er Jahre nicht erwartet haben. Besser dagegen schneiden die AEOs im Durchschnitt bei der Projektion der Brennstoffeinsatz-

¹⁴⁴ Lineare Extrapolation des linearen Trends der jeweils 6 letzten Jahre des BIP, der EDL-, Strom- und Brennstoffintensität der Haushalte.

ze ab, vor allem weil es hier entgegen dem Trend sowohl zu Über- als auch zu Unterschätzungen kommt. Insgesamt – bezogen auf Endenergieeinsatz und CO₂-Emissionen weisen beide Projektionsvarianten nahezu gleiche Fehler auf.

Im Folgenden sollen die beiden Haupteinflussgrößen des Trendfehlers der Endenergieprojektion der Haushalte kurz näher beleuchtet werden. Der spezifische Brennstoffeinsatz der Haushalte wurde in den Projektionen – bei starken Schwankungen – leicht zu hoch projiziert. Als Gründe dafür kommen im Wesentlichen vier Fehleinschätzungen in Frage.

- Die Wohnflächenentwicklung, die den Brennstoffbedarf der Gebäude maßgeblich beeinflusst, könnte überschätzt worden sein.
- Die Effizienzsteigerung der Gebäude, d.h. vor allem ihre Wärmedämmung sowie der Wirkungsgrad der Heizungen, könnte unterschätzt worden sein.
- Die Substitution von Brennstoffen durch Stromheizungen könnte übersehen worden sein.
- Das Klima könnte als zu kalt eingeschätzt worden sein.

Für die nähere Analyse dieser Effekte fehlen ganz überwiegend die entsprechenden Prognosedaten der AEOs. Entsprechende Ist-Daten sind dagegen seit Anfang 2007 verfügbar (EERE 2007)¹⁴⁵. Ausnahme ist hierbei das Klima. Da die Projektionen durchgängig den Brennstoffeinsatz bezogen auf das Normaljahr projizieren, können sie vom tatsächlichen Trend abweichen.

Exkurs: Einfluss der Temperaturbereinigung auf den Trendfehler bezogen auf den Zeitraum 1983 bis 2004

In der folgenden Abbildung zeigt sich klar, dass sich der real während des Analysezeitraums aufgetretene Brennstoffeinsatztrend deutlich vom Trend der klimabereinigten Werte der EERE unterscheidet¹⁴⁶. Hintergrund dafür ist der Klimawandel, der dazu geführt hat, dass das Klima der vergangenen beiden Jahrzehnte deutlich wärmer war, als das den Prognosemodellen zugrunde gelegte Klima des auf einem 30-jährigen Mittelwert beruhenden ‚Normaljahrs‘.

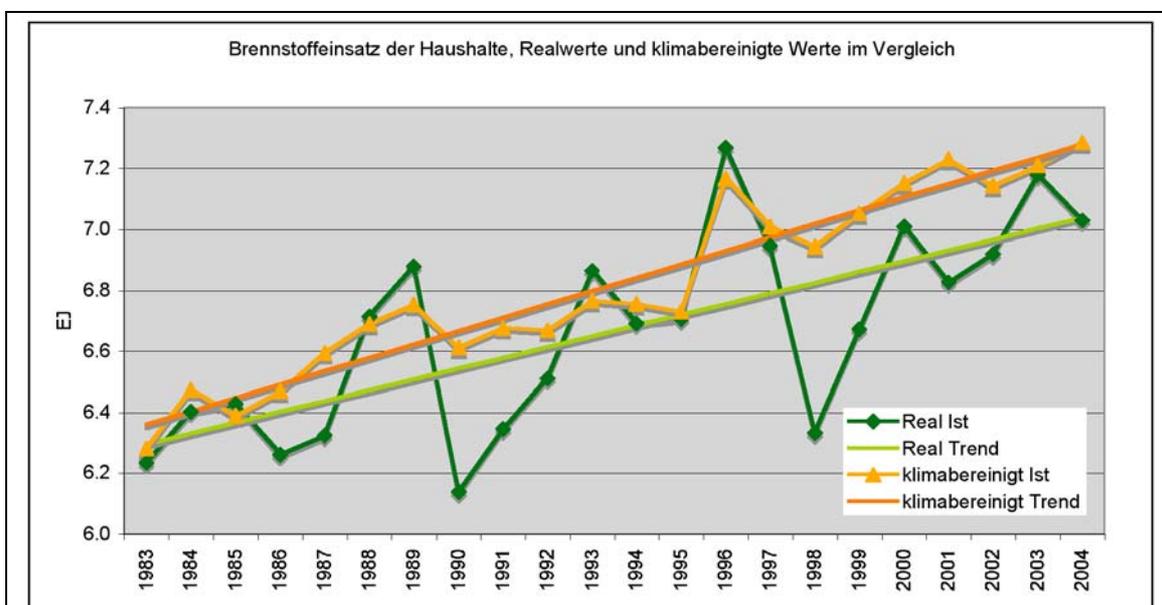
Die für die Berechnung des Trendfehlers₍₈₃₋₀₄₎ durchgeführte Variabilitätskorrektur (siehe die Linie Real Trend in der Abbildung 6-17) dagegen bereinigt nur die Schwan-

¹⁴⁵ Die Daten der EERE (2007) zeigen, dass zwischen 1985 und 2005 die durchschnittliche Wohnungsgröße um 20% gestiegen ist und der spezifische Brennstoffbedarf pro Quadratmeter um etwa 10% gesunken ist. Zusätzlich ist der Anteil von Strom als hauptsächlicher Heizenergie zwischen 1984 und 2001 von 17 auf 29% angestiegen (AER 2003, 53). Diese Entwicklungen könnten also durchaus Ursache der Überschätzung der Brennstoffintensität sein. Allerdings fehlen die entsprechenden Prognosedaten aus den AEOs um hier vertiefte Fehleranalysen durchzuführen.

¹⁴⁶ Dieser Trend wird besonders relevant, wenn der Trendfehler auf den längeren Zeitraum 1983 bis 2004 bezogen wird. Wie die voranstehend diskutierten Ergebnisse zeigen, ist der Effekt bei einer Trendfehlerbildung bezogen auf den Zeitraum 1992 bis 2004 kaum erkennbar.

kungen, nicht aber die mögliche Tatsache, dass das Klima in der Testperiode durchgängig wärmer war als das „Normalklima“. Tatsächlich zeigt sich, dass die Überschätzung bei der Verwendung eines auf klimabereinigte historische Werte bezogenen Trendfehlers um etwa zwei Drittel niedriger liegt. D.h., die Überschätzung der Brennstoffeinsätze ist zu zwei Dritteln darauf zurückzuführen, dass das Klima der Beobachtungsperiode 1992 bis 2004 im Durchschnitt wärmer war als das den Projektionen zugrunde gelegte langjährige Klimamittel. Bezogen auf die gesamten CO₂-Emissionen machte dieser klimabedingte Unterschied während der Periode 1992 bis 2004 einen Fehler von 0,2% aus. D.h. die CO₂-Emissionen der Brennstoffeinsätze der Haushalte lagen klimabedingt im Trend um 2,8% unter dem bei konstanten Klima zu erwartenden Wert, was bezogen auf die Gesamtemissionen 0,2% ausmacht.

Abbildung 6-18: Brennstoffeinsatz der Haushalte, Realwerte und klimabereinigte Werte im Vergleich.



Quelle: eigene Berechnungen nach EERE (2007)

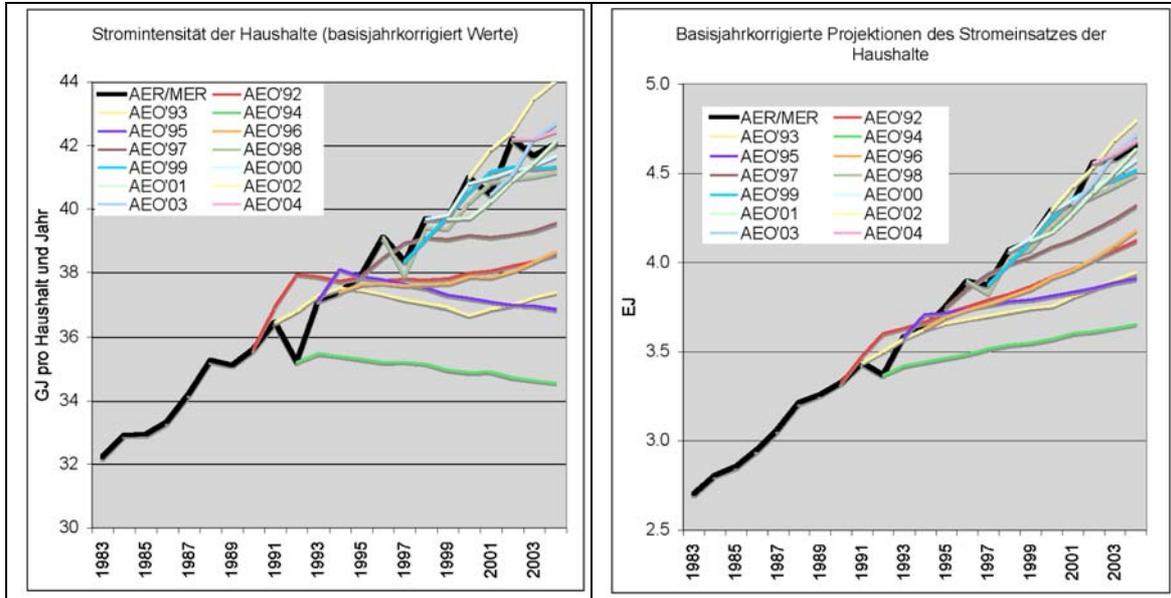
Für die Unterschätzung des Trends der Stromintensität pro Haushalt (vgl. folgende Abbildung) kommen ebenfalls mehrere Ursachen in Frage. Zum einen die Unterschätzung des Anstiegs der Ausstattung mit und Nutzung¹⁴⁷ von diversen Elektrogeräten und Klimaanlage¹⁴⁸ und zum anderen die Überschätzung der Effizienzentwicklung. Auch hier ist ein Klimateffekt denkbar, da der Stromverbrauch zum Teil (ca. 12,4%) durch Heizung, aber auch zu etwa 14% durch Klimatisierung bedingt ist (Werte nach EERE 2007). Hinzu kommt noch eine denkbare Substitution von Brennstoffen durch

¹⁴⁷ Die Nutzung ist für einige Anwendungen, vor allem bei Licht und Klimatisierung, wiederum auch an die durchschnittliche Wohnungsgröße gekoppelt.

¹⁴⁸ Neben der gestiegenen Ausstattung mit elektrischer Heizung ist zwischen 1984 und 2001 der Ausstattungsgrad mit Klimaanlage ebenfalls von 60 auf 77% angestiegen, wobei zentrale Systeme ihre Verbreitung auf 55% aller Wohnungen in diesem Zeitraum fast verdoppelt haben (AER 2003, 53).

Strom bei der Raum- und Warmwassererwärmung als mögliche (aber quantitativ wenig relevante) Erklärung.

Abbildung 6-19: Stromintensität und Stromeinsatz der Haushalte, basisjahrkorrigierte Projektionen der AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

Allerdings haben sich beim Strom – im Gegensatz zu den Brennstoffen – die verbrauchssteigernden Effekte des höheren Klimatisierungsbedarfs und die dämpfenden Effekte des verringerten Heizenergiebedarfs in der Periode 1992 bis 2004 nach den Analysen des PNL (EERE 2007) im Mittel fast exakt aufgehoben, sie kommen also nicht als Erklärung in Frage. Beim Stromeinsatz der Haushalte wurde – wie die voranstehende Abbildung zeigt – in fast allen Projektionen mit Ausnahme der allerjüngsten AEOs – eine Abflachung des ansteigenden Trends der Stromintensität erwartet, die jedoch so während des gesamten hier betrachteten Zeitraums nicht eingetreten ist. Als Ursache sind sowohl eine Verkennung des Trends zu steigender Ausstattung als auch Fehleinschätzungen der Effizienz denkbar¹⁴⁹.

Zusammenfassung Haushaltssektor

Insgesamt kann für den Haushaltssektor gezeigt werden, dass

- Basisjahrfehler und Variabilitätsfehler mit Ausnahme des BIP für den Basisjahrfehler (s.o.) und des Brennstoffeinsatzes (Variabilitätsfehler) nur eine untergeordnete Rolle in den Projektionen spielen.

¹⁴⁹ Weitere Diskussionen zur Ursache dieser Fehleinschätzung siehe auch unter Hypothese 1c in Kapitel 7.2.2.

- Ein wichtiges Ergebnis ist, dass die Trendfehler der BIP-Projektion keinen direkten Einfluss auf die Energieprojektion haben,
 - denn die Projektion der Energiedienstleistung (Zahl der Haushalte) ist weitgehend unabhängig von der BIP-Prognose und weist bei einer leichten Unterschätzung der tatsächlichen Entwicklung vor allem in den älteren AEOs bzw. den längeren Prognosehorizonten nur einen sehr geringen mittleren Trendfehler auf.
 - Es kommt hier also zu einer weitgehenden Kompensation der Überschätzungen in den BIP-Projektionen mit den entgegengesetzten Fehlern der EDL-Intensität.
- Die deutlich größeren Fehler in den Prognosen des Endenergieeinsatzes sind also in diesem Sektor in erster Näherung nicht durch die Fehleinschätzung der EDL sondern durch die Unterschätzung der Energieintensitätsentwicklung in den Projektionen verursacht¹⁵⁰. Dabei ist diese Unterschätzung in den Projektionen zum Teil durch eine Fehlerkompensation maskiert:
 - Die Brennstoffintensität wurde im Mittel der Projektionen und Prognosehorizonte leicht überschätzt, wobei größere Schwankungen zwischen einzelnen Projektionen bestehen. D.h., hier wurde der Brennstoffeinsatz pro Haushalt – entweder aufgrund angenommener zu großer Wohnflächenzuwächse oder aufgrund zu pessimistischer Annahmen zur Energieeffizienz der Gebäude sowie zu einem kleinen Teil aufgrund des nicht in den Prognosemodellen berücksichtigten Klimawandels zu hoch projiziert.
 - Die Stromintensität der Haushalte wurde dagegen mit einer Ausnahme in allen AEOs und mit zunehmenden Prognosehorizont immer stärker unterschätzt. D.h. hier wurde entweder die Effizienzsteigerung der Geräte zu optimistisch projiziert oder die Ausstattungszunahme nicht vorhergesehen¹⁵¹.

¹⁵⁰ Hier muss einschränkend bemerkt werden, dass die Energiedienstleistung aufgrund der gegebenen Datenlage mit der Zahl der Haushalte nur sehr grob erfasst werden konnte. Wohnflächenentwicklung, steigende Ausstattungsraten mit Strom verbrauchenden Geräten und Klimaanlage etc. sowie die Substitution von Brennstoffen durch Strom fallen hier weiter unter Energieintensität des BIP. Eine wichtige weitere Fragestellung wäre hier – bei entsprechender Datenlage zu den Annahmen der AEOs – zu analysieren, inwieweit die Fehlprognosen der Energieeffizienz tatsächlich auf Fehlprognosen der technischen Effizienz beruhen oder ob sie eher durch Fehleinschätzungen der Ausstattungsraten der Haushalte entstanden sind.

¹⁵¹ Auch hier ist ein Klimateffekt denkbar, da der Stromverbrauch zum Teil (ca. 12,4%) durch Heizung aber auch zu etwa 14% durch Klimatisierung bedingt ist (Werte nach EERE 2007). Allerdings haben sich beim Strom die verbrauchssteigernden Effekte des höheren Klimatisierungsbedarfs und die dämpfenden Effekte des verringerten Heizenergiebedarfs in der Periode 1992 bis 2004 nach den Analysen des PNL (EERE 2007) im Mittel fast exakt aufgehoben. Hinzu kommt noch eine mögliche Substitution bei der Raum- und Warmwasserheizung von Brennstoffen zu Strom, die aber anhand der vorhandenen Daten nicht überprüfbar ist.

- Da die Unterschätzung des Stromeinsatzes in den meisten AEOs deutlich größer ist als die Überschätzung des Brennstoffeinsatzes, weisen die meisten Projektionen eine deutliche Unterschätzung des Endenergieeinsatzes der Haushalte aus. Während sich die Fehler für Projektionen über 5 Jahre kompensieren, steigt der CO₂-gewichtete Trendfehler für Projektionen von 9 Jahren auf im Mittel 0,5% an.

Insgesamt sind – bei Bereinigung um Periodeneffekt und Einfluss der Prognosedauer – mit Ausnahme der EDL-Projektion keine eindeutigen Verbesserungen der Projektionen zwischen den einzelnen AEOs zu erkennen. Die insgesamt geringen Fehler weichen zudem kaum vom Fehler der Trendextrapolation ab, wobei die Stromeinsätze in den AEOs mit größerem Fehler als in den Trendextrapolationen projiziert wurden, was insgesamt aber durch Fehlerkompensation im Brennstoffbereich wettgemacht wird.

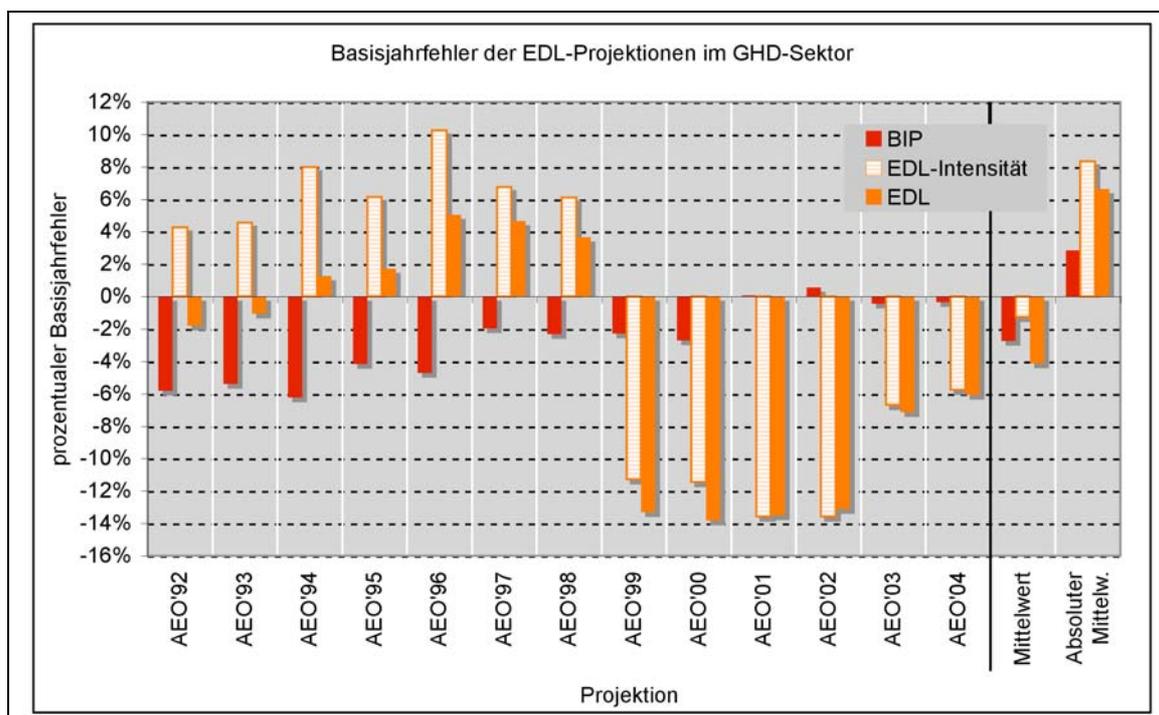
6.3.3 Fehleranalyse der Projektionen für den GHD-Sektor

Im Folgenden werden zunächst Basisjahr- und Variabilitätsfehler der Energieprojektionen im GHD-Sektor dargestellt und analysiert. Daraufhin werden die um Basisjahr- und Variabilitätseffekte bereinigten Trendfehler der im GHD-Sektor relevanten Projektionen und Variablen im Detail analysiert und eine Zusammenfassung zu den Hauptursachen und Veränderungen der Fehler der Energieprojektionen für den GHD-Sektor erstellt.

6.3.3.1 Basisjahrfehler

Im GHD-Sektor treten, anders als im Haushaltsbereich, signifikante Basisjahrfehler auf. Die Basisjahrabweichung der BIP-Projektionen wurde bereits näher analysiert. Weitgehend unabhängig davon ist die Basisjahrprojektion der Energiedienstleistung, der Gebäudefläche im GHD-Sektor. Die Gebäudefläche wird von der EIA regelmäßig erhoben und veröffentlicht.¹⁵²

Abbildung 6-20: Basisjahrfehler der EDL-Projektionen im GHD-Sektor der AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

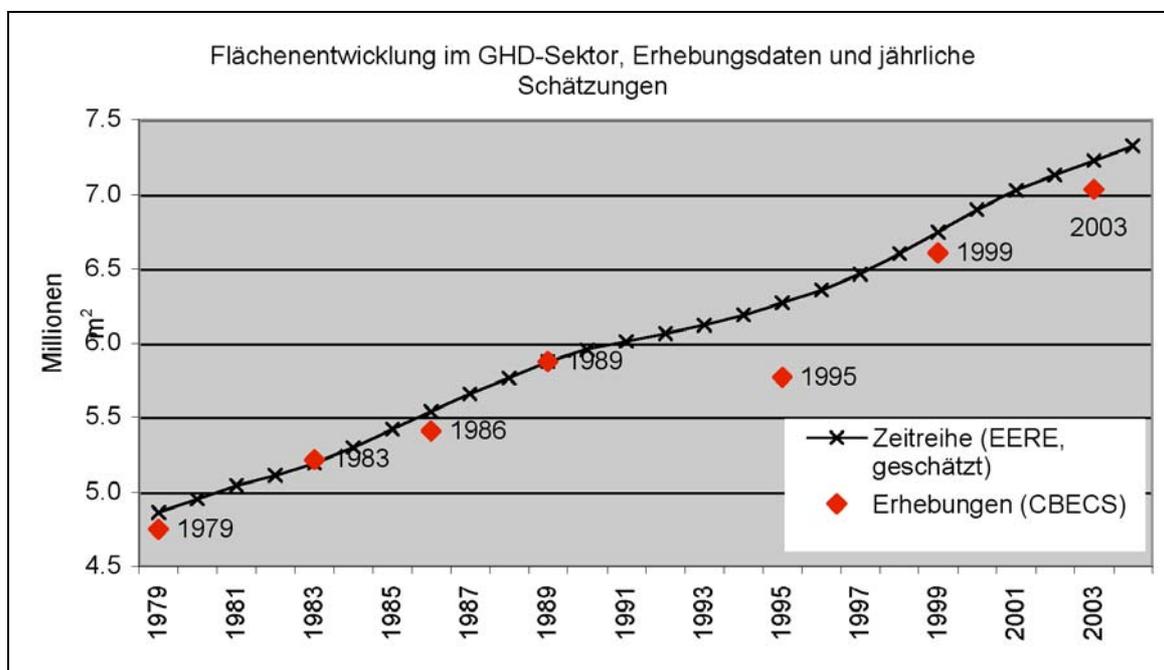
Besonders auffällig ist der Sprung in den Basisjahrfehlern der EDL zwischen den AEOs 98 und 99. Während sich zunächst ein langsam steigender positiver Basisjahrfehler zeigt, liegt der Basisjahrfehler in den AEOs 99 bis 2002 bei etwa -13% und

¹⁵² Seit 1979 wurden alle drei bzw. alle vier Jahre entsprechende „Commercial Buildings Energy Consumption Surveys“ (CBECS) durchgeführt (siehe z.B. EIA 1998b sowie <http://www.eia.doe.gov/emeu/cbecs/contents.html>). Der jüngste CBECS wurde 2007 durchgeführt., Ergebnisse sind allerdings erst im Verlauf des Jahres 2008 zu erwarten.

danach bei immer noch etwa -6%. Tatsächlich wurden die Angaben zu den Gebäudeflächen im GHD-Sektor zwischen den AEOs 98 und 99 signifikant nach unten reduziert (siehe Boedecker 1998, 2001).

Der Hintergrund für diese starke Veränderung der Basisdaten zeigt sich in der folgenden Abbildung. Die GHD-Modelle der AEOs beruhen jeweils auf den letzten verfügbaren Daten der regelmäßigen Erhebungen (CBECS). Für den AEO'88 war das der CBECS 1992, für den AEO'99 der CBECS 1995¹⁵³. Im CBECS 1995 wurde allerdings die Definition der erfassten Gebäude verändert, so dass sich eine deutliche Abweichung der Gebäudefläche nach unten ergab. Diese Abweichung wurde für die historische Zeitreihe der EERE (2007) nicht nachvollzogen. Diese verwendet durchgängig die Abgrenzung der Jahre bis 1989.

Abbildung 6-21: Zeitreihe und Erhebungen zur Flächenentwicklung im GHD-Sektor, 1979 bis 2004



Quelle: eigene Darstellung nach EERE (2007), umgerechnet

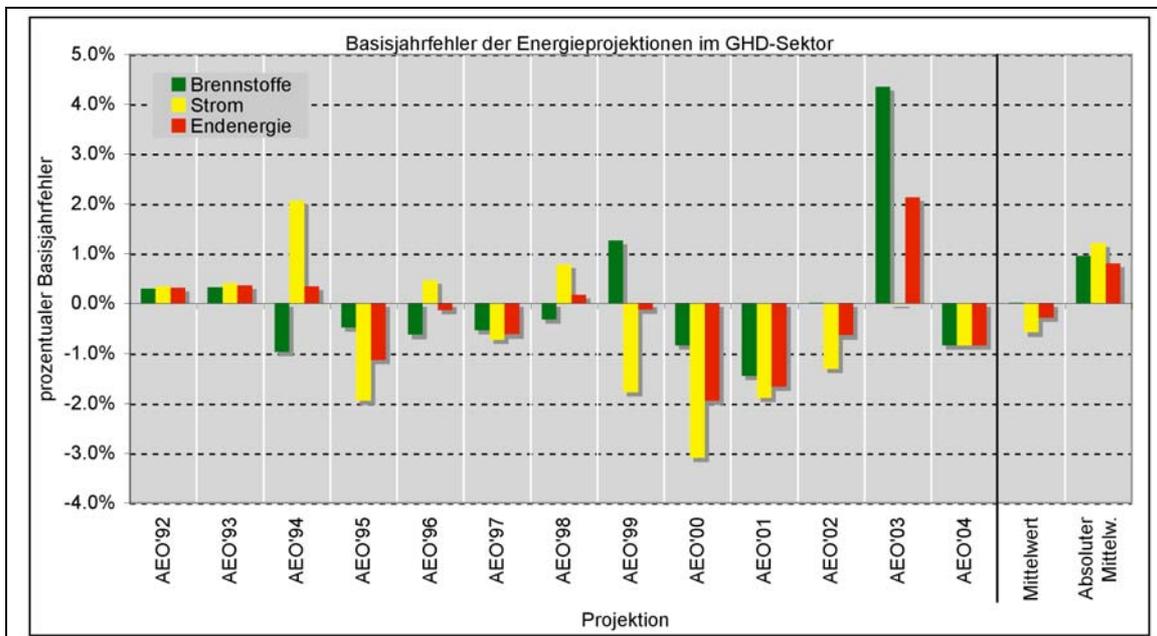
Hieraus ergibt sich, dass die Umstellung des Modells entsprechend der jeweils aktuellen verfügbaren Datenerhebungen den signifikanten Basisjahrfehler der Gebäudeflächen im GHD-Sektor hervorgerufen hat.

Diese methodische Änderung der Gebäudeflächenerfassung im CBECS 1995 und in den hierauf beruhenden AEOs 98 bis 02 wirkt sich entsprechend auch auf die Brennstoff- und Stromintensität aus, deren Werte – bei sich kontinuierlich entwickelnden Endenergieeinsätzen – ab dem AEO 99 in die Höhe schnellen (siehe Abbildung unten).

¹⁵³ Erschienen im November 1998 (EIA 1998b).

Brennstoff-, Strom- und Endenergieeinsatz weisen dagegen nur geringe Basisjahrfehler mit einem mittleren absoluten Fehler von jeweils knapp 1% aus, wobei der Fehler beim Strom am höchsten ist. Im Mittelwert der positiven und negativen Fehler gleichen sich diese über den betrachteten Zeitraum zudem fast vollständig aus.

Abbildung 6-22: Basisjahrfehler der Energieprojektionen im GHD-Sektor der AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

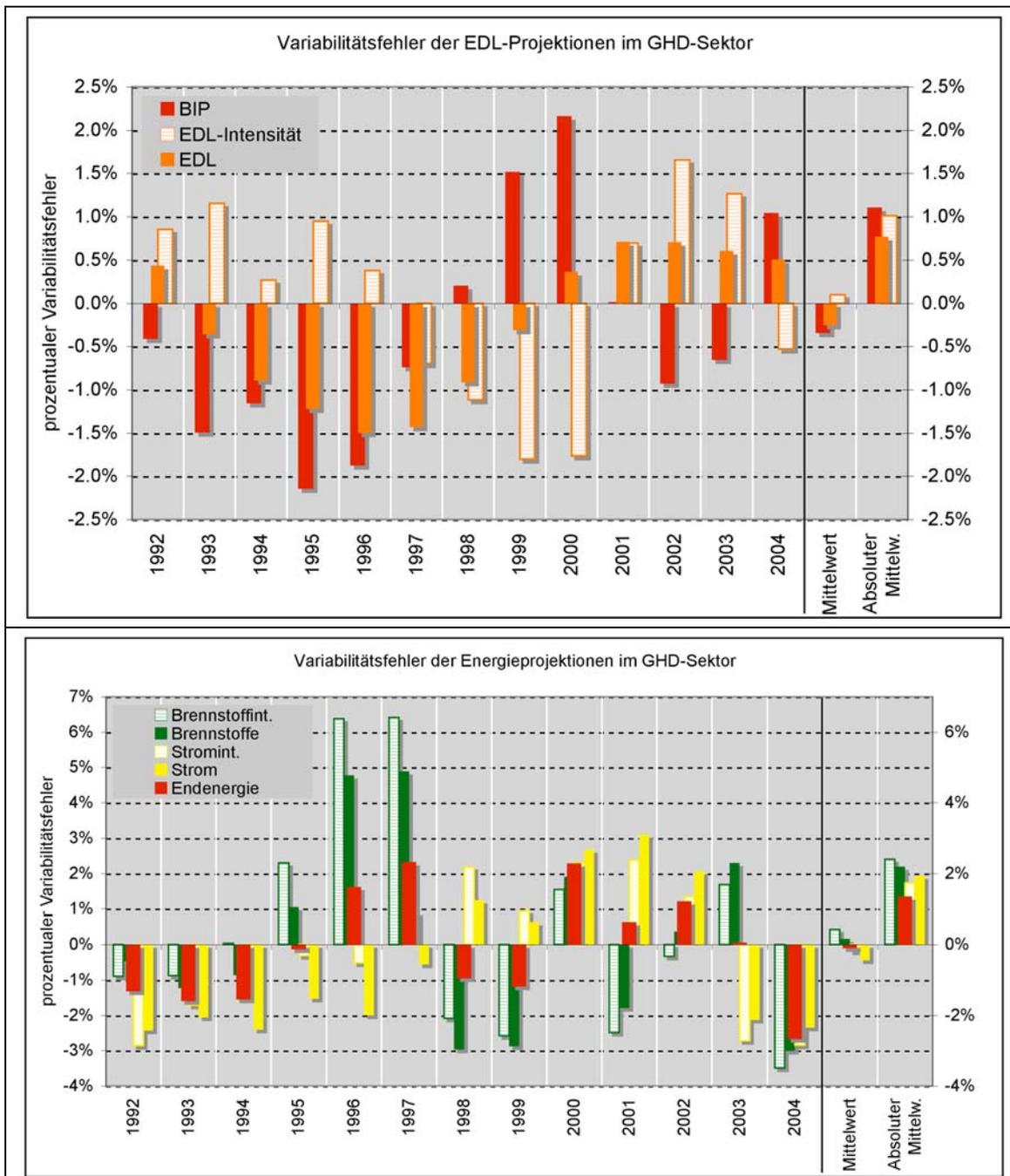
Insgesamt zeigt sich also, dass der Basisjahrfehler im GHD-Bereich für die Analyse der Projektionen eine wichtige Rolle spielt. Obwohl der Basisjahrfehler bei den letztlich interessierenden Größen Strom- Brennstoff- und Endenergieeinsatz unbedeutend ist, ist er für die Energiedienstleistung und entsprechend für die auf die EDL bezogenen Größen signifikant, da die Definition und Abgrenzung der EDL, d.h. der Gebäudefläche im GHD-Sektor, zwischenzeitlich signifikant verändert wurde. Ohne eine entsprechende Korrektur würden die Fehleranalysen für diese Variablen also ein völlig falsches Bild abgeben.

6.3.3.2 Variabilitätsfehler

Der Variabilitätsfehler repräsentiert die kurzfristigen Abweichungen der historischen Zeitreihe vom langfristigen Trend, deren Prognose in der Regel von den hier zu analysierenden mittel- und langfristigen Projektionen nicht angestrebt wird. Im GHD-Sektor wird die EDL durch die Gebäudeflächen im Sektor bestimmt. Diese haben sich ähnlich wie das BIP nicht völlig linear sondern leicht zyklisch entwickelt. Interessant ist, dass die Flächenentwicklung – bei insgesamt kleineren Ausschlägen – der BIP-Entwicklung mit einem leichten zeitlichen Nachlauf folgt. Eine Entwicklung, die durchaus plausibel erscheint, denn die Entwicklung des GHD-Sektors ist – zumindest in vielen Teilbereichen – stark mit der Wirtschaftsentwicklung gekoppelt. Eine überdurchschnittlich starke

oder schwache Wirtschaftsentwicklung führt also zu einem entsprechenden Verlauf der Flächennachfrage, die sich dann auch mit einer gewissen Verzögerung im Flächenbestand zeigt. Die EDL-Intensität des BIP bzw. das BIP pro Einheit gewerblich genutzter Gebäudefläche bildet hierbei dann die resultierende Größe und schwankt entsprechend stark.

Abbildung 6-23: Variabilitätsfehler der AEOs 92 bis 04 im GHD-Sektor



Quelle: eigene Berechnungen

Generell fällt auf, dass sowohl BIP als auch die Flächenentwicklung in den 90er Jahren eher unterdurchschnittlich verlaufen sind, ab etwa 1999 aber über dem langfristigen Trend lagen. Insgesamt liegt der mittlere absolute Variabilitätsfehler der EDL bei knapp einem Prozent und damit nur etwa halb so hoch wie der entsprechende Fehler des BIP.

Die Variabilitätsfehler der Energieprojektionen sind wie auch im Haushaltssektor insgesamt größer als die der BIP- und EDL-Projektionen. Es fällt auf, dass die Variabilitätsfehler aller Variablen – bis auf wenige Ausnahmen – in die gleiche Richtung weisen. Insbesondere die Variabilitätsfehler der Stromnachfrage verlaufen weitgehend analog zu den Variabilitätsfehlern des BIP. Die Wirtschaftsentwicklung scheint sich also direkt auf den Stromeinsatz und mit Abstrichen – gedämpft durch die u.a. temperaturabhängige Brennstoffnachfrage – auf den Endenergieeinsatz auszuwirken.

Der Variabilitätsfehler hat im Bereich des GHD-Sektors insgesamt eine geringe Bedeutung. Die Variabilitätsfehler liegen von ihrem Ausmaß her noch unterhalb derjenigen des Haushaltssektors. Es lässt sich allerdings erkennen, dass sich konjunkturelle Zyklen sowohl – mit einer geringen Zeitverzögerung – auf die EDL als auch auf den Stromeinsatz auswirken.

6.3.3.3 Trendfehler der Prognosevariablen

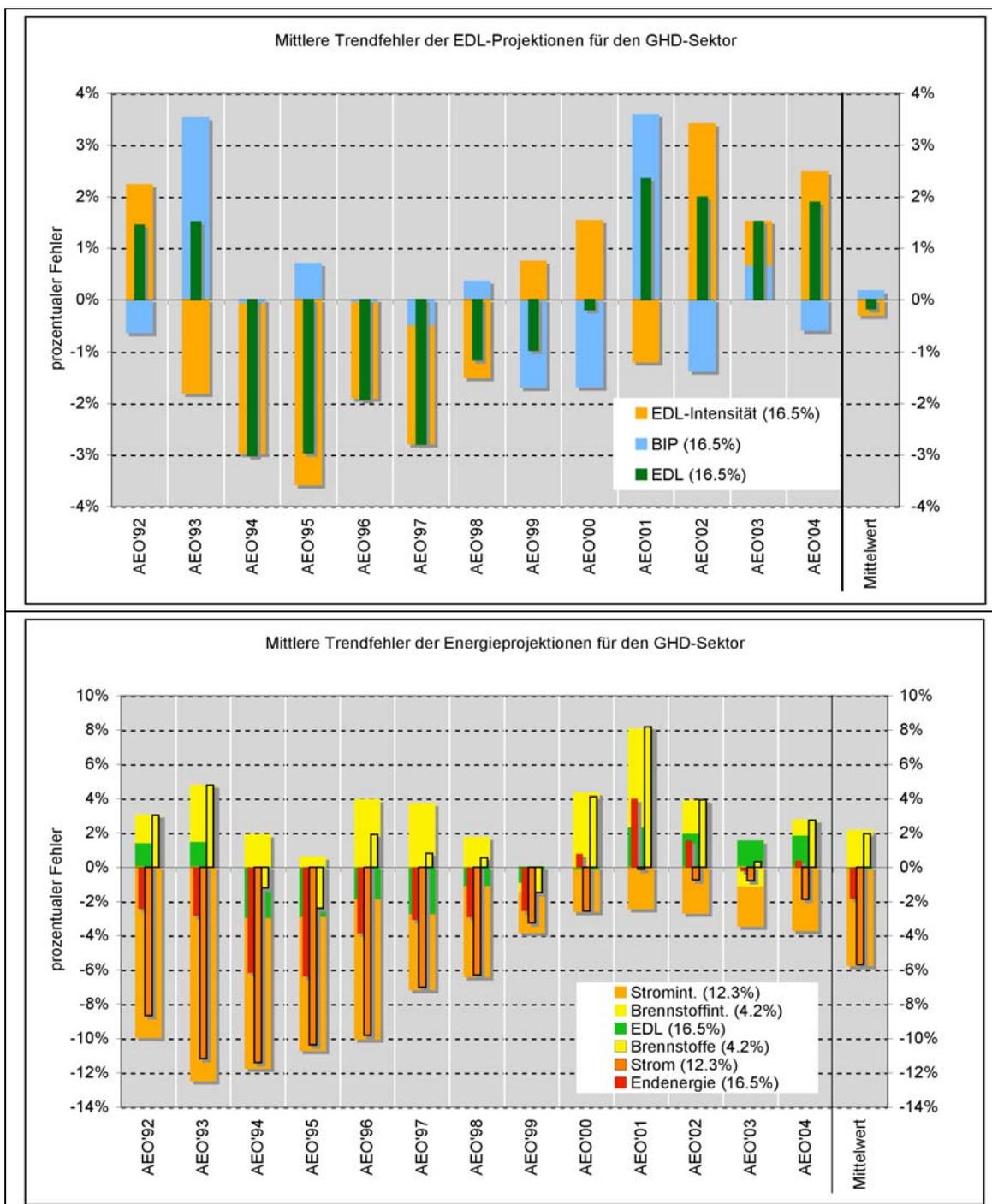
Im Folgenden werden die Trendfehler der Projektionen im GHD-Sektor näher analysiert. Dabei ist vor allem wichtig, dass die Trendfehler um die – vor allem für die EDL (Gebäudefläche im GHD-Sektor) signifikante – Basisjahrabweichung bereinigt wurden.

Die folgende Abbildung zeigt zunächst die Trendfehler des BIP, der EDL und der EDL-Intensität für die einzelnen AEOs. Dabei zeigt sich, dass die Fehler der BIP-Projektionen in den meisten Fällen durch entgegengesetzte Fehler der EDL-Intensität (über-)kompensiert werden. Während die Prognosen des BIP unterschiedliche Fehlerrichtungen aufweisen, wird die EDL in den AEOs 94 bis 00 im Durchschnitt unterschätzt, in den übrigen Jahren überschätzt.

Die absolute Höhe der CO₂-gewichteten Trendfehler der EDL liegt dabei zwischen -3% und +2,2%, was bei einem mittleren CO₂-Emissionsanteil des Sektors von etwa 16,5% einem gewichteten Fehler unter 0,5% entspricht. Trotz dieser – vor allem im Vergleich zum Basisjahrfehler von etwa 13% in den AEOs 99 bis 02 – geringen Fehlergröße fällt die Parallelität des mittleren Trendfehlers der AEOs mit den entsprechenden Variabilitätsfehlern auf. Dies könnte ein Hinweis auf das Vorliegen eines Einflusses der aktuellen Entwicklung auf die Prognosen sein (siehe Hypothese 1 in Kapitel 7.2).

Eine ähnliche Entwicklung zeigen die Endenergieprojektionen für den GHD-Sektor. Der Trendfehler dieser Projektionen weist mit Ausnahme der AEOs 92, 93 und 03 immer in die gleiche Richtung wie der Trendfehler der EDL. Bei der Fehleraufteilung zeigt sich dagegen ein ganz ähnliches Bild wie im Haushaltsbereich.

Abbildung 6-24: Mittlere Trendfehler der Projektionen für den GHD-Sektor der AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

Die Brennstoffintensität wurde mit einem Trendfehler von im Mittel 2,1% durchgängig leicht überschätzt, während die Stromintensität durchgängig um knapp 6% unterschätzt wurde. Dabei dominiert – vor allem auch in CO₂-gewichteten Werten – bis zum AEO'99 die Unterschätzung der Stromintensität den Fehler der Endenergieprojektion. Ab dem AEO'99 dagegen fällt der Fehler der Stromintensitätsprojektionen deutlich kleiner aus, so dass der Effekt der überschätzten Brennstoffintensität zusammen mit

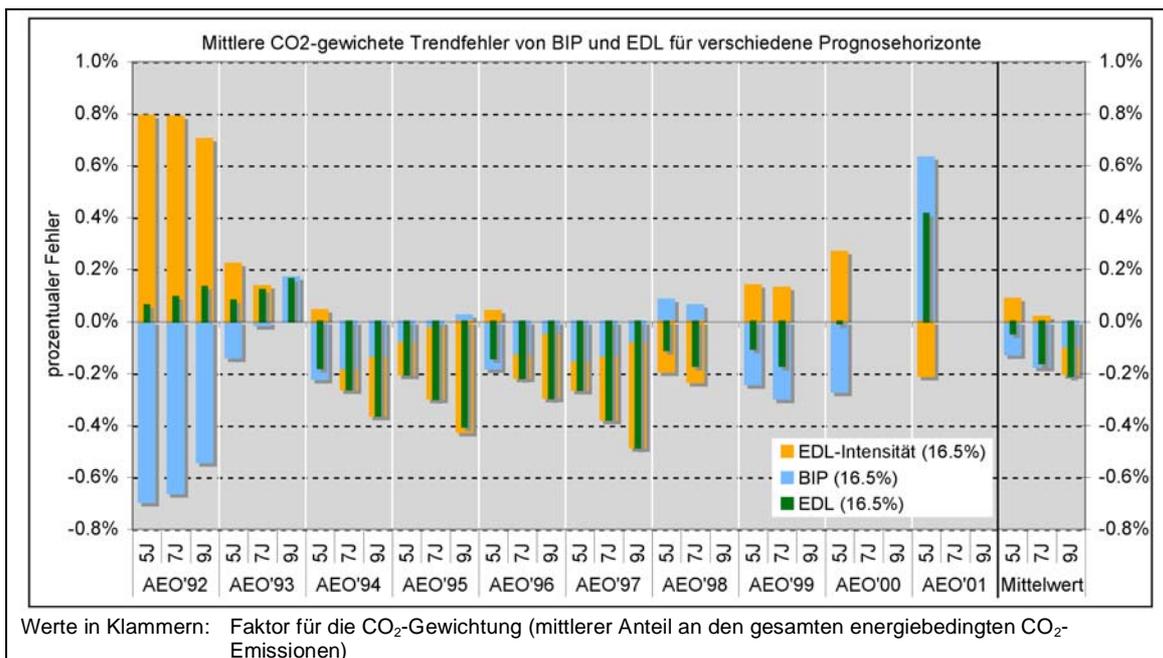
der nun leichten Überschätzung der Gebäudeflächen ab dem AEO'00 zu einem insgesamt positiven Trendfehler der Endenergieeinsätze führt.

CO₂-gewichteter Trendfehler nach Prognosedauer

Um den Einfluss unterschiedlich langer Prognosedauern zu isolieren, werden im Folgenden die gleichen Fehler mit CO₂-Gewichtung und nach Prognosedauer für 5, 7 und 9 Jahre unterschieden dargestellt.

Dabei ändert sich das Bild für die EDL sowie das BIP und die EDL-Intensität des BIP nicht grundsätzlich. Die Trendfehler der EDL und des BIP sind in den AEOs 94 bis 97 gleich, ansonsten entgegengerichtet, wobei die Trendfehler der EDL und der EDL-Intensität eine klare Steigerung mit zunehmender Prognosedauer aufweisen. In der Regel ist der Fehler der EDL in dieser Darstellung nur wenig vom BIP-Fehler abhängig. Entweder, er weist in die entgegengesetzte Richtung, oder er ist – in den Fällen einer Verstärkung – vor allem bei längeren Prognosehorizonten deutlich größer als der Fehler des BIP. Eine Verbesserung der Projektionen bei jüngeren AEOs ist insgesamt nicht zu erkennen.

Abbildung 6-25: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Projektionen von BIP und EDL im GHD-Sektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



Quelle: eigene Berechnungen

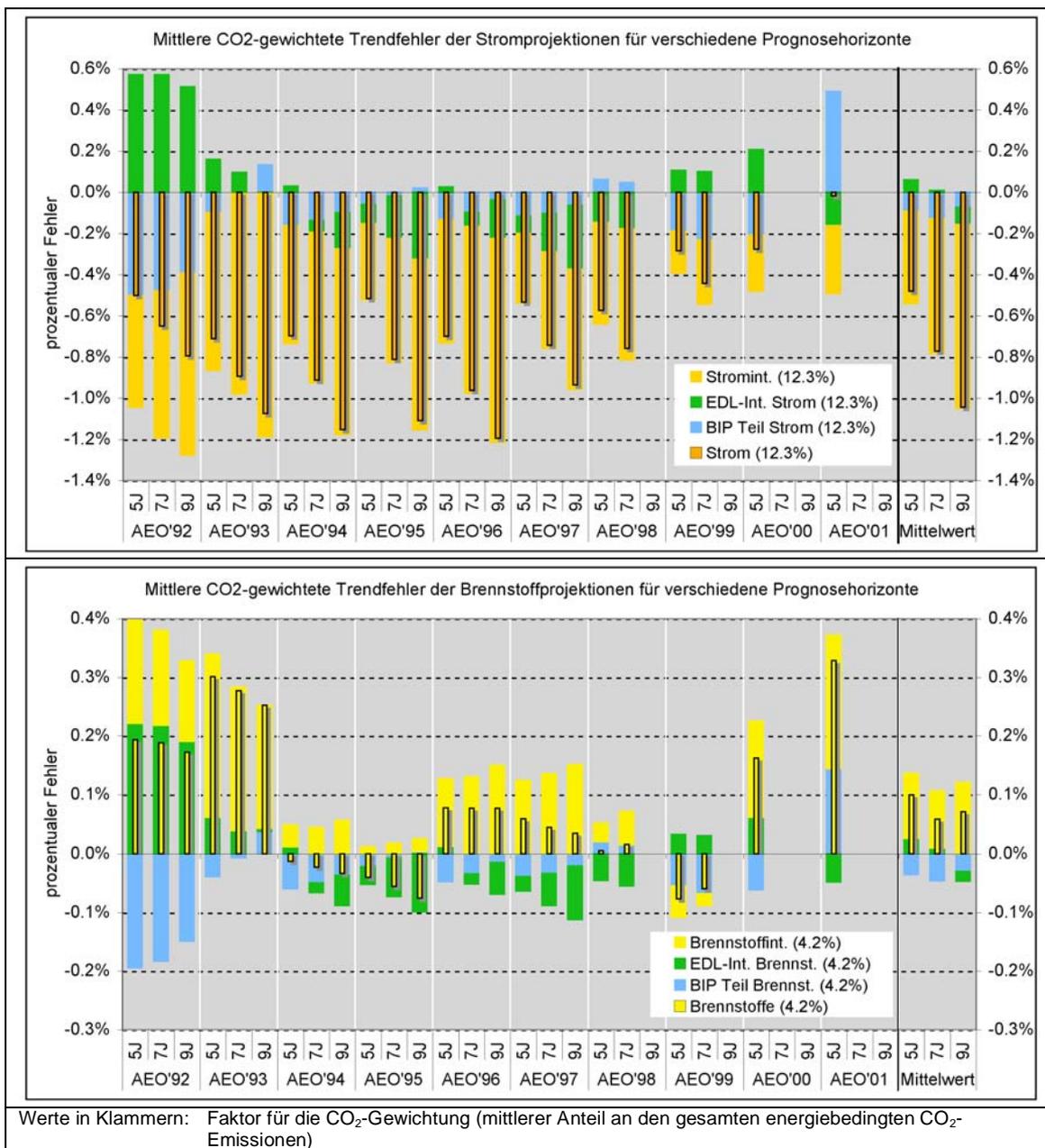
Im nächsten Schritt werden die auf der EDL aufbauenden Energieprojektionen betrachtet, die in der folgenden Abbildung näher dargestellt sind.

Die Projektionen im Strombereich zeigen ein eindeutiges Fehlerbild. Der Stromeinsatz wurde durchgängig um CO₂-gewichtet 0,3 bis 1,2% unterschätzt. Das entspricht einem ungewichteten Fehler von 2,5 bis 10%. Dabei ist der Fehler der Stromintensität der

entscheidende Fehler, der allerdings in den meisten Projektionen noch durch gleichgerichtete Fehler der BIP-Projektion und der EDL-Intensität verstärkt wird.

Die Brennstoffprojektionen weisen dagegen deutlich kleinere und in der Regel entgegengesetzte Fehler auf, wobei hier die Unterschätzungen von BIP und EDL-Intensität den Fehler teilweise kompensieren, in den AEOs 94 und 95 sogar überkompensieren. Insgesamt ergibt sich im Mittel eine Überschätzung der Brennstoffeinsätze um CO₂-gewichtet 0,06 bis 0,1%.

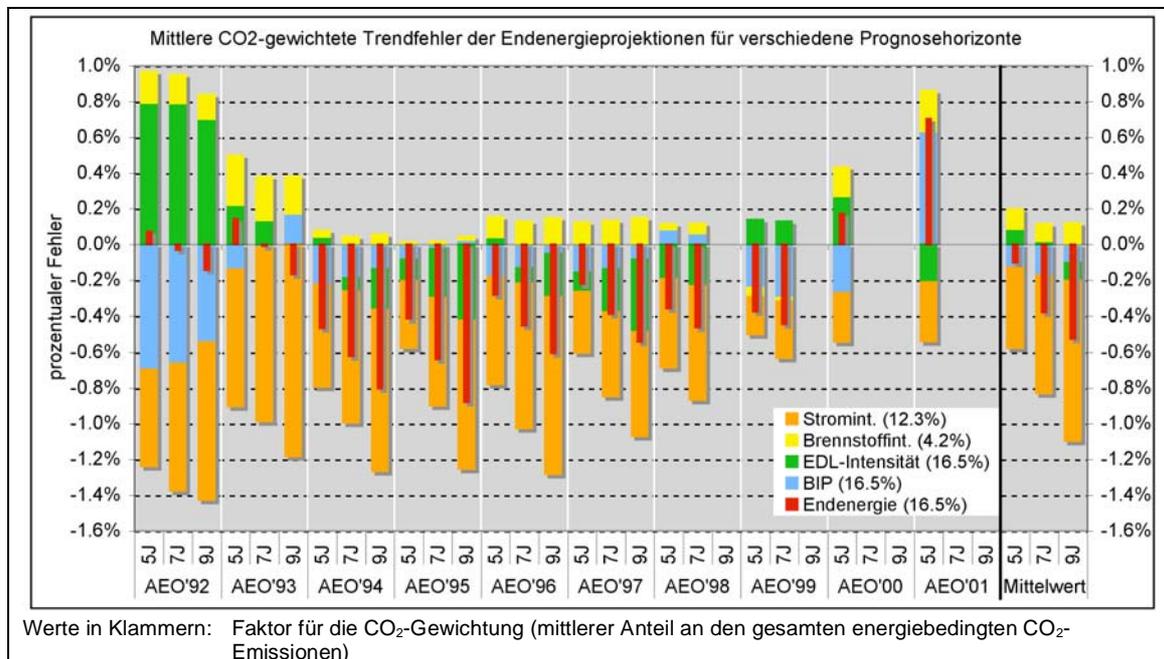
Abbildung 6-26: Fehlerkombination der Strom- und Brennstoffprojektionen für den GHD-Sektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



Quelle: eigene Berechnungen

In der folgenden Abbildung wird der resultierende Fehler der Endenergieprojektionen für den GHD-Sektor mit seinen wichtigsten Ursachen dargestellt.

Abbildung 6-27: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen im GHD-Sektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



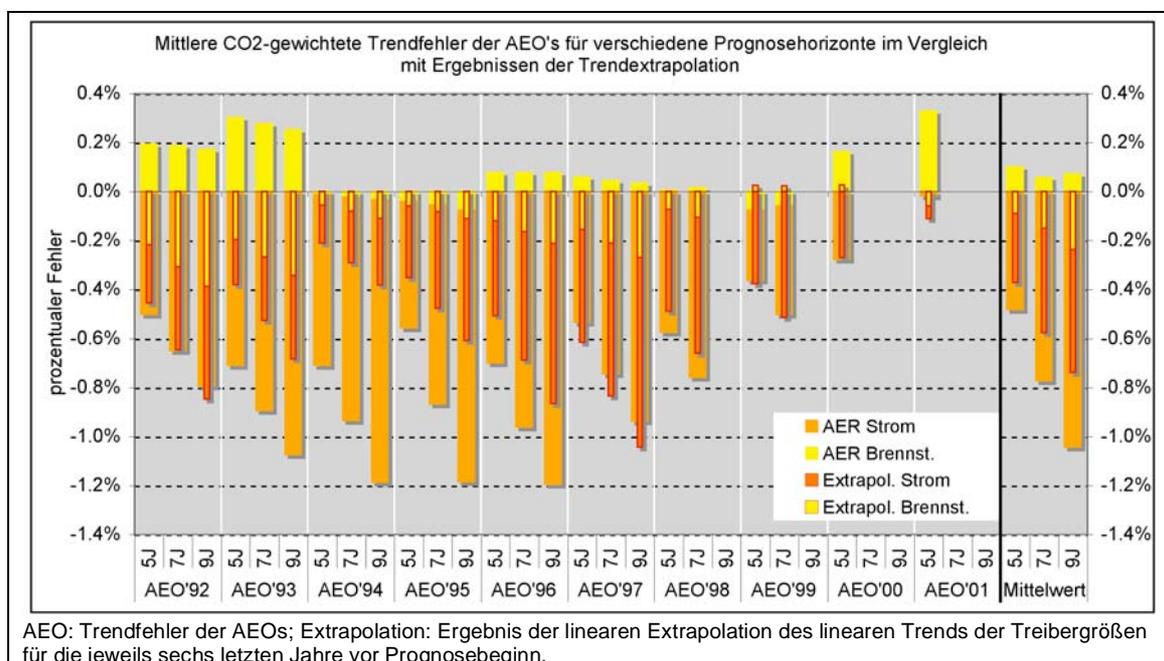
Quelle: eigene Berechnungen

Im Mittelwert aller hier untersuchten Projektionen

- dominiert die deutliche und durchgängige Unterschätzung der Stromintensität klar den Gesamtfehler der Endenergieeinsätze des GHD-Sektors. Diese ist in den AEOs sogar deutlich größer, als sich aus der linearen Extrapolation der relevanten Variablen des Emissionsmodells ergeben hätte (siehe folgende Abbildung).
- Die Unterschätzung wird in den AEOs geringfügig durch die im Mittel leichte Unterschätzung des BIP sowie in den länger laufenden Projektionen auch der EDL verstärkt.
- Teilweise maskiert wird die Unterschätzung durch den fast durchgängig positiven Fehler der Brennstoffintensität in Höhe von im Mittel etwa 0,1%. Hier spielt wie im Haushaltssektor u.a. der Klimawandel eine Rolle. Allerdings ist der Einfluss des wärmeren Klimas auf den Fehler der Brennstoffintensitätsprojektionen im GHD-Sektor deutlich kleiner. Dabei sind hier die Fehler der AEO-Projektionen in der Regel kleiner als die der linearen Trendextrapolation.
- Insgesamt steigt der CO₂-gewichtete Fehler der Endenergieprojektionen von im Mittel -0,6 auf -1,1% der gesamten CO₂-Emissionen für Prognosedauern von 9 Jahren an.

Grundsätzlich sind auch im GHD-Sektor die gleichen Hintergrundvariablen für die Fehler der Energieintensitätsprojektionen vorhanden wie im Haushaltssektor. Davon lässt sich mit den vorhandenen Daten nur der Klimawandel als Einflussgröße isolieren. Er spielt bei beiden Hauptfehlern eine – geringfügige – Rolle. Nach den Angaben von EERE (2007) lag der tatsächliche Brennstoffeinsatz des GHD-Sektors im hier untersuchten Zeitraum 1992 bis 2004 um etwa 2,7% niedriger als es der klimabereinigte Verbrauch gewesen wäre. Für den Stromverbrauch gilt – aufgrund des höheren Verbrauchsanteils der Klimatisierung – der umgekehrte Effekt. Hier war der Verbrauch in derselben Periode um 0,04% höher als nach einer Klimabereinigung zu erwarten gewesen wäre.

Abbildung 6-28: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der AEOs für den Strom- und Brennstoffeinsatz des GHD-Sektors für verschiedene Prognosehorizonte im Vergleich mit Ergebnissen der Trendextrapolation



Quelle: eigene Berechnungen

Im Vergleich der Projektionen für den Strom- und den Brennstoffeinsatz des GHD-Sektors mit der jeweiligen linearen Extrapolation der Zeitreihen schneiden die AEOs 93 bis 96 sowie 98 und 01 schlechter ab, als die Trendextrapolation. Auch hier zeigt sich, dass insbesondere die Anstiege beim Stromeinsatz so nicht erwartet wurden. Hier wurde durchgängig vom AEO 92 bis 98 eine Abschwächung des jeweiligen historischen Zuwachses prognostiziert, wohingegen, wie die durchweg negativen Fehler der Trendextrapolation zeigen, sich der Trend in der Realität immer noch weiter beschleunigte. Bei den Brennstoffeinsätzen dagegen lagen die Projektionen der AEOs in der Regel besser, als die Trendextrapolation. Bezogen auf den Endenergieeinsatz des Sektors GHD lieferten die Trendextrapolationen im Mittel entsprechend etwas bessere Ergebnisse als die AEOs.

Zusammenfassung GHD-Sektor

Insgesamt kann für den GHD-Sektor gezeigt werden, dass

- der Basisjahrfehler bzw. die Basisjahrkorrektur der Projektionen sowohl für das BIP als auch für die Energiedienstleistung (Gebäudefläche im GHD-Sektor) von großer Bedeutung sind, da ansonsten methodische Veränderungen der Zeitreihen die maßgebliche Fehlerkomponente ausmachen und damit das Ergebnis verfälschen würden.
- Der Variabilitätsfehler spielt dagegen wie im Haushaltssektor nur eine untergeordnete Rolle in den Projektionen. Allerdings wird bei der Analyse des Variabilitätsfehlers deutlich, dass im GHD-Sektor die meisten relevanten Größen zumindest mittelbar auch durch zyklische Schwankungen des BIP-Trends mit beeinflusst werden und ähnliche Schwankungen aufweisen.
- Ähnlich wie im Haushaltssektor haben die signifikanten Trendfehler der BIP-Projektion aus mehreren Gründen nur einen geringfügig verstärkenden Einfluss auf die Trendfehler der Energieprojektion im GHD-Sektor.
 - Bereits die Projektion der Energiedienstleistung ist tendenziell von der BIP-Projektion unabhängig. Sie weist überwiegend einen absolut vergleichsweise kleinen aber mit zunehmendem Prognosehorizont ansteigenden negativen Trendfehler auf.
 - D.h., auch im GHD-Sektor wird der Fehler der BIP-Projektion bereits auf der Ebene der Energiedienstleistung (soweit diese hier quantitativ analysierbar ist) kompensiert bzw. leicht überkompensiert.
- Die Fehler in den Prognosen des Endenergieeinsatzes sind auch in diesem Sektor im Wesentlichen nicht durch die Fehleinschätzung der EDL, sondern durch die Überschätzung der Energieintensitätsreduktion verursacht worden¹⁵⁴, die vor allem im Strombereich auftritt und hier deutlich über dem Trendfehler liegt (s.o.). Dabei ist diese Überschätzung ebenfalls analog zum Haushaltssektor in den Projektionen zum Teil durch eine Fehlerkompensation maskiert:
 - Die Brennstoffintensität wurde ganz überwiegend in den meisten Projektionen und für fast alle Prognosehorizonte um CO₂-gewichtet gut 0,1%¹⁵⁵ überschätzt, wobei der Effekt des Klimawandels nur einen kleinen Anteil an dieser Überschätzung hat. Entsprechend bleiben zu pessimistische Annahmen zur Energieeffizienz der Gebäude und Hei-

¹⁵⁴ Dabei gilt die bereits im Haushaltssektor angemerkte Einschränkung hier ebenfalls: Die Intensitätsentwicklung beinhaltet weiterhin Komponenten, wie vor allem eine steigende Ausstattung mit Geräten und Anlagen, die eigentlich der Energiedienstleistung zugeordnet werden sollten, sofern die Daten dafür verfügbar wären. Hier muss aus diesem Grund die Bürofläche als Näherungswert genügen.

¹⁵⁵ Dies entspricht bei einem geringen CO₂-Gewicht des Bereichs von 4,2% einem relativen Fehler – bezogen auf die Brennstoffintensität – von im Mittel gut 2,5%.

zungsanlagen sowie mögliche nicht prognostizierte Substitutionseffekte von Brennstoffen durch Strom¹⁵⁶ als weitere wahrscheinliche Hintergründe der Überschätzung des Brennstoffeinsatzes.

- Entscheidend ist aber, dass die Stromintensität auch im GHD-Sektor durchgängig deutlich unterschätzt wurde (CO₂-gewichtet um -0,4 bis -0,9% bzw. 3 bis 7%). Neben einem sehr geringfügigen stromverbrauchssteigernden Klimateffekt, bedingt durch das wärmere Klima der Beobachtungsperiode, wurde hier vermutlich sowohl die stark steigende Ausstattung mit Klimaanlageanlagen sowie Büro- und Kommunikationselektronik nicht vorhergesehen als auch die Effizienzsteigerung der Geräte zu optimistisch projiziert. Zusätzlich wäre eine nicht prognostizierte Substitution von Brennstoffen durch Strom als Hintergrund denkbar.
- Im Ergebnis fällt die vor allem durch die Fehler der Stromnachfrageprojektionen bedingte Unterschätzung der Endenergienachfrage im GHD-Sektor noch signifikanter aus als im Haushaltssektor. Im Durchschnitt der betrachteten Projektionen bewirkt die Unterschätzung der Endenergie einen Fehler der gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen der USA von etwa 0,5% wobei der Fehler bei Projektionen mit längerem Zeithorizont von 7 bzw. 9 Jahren auf über 1% ansteigt. Der Fehler der linearen Extrapolation der Projektionsvariablen dagegen liegt im GHD-Sektor mit 0,4 bis 0,75% um etwa ein Viertel niedriger.

Insgesamt sind – bei Bereinigung um Periodeneffekt und Einfluss der Prognosedauer – auch in diesem Sektor keine eindeutigen Verbesserungen der Projektionen zwischen den einzelnen AEOs zu erkennen.

¹⁵⁶ Der Anteil der Gebäude im GHD-Sektor, für die Elektrizität als Hauptenergiequelle angegeben wird, ist zwischen 1983 und 1999 von 43% auf 54% angestiegen (AER 2003, 59).

6.3.4 Fehleranalyse der Projektionen in für die Industrie

Die Industrie (einschließlich industrielle Eigenstromerzeugung) ist – bezogen auf die CO₂-Emissionen – der wichtigste Endenergienachfragesektor in den USA. Im Folgenden werden Fehler der entsprechenden Energieprojektionen analog zu denen der anderen Sektoren nach Komponenten aufgeteilt und analysiert.

Eine wichtige Besonderheit tritt bei der Projektion der EDL auf, da als Indikator hierfür nur die monetäre Größe des Bruttoproduktionswerts¹⁵⁷ zur Verfügung steht. Hier ergeben sich ähnliche, z.T. noch schwerer zu lösende Datenprobleme wie bei der Analyse des BIP.

Anhand der Trendfehleranalyse für die Industrie wird am Schluss eine Zusammenfassung zur Genauigkeit der Projektionen in diesem Sektor erstellt.

6.3.4.1 Basisjahrfehler

In der Industrie treten vor allem im Bereich der Energiedienstleistung und der auf sie bezogenen Variablen signifikante Basisjahrfehler auf. Die EDL (bis einschließlich AEO'02 der Bruttoproduktionswert, ab AEO'03 der Umsatz) weist in nahezu allen AEOs signifikante Basisjahrabweichungen von den historischen Werten auf.

Ermittlung der EDL

Als Hintergrund hierfür soll zunächst die Ermittlung dieser Daten dargestellt werden. Die AEOs geben reale Produktionswerte bzw. Umsatzwerte der Industrie für den Prognosezeitraum in konstanten US \$ an (siehe Tabelle unten). Diese Werte wurden hier analog zur Vorgehensweise beim BIP in verkettete \$ des Jahres 2000 umgerechnet. Dabei ergab sich aber als zusätzliche Schwierigkeit,

- dass die Deflatoren zur Umrechnung der Realwerte in Nominalwerte zum einen nur für das BIP, nicht für den Bruttoproduktionswert angegeben werden – hierdurch entsteht eine leichte Unschärfe, weil die Industrie insgesamt eine von der allgemeinen Inflation abweichende Teuerungsrate haben kann –,
- zum anderen in einigen der hier analysierten AEOs die Realzeitreihen des Bruttoproduktionswerts auf ein von der BIP-Zeitreihe abweichendes Basisjahr bezogen wurden (s.u.). D.h. in diesen AEOs waren keine geeigneten Deflatoren vorhanden, um die Werte entsprechend zu konvertieren. In diesen Fällen wurden die Bruttoproduktionswerte zuerst mit einem konstanten Faktor auf das Basisjahr der BIP-Projektion umgerechnet, um dann analog zur Vorgehensweise beim BIP in Realwerte in verketteten \$ des Jahres 2000 konvertiert zu werden.

¹⁵⁷ Gross Output; in den AEOs 2003 und 2004 wurde abweichend die ähnliche Größe value of shipments verwendet. Umsatz (value of shipments) und der Bruttoproduktionswert (gross output) unterscheiden sich vor allem in den Bestandsveränderungen, die beim Bruttoproduktionswert einbezogen werden. Während dies für einzelne Unternehmen und Branchen einen signifikanten Unterschied machen kann, ist die Differenz zwischen beiden für die gesamte Industrie gering.

Durch die Umrechnung zwischen zwei Basisjahren (mit entsprechend unterschiedlicher Gewichtung) anhand eines konstanten Faktors entsteht für diese Jahre eine leichte zusätzliche Ungenauigkeit, die sich mit den vorhandenen Daten aber nicht beheben lässt.

Tabelle 6-3: Bezugsjahre des realen BIP und Produktionswerts der Industrie in den AEOs 92 bis 04

	AEO '92	AEO '93	AEO '94	AEO '95	AEO '96	AEO '97	AEO '98	AEO '99	AEO '00	AEO '01	AEO '02	AEO '03	AEO '04
BIP-Einheit	\$'82	\$'87	\$'87	\$'87	\$'87	\$'92	\$'92	\$'92	\$'92	\$'96	\$'96	\$'96	\$'96
EDL-Industrie	Bruttoproduktionswert (Value of Gross Output)										Umsatz		
	\$'82	\$'82	\$'87	\$'87	\$'87	\$'87	\$'87	\$'87	\$'87	\$'92	\$'92	\$'96	\$'96

Quelle: EIA, AEOs

Die historische Zeitreihe des industriellen Bruttoproduktionswerts musste aus verschiedenen Quellen zusammengestellt werden. Das EERE gibt in seinen Analysetabellen entsprechende Wertschöpfungs- und Produktionswertedaten ab 1977 an. Letztere sind allerdings dort nur für die Industrie im engeren Sinne vorhanden (Manufacturing), entsprechende Produktionswerte für Landwirtschaft, Bergbau und Bauindustrie (Non-Manufacturing) fehlen (EERE 2007). Das BEA hat entsprechende sehr detaillierte Zeitreihen der nominalen Bruttoproduktionswerte sowie entsprechende Indexwerte zur Umrechnung veröffentlicht¹⁵⁸. Daher wurde hier auf die letztere Quelle zurückgegriffen. Die historischen Zeitreihen für die Industrie verwenden die NAICS-Klassifikation der Industriezweige, die AEOs dagegen verwenden bis einschließlich des AEO'02 die ältere SIC-Klassifikation¹⁵⁹.

Basisjahrfehler der BIP und EDL-Projektionen

Die folgende Abbildung zeigt die Basisjahrfehler der BIP und EDL-Projektionen für alle hier betrachteten AEOs. Dabei stechen die sehr hohen Basisjahrfehler der industriellen Energiedienstleistung (Bruttoproduktionswert) heraus. Die Fehler liegen in den AEOs 92 bis 96 zwischen 15 und 25% und danach bis einschließlich des AEO'02 bei etwa 15%. Erst die AEOs 03 und 04 weisen deutlich niedrigere Fehler auf.

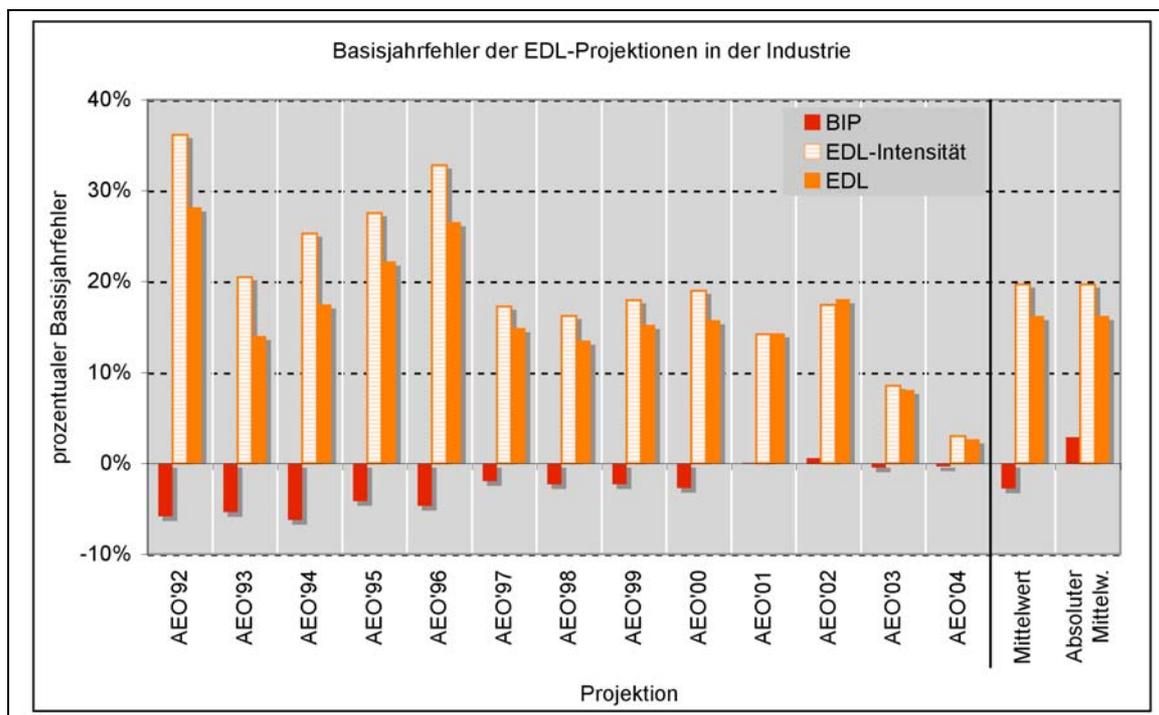
Die Gründe für diese extremen Fehler sind vor allem in der Umstellung der statistischen Datenbasis zu suchen. Yuskavage und Fahim-Nader (2005, 79) zeigen für die Jahre von 1947 bis 1987, dass sich der Anteil der industriellen Wertschöpfung am BIP in der NAICS-Klassifikation zwar sehr ähnlich verhält, wie in der SIC-Klassifikation,

¹⁵⁸ BEA 2005 und BEA 2007b sowie Moyer et al. (2004).

¹⁵⁹ Insbesondere für eine detaillierte Analyse der Energieintensität nach Branchen ist dies von Bedeutung, da die Industriestatistik ab 1997 von der SIC (US Standard Industrial Classification) auf die NAICS (North American Industrial Classification System) Systematik umgestellt wurde, wodurch sich für viele Industriebranchen Brüche in den Zeitreihen ergeben (vgl. Koomey et al. 2003, 87).

jedoch um etwa 2-3 Prozentpunkte niedriger liegt. Bezogen auf den gesamten Anteil der Industrie am BIP von unter 30% im Jahr 1987 entspricht das einer Abweichung von etwa 10%. Es muss angenommen werden, dass eine ähnliche Veränderung auch bei den Daten zum Bruttoproduktionswert der Industrie eingetreten ist. Dies würde einen Großteil der Basisjahrfehler in den AEOs bis einschließlich des AEO'02 erklären, da die Projektionen auf der SIC-Definition der Industrie basieren, der historischen Zeitreihe dagegen die NAICS-Definition zugrunde liegt. Der ansteigende Trend der Basisjahrfehler der AEOs 93 bis 96 ist dagegen nicht durch die Umstellung auf die NAICS-Systematik erklärbar.

Abbildung 6-29: Basisjahrfehler der EDL-Projektionen der Industrie der AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

Die AEOs 03 und 04 nutzen die NAICS-Klassifikation und weisen entsprechend einen geringeren Basisjahrfehler auf. Allerdings wirkt sich hier die Verwendung der Umsatzen aus. Diese weichen z.T. von der Zeitreihe der Bruttoproduktionswerte ab (s.o.).

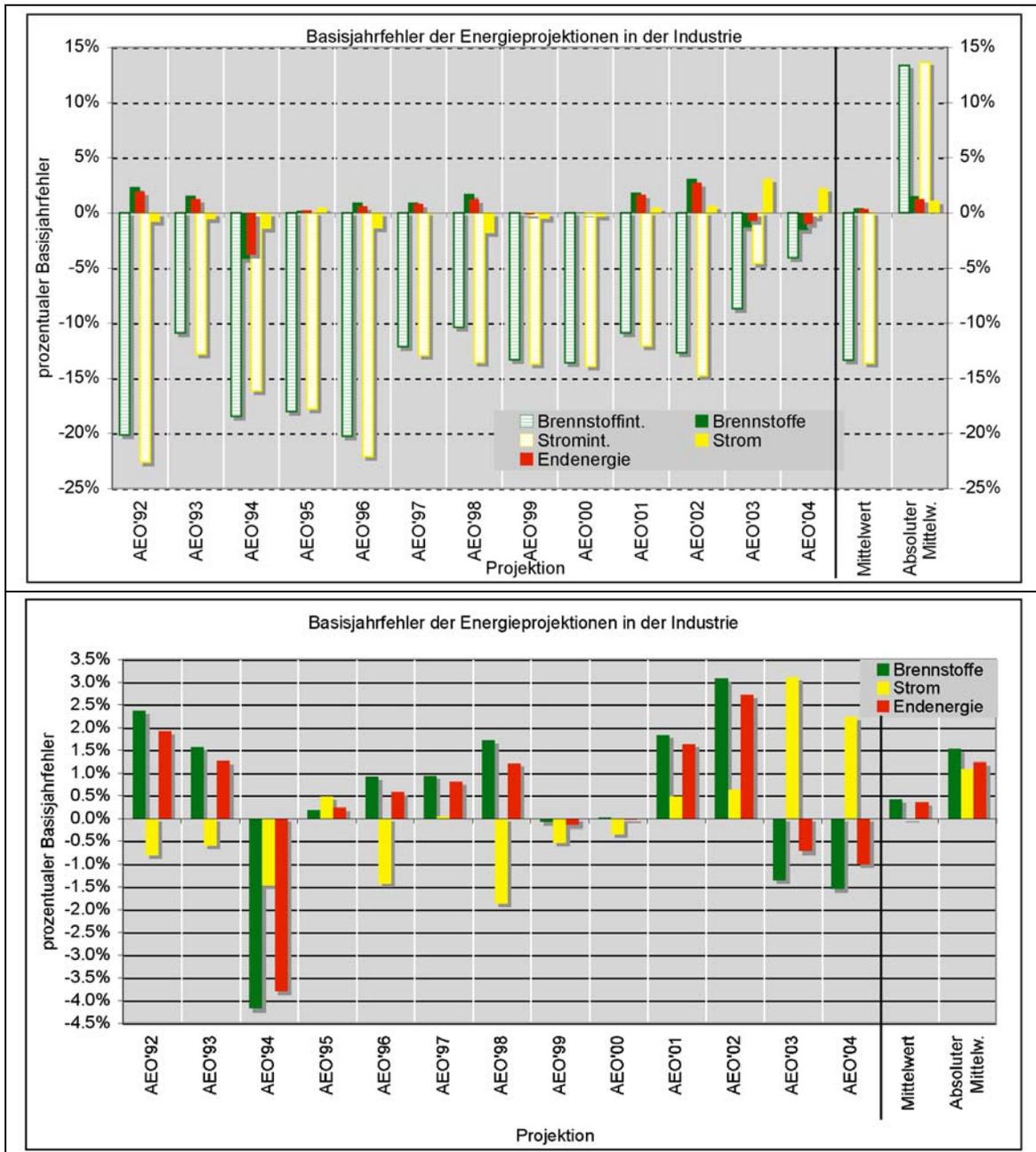
Im Vergleich sind die ebenfalls schon deutlichen Basisjahrabweichungen der BIP-Projektionen als gering zu bezeichnen, so dass sich der Basisjahrfehler der EDL-Intensität des BIP für die Industrie als Residuum ergibt.

Auch die unten abgebildeten Basisjahrfehler der Strom- und Brennstoffintensitäten sind durch die schlechte Datenlage im Bereich der EDL geprägt. Sie sind durchgängig stark negativ und gleichen damit die Überschätzung der EDL aus.

Die Basisjahrfehler der Brennstoff- und Stromeinsätze der Industrie weisen ein geringeres Ausmaß von maximal -4 bis 3% auf. Im Mittel liegen dabei die Fehler bei den

Brennstoffen etwas höher als beim Strom und sind diesen oft entgegengesetzt. Der Fehler der Endenergie wird aufgrund der Mengenverhältnisse überwiegend durch den Fehler bei den Brennstoffen bestimmt, wobei der Fehler beim Strom diesen z.T. kompensiert.

Abbildung 6-30: Basisjahrfehler der Energieprojektionen in der Industrie, AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

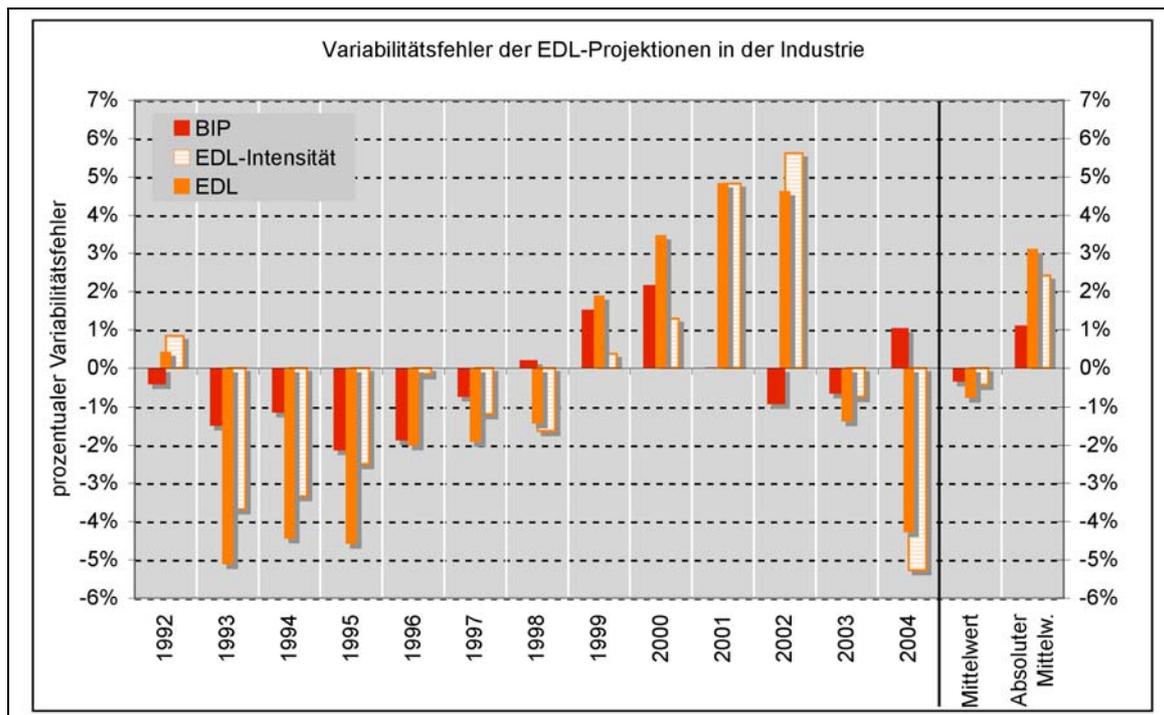
Auch in der Industrie zeigt sich vor allem für die EDL, aber auch für die Endenergie, dass die Basisjahrkorrektur von großer Bedeutung ist. Die Höhe der Basisjahrfehler

zeigt, dass ohne eine entsprechende Bereinigung kaum eine sinnvolle Fehleranalyse möglich wäre¹⁶⁰.

6.3.4.2 Variabilitätsfehler

Die folgenden Abbildungen geben einen Überblick über die Variabilitätsfehler für die einzelnen Jahre des hier analysierten Zeitraums.

Abbildung 6-31: Variabilitätsfehler der BIP- und EDL-Projektionen der AEOs 92 bis 04 in der Industrie



Quelle: eigene Berechnungen

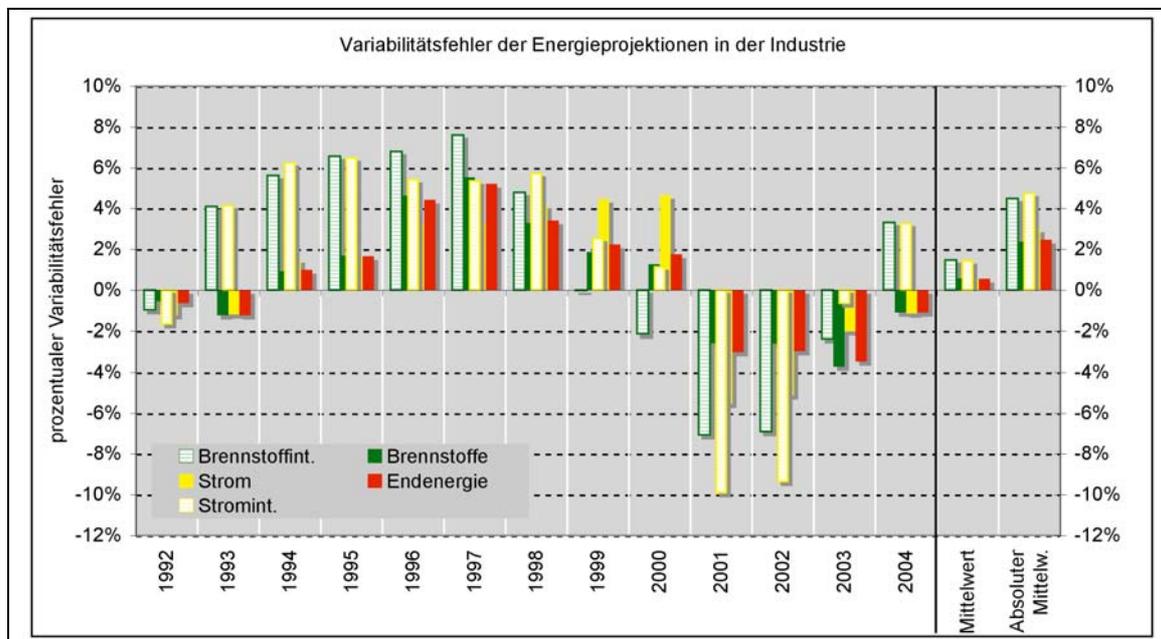
Die Variabilität der EDL-Zeitreihe, d.h. ihre Abweichungen vom langjährigen Trend weisen – vor allem in den 90'er Jahren eine gewisse Parallelität zum BIP auf, was auch zu erwarten ist, da die industrielle Produktion mit etwa 25% der Wertschöpfung maßgeblich zum BIP beiträgt. Insgesamt ist die Abweichung vom langjährigen Trend aber größer als beim BIP. Der Mittelwert der absoluten Abweichungen vom langjährigen Trend liegt bei etwa 3,1% gegenüber 1,1% beim BIP.

Die Variabilitätsfehler der Endenergie dagegen zeigen ein etwa entgegengesetzt zyklisches Bild. In den 90'er Jahren lagen die Brennstoff- und Stromeinsätze eher über

¹⁶⁰ Dabei muss für die EDL-Projektionen angemerkt werden, dass eine lineare Korrektur von Basisjahrfehlern in der Größenordnung von 15 bis 25% weiterhin Unsicherheiten birgt, denn es ist nicht zu beurteilen, ob der „korrigierte“ Anteil in der Einschätzung der Prognostiker im Mittel die gleiche Entwicklung hätte nehmen sollen, wie der Rest der Industrie. Eine weitere Verbesserung dieser Daten würde aber umfangreiche Recherchen in z.T. historischen Originalunterlagen erfordern, was im Rahmen dieser Arbeit nicht leistbar erscheint. Da ohnehin lediglich auf die Industrie als Ganzes abgestellt wird, kann auch davon ausgegangen werden, dass die korrigierten Daten in etwa dem entsprechen, was als Trend projiziert werden sollte.

dem Trend, in der Periode danach eher unter dem Trend, wobei hier zumindest zum Teil Kapazitätsauslastungseffekte eine Rolle gespielt haben könnten. Entsprechend sind die Fehler der Strom- und Brennstoffintensität höher, da sie in der Regel die Fehler der EDL überkompensieren.

Abbildung 6-32: Variabilitätsfehler der Energieprojektionen der AEOs 92 bis 04 in der Industrie



Quelle: eigene Berechnungen

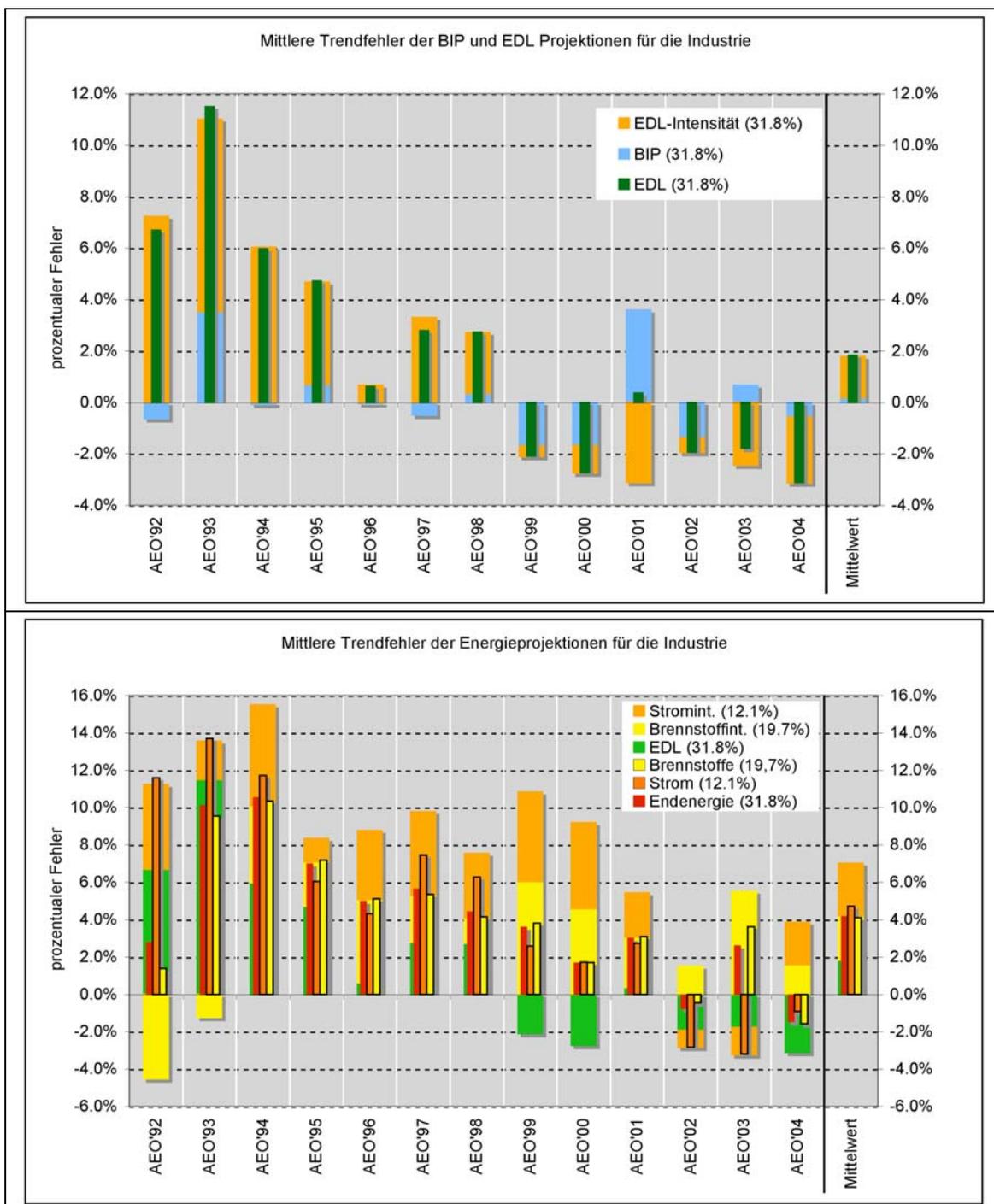
Insgesamt liegt der Mittelwert der absoluten Variabilitätsfehler bei Brennstoffen und Endenergie bei etwa 2,5%, beim Strom bei 3%.

6.3.4.3 Trendfehler der Prognosevariablen

Die folgende Abbildung gibt die Trendfehler der einzelnen AEOs der Prognosevariablen für die Industrie wieder. Dabei zeigt sich für die Treibergrößen BIP und EDL, dass sich ihre Fehler auf der Ebene einzelner AEOs überwiegend summieren. Bis einschließlich des AEO'98 überschätzen alle AEOs die EDL um 0,6 bis 11,5%. Dabei trägt die Überschätzung des BIP im Vergleich zur Überschätzung der EDL-Intensität der Industrie nur unwesentlich zum Trendfehler der EDL bei.

Ab dem AEO'99 dagegen kommt es mit einer Ausnahme zu einer Unterschätzung der EDL um -1,8 bis 3,1%, wobei hier ebenfalls die nun durchgängig zu niedrige Projektion der EDL-Intensität ergebnisbestimmend ist. Anders als in den Haushalten und im GHD-Sektor kommt es in der Industrie – auf der Ebene der mittleren Trendfehler der AEOs – nicht zu einer Kompensation der Fehler der BIP-Prognose, sondern in der Regel noch zu einer Verstärkung, so dass die EDL-Projektionen insgesamt signifikante Fehler aufweisen.

Abbildung 6-33: Mittlere Trendfehler der Projektionen für die Industrie der AEOs 92 bis 04



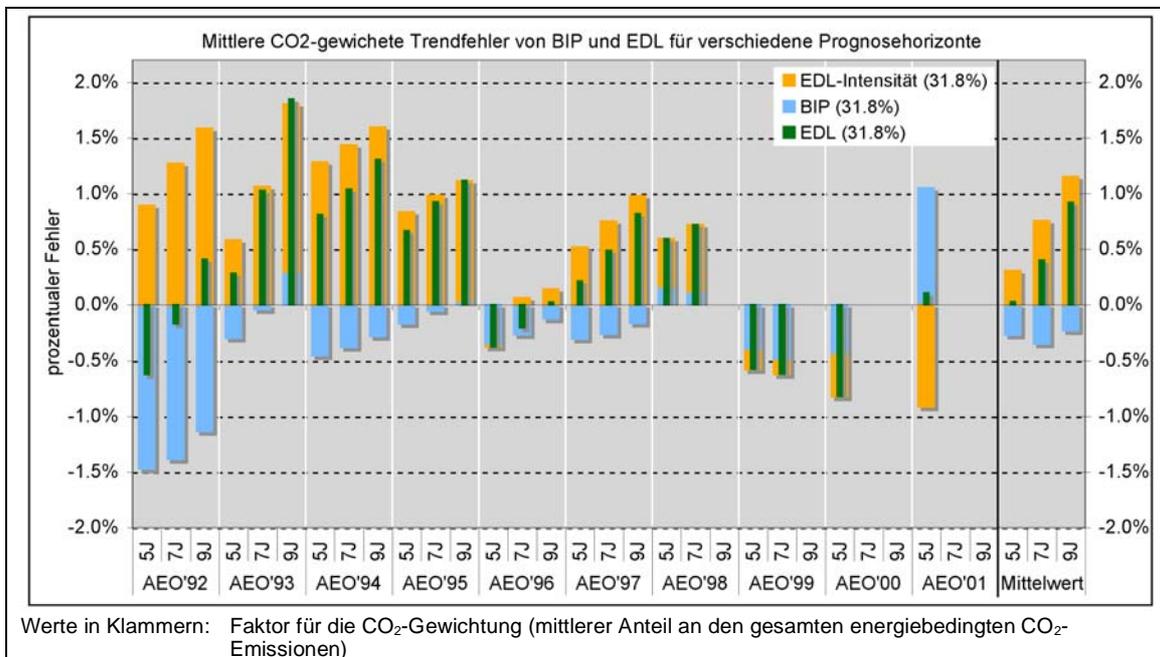
Quelle: eigene Berechnungen

Der Fehler der EDL-Projektionen wird in den AEOs von 93 bis 98 durch gleichgerichtete Fehler der fast durchgängig deutlich überschätzten Brennstoff- und Stromintensitäten weiter verstärkt, danach aber überkompensiert. Entsprechend weisen die Endenergieprojektionen bis einschließlich des AEO'98 hohe positive Trendfehler von 4,2 bis 10,8% auf. Danach liegen die Fehler dann niedriger bzw. sind z.T. sogar negativ. Grund dafür sind vor allem die dann vorliegenden Unterschätzungen der EDL .

CO₂-gewichtete Trendfehler nach Prognosedauer

Wird das Bild noch um den Einfluss der Prognosedauer ergänzt, ergeben sich die im Folgenden dargestellten Abbildungen.

Abbildung 6-34: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Projektionen von BIP und EDL in der Industrie nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



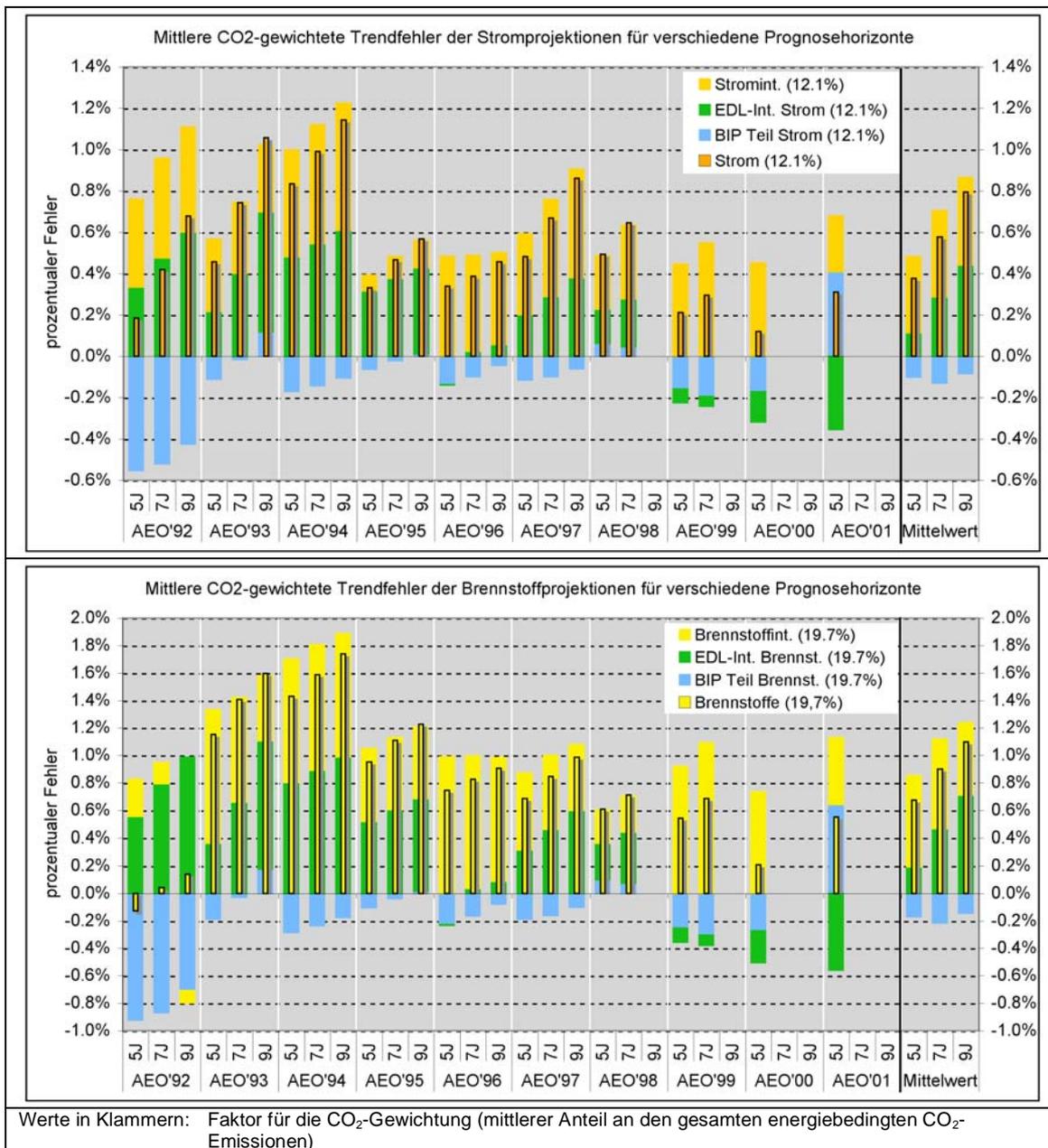
Quelle: eigene Berechnungen

Das Ergebnis in Bezug auf die Treibergrößen ändert sich dabei kaum. Auch für einzelnen Zeithorizonte sind die Trendfehler des BIP auf der einen Seite und die der EDL-Intensität und der EDL auf der anderen Seite überwiegend entgegen gerichtet. Für letztere zeigt sich zusätzlich ein klarer Trend von mit der Prognosedauer zunehmenden Trendfehlern. Bei den fünfjährigen EDL-Projektionen liegt der CO₂-gewichtete Trendfehler im Mittel nahezu bei 0%, über alle Projektionen gleichen sich die Unterschätzung des BIP und die Überschätzung der EDL-Intensität nahezu aus. Der CO₂-gewichtete Trendfehler der EDL steigt dann aber auf 0,4% bzw. 0,9% für 7 bzw. 9 Jahre Prognosehorizont. Auch wird klarer, dass die Trendfehler, insbesondere bei längeren Zeithorizonten, zum größten Teil durch die Fehler der EDL-Intensität bedingt sind. Insgesamt werden die Fehler in dieser Darstellung mit der Zeit etwas kleiner, d.h. die jüngeren AEOs weisen – auch unter Berücksichtigung der Prognosedauern – niedrigere Fehler, bei der EDL-Intensität und bei der EDL auf.

Für die Trendfehler der Endenergieprojektionen gilt ein ähnliches Bild. Im Bereich des Stromeinsatzes wird der positive Fehler der EDL durch eine entsprechende Überschätzung der spezifischen Stromeinsätze weiter verstärkt. Insgesamt trägt für kürzere Prognosehorizonte vor allem die Überschätzung der Stromintensität, für längere Prog-

nosedauern immer stärker auch die EDL-Intensität zur Überschätzung der Stromeinsätze bei. Die Unterschätzung des BIP vermindert diese Fehler nur leicht.

Abbildung 6-35: Fehlerkombination der Strom- und Brennstoffprojektionen in der Industrie nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



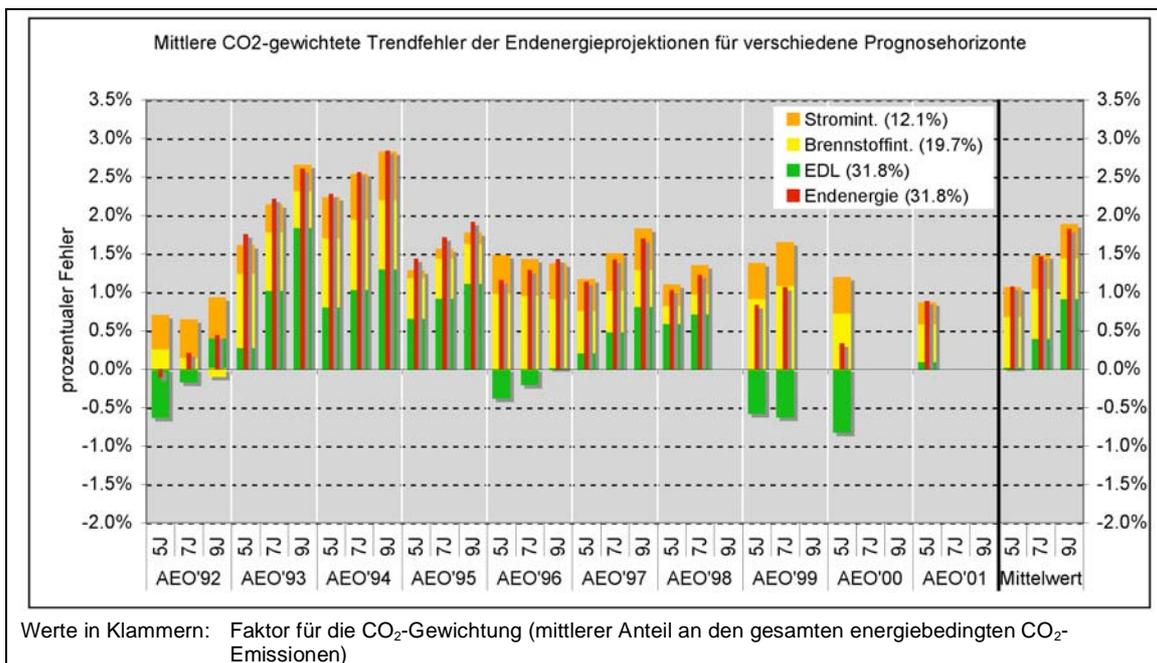
Quelle: eigene Berechnungen

Bei den Brennstoffen zeigt sich ein ganz ähnliches Bild wie beim Strom. Auch hier wird die Brennstoffintensität fast durchgängig zu hoch eingeschätzt, wodurch die Überschätzung der EDL-Intensität weiter verstärkt wird.

Bezogen auf die Endenergie insgesamt zeigt die folgende Abbildung, dass sich die Überschätzung der EDL, der Strom- und der Brennstoffintensität fast durchgängig

addieren. Insgesamt trägt der Fehler der Brennstoffintensität mit CO₂-gewichtet 0,5 bis 0,7% etwas stärker zur Überschätzung der Endenergie bei, als die Überschätzung der Stromintensität, die bei etwa 0,4% liegt. Die Überschätzung der EDL verstärkt die Überschätzung der Endenergie dann für die Prognosehorizonte über 7 Jahre deutlich, bei den Projektionen mit Prognosedauern von 9 Jahren trägt sie fast zur Hälfte zum Trendfehler der Endenergieprojektion bei. Dieser beträgt für Prognosedauern von 5 Jahren CO₂-gewichtet 1% und steigt über 1,5% auf 1,8% für Prognosedauern von 9 Jahren an.

Abbildung 6-36: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen und der Trendextrapolationen in der Industrie nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



Quelle: eigene Berechnungen

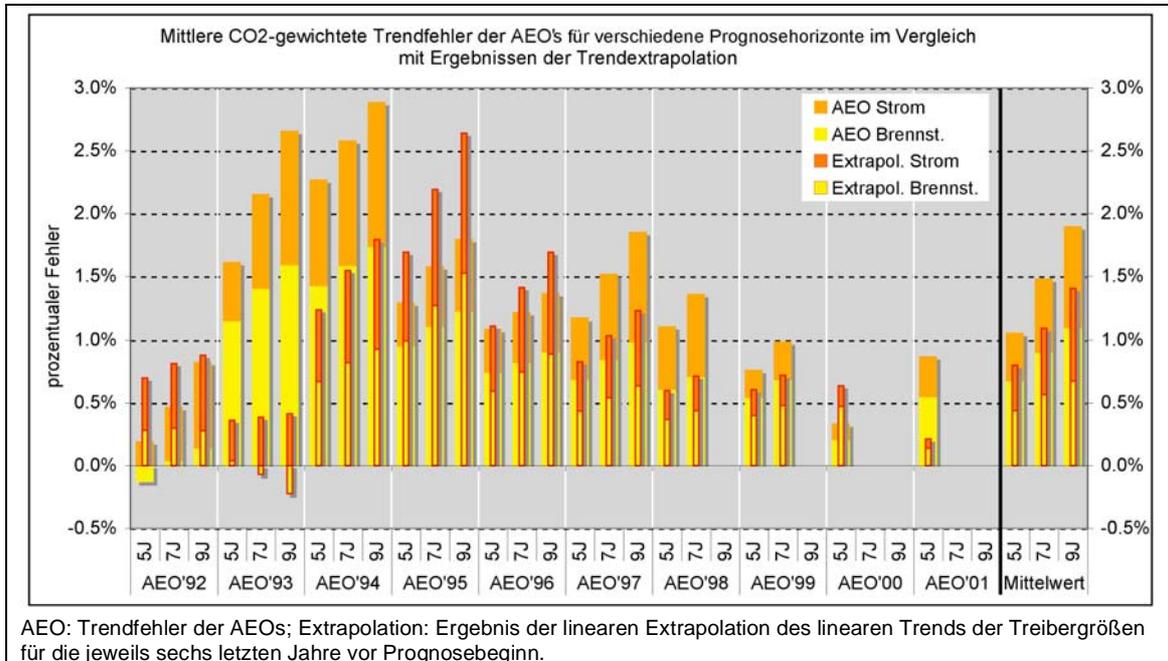
Die folgende Abbildung vergleicht die Trendfehler der AEO-Projektionen für die Industrie mit den Ergebnissen der Trendextrapolation des BIP und der spezifischen Variablen des Projektionsmodells¹⁶¹. Dabei zeigt sich, dass die AEOs und die lineare Extrapolation relativ ähnliche Fehler aufweisen, die fast ausnahmslos auf eine Überschätzung der Energieeinsätze der Industrie hinauslaufen.

Hintergrund dafür ist vor allem die Verlangsamung der industriellen Energieeinsätze ab Mitte der 90er Jahre, die in der Trendextrapolation – aber auch in den Projektionen – zu einer Überschätzung der zukünftigen Verbräuche geführt haben. Insgesamt weist die Trendprojektion der Endenergieeinsätze der Industrie für sechs AEOs in der hier untersuchten Periode kleinere Fehler auf, als die AEOs. Im Durchschnitt sind die

¹⁶¹ D.h., mit den Ergebnissen, die sich ergeben hätten, wenn BIP, EDL-Intensität sowie Strom- und Brennstoffintensität nicht modellgestützt projiziert, sondern lediglich als Extrapolation des jeweils sechsjährigen Trends der Vergangenheit linear extrapoliert worden wären.

Projektionen des Stromeinsatzes der AEOs etwas genauer als die Trendextrapolationen, während die Brennstoffeinsätze durch die AEOs mit größerem Fehler projiziert werden, als sich dies bei einer Trendextrapolation ergeben hätte.

Abbildung 6-37: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler des Strom- und Brennstoffeinsatzes der Industrie der AEOs für verschiedene Prognosehorizonte im Vergleich mit Ergebnissen der Trendextrapolation



Quelle: eigene Berechnungen

Zusammenfassung Industrie

Für die Industrie ergibt sich aus den voranstehenden Analysen ein von den Sektoren GHD und Haushalte deutlich abweichendes Bild der Projektionsfehler:

- Die Basisjahrkorrektur ist im Bereich der Industrie unerlässlich, um Analysen unter Einbeziehung der EDL überhaupt durchführen zu können, denn die methodischen Änderungen der historischen Zeitreihen durch den Umstieg bei der Deflationierung von festen Basisjahren auf verkettete Werte sowie den Wechsel von der SIC auf die NAICS-Klassifikation der Wirtschaftszweige machen es extrem schwierig, aus vorhandenen Daten entsprechend zusammenpassende historische sowie Prognosezeitreihen zu erstellen. Die nicht bereinigbaren Abweichungen, die z.T. immer noch über 15% betragen, können nur durch die Basisjahrkorrektur ausgeräumt werden. Die Basisjahrfehler der Energiedaten für den Industriebereich liegen mit im Mittel der Absolutwerte von 1 bis 1,5% etwa in der gleichen Größenordnung, wie die der übrigen Nachfragesektoren.
- Der Variabilitätsfehler weist ähnlich wie im GHD-Sektor einen vom BIP beeinflussten zyklischen Verlauf auf, wobei allerdings die Variabilitätsfehler der ener-

giebezogenen Größen denen der BIP- und EDL-bezogenen Größen entgegen gerichtet sind.

- Die negativen Trendfehler der BIP-Projektion werden im Industriebereich auf der EDL-Ebene deutlich überkompensiert.
 - D.h., die EDL-Projektionen weisen – bei mit der Prognosedauer deutlich steigender Tendenz – einen mittleren CO₂-gewichteten Trendfehler von 0,1% der gesamten CO₂-Emissionen für 5-jährige Projektionen bis 0,9% für 9-jährige Projektionen auf, verursacht durch die Überschätzung der EDL-Intensität. Die Unterschätzung des BIP bewirkt nur eine leichte Kompensation dieses Fehlers.
 - Der Grund für diese Fehleinschätzung der EDL liegt darin, dass insbesondere die älteren Projektionen höhere Anteile des Verarbeitenden Gewerbes am gesamten BIP erwartet haben, als sich real eingestellt haben. Durch diese Fehleinschätzung wird der leicht negative Trendfehler beim BIP für die Industrie ins Gegenteil verkehrt.
- Der überwiegend positive Fehler der EDL-Projektionen wird dann auf der Ebene der Energieprojektionen noch weiter verstärkt:
 - D.h., die Strom- und Brennstoffintensität werden durchgängig ebenfalls zu hoch projiziert.
 - Hierdurch ergibt sich bei der Endenergieprognose ein noch größerer und mit der Prognosedauer steigender mittlerer CO₂-gewichteter Trendfehler von im Mittel 1,0 bis 1,8%.
 - Dabei trägt die Überschätzung der Brennstoffintensität etwas stärker zum Fehler bei, als die der Stromintensität. Mit zunehmender Prognosedauer trägt die Überschätzung der EDL ebenfalls maßgeblich – bei den 9-jährigen Projektionen zu mehr als 50% – zum Fehler bei.
 - Hier liegen die Gründe der Überschätzung der Energieintensität entweder darin,
 - dass das Ausmaß des interindustriellen Strukturwandels innerhalb der Industrie zwischen energieintensiven und nicht energieintensiven Branchen unterschätzt wurde¹⁶²,
 - und/oder dass die Effekte des intraindustriellen Strukturwandels, d.h. die Änderungen in der Produktstruktur der einzeln betrachte-

¹⁶² Das Industriemodul des NEMS unterscheidet zwischen acht energieintensiven Industriegruppen des verarbeitenden Gewerbes, zwei nicht energieintensiven Gruppen des verarbeitenden Gewerbes sowie sechs Gruppen des übrigen produzierenden Gewerbes und der Landwirtschaft (Unruh 2002, 2).

ten Branchen sowie der Wertsteigerungseffekt der Produktion¹⁶³, nicht richtig erwartet wurden,

- und/oder darin, dass die technische Effizienzsteigerung durch Modernisierung der Produktionsanlagen falsch, d.h. im Durchschnitt zu niedrig projiziert wurde.

Da unterhalb der Ebene des aggregierten Bruttoproduktionswertes der Industrie keine weiteren Detaildaten in den AEOs veröffentlicht wurden¹⁶⁴, kann hier nicht näher geklärt werden, welcher der drei Effekte bzw. welche Kombination der drei Effekte die Fehlprognosen maßgeblich beeinflusst hat.

Insgesamt weisen also im Industriebereich ganz überwiegend alle Fehler mit Ausnahme der BIP-Prognose in die gleiche Richtung, einer Überschätzung des Endenergieeinsatzes der Industrie in einer Größenordnung von zusammen im Mittel mehr als einem Prozent bis fast zwei Prozent der gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen der USA. Die Trendfehler sind dabei sehr ähnlich denen, die sich aus der linearen Extrapolation der spezifischen Variablen ergeben hätten, wobei insbesondere die Brennstoffeinsätze in der Extrapolation etwas genauer projiziert wurden.

¹⁶³ Entsprechende Effekte, die sich innerhalb von Branchen sowohl durch strukturelle Veränderungen der Produktion als auch durch höhere Werthaltigkeit der Produkte ergeben, wurden z.B. in Lechtenböhrmer et al. (2003) sowie Garnreiter, Jochem, Schön (1986) und Fichtner, FfE, ISI (1989), Goy u.a. (1990) Jochem, Bradtke, Petrik (1992) diskutiert. Sue Wing und Eckaus (2007) analysieren für die USA, dass der „sub sectoral structural change“ eine bedeutende Rolle in der Verringerung der Energieintensität gespielt hat. Allerdings verwenden sie eine sehr grobe Sektoraufteilung, so dass für die Industrie ein größerer Teil der von ihnen als „sub sectoral“ bezeichneten Strukturänderungen im NEMS explizit abgebildet sein dürften.

¹⁶⁴ Für den AEO'02 wurden von Unruh (2002) zusätzlich detailliertere Projektionen für den Industriesektor veröffentlicht, aus denen für die Projektion bis 2020 die Annahmen zum interindustriellen Strukturwandel zwischen den vorher genannten Industriegruppen sowie zur Entwicklung der jeweiligen Energieintensitäten hervorgehen. Zusätzlich sind dort weitere Angaben zu den im Modell verwendeten technologiespezifischen „Technology Possibility Curves“ gemacht, aus denen sich aber der Effekt der Energieeffizienz nicht direkt von weiteren intraindustriellen Effekten isolieren lässt.

6.3.5 Fehleranalyse der Projektionen für den Verkehrssektor

Der Verkehrssektor wird hier mit Fokus auf den Personenverkehr¹⁶⁵ näher analysiert. Für die Pkw wurde die Analyse einschließlich der EDL-Ebene (hier Fahrzeugkilometer¹⁶⁶) analog zu den übrigen Nachfragesektoren durchgeführt, wobei hier der Strom nicht explizit berücksichtigt wurde, da er im Pkw-Verkehr keine Rolle spielt. Der übrige Verkehr (Frachtverkehr, Bahnverkehr, Flugverkehr) wurde als Block analysiert, wobei hier auf eine Detailanalyse der EDL-Ebene verzichtet wurde¹⁶⁷.

Wie in den übrigen Sektoren werden zunächst die Basisjahr- und Variabilitätsfehler dargestellt und im Anschluss daran die Trendfehler der einzelnen Variablen des Verkehrssektors näher analysiert.

6.3.5.1 Basisjahrfehler

Die folgende Abbildung zeigt, dass im Verkehrssektor auf der Basis der EDL (Fahrleistung der Pkw) signifikante aber deutlich schwankende Basisjahrfehler existieren. Es fällt dabei auf, dass sie bis einschließlich des AEO'00 überwiegend negativ sind, danach durchgängig positiv. In manchen Jahren liegt der Basisjahrfehler bei etwa einem Prozent, in anderen dagegen zwischen 2 und 6%. Die Hintergründe für diese Basisjahrfehler liegen vermutlich in Modellkalibrierungen sowie ggf. in der Einbeziehung neuer Fahrzeugkategorien (z.B. die sog. ‚SUVs‘, die in der Statistik als „Light Trucks“ geführt werden.¹⁶⁸).

Die Energieprojektionen weisen dagegen deutlich höhere Basisjahrfehler auf, wobei die Endenergieeinsätze des Personenverkehrs generell um etwa 10 bis 15% (im Mittel 11%) überschätzt und die des übrigen Verkehrs um etwa die selbe Größenordnung unterschätzt wurden. Der resultierende Basisjahrfehler der Endenergieeinsätze des Verkehrs dagegen ist mit einem mittleren absoluten Fehler von 1,4% deutlich kleiner.

Dies deutet klar auf die Abgrenzungsprobleme der Energiestatistik im Verkehr hin. Während der gesamte Endenergieeinsatz bei Projektionen und Realdaten gut übereinstimmt, kommt es bei der Abgrenzung des Pkw-Verkehrs zu einer Überschätzung der absoluten Höhe des durch diesen Bereich bedingten Endenergieeinsatzes. Grund dafür ist letztlich die mangelnde Datenlage der AEOs, die bei der Endenergie lediglich

¹⁶⁵ Der Personenverkehr umfasst dabei den gesamten Straßenpersonenverkehr incl. Bussen und Motorräder, sofern sie in den Daten erfasst sind. Er wird der Einfachheit halber hier mit Pkw abgekürzt.

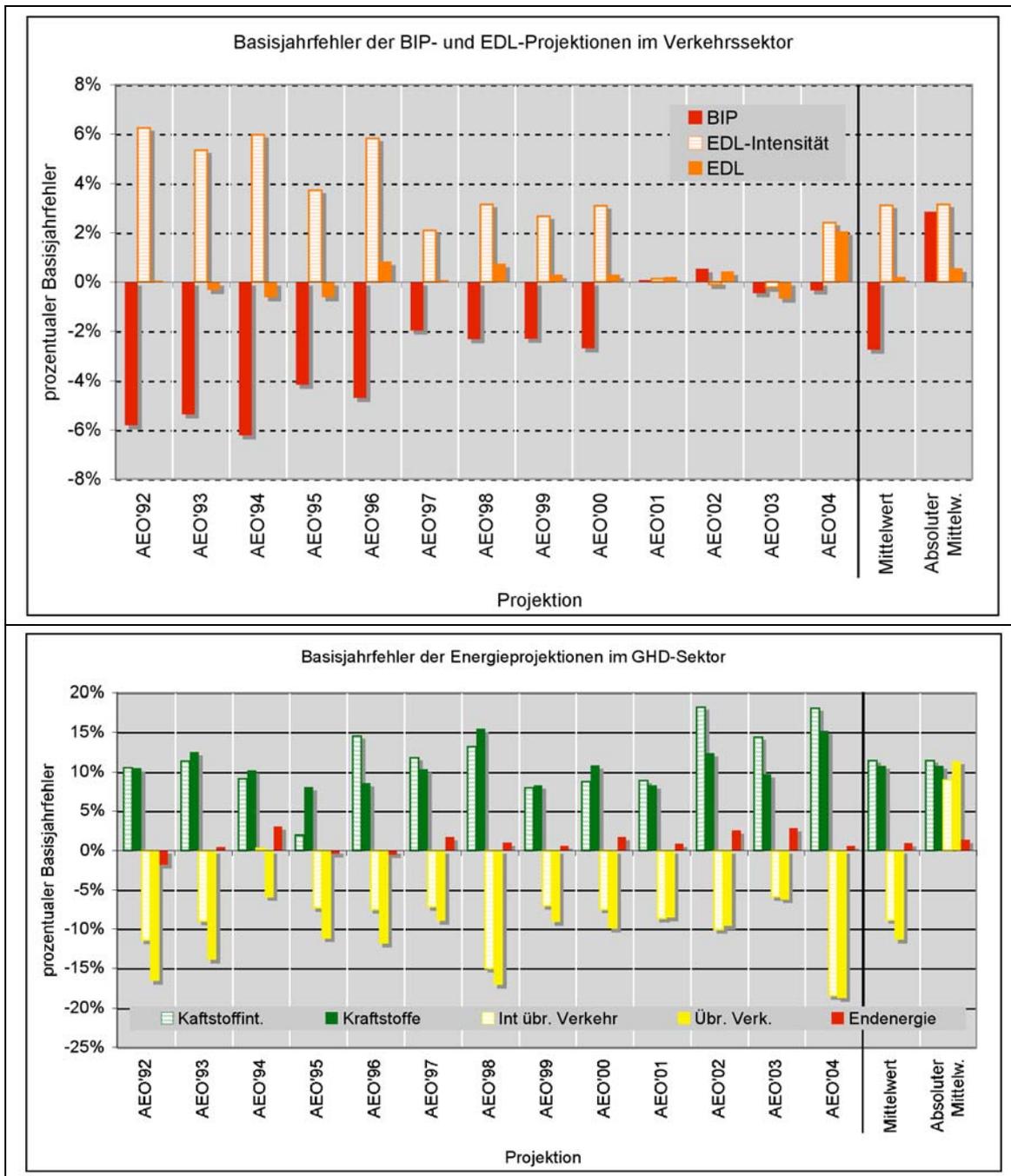
¹⁶⁶ Fahrleistung der sog. „light duty vehicles“. Für eine Berechnung auf der Basis der noch grundlegenden EDL-Einheit Personenkilometer waren keine hinreichenden Daten verfügbar.

¹⁶⁷ Der Grund hierfür ist die schlechte Datenlage, die hier umfangreiche Datenbearbeitungen erfordert hätte, u.a. weil der übrige Verkehr für eine EDL-Analyse weiter aufgeteilt werden müsste. Da im Ergebnis aber ein Teil der EDL-Größen nur durch das BIP selber hätten angenähert werden können, steht der zusätzliche Aufwand nicht im Verhältnis zum möglichen Erkenntnisgewinn.

¹⁶⁸ Der Anteil der Light Trucks am Kraftstoffverbrauch des individuellen motorisierten Personenverkehrs ist zwischen 1983 und 2004 von 25% auf 45% angestiegen (EERE 2007).

nach Brennstoffen unterscheiden. Daher wurden in der vorliegenden Analyse die Benzinverbrauchsprojektionen¹⁶⁹ zugrunde gelegt.

Abbildung 6-38: Basisjahrfehler der Projektionen der AEOs 92 bis 04 für den Verkehrssektor



Quelle: eigene Berechnungen

Als historische Zeitreihe wurde diesen Werten der Kraftstoffeinsatz des Personenverkehrs (einschließlich Busse) nach den Angaben der EERE (2007) gegenübergestellt.

¹⁶⁹ Die Pkw nutzen in den USA fast ausschließlich Benzin. Diesel-Pkw sind dort unüblich.

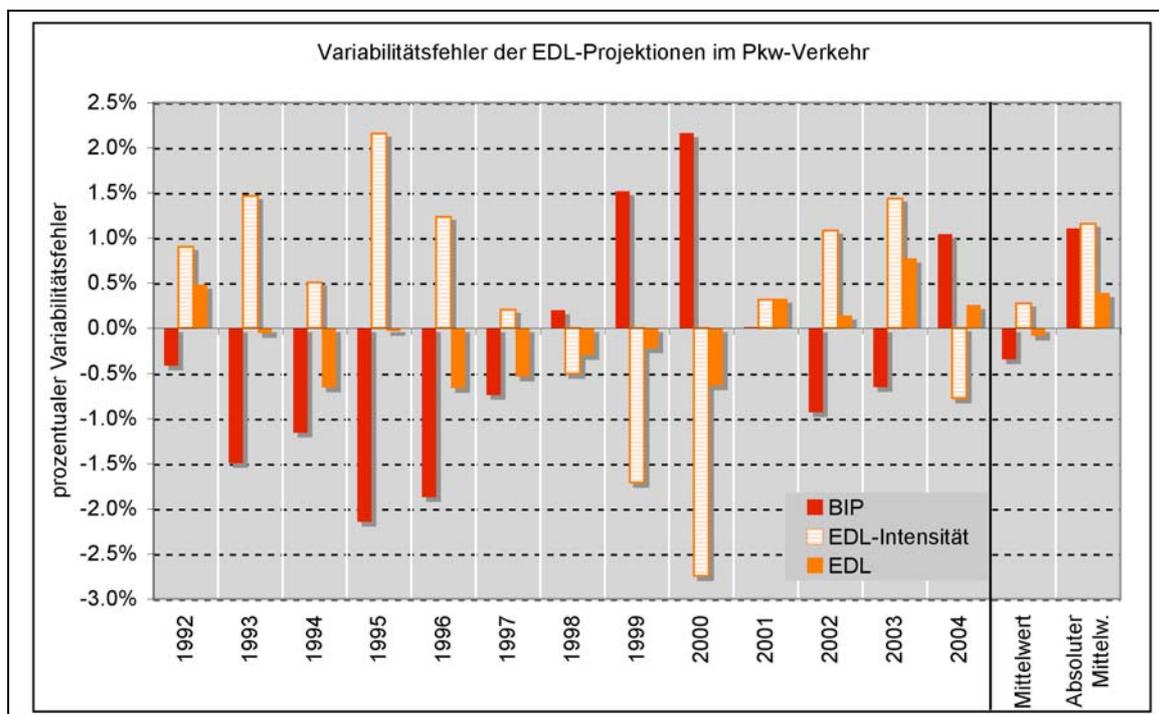
Diese Quelle unterscheidet allerdings nicht nach Kraftstoffarten. Ganz offensichtlich wird aber ein Teil (ca. 10%) des Benzins auch im Güterverkehr eingesetzt, so dass hier eine Unschärfe zwischen Prognosen und historischen Werten entsteht. Um diesen Anteil genau zuzuordnen zu können, fehlen hier allerdings die Detaildaten.

Im Verkehrssektor ist die Basisjahrkorrektur also ebenfalls von großer Bedeutung um die EDL-bezogene Analyse vornehmen zu können, da es hier Abgrenzungsprobleme zwischen den Projektionen und den Ist-Daten gibt, die nur über die Basisjahrkorrektur der Verbrauchswerte (weitgehend) ausgeglichen werden können.

6.3.5.2 Variabilitätsfehler

Die folgenden Abbildungen geben einen Überblick über die Variabilitätsfehler der Projektionen für den Verkehrssektor für die einzelnen Jahre des hier analysierten Zeitraums.

Abbildung 6-39: Variabilitätsfehler der BIP- und EDL-Projektionen der AEOs 92 bis 04 im Verkehrssektor



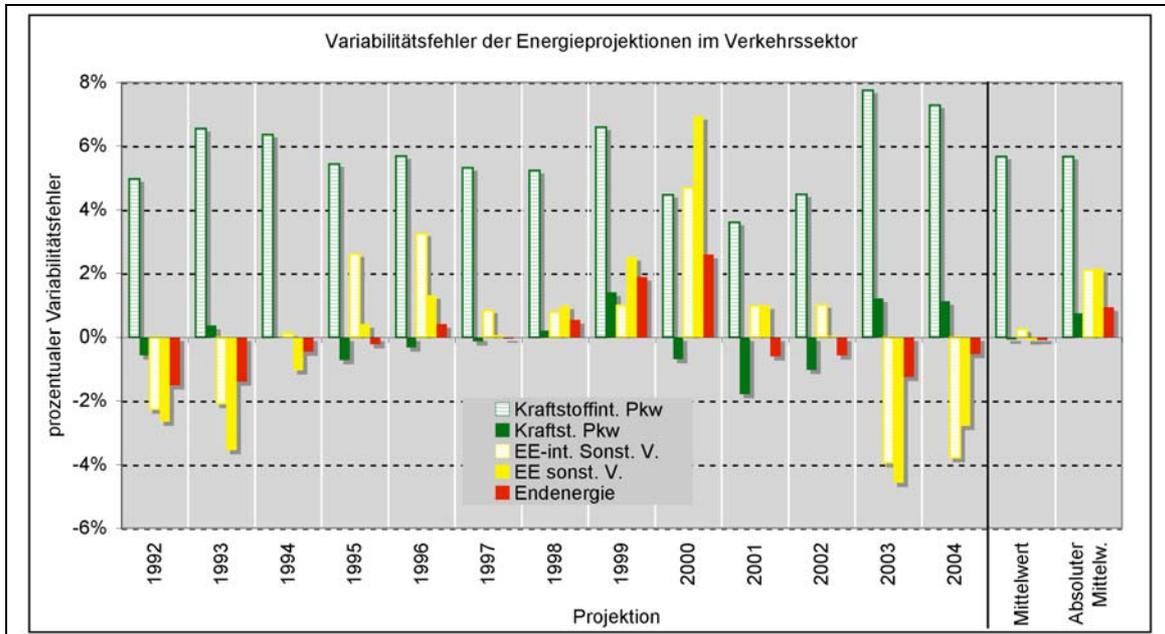
Quelle: eigene Berechnungen

Die Variabilität der EDL im Personenverkehr ist im hier betrachteten Zeitraum mit einem Mittelwert der absoluten Fehler von 0,4% deutlich kleiner gewesen als die des BIP mit 1,1%, wobei beide Fehler bis 1998 weitgehend in der Richtung übereinstimmten, danach aber meist entgegengesetzt waren.

Die Variabilitätsfehler der Endenergieprojektionen weisen eigene Muster auf. Der Variabilitätsfehler der Kraftstoffverbräuche der Pkw schwankt überwiegend mit Fehlern

meist unter einem Prozent geringfügig um den linearen Trend der Jahre 1992 bis 2004. Stärker schwankt dagegen der Endenergieeinsatz des sonstigen Verkehrs.

Abbildung 6-40: Variabilitätsfehler der Energieprojektionen der AEOs 92 bis 04 im Verkehrssektor



Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt liegt der absolute Mittelwert der Variabilitätsfehler beim Endenergieeinsatz des Verkehrs bei nur knapp einem Prozent, wobei sich die Fehler des Kraftstoffeinsatzes im Personenverkehr von ebenfalls im Mittel der Absolutwerte knapp einem Prozent und der des Endenergieeinsatzes des übrigen Verkehrs, der einen Mittelwert der absoluten Fehler von 2% aufweist, zum Teil kompensieren.

6.3.5.3 Trendfehler der Prognosevariablen

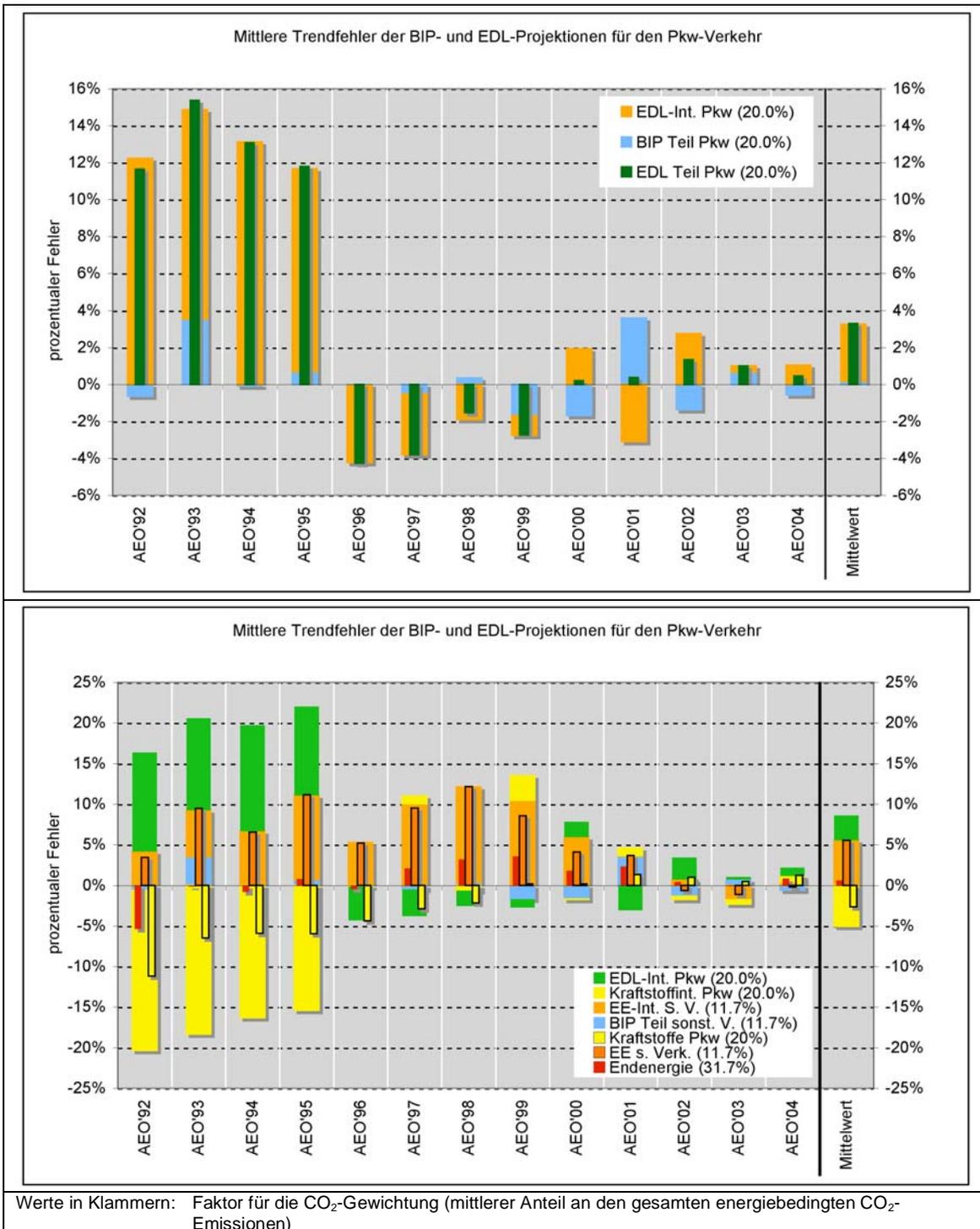
Die mittleren Trendfehler für die hier untersuchten AEOs werden in der folgenden Abbildung dargestellt.

Für die EDL im Personenverkehr (Fahrleistung) gilt, dass die Trendfehler der Projektionen weitgehend unabhängig von denen des BIP verlaufen, obwohl sie vielfach in die gleiche Richtung zeigen. Bis einschließlich des AEO'95 wurde die BIP-spezifische Fahrleistung weit – d.h. um jeweils mehr als 10% – überschätzt, was zu einer Verstärkung des positiven Fehlers bei der BIP-Projektion und zu einer signifikanten Überschätzung der EDL um ca. 12 bis 15%¹⁷⁰ führte. In den AEOs 96 bis 99 wurde dann die BIP-spezifische Fahrleistung – allerdings mit -1,5 bis -4% in wesentlich geringerem Ausmaß – unterschätzt, was dann, z.T. unterstützt durch eine parallele Unterschätzung

¹⁷⁰ Das entspricht bei einem mittleren CO₂-Wichtungsfaktor von 20% also einem CO₂-gewichteten Trendfehler von 2,4 bis 3%.

des BIP – zu einer Unterschätzung der EDL-Entwicklung um knapp 2 bis 4% führte. In den neueren AEOs sind die Fehler dann – für den bisher evaluierbaren Zeitraum – durchweg deutlich kleiner, wobei sich der Fehler beim BIP und der der spezifischen Fahrleistung z.T. noch kompensieren.

Abbildung 6-41: Mittlere Trendfehler der Projektionen für den Verkehrssektor der AEOs 92 bis 04



Dieses zeitlich gespaltene Bild setzt sich zum Teil bei den Trendfehlern der Energieprojektionen fort. Die Kraftstoffintensität der Pkw wurde in den AEOs 92 bis 95 um 16 bis 20% unterschätzt, was allerdings durch die Überschätzung der EDL zu mehr als 50% kompensiert wurde. Der Kraftstoffeinsatz wurde entsprechend 6 bis 12% zu niedrig projiziert. Ab dem AEO'96 wurde der spezifische Kraftstoffeinsatz des Personenverkehrs dann ebenso wie die EDL deutlich genauer prognostiziert, so dass die Trendfehler des Kraftstoffeinsatzes in der Folge deutlich unter 5% blieben, ab dem AEO'99 sogar unter 2%. Die Fehler der Projektionen der Kraftstoffintensität sind direkt auf Fehleinschätzungen der – mittleren – Energieeffizienz des Fahrzeugparks zurückzuführen¹⁷¹. Dabei wurde in den älteren AEOs der Trend einer kontinuierlichen Verbesserung fortgeschrieben, der aufgrund gesunkener Energiepreise und nachlassender staatlicher Vorschriften aber nicht eintrat. Dies wurde dann in späteren AEOs korrigiert.¹⁷²

Die Endenergieintensität des übrigen Verkehrs (bezogen auf das BIP) wurde mit Ausnahme des AEO'03 in allen AEOs überschätzt, so dass sich – nur leicht abgeschwächt durch den zum Teil entgegengesetzten Fehler des BIP – bis einschließlich des AEO'01 signifikante Überschätzungen von 4 bis 12%¹⁷³ ergaben. Ab dem AEO'02 liegen die Fehler dann auch hier deutlich niedriger. Dabei können die Überschätzungen hier sowohl auf eine Fehlprognose der Verkehrsentwicklung im Güter- und Luftverkehr als auch auf eine Fehleinschätzung der Effizienztrends in diesen Bereichen zurückzuführen sein.

Im Ergebnis wird der überwiegend leicht positive Trendfehler der Endenergieprojektion des Verkehrs maßgeblich durch eine gegenseitige Kompensation der Unterschätzung der Energieeinsätze im Pkw-Verkehr und eine Überschätzung der Energieeinsätze im sonstigen Verkehr bestimmt. Dabei überwiegt insgesamt der Trendfehler im kleineren Bereich des sonstigen Verkehrs, so dass der Endenergieeinsatz im Mittel aller Projektionen und Prognosejahre nur um etwa 0,6% überschätzt wird.

CO₂-gewichtete Trendfehler nach Prognosedauer

In den folgenden Abbildungen wird die Evaluierung noch um die Untersuchung des Einflusses der Prognosedauer ergänzt.

Dabei wird für die EDL-bezogenen Projektionen das Bild bestätigt, dass die AEOs bis 95 bzw. ab AEO'96 ganz unterschiedliche Prognosen abgeben. Während die BIP-Prognosen die Entwicklung fast durchgängig unterschätzen, wird die EDL-Intensität bis

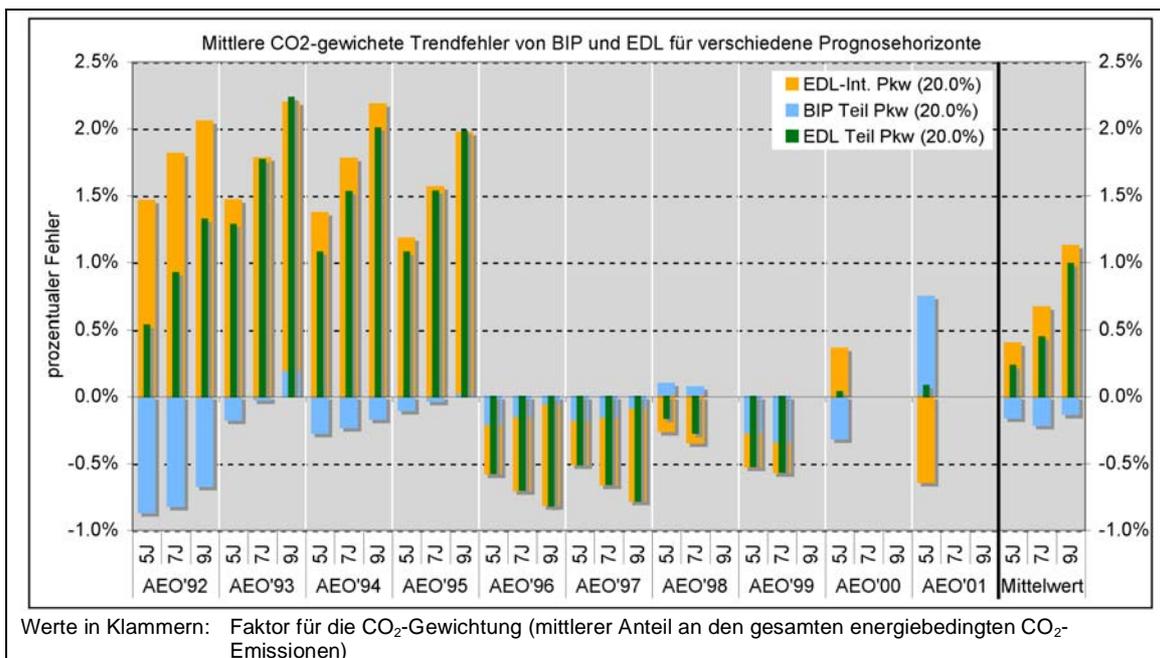
¹⁷¹ Hierbei hat neben der direkten technischen Effizienz (l/100 km) der Fahrzeuge im typischen Einsatz auch die Zusammensetzung der Flotte, d.h. in den USA vor allem der Anteil der „Light Trucks“, einen Einfluss.

¹⁷² Nähere Diskussionen zu den Hintergründen dieser Fehleinschätzungen finden sich auch unter der Hypothese „Assumption Drag“ in Kapitel 7.2.1.3.

¹⁷³ Das entspricht bei einem mittleren CO₂-Gewicht von 11,7% CO₂-gewichteten Fehlern von 0,5 bis über 1,4%.

einschließlich des AEO'95 stark über-, danach in deutlich geringerem Maße unterschätzt. Dabei wird der Trendfehler der EDL-Projektion sehr kontinuierlich mit der Prognosedauer immer größer. Der mittlere Trendfehler der EDL beträgt bei einer Prognosedauer von 5 Jahren und starken Kompensationen CO₂-gewichtet etwa 0,2% um bei Prognosehorizonten von bis zu 9 Jahren auf im Mittel 1,0% anzusteigen.

Abbildung 6-42: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Projektionen von BIP und EDL für den Personenverkehr nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte

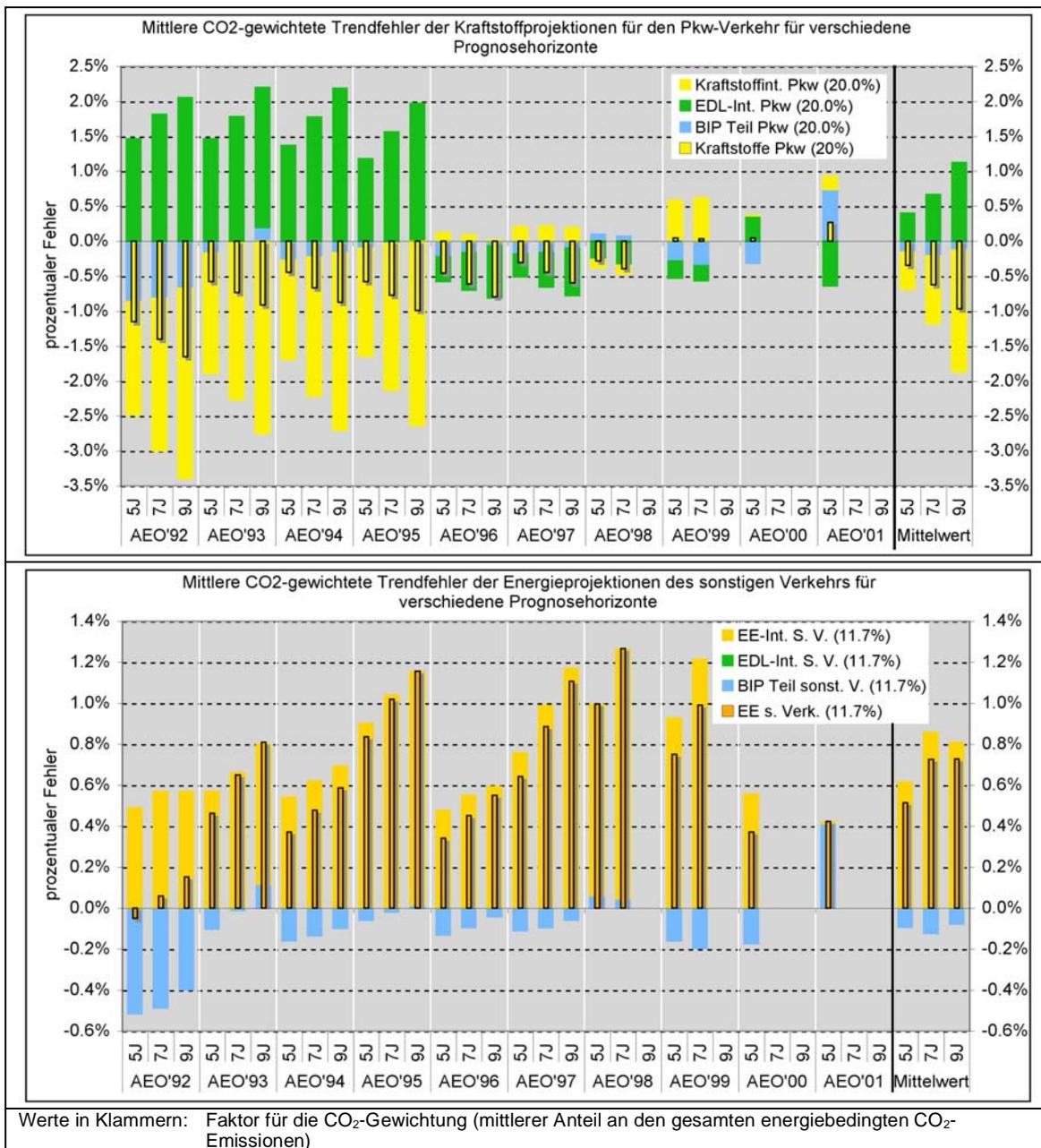


Quelle: eigene Berechnungen

Bei den Energieprojektionen ergibt sich das gleiche Bild; die Fehlertendenzen und die Fehlerkompensationen bleiben auch in der Analyse nach Prognosedauern gleich. Dabei gibt es auch hier einen durchgängigen sehr systematischen Trend von mit der Prognosedauer immer stärker ansteigenden Trendfehlern. Der mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler des Kraftstoffeinsatzes der Pkw steigt dabei mit zunehmender Prognosedauer von -0,4% auf -1,0% an. Der Trendfehler des sonstigen Verkehrs dagegen beträgt für die Prognosedauern von 5 Jahren im Mittel 0,5% für längere Prognosedauern gut 0,7%.

Der Trendfehler des Endenergieeinsatzes zeigt ebenfalls keinen eindeutigen zeitlichen Trend, da er sich aus den entgegengesetzten Entwicklungen beim Personen- und beim übrigen Verkehr zusammensetzt. Für Prognosedauern bis 7 Jahre dominiert die Überschätzung des Endenergieeinsatzes des sonstigen Verkehrs (v.a. Güterverkehr, Luftverkehr) den Gesamtfehler, dessen Überschätzung von CO₂-gewichtet nur bei etwa 0,2% liegt. Für längere Prognosedauern überwiegt dann die Unterschätzung der Kraftstoffeinsätze im Personenverkehr, wobei sich mit -0,1% insgesamt eine leichte Unterschätzung des Endenergieeinsatzes ergibt.

Abbildung 6-43: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Energieprojektionen für den Verkehrssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte

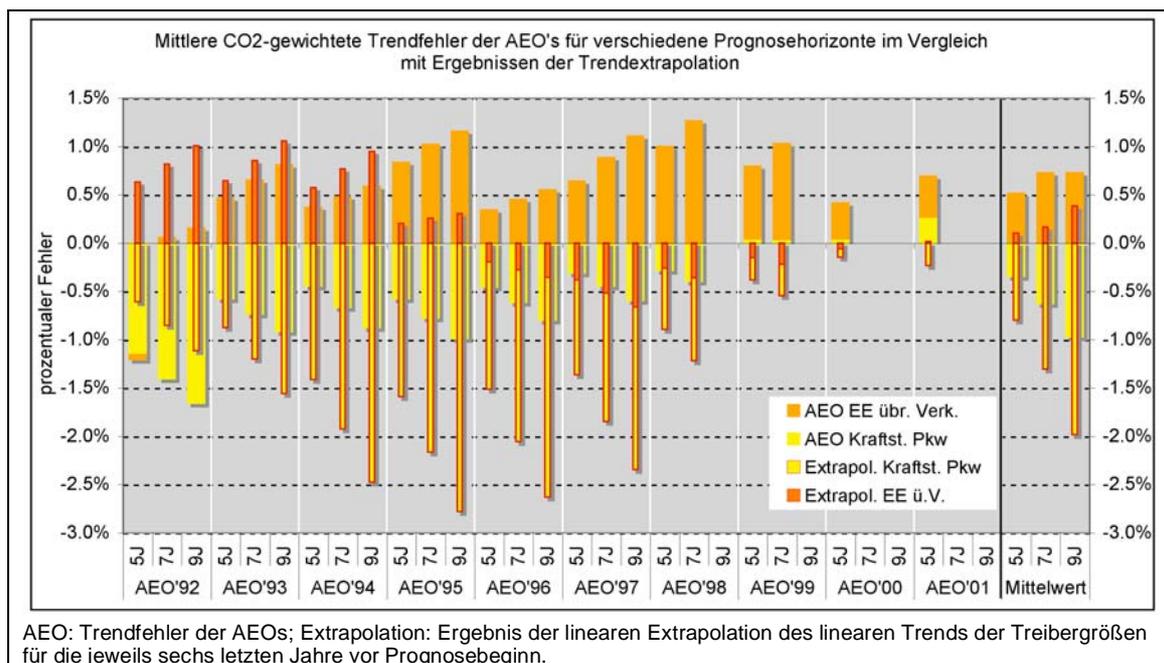


Quelle: eigene Berechnungen

Der Vergleich der Fehlergröße der Projektionsergebnisse der AEOs mit der linearen Extrapolation des BIP und der spezifischen Variablen (siehe Abbildung unten) zeigt für den Energieeinsatz der Pkw ein deutlich besseres Abschneiden der AEO-Projektionen gegenüber der Trendextrapolation. Beide Modelle unterschätzen durchgängig die zukünftige Entwicklung, aber mit Ausnahme des AEO'92 ist der Trendfehler der Extrapolation mehr als doppelt so groß. Im Bereich des übrigen Verkehrs dagegen ist das Bild weniger eindeutig. Während die AEOs den Endenergieeinsatz hier durchgängig und mit zunehmendem Fehler überschätzen, gilt dies nur für die Trendextrapolationen

der Jahre bis 1995. Danach ergibt sich aus der Trendextrapolation eher eine leichte Unterschätzung der tatsächlichen Entwicklung. Im Mittel ist daher der Fehler der Trendextrapolationen deutlich kleiner. Bezogen auf den gesamten Endenergieeinsatz des Verkehrs weisen die AEOs, u.a. aufgrund der hohen Fehlerkompensation im Mittel deutlich kleinere Trendfehler auf, als die lineare Extrapolation der relevanten Projektionsvariablen.

Abbildung 6-44: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Endenergieprojektionen und der Trendextrapolationen für den Verkehrssektor nach AEO für verschiedene Prognosehorizonte



Quelle: eigene Berechnungen

Zusammenfassung Verkehrssektor

Die Evaluierung der Projektionen für den Verkehrsbereich zeigt ein differenziertes Bild:

- Die Basisjahrkorrektur ist auch im Verkehrsbereich sehr notwendig um überhaupt eine detailliertere und – zumindest ansatzweise – auf das EDL-Niveau reichende Evaluierung durchführen zu können, da hier die Daten, die in den AEOs ausgewiesen werden, aufgrund unterschiedlicher Definitionen nur unzureichend mit den Angaben in der detaillierten Ist-Darstellung der EERE zur Deckung zu bringen sind. Wenn, wie in diesem Fall, die Abweichungen zwischen beiden Quellen nicht zu groß sind, kann die Basisjahrkorrektur genutzt werden um die Zeitreihen der Projektionen an die Ist-Daten ,anzupassen'¹⁷⁴.

¹⁷⁴ Der potentielle Fehler dieser Vorgehensweise steigt ceteris paribus mit der Größe des Basisjahrfehlers. Dabei gibt es bislang kein Maß, aus dem sich eine verlässliche Obergrenze für die Zulässigkeit dieser Verfahrensweise ableiten ließe.

- Die Variabilitätsfehler sind im Verkehrssektor auch absolut gesehen überwiegend gering und kompensieren sich zum Teil.
- Die Trendfehler der Endenergieprojektionen im Verkehrsbereich sind ebenfalls Gegenstand signifikanter Kompensationen von Teilprojektionen:
 - Die EDL-Intensität des Personenverkehrs wird in den AEOs bis 95 durchgängig sehr stark überschätzt, später überwiegend unterschätzt.
 - Dieser deutliche Fehler wird allerdings mehr als kompensiert durch – vor allem in den älteren AEOs – direkt entgegengesetzte Fehler der Kraftstoffintensität des Pkw-Verkehrs, so dass sich im Mittel der Projektionen eine deutliche Unterschätzung der Kraftstoffeinsätze im Personenverkehr um CO₂-gewichtet bis zu 1,0% (bei Projektionen über eine Laufzeit von 9 Jahren) ergibt.
 - Diese wiederum wird für Prognosedauern bis 7 Jahre mehr als kompensiert und für Prognosedauern von 9 Jahren nahezu kompensiert durch die durchgängige Überschätzung der BIP-bezogenen Energieintensität des übrigen Verkehrs.
- Im Ergebnis wird der Endenergieeinsatz des Verkehrs häufig nur leicht falsch projiziert, mit Extremwerten von Über- bzw. Unterschätzungen um etwa 1,2%. Im Mittelwert liegt der CO₂-gewichtete Trendfehler der EDL-Projektionen dagegen bei weniger als 0,1%. Dabei ist dieser nur sehr kleine Fehler durchgängig auf eine signifikante Fehlerkompensation zwischen durchgängig zu niedrig projizierten Kraftstoffeinsätzen des Personenverkehrs und zu hoch projizierten Energieeinsätzen im Bereich des übrigen Verkehrs (Güterverkehr, Schienen- und Luftverkehr) zurückzuführen.

Insgesamt verbergen sich unter dem sehr kleinen Trendfehler der Endenergieeinsätze größere Teilfehler, die, wenn sie alle kumuliert wären, zu einem erheblich größeren Gesamtfehler der Projektionen für diesen Bereich geführt hätten. Im Vergleich zur linearen Trendextrapolation der hier ausgewählten treibenden Variablen liegt der Fehler der AEO-Projektionen ebenfalls – vor allem aufgrund der kleineren Fehler im Pkw-Bereich – deutlich niedriger.

6.4 Trendfehler der zusammengesetzten CO₂-Emissionsprojektionen

Nachdem in den voranstehenden Abschnitten für jeden der Endnachfragesektoren untersucht wurde, wie groß die Trendfehler der AEOs für die jeweiligen Teilprojektionen sind, welche Richtung sowie welche Ursachen sie haben und was die Haupteinflussfaktoren auf den jeweiligen aggregierten Trendfehler sind, soll im Folgenden das Gesamtbild der Fehler der Projektionen bezogen auf die gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen der USA analysiert werden.

Das Schema 6-1 (oben) gibt die wesentlichen Elemente des hier untersuchten Emissionsmodells an, wobei in diesem Abschnitt das BIP, die CO₂-Emissionen sowie die zwischen ihnen liegenden Intensitäten auf den drei Stufen, BIP-EDL, EDL-Endenergie und Endenergie-CO₂ (d.h. jeweils die Kreise in Abbildung 6-1) betrachtet werden.

Während bisherige Untersuchungen (z.B. O’Niell, Desai 2005) ihre Fehleranalyse darauf beschränkten, die Fehler des Endenergieeinsatzes als Produkt aus BIP und Energieintensität zu untersuchen, werden die Fehlerursachen hier differenzierter betrachtet. Der Betrachtungsbereich wird zunächst auf die CO₂-Emissionen erweitert, die hier im Untersuchungsfokus stehen. D.h., nach der Stufe der Endenergieprojektion ist zusätzlich die Projektion der Emissionsfaktoren eine weitere Einflussgröße auf den Gesamtfehler

Weiterhin wird die Analyse der Fehlerquellen der Endenergieprojektion differenzierter durchgeführt: Zum einen wird die Energieintensität (Endenergie bezogen auf BIP) aufgeteilt in ihre beiden wesentlichen Komponenten Energiedienstleistung und Endenergieintensität (bezogen auf die Energiedienstleistung). Zum anderen wird die Analyse weiter ausdifferenziert nach den Endnachfragesektoren Haushalt, GHD, Industrie, und Verkehr (Pkw-Verkehr und übriger Verkehr).

Durch diese zusätzliche Differenzierung kann – Sektor für Sektor – untersucht werden, ob bzw. inwieweit in den vorliegenden Projektionen¹⁷⁵ entweder die Nachfrage nach Energiedienstleistungen oder aber die Energieeffizienz ihrer Bereitstellung falsch projiziert wurde, bzw. ob sich auf dieser Stufe ggf. Fehler der komplementären Teilprognosen gegenseitig kompensiert haben.

Die Abbildung 6-1 macht auch klar, dass die Teilfehler, aus denen sich der Gesamtfehler der CO₂-Emissionsprojektionen zusammensetzt, unterschiedlich aggregiert werden können:

- Zum einen kann die Betrachtung nach den Stufen der Emissionsprojektion – BIP, Energiedienstleistungsintensität, Endenergieintensität, Emissionsfaktor, CO₂-Emissionen – aufgeteilt werden. Diese Aufteilung zeigt, inwieweit Projekti-

¹⁷⁵ Soweit sie bisher untersucht werden können.

onsfehler auf diesen wesentlichen Prognosestufen für den Gesamtfehler verantwortlich sind bzw. inwieweit sie sich gegenseitig kompensieren. Beide Aspekte werden im folgenden Abschnitt näher dargestellt und analysiert. Der Vorteil dieser Darstellungsart liegt darin, dass sie den direkteren Vergleich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen ermöglicht, die lediglich die Stufen der Energieprojektionen betrachten.

- Im zweiten Abschnitt dieser Zusammenfassung erfolgt die Betrachtung getrennt für die Projektion der strombedingten Emissionen und der brennstoffbedingten Emissionen. Die Trennung von Strom und Brennstoffen hat dabei den Vorteil, dass sie strukturelle Einflüsse auf den Emissionsfaktor separiert und so die Interpretation der Daten auf dieser Ebene erleichtert. Auch weisen beide Bereiche – trotz eines engen Zusammenhangs auf der Ebene der Nachfragesektoren – in Bezug auf die Emissionsprojektionen Unterschiede auf.
- Die dritte Betrachtungsebene nimmt die Endenergieprojektionen für die einzelnen Nachfragesektoren in den Fokus. Diese Betrachtungsebene entspricht der Aufteilung des zugrundeliegenden Prognosemodells (NEMS). Sie betrachtet daher Teilprojektionen, die eng miteinander zusammenhängen, weil sie gemeinsam in einem Modellteil abgebildet werden. Daher wurde diese Darstellung für die Detailanalyse in den voranstehenden Abschnitten gewählt.

6.4.1 Trendfehler der CO₂-Emissionsprojektionen, Aufteilung und Fehlerkompensation nach Prognosestufen

Die folgenden Darstellungen geben die mittleren Fehler der CO₂-Emissionsprojektionen der AEOs 92 bis 04 jeweils für den bis jetzt evaluierbaren Zeitraum wieder. Die Fehler werden dabei zusammen mit den wesentlichen Teilfehlern für die Prognosestufen

- Bruttoinlandsprodukt,
- Energiedienstleistungsintensität des BIP,
- Endenergieintensität der EDL (aufgeteilt nach Strom- und Brennstoffintensität),
- Emissionsfaktor (ebenfalls zusätzlich nach Strom- und Brennstoffen),

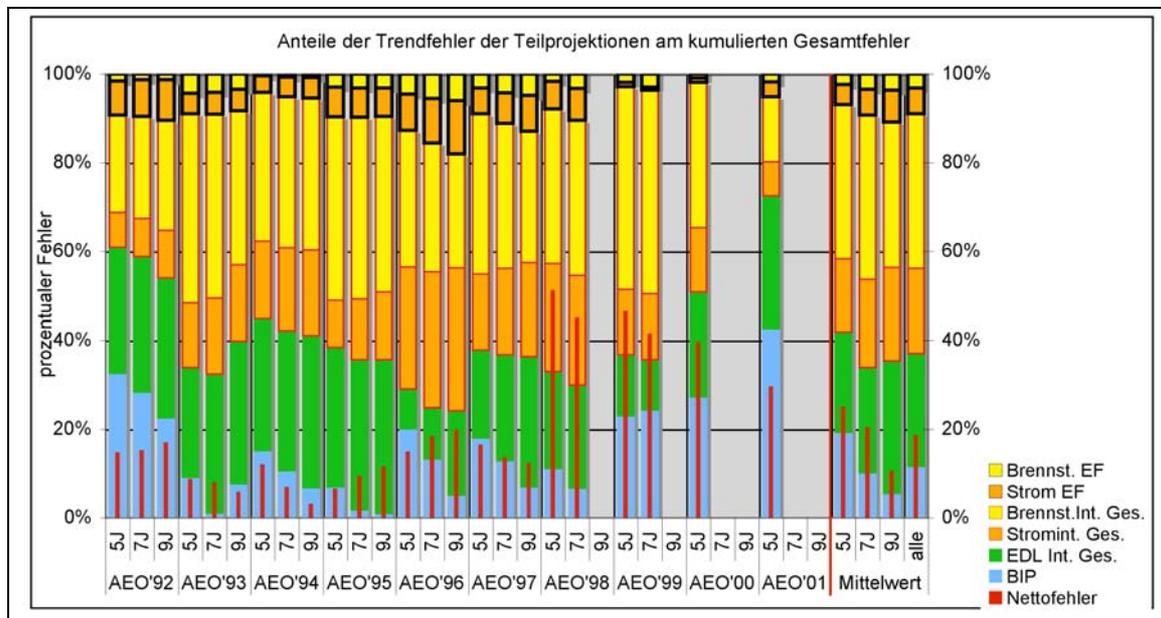
dargestellt. Dabei werden zunächst die Anteile der einzelnen Projektionsstufen am Gesamtfehler sowie die gegenseitige Kompensation der einzelnen Teilfehler dargestellt. Abschließend erfolgt dann der Blick auf das Ergebnis, die Trendfehler der Projektion der CO₂-Emissionen mit ihren Teilkomponenten auf den einzelnen Stufen.

6.4.1.1 Fehleraufteilung und Fehlerkompensation

Die einzelnen Projektionsstufen haben jeweils unterschiedliche Anteile am Gesamtfehler der CO₂-Projektion. Um die jeweiligen Anteile der sich zu großen Teilen gegenseitig kompensierenden Fehler darzustellen, wurde der kumulierte Gesamtfehler definiert,

der sich aus der Summe der Absolutwerte der Teilfehler zusammensetzt. D.h. er repräsentiert den Gesamtfehler, der aufgetreten wäre, wenn alle Fehler in die gleiche Richtung weisen würden.

Abbildung 6-45: Anteile der Projektionsstufen am kumulierten Gesamtfehler nach AEO und Prognosedauern



Quelle: eigene Berechnungen

Die Abbildung zeigt die entsprechenden Anteile der einzelnen Projektionsstufen am Gesamtfehler sowie den ‚Nettofehler‘, d.h. den Anteil des kumulierten Gesamtfehlers, der nach der Kompensation der Teilfehler als Trendfehler der CO₂-Emissionen verbleibt.

- Die Darstellung zeigt, dass die Energieintensität die größte Fehlerkomponente des kumulierten Fehlers ist. Auf sie entfallen im Mittel 54% des Fehlers (knapp 35% auf die Brennstoffintensität und knapp 20% auf die Stromintensität). Dabei ist der Anteil der Energieintensität am Gesamtfehler für die einzelnen Prognosedauern nahezu konstant.
- An zweiter Stelle mit etwa 25% des kumulierten Gesamtfehlers stehen die Projektionen der Energiedienstleistungsintensität, die im Mittel mit steigender Prognosedauer größer werden.
- Damit stehen sie in enger Korrespondenz mit den Fehlern der BIP-Projektion, auf die etwas mehr als 10% des kumulierten Gesamtfehlers entfallen und die im Schnitt mit steigender Prognosedauer kleiner werden. Hieraus ergibt sich auch,

dass die Summe der Fehlerbeiträge beider Größen in den einzelnen AEOs häufig relativ konstant ist¹⁷⁶.

- Den kleinsten Beitrag mit im Schnitt unter 10% des Gesamtfehlers hat der Emissionsfaktor, wobei hier wenig überraschend der Emissionsfaktor für Strom den Fehler dominiert, während der Emissionsfaktor für Brennstoffe, der ohnehin nur sehr wenig schwanken kann, nur etwa 3% zum Gesamtfehler beiträgt.

Der Nettofehler schließlich gibt den prozentualen Anteil des tatsächlichen Fehlers – d.h. unter Berücksichtigung aller Fehlerkompensationen – am kumulierten Gesamtfehler an. Im Mittel liegt er bei unter 20%. D.h. gut vier fünftel der Teilfehler kompensieren sich gegenseitig, so dass der tatsächliche Trendfehler der CO₂-Projektion nur im Schnitt knapp 20% des kumulierten Gesamtfehlers beträgt. Das bedeutet aber auch, dass bereits der kumulierte Fehler der EDL-Intensität bzw. der Brennstoff- oder Stromintensität alleine größer wären als der tatsächliche Gesamtfehler, d.h. bereits die Fehlprognosen einzelner Prognosestufen sind – kumuliert¹⁷⁷ – so groß wie der auftretende Gesamtfehler. Dabei steigt der Grad der Fehlerkompensation im Mittel der hier untersuchten Projektionen und Zeithorizonte mit steigender Prognosedauer.

Im Vergleich der einzelnen Projektionen fällt auf, dass der Grad der Fehlerkompensation bei den AEOs bis 97 deutlich über 80% lag, während er für die nachfolgenden AEOs mit knapp 50 bis 70% deutlich geringer ausfiel.

Die nachfolgende Abbildung 6-46 differenziert die Fehlerkompensation etwas weiter auf. Sie kann sowohl innerhalb der einzelnen Projektionsstufen stattfinden, z.B. zwischen den jeweiligen Projektionen für die verschiedenen Sektoren, als auch zwischen den Projektionen für die einzelnen Stufen, d.h. negative Fehler der BIP-Projektion können durch positive der Projektion der EDL-Intensität kompensiert werden. Dabei zeigt sich in der Analyse, dass beide Effekte im Mittel etwa gleich relevant sind. Ungefähr die Hälfte der Fehlerkompensationen findet innerhalb der einzelnen Stufen zwischen den dort relevanten, vor allem sektoralen Teilprojektionen statt, die übrige Hälfte findet zwischen den Stufen statt¹⁷⁸.

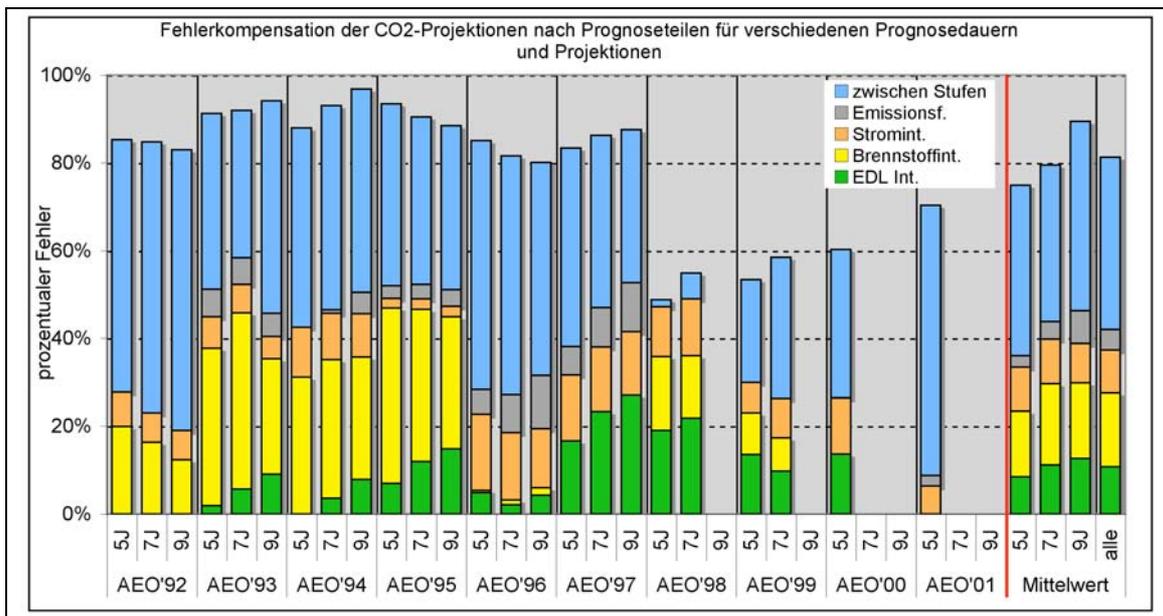
Den größten Anteil an der Fehlerkompensation innerhalb der Stufen hat die Brennstoffintensität, vor allem weil sie in den AEOs bis 95 sehr stark ausgeprägt war. In den AEOs ab 96 findet die Fehlerkompensation dann stärker im Bereich der EDL sowie der Stromintensität und zum Teil auch des Emissionsfaktors statt.

¹⁷⁶ Was aus einer hohen Fehlerkompensation zwischen beiden Größen resultiert, da vielfach wie z.B. die Zahl der Haushalte (EDL-Einheit im Haushaltssektor) zeigt, eine große Unabhängigkeit der EDL-Projektion von der BIP-Prognose gegeben ist.

¹⁷⁷ Tatsächlich kommen auch Fehlerkompensationen innerhalb der einzelnen Stufen vor, die dafür sorgen, dass der tatsächliche Fehler dieser ebenfalls kleiner ist als ihr kumulierter Fehler.

¹⁷⁸ Würde die Analyse nur auf der Ebene der Stufen ohne Berücksichtigung der Nachfragesektoren durchgeführt werden, dann wäre auch nur diese Fehlerkompensation sichtbar.

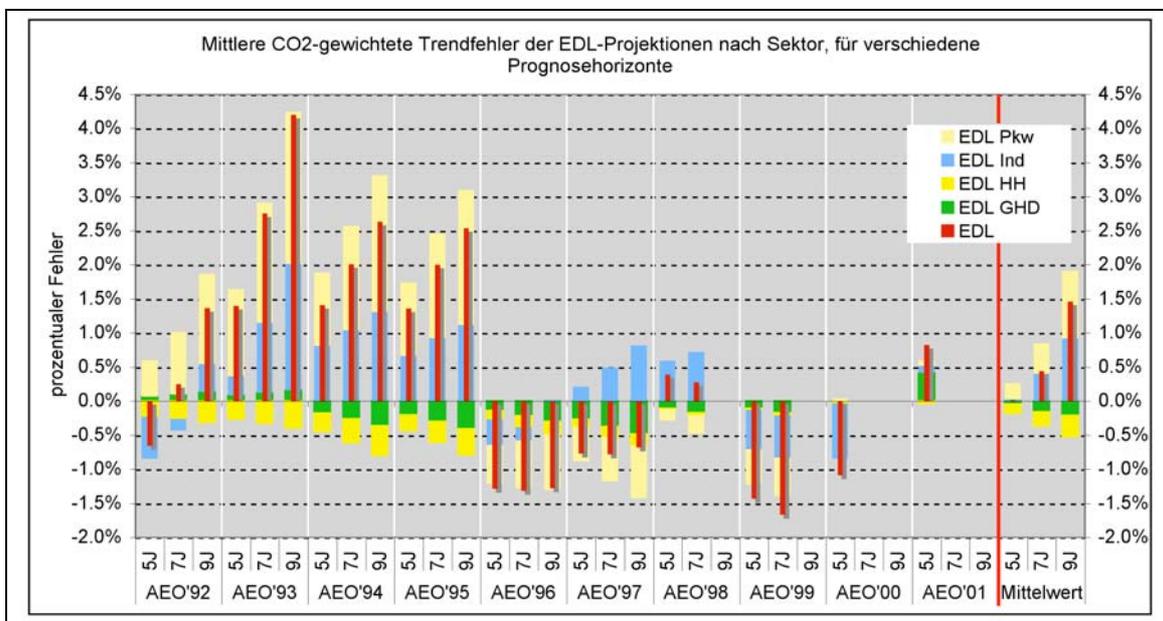
Abbildung 6-46: Fehlerkompensation der CO₂-Emissionsprojektionen nach Projektionsstufen für verschiedene AEOs und Prognosedauern



Quelle: eigene Berechnungen

Im Bereich der EDL findet, wie die Abbildung 6-47 zeigt, eine partielle Fehlerkompensation zwischen den EDL-Projektionen für die einzelnen Nachfragesektoren statt.

Abbildung 6-47: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der EDL-Projektionen nach Sektor für verschiedene Prognosehorizonte



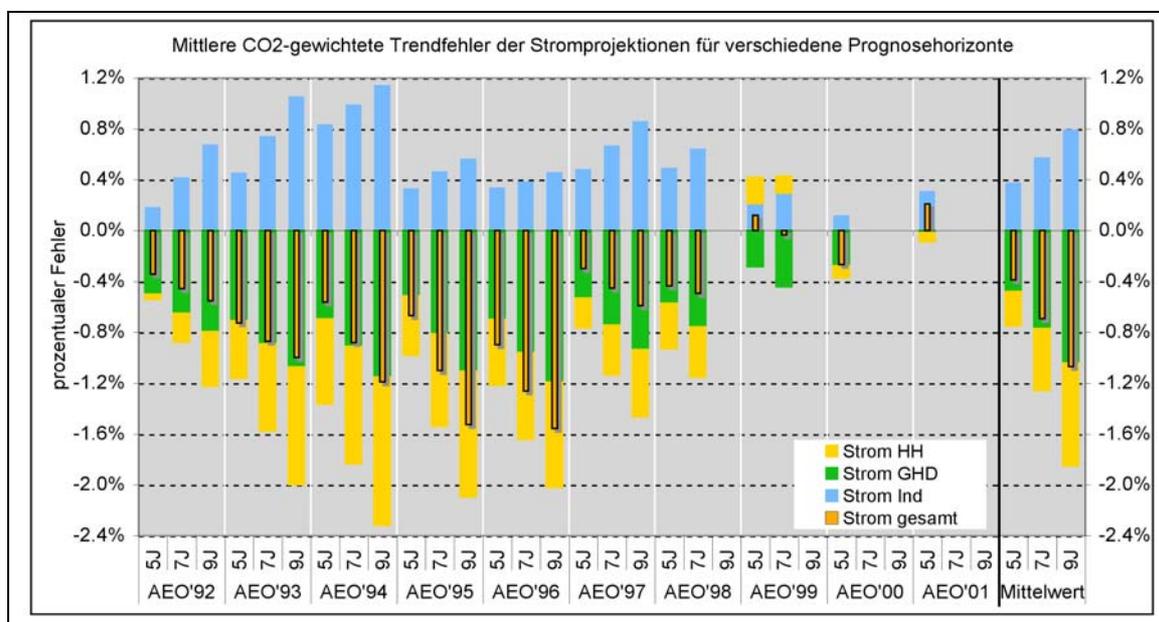
Quelle: eigene Berechnungen

Bis einschließlich des AEO'95 weisen die EDL-Projektionen einen hohen positiven Fehler aus, getrieben durch – mit der Prognosedauer dynamisch steigende –

Überschätzungen der EDL der Pkw und der Industrie. Teilweise maskiert wird dies durch die Unterschätzung der EDL in Haushalten und zum Teil im GHD-Sektor. Danach wandelt sich das Bild. Die EDL der Pkw wird nun durchgängig unterschätzt, und die Überschätzung der EDL in der Industrie verringert sich, bzw. ist in den AEOs 99 und 00 sogar negativ. Zusammen mit den (mit Ausnahme des AEO'00) weiter negativen Fehlern bei der EDL-Projektionen für Haushalte und GHD-Sektor ergibt sich nun fast durchgängig eine Unterschätzung der EDL.

Für die Stromprojektionen ergibt sich ein recht homogenes Bild. Der fast durchgängig negative CO₂-gewichtete Gesamtfehler der Stromprojektionen entspricht weitgehend dem Fehler des GHD-Sektors. Die – leicht kleineren – Fehler der Stromeinsatzprojektionen für Haushalte (negativ) und Industrie (positiv) gleichen sich recht genau aus.

Abbildung 6-48: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Stromprojektionen für verschiedene Prognosehorizonte

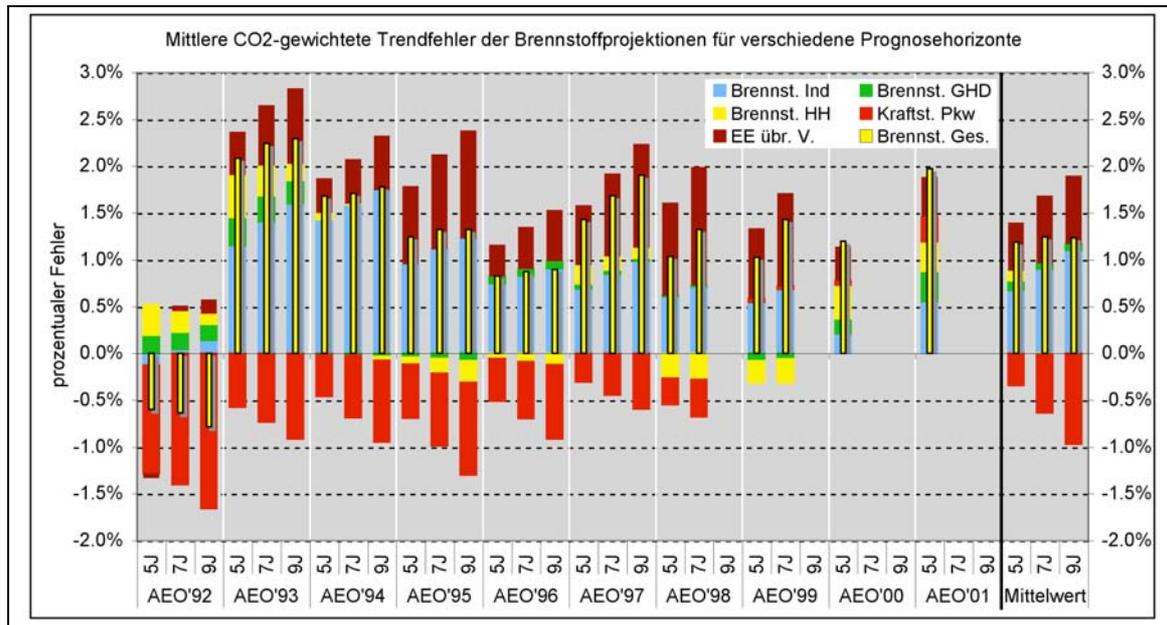


Quelle: eigene Berechnungen

Bei den Brennstoffprojektionen (siehe Abbildung 6-49) zeigt sich ein nicht ganz so homogenes, aber immer noch recht einheitliches Bild.

Der effektive Gesamtfehler der Brennstoffeinsatzprojektionen ist ab dem AEO'93 durchgängig positiv in einer Größenordnung von etwa 1,3% und entspricht im Großen und Ganzen etwa dem zumeist größten sektoralen Fehler, der Brennstoffprojektion der Industrie.

Die beiden nächstgrößeren Fehlerbereiche betreffen die Kraftstoffeinsatzprojektion der Pkw sowie den Energieeinsatz des übrigen Verkehrs. Beide sind – bis zum AEO'98 durchweg entgegengesetzt aber ähnlich groß, so dass sie sich weitgehend kompensieren. Die Brennstoffeinsatzprojektionen der Haushalte und des GHD-Sektors weisen weniger einheitliche, aber insgesamt nur kleine Fehler auf.

Abbildung 6-49: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Brennstoffprojektionen für verschiedene Prognosehorizonte

Quelle: eigene Berechnungen

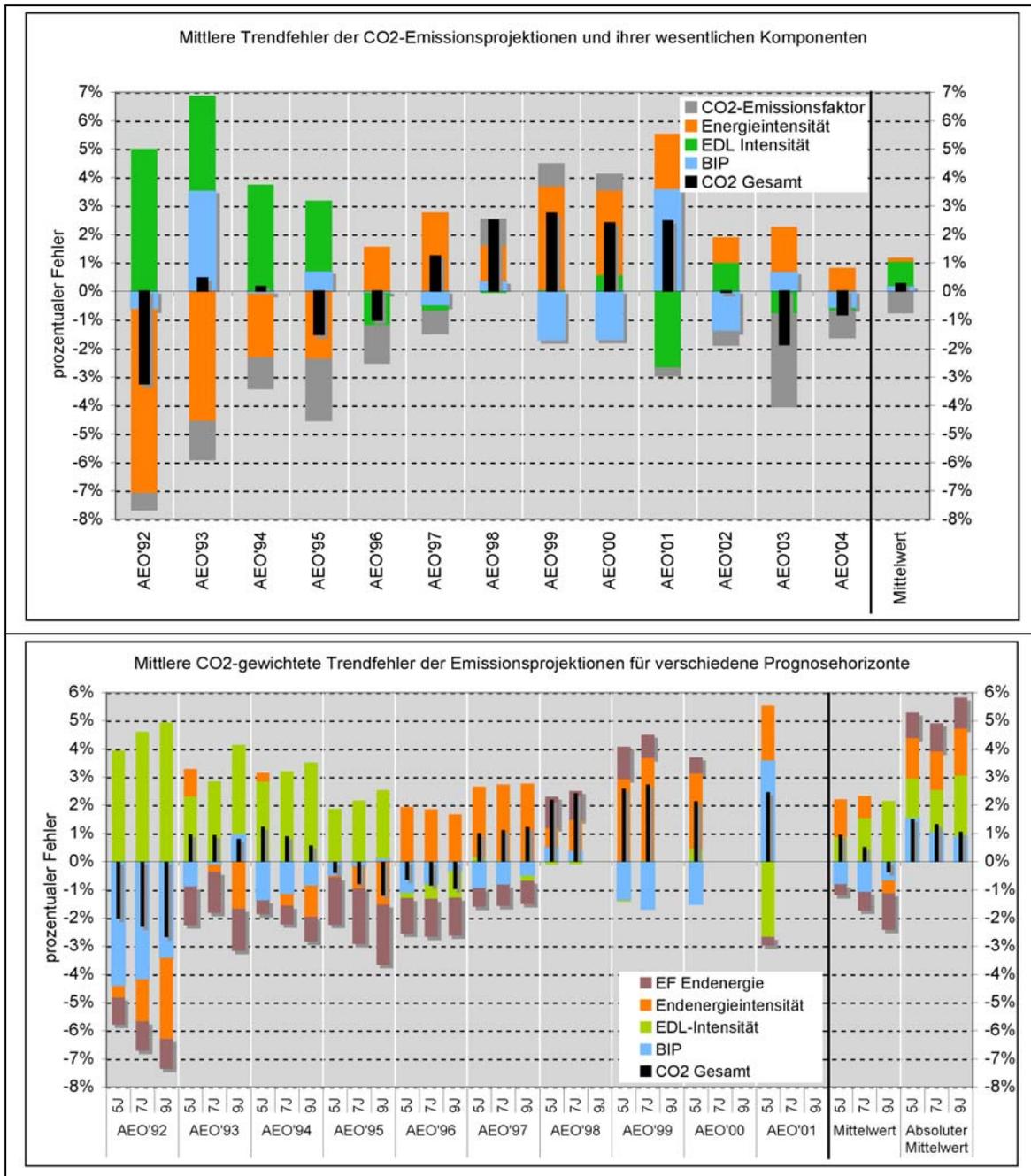
6.4.1.2 Ergebnis: Trendfehler

Im Ergebnis der umfangreichen Fehlerkompensationen zeigt sich, dass die CO₂-Emissionen in den AEOs im Mittel um maximal 3,1% unter- (AEO'92) bzw. um maximal 2,7% überschätzt (AEO'99) wurden. Die Fehlerhöhe war in der Regel durch die Kompensation verschiedener Teilfehler geprägt. Lediglich im AEO'98 addierten sich alle hier dargestellten Fehler.

Dabei hatten die einzelnen Hauptkomponenten der CO₂-Emissionsprojektionen jeweils unterschiedliche Einflüsse:

- Das BIP wurde mit zwischen -1,8% und +3,5% falsch prognostiziert, wobei die Fehler in den AEOs 92 bis 98 mit einer Ausnahme durchgängig klar unter 1% lagen. Die Fehlerrichtung wechselte dabei fast jedes Mal zwischen zwei AEOs, so dass der Einfluss des BIP im Mittelwert nahezu bei 0 liegt.
- Die EDL-Intensität dagegen wurde zunächst – in den AEOs 92 bis 95 – deutlich um 2,3 bis 4,8% überschätzt. Danach wiesen die aggregierten EDL-Intensitäten im Mittel der EDL der einzelnen Nachfragesektoren bis einschließlich AEO'00 nur sehr geringe Fehler auf. In den AEOs 00 bis 03 tendieren die EDL-Intensitäten schließlich dazu, die Fehler der BIP-Projektion zu kompensieren. Dabei steigen die Fehler der EDL-Intensitäten typischerweise im Zeitverlauf an; im Mittel von 1% für Prognosedauern von 5 Jahren auf 2% für Prognosedauern von 9 Jahren.

Abbildung 6-50: Mittlere Trendfehler der CO₂-Emissionsprojektionen aufgeteilt nach Prognosestufen für die AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

- Die Energieintensität bezogen auf die EDL wurde in den AEOs 92 bis 95 durchgängig unterschätzt. D.h., diese AEOs erwarteten eine deutlich stärkere Effizienzsteigerung als tatsächlich eintrat, wobei hier Fehlerkompensationen noch abschwächend wirksam wurden. Zusätzlich kompensierte sich der Effekt zu einem großen Teil mit der Überschätzung der EDL (und zum Teil des BIP). Ab dem AEO'96 dagegen wurde die Energieintensität durchgängig um bis zu

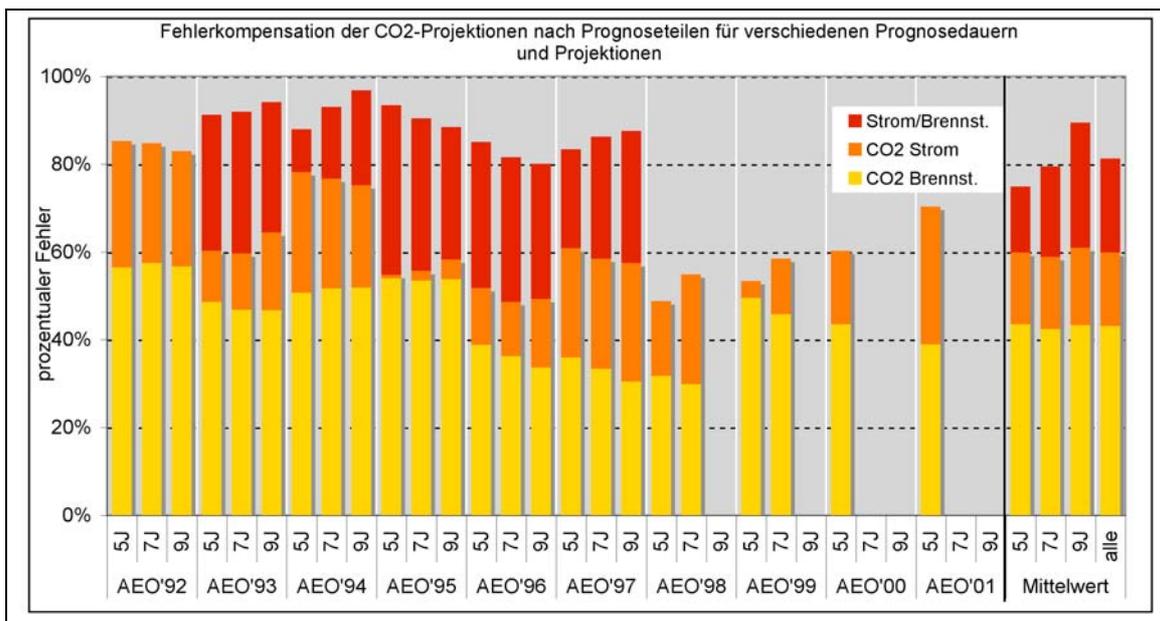
3,6% überschätzt, d.h. in den jüngeren AEOs wurde eine z.T. deutlich geringere Energieeffizienzsteigerung projiziert, als tatsächlich eingetreten ist.

- Der CO₂-Emissionsfaktor lieferte überwiegend einen kleineren Beitrag zum Fehler, u.a. aufgrund der Kompensation zwischen gegenläufigen Fehlern bei Strom- und Brennstoffen. Er wurde in den meisten Projektionen mit Ausnahme der AEOs 98, 99 und 00 unterschätzt. Hintergründe dafür sind zum einen die Unterschätzung des Stromeinsatzes, da Strom einen etwa dreimal höheren Emissionsfaktor hat als die Brennstoffe sowie indirekt durch eine Unterschätzung des Emissionsfaktors für Strom.

6.4.2 Trendfehler der CO₂-Emissionsprojektionen nach Strom und Brennstoffen

Wird bei der Analyse der Trendfehler nur nach der Emissionsprojektion für Strom (gut 1/3 der energiebedingten CO₂-Emissionen) und der für Brennstoffe unterschieden, so ergibt sich das folgende Bild.

Abbildung 6-51: Fehlerkompensation nach CO₂-Emissionen von Strom- und Brennstoffen



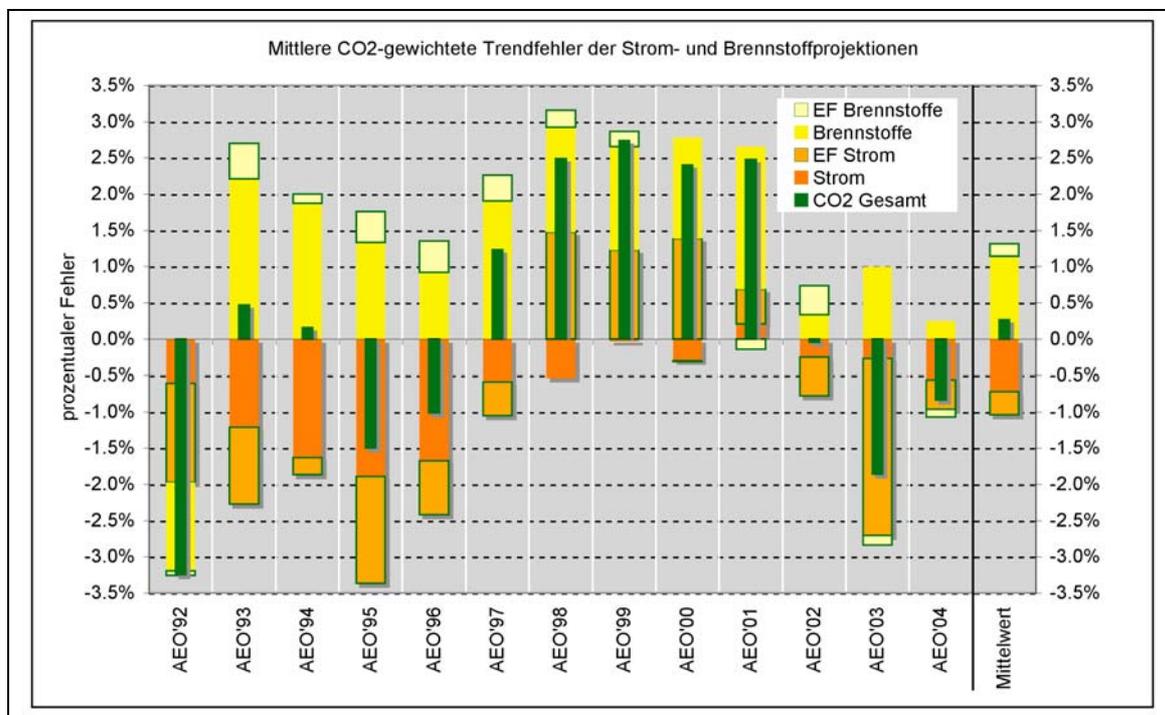
Quelle: eigene Berechnungen

Gut die Hälfte der Fehlerkompensation entfällt auf die Brennstoffe. D.h., bei der Brennstoffprojektion kompensieren sich sowohl Fehler einzelner Stufen als auch Fehler zwischen den einzelnen Sektoren auf einer Stufe. Dabei bleibt die Fehlerkompensation im Bereich der Brennstoffe bezogen auf den kumulierten Gesamtfehler für verschiedene Prognosedauern relativ konstant. Deutlich kleiner ist der Anteil des Stroms, auf den eine Fehlerkompensation von knapp 20% entfällt. Selbst unter Berücksichtigung der relativen Bedeutung des Strombereichs liegt die Fehlerkompensation hier niedriger als im Bereich der Brennstoffe. Was zum einen durch stärker gleichgerichtete Fehler, zum

anderen durch die geringere Anzahl von Teilprojektionen (3 Nachfragesektoren, ggü. 5) begründet ist.

Ebenfalls deutlich zur Fehlerkompensation tragen gegensätzliche Gesamtfehler der CO₂-Emissionen der Stromerzeugung bzw. des Brennstoffeinsatzes bei. In den AEOs 93 bis 97 wurden durchgängig die Stromemissionen unter- und die Brennstoffemissionen überschätzt, was im Effekt den Fehler in Bezug auf die Gesamtemissionen deutlich verkleinert hat. Ab dem AEO'98 wurden dann beide überschätzt, so dass sich auf dieser Ebene keine Kompensation mehr ergibt, was sich in einem deutlich reduzierten Fehlerkompensationsgrad – und deutlich größeren Fehlern der CO₂-Projektion – dieser AEOs auswirkt.

Abbildung 6-52: Mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der Strom- und Brennstoffprojektionen der AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

Die voranstehende Abbildung zeigt diesen Effekt auch für die einzelnen AEOs deutlich, wobei sich die Effekte auf der Ebene der Durchschnittsergebnisse für einzelne AEOs sowie nach Prognosedauern fast nicht unterscheiden.

- Der Stromeinsatz (nach der Kompensation, s.o.) wurde in allen AEOs z.T. sehr deutlich unterschätzt, was allein einen mittleren Fehler der CO₂-Emissionen von

0,7% ausmacht. In den AEOs 92 bis 97 sowie 02 bis 04 wird dies noch verstärkt durch eine gleichzeitige Unterschätzung des Emissionsfaktors¹⁷⁹.

- Dem gegenüber wurde der Brennstoffeinsatz (ebenfalls nach signifikanten Fehlerkompensationen) in allen AEOs ab 93 überschätzt, ebenso fast durchgängig, aber weniger relevant der Emissionsfaktor¹⁸⁰.

Im Ergebnis ist der Trendfehler der gesamten CO₂-Emissionen für viele AEOs nur gering (bis auf AEO' 03 unter 1,5%). Lediglich die AEOs für die die Fehler der Strom- und Brennstoffprojektionen weitgehend gleichgerichtet sind, also keine Kompensation zwischen den Fehlern der Emissionsprojektionen für Strom und Brennstoffe stattfindet, weisen entsprechend höhere Fehler in der Größenordnung einer Überschätzung der CO₂-Emissionen um etwa 2,5% auf.

6.5 Zusammenfassung: Fehlerquellen der CO₂-Emissionsprojektionen

Im Kapitel 6 werden die Fehler der hier im Fokus stehenden Projektionen der CO₂-Emissionen der USA – auf die immerhin fast ein Viertel der globalen energiebedingten CO₂-Emissionen entfallen – im Rahmen einer quantitativ deskriptiven Analyse detailliert nach den verschiedenen Stufen sowie den vier Nachfragesektoren analysiert. Damit werden bisherige ex-post bzw. retrospektive Analysen der Energie- oder Emissionsprojektionen der USA u.a. von Craig et al. (2002), Cohen et al. (1995), Shlyakhter et al. (1994) sowie der EIA selbst (z.B. Sitzer 1996, Holte 2001, Sanchez 2003, Earley, Honeycut 2005, Wade 2007) weitergeführt wobei hier vor allem die von O'Niell und Desai (2003, 2005) verwendete Methode um zusätzliche Komponenten, sowohl in der Detailtiefe als auch dem Umfang der Analyse und der methodischen Ausweitung auf die Aspekte der Kompensation entgegengesetzter Fehler von Teilprojektionen ergänzt wird.

Dazu wird in Abschnitt 6.1 zunächst ein *Emissionsmodell* entwickelt, das die Emissionsprojektionen in einzelne Teilprojektionen aufteilt. Dieses Emissionsmodell ist eine auf wesentliche Komponenten reduzierte Repräsentation der zur Prognoseerstellung verwendeten Modelle IFFS und NEMS. Die modellhafte Darstellung der Emissionsprojektionen konzentriert sich dabei auf wesentliche Teilprojektionen, die Projektion des BIP, die EDL-Intensität der vier Nachfragesektoren, die Strom- und die Brennstoffintensitäten in den vier Sektoren sowie die Emissionsfaktoren der Stromerzeugung und des Brennstoffmixes.

¹⁷⁹ Hier wirkt sich vor allem die Unterschätzung der Stromverbräuche aus. Der – gegenüber den Prognosen – zusätzlich erzeugte Strom wird überwiegend in Kohlekraftwerken erzeugt, was sich direkt in einem geringeren Anteil der CO₂-ärmeren Erzeugungsarten Wasserkraft und Kernkraft auswirkt.

¹⁸⁰ Hintergrund dafür ist zum einen eine Unterschätzung des Anteils von Erdgas, vor allem aber die Unterschätzung der Brennstoffeinsätze im Verkehr gegenüber einer Überschätzung in der Industrie. Da letztere aber eine höhere CO₂-Intensität z.B. aufgrund höherer Kohleanteile aufweist, ergibt sich hieraus ein indirekter Einfluss auf den Emissionsfaktor.

Diese Teilprojektionen stellen die für die Emissionsprojektion wesentlichen Komponenten¹⁸¹ dar – d.h., sie repräsentieren die wesentlichen Teilgrößen, die zusammen die Entwicklung der Emissionen beschreiben – und sind gleichzeitig datentechnisch verfügbar. D.h., für diese Größen sind sowohl die jeweiligen Prognosedaten als auch entsprechende historische Zeitreihen zur Überprüfung vorhanden¹⁸².

Andere Größen, wie z.B. Energiepreise, Preiselastizitäten, Konsum- oder Nutzenfunktionen und ihre Parameter, die je nach Modell wichtige Hintergrundgrößen der Projektionen bilden, werden hier dagegen bewusst ausgeblendet. Hieraus ergibt sich ein potentieller Vorteil dieses Emissionsmodells, seine prinzipielle Übertragbarkeit auf andere Emissionsprojektionen. Da die hier verwendeten Teilkomponenten – unabhängig von der konkreten Modellphilosophie – in allen Emissionsprojektionen enthalten sind (bzw. sein sollten), ist das Analyseschema entsprechend auch auf andere Emissionsprojektionen, selbst wenn diese mit anderen Modellen oder Methoden erstellt worden sind, anwendbar.

Um die Genauigkeit der Teilprojektionen des Emissionsmodells messen zu können, werden in Abschnitt 6.2 Forderungen an die zur Messung der Genauigkeit erforderlichen historischen Daten aufgestellt, die in der Realität nicht immer erfüllt werden, und geeignete *Fehlertypen* definiert. Durch eine Aufteilung des sichtbaren Fehlers der Projektionen, d.h. der Abweichung der prognostizierten Werte von den historischen Werten, auf einen Basisjahrfehler, einen Variabilitätsfehler und den letztlich resultierenden Trendfehler wird in Anlehnung an die von O’Niell und Desai (2005) verwendete Methodik der eigentliche Fehler der Projektionen herausgearbeitet. Dieser gibt die um Basisjahrfehler bereinigte Abweichung der Projektion von einem langjährigen linearen Trend an.

- Der *Basisjahrfehler*, bzw. die Basisjahrkomponente des sichtbaren Fehlers beruht auf der Überlegung, dass Prognosen typischerweise die Situation im letzten statistisch verfügbaren Jahr mit entsprechenden Modellen in die Zukunft projizieren. Die Projektionen sind deshalb besonders anfällig für Fehler in diesen Daten, die z.B. durch die Verwendung vorläufiger Daten etc. entstehen können. Die Analyse der Daten für die hier verwendeten Detailprojektionen zeigt, dass die Isolierung des Basisjahrfehlers eine unverzichtbare Voraussetzung für die Fehleranalyse der Emissionsprojektionen in dem hier gewählten Detaillierungsgrad ist, denn viele der Detailprojektionen – vor allem die der EDL – weisen signifikante Abweichungen der Startjahrwerte von den historischen

¹⁸¹ So hätte z.B. eine – datentechnisch mögliche – weitere Aufteilung der Brennstoffe nach Energieträgern in Bezug auf die CO₂-Emissionen nur geringe zusätzliche Erkenntnisse gebracht, die nicht auch durch die Berücksichtigung des Emissionsfaktors für Brennstoffe in erster Näherung abgebildet werden können. Der Stromanteil an der Endenergie dagegen hat einen entscheidenden Einfluss auf die Emissionen und wird hier daher explizit evaluiert.

¹⁸² Für die EDL gilt dies allerdings nur für die Projektionen ab dem AEO’92, wobei für den Güter- und Flugverkehr eine Bestimmung der EDL nicht möglich war.

Daten auf. Hintergrund hierfür sind allerdings weniger statistische Probleme oder vorläufige Daten, wie dies z.B. auch von O’Niell und Desai für das BIP angenommen wird (2005, 992), sondern im Fall des BIP regelmäßige methodische Revisionen der historischen BIP-Zeitreihen, d.h. heute verfügbare historische Daten weichen aufgrund methodischer Veränderungen und einer anderen Definition des BIP von den seinerzeit veröffentlichten Daten ab. Ähnliches gilt für die Industrie, wobei hier vor allem die Umstellung der Statistik auf das NAICS für Brüche in den Zeitreihen sorgte. In anderen Fällen, wie z.B. der EDL im GHD-Sektor, wurde die Datenbasis jeweils aufgrund veränderter Definitionen und Abgrenzungen der periodisch durchgeführten Basiserhebung verändert, wodurch sich ebenfalls Abweichungen von der im Nachhinein bestimmten historischen Trendlinie ergeben. Die Isolierung des Basisjahrfehlers ist also für die meisten Teilprojektionen wichtig, um die Projektionen an einer geeigneten Datenbasis zu testen. Würde sie nicht durchgeführt, würden entweder signifikante Fehler künstlich erzeugt oder tatsächliche Fehler dadurch verschleiert, dass die Projektionen an historischen Daten überprüft würden, die in ihrer Definition nicht den jeweiligen Prognosewerten entsprechen¹⁸³.

- Der *Variabilitätsfehler* filtert kurzfristige, z.B. temperatur-, krisen- oder konjunkturbedingte Schwankungen der historischen Zeitreihe heraus, da – für die hier interessierenden nationalen Emissionsprojektionen durchaus zutreffend – angenommen wird, dass die zu evaluierende Projektion einen längerfristigen Trend projizieren wollte, nicht aber den Zeitpunkt oder das Ausmaß eventueller kurzfristiger Abweichungen von diesem Trend (vgl. z.B. die entsprechende Aussage der EIA in Wade (2007, 4). Allerdings birgt die genaue Definition des Variabilitätsfehlers eine Reihe von Fragen bzw. Entscheidungsproblemen für die Gestaltung der ex-post Analyse. Denn es ist ggf. schwer zu entscheiden, ob die zu verwendende Trendfunktion linear sein soll oder ob die Projektion eher einen nicht-linearen, z.B. exponentiellen Trend abbilden sollte. Ebenso ist es schwer zu entscheiden, über welchen historischen Zeitraum der Trend gebildet werden soll, da der eigentlich nahe liegende Zeitraum – der, den die Projektion abdeckt (ggf. plus eines gewissen Zeitraums in der Vergangenheit) – häufig noch nicht vollständig zur Verfügung steht. Hier wurde der Vorgehensweise von O’Niell und Desai (2005) gefolgt, die einen linearen Trend über den Untersu-

¹⁸³ Die Basisjahrfehler betragen für einzelne AEOs bis zu 27% bei der EDL der Industrie, 14% bei der EDL im GHD-Sektor und 6% im Pkw-Verkehr. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass die Basisjahrkorrektur lediglich die prozentuale Abweichung im Basisjahr auf die Projektion überträgt. Sie ist damit nicht in der Lage, identische Definitionen der Prognose- und Ist-Werte zu erzeugen sondern korrigiert diese – als „second best Lösung“ – lediglich um die prozentuale Abweichung beider Werte im Basisjahr, in der Annahme, dass die prozentuale Abweichung der beiden unterschiedlich definierten Zeitreihen im Zeitverlauf annähernd konstant ist. Hieraus ergibt sich bereits eine Forderung an die Praxis der Projektionserstellung. Es ist für eine sinnvolle Evaluierung der Projektionen wichtig, geeignete und möglichst in sich konsistent definierte Zeitreihen bereitzustellen um so ex-post Evaluierungen zu ermöglichen bzw. zu vereinfachen und die Notwendigkeit der Basisjahrkorrektur zu reduzieren.

chungszeitraum 1983 bis 2003 zur Bildung des Variabilitätsfehlers zugrunde legen. Entsprechend wurde hier der Variabilitätsfehler entweder anhand des linearen Trends von 1983 bis 2004 oder – für die detaillierteren Analysen vor allem 1992 bis 2004 gebildet¹⁸⁴. Insgesamt spielt der Variabilitätsfehler in den hier untersuchten Teilprojektionen nur eine untergeordnete Rolle.

Nach Isolierung des Basisjahrfehlers und des Variabilitätsfehlers ergibt sich der *Trendfehler* der Projektionen als der ‚eigentliche‘ Fehler der Projektionen, d.h. die Abweichung der Projektionswerte von einer historischen Zeitreihe, die möglichst weitgehend der Definition dessen entspricht, was die Projektion ‚eigentlich‘ projizieren wollte.

Vor diesem Hintergrund werden in Abschnitt 6.3 die Trendfehler der einzelnen Teilprojektionen Sektor für Sektor herausgearbeitet und analysiert. Um die Fehler zwischen den Sektoren und in Bezug auf die eigentliche Zielfunktion ‚Genauigkeit der CO₂-Emissionsprojektion‘ direkt einordnen zu können, wurde neben dem prozentualen der CO₂-gewichtete prozentuale Trendfehler gebildet, der den Anteil der jeweiligen Teilprojektion an den energiebedingten CO₂-Emissionen mit einbezieht. Um die Anteile der einzelnen Fehler am Gesamtfehler bestimmen zu können, wurde außerdem der kumulierte Gesamtfehler definiert, der sich unter der Annahme ergeben würde, dass alle Fehler in die gleiche Richtung gehen und sich entsprechend nicht gegenseitig kompensieren.

Basierend hierauf ergeben sich die folgenden *zentralen Ergebnisse für die Trendfehler der energiebedingten CO₂-Emissionen*:

Die mit einer durchschnittlichen Rate von 1,6% pro Jahr steigenden energiebedingten CO₂-Emissionen (siehe Abschnitt 5.1) wurden in den meisten AEOs *relativ genau* projiziert. Sie wurden in den AEOs im Mittel über die jeweils evaluierbaren Zeiträume um maximal 3,1% unter- (AEO'92) bzw. um maximal 2,7% überschätzt (AEO'99). Hierbei ist kein Trend von mit der Prognosedauer steigenden Fehlern zu erkennen. Der Mittelwert der absoluten Trendfehler der AEOs 92 bis 04 über alle Prognosejahre liegt dabei bei 1,8% und damit niedriger als der entsprechende Fehler in der Evaluierung der EIA für die AEOs 93 bis 03 für den Zeitraum bis 2002, der bei 2,6% liegt. In absoluten Größen entspricht ein Fehler von 1,8% etwa einer Abweichung um 100 Mio. t CO₂. Insgesamt halten sich Überschätzungen und Unterschätzungen der CO₂-Emissionen etwa die Waage, der Mittelwert über alle Projektionen liegt bei etwa +0,1%. Dabei überwiegen für Prognosehorizonte von 5 und 7 Jahren die Überschätzungen, für die Prognosedauern von 9 Jahren dagegen ergibt sich im Mittel eine leichte Unterschätzung der Emissionen.

¹⁸⁴ Vor dem Hintergrund dieses schwer zu lösenden Entscheidungsproblems und der Tatsache, dass der Variabilitätsfehler in den hier durchgeführten Analysen nur eine sehr geringe Rolle spielt (vor allem, wenn die Fehler über einen längeren Zeitraum gemittelt werden), wäre auch ein Verzicht auf die Variabilitätsbereinigung denkbar. Die grundsätzlichen Ergebnisse würden dadurch nach den hier gemachten Erfahrungen nur geringfügig verändert werden.

Dieser prozentual gesehen relativ moderate Fehler der CO₂-Emissionsprojektionen ergibt sich allerdings aus einer *starken Kompensation von Teilfehlern* zwischen einzelnen Prognosestufen, vom BIP über die EDL zur Endenergie und den Emissionen sowie zwischen den Projektionen für Strom und Brennstoffe der einzelnen Nachfragesektoren. In dem hier gewählten Prognosemodell ergibt sich eine mittlere Fehlerkompensation der untersuchten Projektionen über alle Teilprojektionen von mehr als 80%. D.h., würden sich alle Fehler der Teilprojektionen kumulieren, dann wäre der Gesamtfehler der CO₂-Projektionen etwa fünfmal so groß, wie er tatsächlich ist. Der Fehler wird also in allen Projektionen signifikant durch die in der Regel mehrfache Kompensation entgegengesetzter Teilfehler verringert.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die *mittleren Anteile der einzelnen Teilprojektionen für die verschiedenen Variablen am kumulierten Gesamtfehler*. Sie zeigt, dass die 10 Teilprojektionen mit dem größten Fehleranteil jeweils mehr als 5% des kumulierten Gesamtfehlers erklären. Zusammen erklären sie etwa 88% des Fehlers. Der mittlere Fehler jeder einzelnen dieser Teilprojektionen würde dabei bereits mehr als ein Viertel (im Mittel 28%) des tatsächlichen Gesamtfehlers von 19% des kumulierten Fehlers erklären. Die fünf größten Fehler erklären zusammen bereits 55% und die drei größten Fehler mehr als ein Drittel des kumulierten Gesamtfehlers.

Tabelle 6-4: Anteile der Teilprognosen am kumulierten Gesamtfehler der CO₂-Emissionsprojektionen

Teilprognose	Prognosedauer				Rang
	5 Jahre	7 Jahre	9 Jahre	Mittelwert	
BIP	19.3%	10.1%	5.5%	11.6%	1
EDL Int. HH	3.0%	2.0%	2.6%	2.5%	14
EDL Int. GHD	2.4%	2.3%	3.0%	2.5%	12
EDL Int. Ind.	8.0%	8.5%	10.0%	8.8%	6
EDL Int. Pkw	9.3%	11.0%	14.3%	11.5%	2
EDL Int. Gesamt	22.6%	23.8%	29.9%	25.4%	–
Stromint. HH	4.1%	5.7%	7.1%	5.7%	9
Stromint. GHD	6.6%	8.5%	9.4%	8.2%	7
Stromint. Ind.	5.7%	5.6%	4.5%	5.3%	10
Stromint. Gesamt	16.5%	19.8%	21.0%	19.1%	–
Brennst.Int. HH	3.6%	2.6%	1.5%	2.5%	13
Brennst.Int. GHD	1.7%	1.2%	1.3%	1.4%	15
Brennst.Int. Ind.	10.6%	9.5%	7.1%	9.1%	5
Brennst.Int. Pkw	8.5%	11.3%	13.7%	11.2%	3
Brennst.Int. Ü.V.	10.4%	12.5%	9.2%	10.7%	4
Brennst.Int. Gesamt	34.7%	37.0%	32.8%	34.9%	–
Strom EF	4.5%	5.8%	7.2%	5.8%	8
Brennst. EF	2.4%	3.4%	3.7%	3.2%	11
EF Gesamt	6.9%	9.3%	10.8%	9.0%	–
CO₂-Gesamt	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	–
Kumulierter Gesamtfehler: Annahme, dass alle Fehler gleichgerichtet wären. (gelb unterlegt: Zwischensummen)					

Quelle: eigene Berechnungen

Die *Hauptfehlerquellen* der CO₂-Projektionen der AEOs 92 bis 04 sind in dem hier gewählten Prognosemodell damit die Projektion des *BIP* sowie die Projektionen von *Fahrleistung und spezifischem Kraftstoffverbrauch der Pkw*.

- Das BIP wird in den AEOs ab 92 fast durchgängig unterschätzt, wobei der mittlere Fehler bei etwa -1% liegt¹⁸⁵. Damit entfallen auf die Projektionen des BIP allein knapp 12% des kumulierten Fehlers, was vor allem darauf zurückzuführen ist, dass das BIP im hier zugrunde gelegten Modell in alle Projektionen eingeht. Der Fehler der BIP-Projektionen würde ohne jede Kompensation im Mittel alleine bereits mehr als 60% des absoluten Fehlers der CO₂-Projektionen erklären.
- An zweiter Stelle der Fehlerquellen steht der Pkw-Verkehr, der auch einer der wesentlichen Treibergrößen des CO₂-Emissionszuwachses zwischen 1983 und 2004 war (vgl. Abschnitt 5.1). Die Projektionen der EDL-Intensität und Kraftstoffintensität der Pkw tragen jeweils mehr als 10% zum kumulierten Gesamtfehler bei. Damit wären die Fehler dieser beiden Projektionen zum Pkw-Verkehr theoretisch alleine ausreichend um den Fehler der CO₂-Projektionen im Mittel voll zu erklären. Allerdings sind die Fehler der beiden Größen mit Ausnahme des AEO'98 immer entgegengerichtet und kompensieren sich so gegenseitig. In den AEOs 92 bis 95 (die in der Phase hoher EDL-Zuwächse und hoher Effizienzsteigerungen der Pkw erstellt wurden), kam es zu hohen Überschätzungen der EDL-Intensität und hohen Unterschätzungen der Kraftstoffintensität der Pkw. In den AEOs ab 96 dagegen waren die Fehler deutlich kleiner, nun wurde die EDL-Intensität unterschätzt und die Kraftstoffintensität leicht überschätzt¹⁸⁶. Die resultierenden Projektionen der Kraftstoffeinsätze der Pkw waren aber über (fast) alle AEOs durchgängig zu niedrig, d.h. dass aus unterschiedlichen Gründen trotz hoher Kompensation der Einzelfehler der starke Emissionszuwachs dieses Bereichs von 1,7% pro Jahr zwischen 1990 und 2004 durchgängig zu gering projiziert. Dabei war das projizierte Wachstum je nach Prognosedauer im Mittel um etwa ein Viertel bis ein Drittel zu niedrig.

¹⁸⁵ Dieses Ergebnis hängt stark davon ab, welcher Betrachtungszeitraum für die Bildung des Trendfehlers gewählt wird. Hier wurden die AEOs ab 92 berücksichtigt und der lineare Trend der Jahre 1992 bis 2004 zugrunde gelegt. Gegenüber dem Trend der Jahre 1983 bis 2004 ergibt sich dagegen eine Überschätzung des BIP in den meisten Projektionen (vgl. O'Niell, Desai 2005, 989ff).

¹⁸⁶ Dieses Fehlprojektionsmuster lässt sich bereits gut im Vergleich zur Realentwicklung (siehe Kapitel 5.1) erklären. Bis einschließlich des AEO'95 wurde das historische Muster hoher EDL-Zuwächse bei hoher Effizienzsteigerung in den Prognosen zugrunde gelegt, das sich aber Anfang der 90er Jahre grundlegend änderte. Ab 1991 stagnierte die Kraftstoffintensität der Pkw und ab etwa 1994 entkoppelte sich die Fahrleistung von der BIP-Entwicklung. Erst in den AEOs ab 96 wurde dieser veränderte Trend zur Kenntnis genommen und in die Projektionen integriert. Da dieser Trend bislang bis zum Ende der hier evaluierbaren Periode anhält, ergeben sich damit für die AEOs ab 96 geringere Fehler, was aber aufgrund der fortgesetzten Fehlerkompensation nicht zu einer nennenswerten Verringerung des Fehlers bei der Kraftstoffeinsatzprojektion geführt hat (siehe dazu auch Abschnitt 7.2.1.3).

- Den viertwichtigsten Einfluss auf den kumulierten Gesamtfehler hat die Endenergieintensität des übrigen Verkehrs (Güterverkehr, Schienen- und Luftverkehr). Sie wurde durchgängig in allen AEOs und mit steigender Prognosedauer zunehmend überschätzt. Bei einem durchschnittlichen Zuwachs der Emissionen in diesem Bereich um etwa 0,7% pro Jahr wurde die Zuwachsrates in den Projektionen im Mittel etwa doppelt so hoch projiziert. Der Fehler der Projektionen für den übrigen Verkehr hätte im Durchschnitt ebenfalls ausgereicht um mehr als die Hälfte des tatsächlichen Fehlers der CO₂-Emissionsprojektionen zu erklären. Tatsächlich aber maskiert diese Überschätzung weitgehend die effektive Unterschätzung der Kraftstoffeinsätze der Pkw in den Projektionen, so dass sich insgesamt für den Endenergieeinsatz des Verkehrs und seine Emissionen nur ein geringer Fehler ergibt¹⁸⁷.
- Die Brennstoffintensität der Industrie hat mit durchschnittlich 9,1% den fünftgrößten Einfluss auf den kumulierten Gesamtfehler. Damit wäre auch sie hinreichend, um 50% des realen Fehlers allein zu erklären. Wie in Abschnitt 5.1 dargelegt, haben sich die auf den Brennstoffeinsatz der Industrie bezogenen Emissionen zwischen 1983 und 2004 kaum verändert. In der Periode nach 1999 gingen sie sogar zurück. In den Projektionen wurde die Brennstoffintensität der Industrie durchgängig überschätzt, wobei der Periodeneffekt, also die Veränderung von einer relativen Stagnation zu einem Rückgang der Brennstoffintensität in der Phase ab 1993 einen Einfluss auf den Fehler der Projektionen hatte (vgl. Abschnitt 7.2.1.4).
- Platz 6 in der Rangfolge nehmen die Projektionen der EDL-Intensität der Industrie ein, die bis einschließlich des AEO'98 z.T. signifikant und mit steigender Prognosedauer zunehmend überschätzt wurde. In den Projektionen danach wurde sie allerdings durchgängig unterschätzt. Zusammen mit der durchgängig überschätzten Brennstoff- und Stromintensität ergibt sich hieraus eine signifikante Überschätzung der CO₂-Emissionen der Industrie in allen AEOs.
- Die folgenden Fehler betreffen in dieser Reihenfolge die Projektionen der Stromintensität des GHD-Sektors, des Emissionsfaktors des Stromeinsatzes sowie der Stromintensität in Haushalten und Industrie. Zusammen wären auch diese Fehler ausreichend, um den effektiven Fehler der CO₂-Projektionen zu erklären. Abgesehen von der Stromintensität der Industrie (s.o.), die durchgängig überschätzt wird, liegen die Projektionen der übrigen Variablen durchgängig unterhalb der Realität. D.h. die Wachstumsraten der beiden Größen, die (zusammen mit dem Pkw-Verkehr) den Zuwachs der CO₂-Emissionen maßgeblich

¹⁸⁷ Hier zeigt sich exemplarisch die Relevanz der hier gewählten disaggregierten Analyse. Denn würde die Endenergieebene ausschließlich summarisch betrachtet, wie das in den meisten bisherigen Arbeiten der Fall war, so wären diese wesentlichen Fehlerkomponenten unentdeckt geblieben und an dieser Stelle zunächst die Fehlprojektion des BIP als einzige wesentliche Fehlerquelle herausgestellt.

bestimmen (vgl. Abschnitt 5.1) wurden in den Projektionen durchgängig um etwa ein Viertel (GHD) bzw. 10 bis 20% (Haushalte) unterschätzt.

- Die restlichen 5 Teilprojektionen – EDL-Intensität und Brennstoffintensität der Haushalte, EDL-Intensität und Brennstoffintensität des GHD-Sektors sowie Emissionsfaktor der Brennstoffe – dagegen spielen für den kumulierten Gesamtfehler der CO₂-Projektionen keine maßgebliche Rolle. Hintergründe dafür sind sowohl nur relativ kleine Fehler der Projektionen als auch ein geringer Anteil an den gesamten CO₂-Emissionen. Gleichzeitig haben diese Sektoren auch kaum Einfluss auf die tatsächliche Emissionsentwicklung gehabt. D.h., die geringen Fehler fielen mit nur marginalen Veränderungen zusammen, wobei im Bereich der Brennstoffe auch der Klimawandel hin zu einem wärmeren Klima zur Fehlerkompensation beigetragen hat¹⁸⁸.

Es zeigt sich also insgesamt, dass die CO₂-Emissionsprojektionen trotz relativ geringer prozentualer Fehler in der Summe, im Detail große Fehleinschätzungen aufweisen, die sich aber zum Teil durchgängig in ähnlicher Form, zum Teil abwechselnd gegenseitig kompensieren. Dabei wurden die wesentlichen Komponenten des CO₂-Emissionszuwachses der vergangenen Jahre, der Kraftstoffeinsatz der Pkw sowie Stromeinsatz des GHD-Sektors und der Haushalte, durchgängig nur teilweise projiziert. Ebenso wurde der Emissionsfaktor der Stromerzeugung in den Projektionen bis zum AEO'97 unterschätzt, danach überschätzt. Demgegenüber wurden aber die Zuwächse im übrigen Verkehr sowie die stagnierenden Emissionsbeiträge der Industrie deutlich überschätzt, so dass sich in der Summe eine relativ genaue Einschätzung des steigenden Emissionstrends ergab.

Als zentraler Fehler der Energieprojektionen wurde in bisherigen Untersuchungen die *Unterschätzung der gesamtwirtschaftlichen Energieintensität* herausgestellt (z.B. O'Niell, Desai 2003, 2005)¹⁸⁹. Als mögliche Ursachen des Fehlers kommen in Frage: Erstens, eine Überschätzung der (technischen) Effizienzsteigerung der Energienutzung, zweitens eine zu gering eingeschätzte Einkommenselastizität der Endenergienachfrage und drittens eine falsche Einschätzung der Preiselastizität der Nachfrage ggf. kombiniert mit zu hohen Preisprognosen. Im Rahmen des Untersuchungsdesigns dieser Arbeit wurden diese Einschätzungen nicht detailliert analysiert. Dennoch können

¹⁸⁸ Steigende Temperaturen wirken sich dämpfend auf die Verbrauchsentwicklung im Haushaltsbereich und z.T. im GHD-Sektor aus. Dies wird besonders deutlich, wenn die gesamte Zeitreihe von 1983 bis 2004 betrachtet wird. Allerdings hatte der Klimawandel auch leichte verbrauchssteigernde Effekte, vor allem im GHD-Sektor, die die Fehler in diesem Bereich leicht verstärkt haben dürften.

¹⁸⁹ Diese hängt allerdings auch von der Bezugsbasis ab und davon, wie die Energieintensität definiert wird. Abschnitt 6.4.1.2 zeigt, dass die AEOs 92 bis 95 die Energieintensität bezogen auf die EDL unterschätzen. Erst die jüngeren AEOs überschätzen die Energieintensität. Allerdings wurde die EDL in den AEOs bis 95 stark überschätzt, so dass die Energieintensität bezogen auf das BIP in allen AEOs z.T. deutlich überschätzt wurde.

mit Blick auf diese Zusammenhänge einige Schlussfolgerungen aufgestellt und Ansätze für weitere Untersuchungen des Zusammenhangs geliefert werden. Die hier durchgeführte Detailanalyse führt zu dem Ergebnis, dass die Hypothese der gesamtwirtschaftlichen Energieintensität differenzierter als bisher betrachtet werden müsste. Die detaillierte Analyse nach Nachfragesektoren unter Einschluss der EDL-Ebene ergibt nämlich ein differenziertes Bild:

- Die technische *Effizienzsteigerung* kann erst durch Isolierung der EDL-Komponente und der Effizienzkomponente der Energieintensität wirklich eingeschätzt werden¹⁹⁰.

Aus der hier durchgeführten sektoralen Analyse ergibt sich, dass die Effizienzsteigerung in der *Industrie* generell unterschätzt wurde; – wobei in der in dieser Untersuchung gemessenen Effizienzsteigerung immer noch maßgebliche Effekte des inter- wie intraindustriellen Strukturwandels enthalten sind (siehe Abschnitt 6.3.4.3).

Im *Verkehrssektor* wurde die Effizienzsteigerung in den AEOs bis einschließlich 1995 stark überschätzt, in den jüngeren Projektionen dann aber leicht unterschätzt. Gründe für diese Fehleinschätzung waren zum einen die Fortschreibung der jeweils jüngeren historischen Situation und zum anderen ein Übersehen der Trendänderung, die durch die seit Mitte/Ende der 1980er Jahre nicht mehr weitergeführte Anpassung der Flottenverbrauchsstandards verursacht wurde.

In den Sektoren *Haushalte und GHD* wurde die Effizienzsteigerung des Stromeinsatzes deutlich überschätzt, allerdings wurde vermutlich eher die Ausstattung mit EDV, Klimatisierung und anderen elektrischen Verbrauchern fehlprognostiziert als die eigentliche Geräteeffizienz¹⁹¹ in Bezug auf die Brennstoffeinsätze der beiden Sektoren wurde die Effizienzsteigerung dagegen weitgehend korrekt eingeschätzt, was z.T. durch den Klimawandel begünstigt wurde.

- Die *Einkommenselastizität* der Energienachfrage wurde – entgegen der eingangs zitierten Vermutung – nicht generell unterschätzt. Im Bereich des Stromeinsatzes der Haushalte (und ggf. des GHD-Sektors) trifft diese Hypothese wahrscheinlich zu. Allerdings wurde das Verbrauchswachstum dort zu einem – möglicherweise signifikanten – Teil auch durch die Verbreitung neuer Stromanwendungen vor allem im Bereich der I&K-Technologien angetrieben, eine Entwicklung, die neben der Einkommensentwicklung ggf. auch noch durch andere Faktoren getrieben wurde. Im Verkehrsbereich dagegen kam es zu einer Entkoppelung der Fahrleistung vom BIP, was zunächst zu signifikanten Fehlprojek-

¹⁹⁰ Dazu ist die hier durchgeführte Analyse ein erster Schritt. Jedoch ist die Definition einer einzigen EDL-Einheit pro Nachfragesektor hier immer noch ein recht grobes Maß.

¹⁹¹ Um diese Frage abschließend zu klären, wäre eine weitere Detaillierung der Analyse erforderlich gewesen, was hier aufgrund fehlender Detaildaten nicht möglich war.

tionen führte, d.h. die (real sinkende) Einkommenselastizität der Verkehrsnachfrage wurde zunächst erheblich überschätzt.

- Die Fehleinschätzung der *Preiselastizität* der Nachfrage in Verbindung mit zu hoch prognostizierten Energiepreisen, kann aufgrund der sektoralen Detailanalyse nicht eindeutig bestätigt werden. Für die Industrie, einem Sektor in dem eine hohe Preiselastizität erwartet wird, wurden die Energieeinsätze überschätzt. Im Verkehr wurden sie unterschätzt, allerdings – wenn überhaupt nur indirekt als Reaktion auf die Preise (s.o.). Im GHD- und Haushaltssektor dagegen wurde der Stromeinsatz unterschätzt, der Brennstoffeinsatz dagegen recht gut getroffen. Dies bedeutet, dass – bei zumindest in erster Näherung gleich verlaufenden Preistrends für Strom und Brennstoffe – in diesen Sektoren für Strom- und Brennstoffe unterschiedliche Preiselastizitäten gelten müssten.

Es zeigt sich also auch hier, dass sich nach Sektor sowie nach Strom und Brennstoffen differenzierte Ergebnisse ergeben. Aus diesem Grund müsste ein Projektionsmodell, das stärker die Hintergründe der Energie- und Emissionstrends, namentlich Energiepreise und Elastizitäten mit einbezieht, sehr detailliert sein, um realistische Erklärungen liefern zu können.

7 Analyse ausgewählter Hypothesen zu wesentlichen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen an Beispielen aus den AEOs

Aufbauend auf der umfassend angelegten, quantitativ-deskriptiven Fehleranalyse und Untersuchung der Hauptkomponenten der Fehler der CO₂-Emissionsprojektionen des Kapitel 6 sollen hier die Hintergründe der festgestellten Fehler der einzelnen Teilprojektionen näher untersucht werden.

Dazu werden aus den 18 in Kapitel 4 aus der Literatur zur Energie- und Bevölkerungsprognose herausgearbeiteten Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen zunächst in Abschnitt 7.1 die für den hier betrachteten Untersuchungsgegenstand relevanten Untersuchungshypothesen ausgewählt. In den Abschnitten 7.2 bis 7.4 werden die ausgewählten Hypothesen zu erstellungszeitspezifischen, prognosespezifischen bzw. gegenstandsspezifischen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit der Prognosen anhand geeigneter Teilprojektionen näher untersucht und ggf. für die Energie- und Emissionsprojektionen bestätigt. Abschnitt 7.5 fasst dann die Ergebnisse zu den Untersuchungshypothesen zusammen.

7.1 Auswahl der Untersuchungshypothesen

Die in Kapitel 4 hergeleiteten Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen werden im Kapitel 7 anhand der hier zu untersuchenden Energie- und CO₂-Emissionsprognosen der amerikanischen Energy Information Administration (EIA) näher analysiert.

Diese Analyse wird sich auf solche Faktoren konzentrieren, die nicht nur rein statistisch begründet sind und die sich anhand des hier gewählten Untersuchungsgegenstands analysieren lassen.

Hypothesen zu erstellungszeitspezifischen Einflussfaktoren:

Erstellungszeitspezifische Faktoren zur Genauigkeit von Prognosen beschäftigen sich letztlich alle mit dem Einfluss der aktuellen Trends auf die Prognose und drehen sich damit um die Problematik aktuelle Trends zu erkennen und nicht als temporäre Schwankungen zu interpretieren, sie aber nicht überzubewerten¹⁹². Die hier folgenden Hypothesen sind vor diesem Hintergrund alle den erkenntnistheoretischen Hemmnissen und Schwierigkeiten der Prognose zuzuordnen.

Die als Einflussfaktor 1) zusammengefassten Einflüsse auf Projektionen und ihre Genauigkeit ,Unregelmäßigkeiten und neuere Veränderungen in der realen Entwick-

¹⁹² Zur differenzierten Diskussion der einzelnen Einflussfaktoren siehe Abschnitt 4.2. Die erstellungszeitspezifischen Einflussfaktoren werden in Abschnitt 4.2.1 dargestellt.

lung' 1a) ‚Übersehen von Trendänderungen‘ und 1c) ‚Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen‘ sind wichtige Hypothesen, die – wie in Abschnitt 4.2.1 gezeigt – häufig in der Literatur erwähnt werden und sich anhand des hier vorliegenden Beispiels analysieren lassen. Denn einige der hier untersuchten Prognosevariablen weisen in der Realentwicklung während des hier betrachteten Zeitraums sowohl Schwankungen als auch Trendänderungen auf. Sie werden im Folgenden Abschnitt 7.2 als *Hypothesen Z1 und Z2* detaillierter analysiert.

Der Einflussfaktor 1b) ‚Schwankung der Basisdaten‘ spielt dagegen vorwiegend für stark zeitreihenbasierte, ökonometrische Prognosemethoden eine wichtige Rolle. Die hier untersuchten Prognosen dagegen setzen stärker auf modellgestützte sowie technisch basierte Prognosen als auf eine – wie immer mathematisch ausgestaltete – Zeitreihenanalyse. Vor diesem Hintergrund sind vor allem kurzfristige Schwankungen der Basisdaten sowohl weniger relevant als auch anhand der vorhandenen Daten häufig nicht analysierbar. Die Einflussfaktor 1b wird daher hier nicht weiter untersucht.

Der Einflussfaktor 2) ‚Stabilität des Trends‘ ist dagegen einer der empirisch breit belegten Faktoren, der sich – als *Hypothese Z3* – im Abschnitt 7.2.3 mit den hier vorhandenen Daten analysieren lässt¹⁹³. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Datenbasis begrenzt ist, zum einen aufgrund des Zeitraums von maximal 20 Jahren sowie zum anderen aufgrund der Tatsache, dass für jeden Erstellungszeitpunkt nur eine Prognose verfügbar ist.

Hypothesen zu prognosespezifischen Einflussfaktoren:

Ebenfalls den erkenntnistheoretischen Hemmnissen und Schwierigkeiten der Prognose zuzuordnen ist die große Zahl an Beobachtungen zu *methodischen und prognosespezifischen Faktoren*. Diese betreffen explizit die Prognosemethoden sowie die Prognostiker und ihre Fähigkeit bzw. auch Unfähigkeit, die relevanten Gesetzmäßigkeiten und Informationen aufzubereiten und sie zu verstehen, d.h. die jeweils entsprechenden Schlüsse daraus zu ziehen. Dabei sind die ontologischen Grundlagen für diese Schwierigkeiten z.T. von der jeweiligen Thematik abhängig, haben aber ggf. einen relevanten Einfluss.

Einflussfaktor 3) ‚Startjahr der Prognose‘ wurde bereits in Kapitel 4.2.2. lediglich als eine Zusammenfassung aller prognosespezifischen Einflüsse einer Prognose identifiziert. Sie wird daher hier nicht weiter analysiert.

Der als Einflussfaktor 4) ausgemachte ‚Wechsel der Prognosemethodik‘ ist nach der vorhandenen Literatur ein relevanter Faktor, wobei es allerdings zahlreiche Befunde gibt, die belegen, dass es kein linearer Zusammenhang besteht zwischen der Verbesserung der Methoden und dem Prognoseerfolg. Es gibt sogar Beispiele, dass einfache-

¹⁹³ Wobei natürlich immer berücksichtigt werden muss, dass die jeweils gewählte Zeitspanne zur Bildung des Trends entscheidenden Einfluss darauf haben kann, wie dieser verläuft und interpretiert wird (vgl. z.B. de Jouvenel 2000, 44).

re Methoden bessere Ergebnisse lieferten als komplexere (Keilmann 1990, 59). Die hier analysierten Energie- und Emissionsprognosen beruhen allerdings durchgängig auf einem vergleichbaren methodischen Ansatz (bottom up Energiemodellierung). Sie wurden zudem mit einem über die hier betrachteten Jahrzehnte kontinuierlich mit einem vergleichbaren Modellansatz durch die entsprechende Abteilung der EIA generiert. Allerdings hat sich der Ansatz in diesem Zeitraum evolutionär weiterentwickelt. Wie in Abschnitt 5.3 dargestellt, wurde das Modell in verschiedenen und für die Modellteile unterschiedlichen Stufen weiterentwickelt, wobei vor allem der Detaillierungsgrad gesteigert wurde und die Generierung der Annahmen weiter differenziert wurde. Die Untersuchung von O’Niell und Desai (2005) kam vor diesem Hintergrund zu dem Schluss, dass die Projektionen der AEOs zwischen 1982 und 2003 nicht besser geworden sei. Für die hier mit einer größeren Detailschärfe durchgeführte Analyse fehlen allerdings für die mit dem IFFS durchgeführten Projektionen entsprechende Detailinformationen zur EDL-Ebene. Vor diesem Hintergrund und aufgrund der Modellweiterentwicklung, die hier bei gleich bleibender Grundstruktur und Modellphilosophie sehr evolutionär in kleinen, z.T. extern nur schwer identifizierbaren, Schritten verlaufen ist (vgl. Abschnitt 5.3), wird dieser Einflussfaktor hier nicht näher untersucht.

Die ‚Nutzung von Expertenschätzungen‘ (Einflussfaktor 5) stellt einen weiteren Einflussfaktor auf die Qualität von Prognosen dar, wobei strittig ist, ob sie sich in der Tendenz eher positiv oder negativ auswirken. Da die hier betrachteten Prognosen zwar in gewissem Umfang Expertenwissen (vor allem das der Modellierer¹⁹⁴) nutzen, dessen Einfluss aber nicht explizit von anderen Faktoren abgrenzbar ist und diesbezüglich keine Vergleichsmöglichkeit mit einer Prognose ohne die Nutzung von Expertenwissen besteht, kann dieser Hypothese im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter nachgegangen werden¹⁹⁵.

Weitere prinzipiell analysierbare Einflussfaktoren sind auch Faktor 6) ‚Rolle der durchführenden Organisation‘ sowie Faktor 7) ‚Interessen/Zweck der Prognose‘. Der Einfluss der Rolle der prognostizierenden Institution auf die Genauigkeit der Prognose wurde bisher allerdings nur selten analysiert¹⁹⁶. Es ist zwar anzunehmen, dass dieser Aspekt auch bei den hier betrachteten Prognosen eine Rolle spielt. Jedoch wurden in der hier vorliegenden Analyse die offiziellen US-Energie- und Emissionsprojektionen als am besten dokumentierte und am längsten kontinuierlich aktualisierte Prototypen nationa-

¹⁹⁴ Einer der Zwecke der Implementierung des IFFS Anfang der 1980er Jahre war (vor allem aus Kostengründen) die direktere Kombination des Expertenwissens der jeweiligen Bearbeiter der EIA mit der Modellentwicklung und –nutzung (Murphy 1983, 69, Murphy et al. 1988, 407f)

¹⁹⁵ Der Einfluss verschiedener an der Prognoseerstellung beteiligter Experten, d.h. Mitarbeiter der EIA zeigt sich z.B. in der Untersuchung von Auffhammer (2005, 20), die zu dem Ergebnis kommt, dass sich die implizite Kostenfunktion der EIA bei der Erstellung der AEOs vor allem aus den individuellen Kostenfunktionen der einzelnen Bearbeiter zusammensetzt. Dies unterstreicht die Rolle der jeweiligen Bearbeiter der Teilprojektionen bzw. Teilmodelle des NEMS.

¹⁹⁶ Keilmann (1990, 60) nennt eine einzige Studie. Auch in der Folgezeit wurden hierzu offenbar kaum Analysen vorgenommen.

ler Treibhausgasemissionsprojektionen ausgewählt. Vor diesem Daten- wie auch Untersuchungshintergrund wird hier nur eine einzige Institution betrachtet, so dass eine vergleichende Analyse verschiedener institutioneller Settings nicht möglich ist.

Einflussfaktor 7) dagegen thematisiert einen im Grunde für Prognosen problematischen Aspekt. Werden diese mit einem speziellen Interesse erstellt, so verfolgen sie gerade nicht den Zweck einer möglichst genauen bzw. guten Prognose. Während die Zweckorientierung für Szenarien – die gerade nicht behaupten, die wahrscheinlichste zukünftige Entwicklung abzubilden – durchaus ihre Rechtfertigung haben kann, kann sie sehr leicht im Widerspruch zum Selbstverständnis der Prognose stehen. Da ihr Einrichtungszweck und ihre Ziele die EIA gerade als ‚neutrale‘ Institution zur Wissensbereitstellung definieren (vgl. z.B. Smith 1983, 3, Zalkind 1983, 219), wird hier eine direkte Zweckorientierung, wie sie der potentielle Einflussfaktor 7 nahe legt, nicht angenommen, und würde auch, wenn vorhanden, nur schwer nachweisbar sein¹⁹⁷. Der Einfluss der vorgenannten Faktoren auf die Prognosequalität nationaler Treibhausgasemissionsprojektionen lässt sich hier also nur mit großen Einschränkungen untersuchen¹⁹⁸. Daher werden auch diese Hypothesen von der weiteren Analyse ausgeschlossen¹⁹⁹.

Der potentielle Einflussfaktor 8) ‚Länge der Basisperiode‘ gilt wie Faktor 1b) vorwiegend für sehr stark zeitreihenbasierte ökonometrische Prognosemethoden. Er wird hier daher ebenfalls nicht weiter analysiert.

Der identifizierte Einflussfaktor 9) ‚Zeithorizont‘ (bzw. *Länge der Prognoseperiode*) ist ein ontologisch und empirisch gut begründeter Einflussfaktor, der sich auch mit dem vorhandenen Untersuchungsgegenstand, zumindest für kürzere Zeithorizonte von bis zu 11 Jahren, analysieren lässt. Schwierig ist hier allerdings die Isolierung dieses

¹⁹⁷ Die zahlreichen Beispiele für offenbar zweckgeleitete Prognosen sind entweder – meist erst viele Jahre später – von ‚Insidern‘ als solche bezeichnet worden. Siehe das Beispiel zum „Project Independence“ von Craig et al. (2002, 88f). In anderen Fällen dagegen werden – im Nachhinein als fehlerhaft nachgewiesene Begründungen – als *vermutlich* interessengeleitet analysiert (Craig et al. 2002, 90, Diefenbacher, Johnson 1987). Letzterer Fall kann damit aber auch als Variante sowie ggf. Extremfall des Assumption drag (siehe Hypothese 1) betrachtet werden.

¹⁹⁸ Dieser Aspekt wird allerdings mit großer Wahrscheinlichkeit deutlich an Relevanz gewinnen. Hintergrund dafür ist die zunehmende Relevanz von Prognosen als Grundlagen politischer Planung. Das wichtigste Beispiel hierfür dürfte die Formulierung des Energieeinsparziels im Aktionsplan für Energieeffizienz der EU sein (EC 2006). Dort wird die zu erreichende Einsparung relativ zur „baseline“-Prognose definiert. Die genaue Höhe der Baseline- oder Referenzprognose entscheidet hier also maßgeblich über die von der EU zu erreichenden Ziele. Wird diese Regelung – was folgerichtig wäre – auch für die Mitgliedsstaaten übernommen, so ist zu erwarten, dass ein starkes politisches Interesse auch an der Formulierung der eigentlich wertneutralen Referenzprognosen entsteht. Dieser Aspekt wird im Aktionsplan allerdings nicht problematisiert.

¹⁹⁹ Eine Untersuchung dieser Hypothese wäre z.B. als vergleichende Analyse nationaler Emissionsprojektionen, die in unterschiedlichen Settings entstanden sind, denkbar. D.h., der Vergleich von Projektionen, die durch unterschiedliche Ressorts (z.B. Energie, Umwelt), Ebenen (Ministerium, Behörde) oder Dritte (Wissenschaftler, Berater) erstellt wurden. Allerdings ist die entsprechende Datenbasis hierfür noch immer recht spärlich. Hinzu kommt die Tatsache, dass auch „unabhängige“ Berater entsprechenden Einflüssen durch die Auftraggeber der Projektionen (in diesem Fall der jeweiligen Regierung) unterliegen.

Einflussfaktors von anderen, wie z.B. Stabilität des Trends (Hypothese 2) u.a. Dennoch soll er als *Hypothese P1* soweit möglich hier weiter analysiert werden.

Eine ‚*stabile Fehlerrichtung*‘ – die als potentieller Einflussfaktor 10) auf der Basis empirischer Befunde vermutet wird – hätte vor allem für die ex-ante Beurteilung der Qualität von Prognosen Bedeutung. Hier stellt sich insbesondere bei den hier interessierenden zusammengesetzten Prognosen die Frage, ob eher die Prognosen spezifischer oder eher die absoluter Werte eine konstante Fehlerrichtung aufweisen. Dieser mögliche Effekt wird vor diesem Hintergrund als *Hypothese P2* weiter analysiert.

Als Einflussfaktor 11) wird die Beobachtung bezeichnet, dass die ‚Kombination unabhängiger Prognosen‘ bessere Ergebnisse liefert als eine einzelne Prognose. Dies kann bereits logisch nachgewiesen werden, sofern es sich wirklich um unabhängige Prognosen handelt. Da für den hier relevanten Untersuchungsgegenstand keine vergleichbaren unabhängigen Prognosen existieren, ist dieser potentielle Faktor hier nicht analysierbar.

Die Aussage zum potentiellen Einflussfaktor 12), dass ‚aggregierte Prognosen‘ aufgrund der *Kompensation von Teilfehlern* häufig besser seien als ihre Einzelkomponenten kann dagegen anhand des hier gewählten Gegenstands analysiert werden. Die Prognosen der Energieeinsätze und der energiebedingten CO₂-Emissionen setzen sich ja gerade aus zahlreichen Teilprognosen zusammen. Wichtige Teilprognosen werden hier untersucht. Vor diesem Hintergrund wird dieser Einflussfaktor als *Hypothese P3* im Folgenden näher betrachtet.

Hypothesen zu gegenstandsspezifischen Einflussfaktoren

Die vorwiegend *gegenstandsspezifischen Einflussfaktoren* beziehen sich stärker als die übrigen potentiellen Einflüsse auf die Genauigkeit von Prognosen direkt auf die grundlegenden ontologischen Hemmnisse der Prognoseerstellung.

Der ontologisch (und z.T. erkenntnistheoretisch) begründete Einflussfaktor 13), dass ‚verhaltensbedingte Variablen‘ schwerer zu prognostizieren sind als andere, lässt sich anhand des hier relevanten Beispiels kaum analysieren. Hauptgrund dafür ist die Tatsache, dass alle hier betrachteten Variablen mehr oder weniger durch das Verhalten einzelner oder von Gruppen beeinflusst werden. Sie sind allerdings jeweils stark aggregiert und reflektieren, wie z.B. das BIP oder die Energieintensität eines Nachfragesektors das Verhalten komplexer sozialer Systeme, d.h. eine Kombination individuellen Verhaltens und institutionellen Verhaltens. Es ist daher kaum möglich, die hier betrachteten Variablen entsprechend eindeutig zu kategorisieren. Vor diesem Hintergrund wird dieser Einflussfaktor nicht näher untersucht.

Die ‚*absolute Größe der zu prognostizierenden Variablen*‘ (z.B. Energieverbrauch, BIP, Bevölkerung etc.) hat als Einflussfaktor 14) einen Einfluss auf die Qualität der Prognosen. Dies ergibt sich zum Teil durch das ‚Gesetz der großen Zahl‘, wenn unterstellt wird, dass hinter einem hohen Volumen der Variablen auch entsprechend eine große

Zahl von Akteuren bzw. unabhängigen Einheiten steht – was für die Energieprognose und Emissionsprognose zwar weniger eindeutig zu sagen ist, als für die Bevölkerungsprognose, aber dennoch in erster Näherung als gegeben angesehen werden kann. Da im hier gewählten Beispiel aber nur ein Staat (die USA) betrachtet wird, fehlt die Vergleichsmöglichkeit der jeweiligen Prognosen der einzelnen Variablen für unterschiedlich große Grundgesamtheiten. Vor diesem Hintergrund scheidet die Analyse im Vergleich verschiedener geographischer Regionen aus. Sie kann lediglich für unterschiedliche Variablen (mit ggf. entsprechend modifizierter Aussagekraft) als *Hypothese G1* analysiert werden²⁰⁰.

In eine ähnliche Richtung weist Einflussfaktor 15), demzufolge die ‚*Veränderungsrate der zu prognostizierenden Variablen*‘ einen Einfluss auf die Genauigkeit der Prognose hat. Dieser Faktor dagegen kann im Vergleich unterschiedlicher Variablen analysiert werden und wird daher im Folgenden als *Hypothese G2* näher analysiert.

Die ‚Frequenz der zugrunde liegenden Basisdaten‘, die als Einflussfaktor 16) als relevant identifiziert wird, ist wiederum hauptsächlich für ökonometrische, stark zeitreihenbasierte Methoden von Bedeutung und wird hier nicht näher betrachtet.

Der als Nummer 17) betrachtete ‚Einfluss der Innovation‘ auf die Prognosegenauigkeit ist auch für den hier betrachteten Gegenstand des Energiesystems relevant. Allerdings vollziehen sich Innovationen in der Regel über Zeiträume von Jahrzehnten und mehr, bis sie wirklich quantitativ relevant werden. Da die hier betrachteten Prognosen jedoch vornehmlich einen Zeitraum von ca. fünf bis zehn Jahren in die Zukunft abdecken, spielt der Einfluss der Innovation über diesen Zeitraum keine signifikante Rolle. Er wird daher hier nicht näher analysiert.

Im Folgenden werden die hier ausgewählten und in Tabelle 7-1 zusammengestellten Hypothesen zu den unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen im einzelnen anhand des vorliegenden Datenmaterials analysiert und diskutiert. In Kapitel 7.2 werden die erstellungszeitspezifischen Hypothesen Z1 bis Z3 untersucht, in Kapitel 7.3 die prognosespezifischen Hypothesen P1 bis P3 und in Kapitel 7.4 die gegenstandsspezifischen Hypothesen G1 und G2.

²⁰⁰ Denkbar wäre eine Analyse dieser Hypothese entweder anhand der auch erstellten Prognosen für einzelne Regionen (Gruppen von Bundesstaaten) der USA oder aber anhand des International Energy Outlooks der EIA, der Prognosen für verschiedene Länder bzw. Ländergruppen enthält. Allerdings wäre hier immer der Einfluss anderer Faktoren (Datenqualität, aktueller Trend etc.) bei der Analyse zu berücksichtigen.

Tabelle 7-1: Übersicht über die zu untersuchenden Hypothesen zu Fehlerursachen

Kategorie	Bezeichnung des Einflussfaktors	Untersucht als Hypothese
Erstellungszeitspezifisch	1a) Übersehen aktueller Trendänderungen	Z1
	1b) Schwankung der Basisdaten	–
	1c) Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen	Z2
	2) Stabilität des Trends - vor/während der Erstellungszeit - während der Prognoseperiode	Z3a Z3b
Prognose-spezifisch	3) Startjahr der Prognose	–
	4) Wechsel der Methodik	–
	5) Nutzung von Expertenschätzungen	–
	6) Rolle der durchführenden Organisation	–
	7) Interessen/Zweck der Prognose	–
	8) Länge der Basisperiode	–
	9) Zeithorizont (Länge der Prognoseperiode)	P1
	10) Stabile Fehlerrichtung	P2
	11) Kombination von Prognosen	–
	12) Aggregierte Prognosen	P3
Gegenstands-spezifisch	13) Verhaltensbedingte Variablen	–
	14) Absolute Größe der zu prognostizierenden Variable	G1
	15) Veränderungsrate der zu prognostizierenden Variable	G2
	16) Frequenz der zugrunde liegenden Basisdaten	–
	17) Einfluss der Innovation	–

Quelle: eigene Zusammenstellung

Dabei wird für jede einzelne Hypothese die folgende Struktur verwendet:

- Kurze Erläuterung der Hypothese und Vorgehensweise bei der Analyse der Hypothese.
- Analyse der Relevanz der Hypothese anhand ausgewählten Datenmaterials des Untersuchungsbeispiels.
- Ergebnis (Bestätigung; Zurückweisung der Hypothese; kein Ergebnis bezüglich der Hypothese).

Kapitel 7.5 fasst schließlich die Ergebnisse der Analysen zu den hier näher untersuchten Hypothesen noch einmal zusammen.

7.2 Analyse erstellungszeitspezifischer Faktoren

Im Folgenden werden drei Hypothesen zu den erstellungszeitspezifischen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen anhand der hier zu analysierenden jährlichen Projektionen der US-amerikanischen Energieeinsätze und Treibhausgasemissionen näher untersucht. Die ersten beiden Hypothesen beschäftigen sich schwerpunktmäßig mit Unregelmäßigkeiten in der (historischen) realen Entwicklung, im Zeitraum kurz vor und während der Prognoseerstellung. Diese Unregelmäßigkeiten können entweder Trendänderungen sein, die bei der Prognoseerstellung – obschon in den Daten bereits sichtbar – nicht erkannt wurden (Hypothese Z1) oder Über- bzw. Missinterpretationen aktueller nur kurzfristiger Trendabweichungen als grundlegendere Trendänderungen (Hypothese Z2). Die dritte Hypothese (Hypothese Z3) dagegen beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Unregelmäßigkeiten in der (zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung zukünftigen) realen Entwicklung, d.h. mit der Realentwicklung in dem Zeitraum, für den die Prognose erstellt wird.

7.2.1 Hypothese Z1: Übersehen von Trendänderungen (Assumption drag)

In Kapitel 4.2.1 wurde als ein wichtiger Einflussfaktor auf die Genauigkeit von Hypothesen der assumption drag identifiziert. Damit wird der Zusammenhang bezeichnet, dass *Projektionen, die z.B. in Zeiten hoher bzw. steigender Wachstumsraten erstellt wurden, die tatsächliche Entwicklung über-, Projektionen, die in Zeiten niedriger bzw. sinkender Zuwachsraten erstellt wurden, die tatsächliche Entwicklung unterschätzen (s.o.)*. Die aktuelle Situation wurde also auf die Projektion übertragen, wobei der tatsächliche langfristige Trend meist überschätzt wurde.

Es lassen sich vier Voraussetzungen für diesen Fehler (und auch weitere) isolieren:

- Zunächst das Vorliegen eines relativ stabilen Trends einer Variablen über einen längeren Zeitraum der Vergangenheit.
- Dann einen Bruch dieses Trends, d.h. dass über einen Zeitraum, der länger als ein bis zwei (oder drei) Jahre²⁰¹ dauert, dieser Trend nicht anhält, sondern sich ein starker Anstieg oder eine starke Abschwächung der Wachstumsraten einstellt.
- Diese Veränderung der Wachstumsraten ist bereits in den beobachteten Daten erkennbar²⁰².

²⁰¹ Abweichungen über kürzere Zeiträume von 1 bis 2 (ggf. 3) Jahren werden hier als kurzfristige, z.B. konjunkturbedingte Schwankungen, nicht aber als grundlegendere Trendänderung interpretiert.

²⁰² Hier muss berücksichtigt werden, dass erstens die Ist-Daten je nach Bereich nur mit einer gewissen Zeitverzögerung vorliegen und zweitens die jeweilige Prognose einen gewissen Vorlauf benötigt, d.h. dass Daten zwar noch kurz vor Veröffentlichung der Prognose vorlagen, doch nicht mehr einbezogen werden konnten, da der Erstellungsprozess schon zu weit fortgeschritten war (s.u.).

- Dennoch wird die Prognosehypothese, die auf einer Weiterführung des ursprünglichen Trends beruht, nicht verändert. Es kommt zu einem signifikanten Fehler in der Prognose.

Der Fehler beruht also im Kern darauf, dass die veränderte Datenlage als solche nicht erkannt wird, sondern – aus welchen Gründen auch immer – diese veränderten Daten z.B. als nur temporäre Abweichung vom – ansonsten unveränderten Trend – interpretiert werden. Damit ist diese Fehlerhypothese eindeutig der Kategorie ‚Unzulänglichkeit der Schlussfolgerung‘ als echtes erkenntnistheoretisches Hemmnis zuzuordnen (siehe Kapitel 3.2). Die relevanten Informationen sind im Prinzip vorhanden²⁰³ und im Rahmen des Realistischen vollständig, jedoch misslingt die richtige Interpretation. Dabei mangelt es ebenfalls weniger an den geeigneten Berechnungsmethoden, die Rescher (1998, 153) hier vornehmlich als Gründe nennt, sondern eher an der richtigen *Einschätzung* der vorhandenen Daten.

Diese Fehleinschätzung kann verschiedene Gründe haben:

- Ein erster Grund könnte in einer mangelnden Analyse und Reflexion der aktuellen Daten liegen, zum Beispiel, weil gewisse Eingangsdaten nur in mehrjährigen Abständen wirklich im Detail analysiert und durchdacht und entsprechend auf grundlegende Trendänderungen untersucht werden. In der Zwischenzeit würde dagegen vorzugsweise (‚konservativ‘) am bisher vorhergesagten Grundtrend festgehalten.
- Außerdem könnte eine Präferenz des Prognostikers für eine Fortsetzung des Trends vorliegen, d.h. dieser Fall wird von ihm positiver beurteilt und daher bevorzugt. Dies ist eine nahe liegende Vermutung, da für eine Veränderung einer bisherigen Einschätzung typischerweise gewichtigere Hinweise verlangt werden als für eine Beibehaltung. D.h., die bisherige Einschätzung wird so lange präferiert, bis (deutlich) bessere Argumente für eine Veränderung vorliegen.
- Schließlich könnte hier auch ein Interesse des Prognostikers eine Rolle bei der Prognose spielen (vgl. auch Einflussfaktoren 6 und 7).

7.2.1.1 Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese Z1

Der vorstehend skizzierte Prognosefehler ‚Assumption Drag‘ lässt sich auch in den US-Energie- und Emissionsprojektionen an verschiedenen Stellen zeigen.

Im Folgenden wird herausgearbeitet,

wo sich der Assumption drag als Fehlerursache von Teilprognosen zeigen lässt,

- wo sich die zentrale Voraussetzung für den Assumption drag, d.h. eine Trendänderung der hier betrachteten Prognosevariablen finden lässt,

²⁰³ Abgesehen von der Zeitverzögerung der Datenbereitstellung und dem Vorlauf der Prognose.

- ob sich Beispiele für eine Vermeidung des Fehlers finden,
- ob sich der Fehler näher charakterisieren lässt, z.B. in Bezug auf die typische Dauer, bis die Trendänderung tatsächlich bemerkt, als solche erkannt und in eine Veränderung der Prognose umgesetzt wird
- und wie stark sich der Fehler auf die letztendlich zu prognostizierende Variable CO₂-Emissionen der USA auswirkt.

Dazu werden im folgenden Abschnitt zunächst die für eine nähere Analyse der Hypothese Z1 geeigneten Trendänderungen in den betrachteten Variablen identifiziert.

Danach werden dann die Variablen des Verkehrssektors und der Industrie in Bezug auf das Vorkommen des ‚Assumption Drag‘ analysiert (Abschnitte 7.2.1.3 und 7.2.1.4).

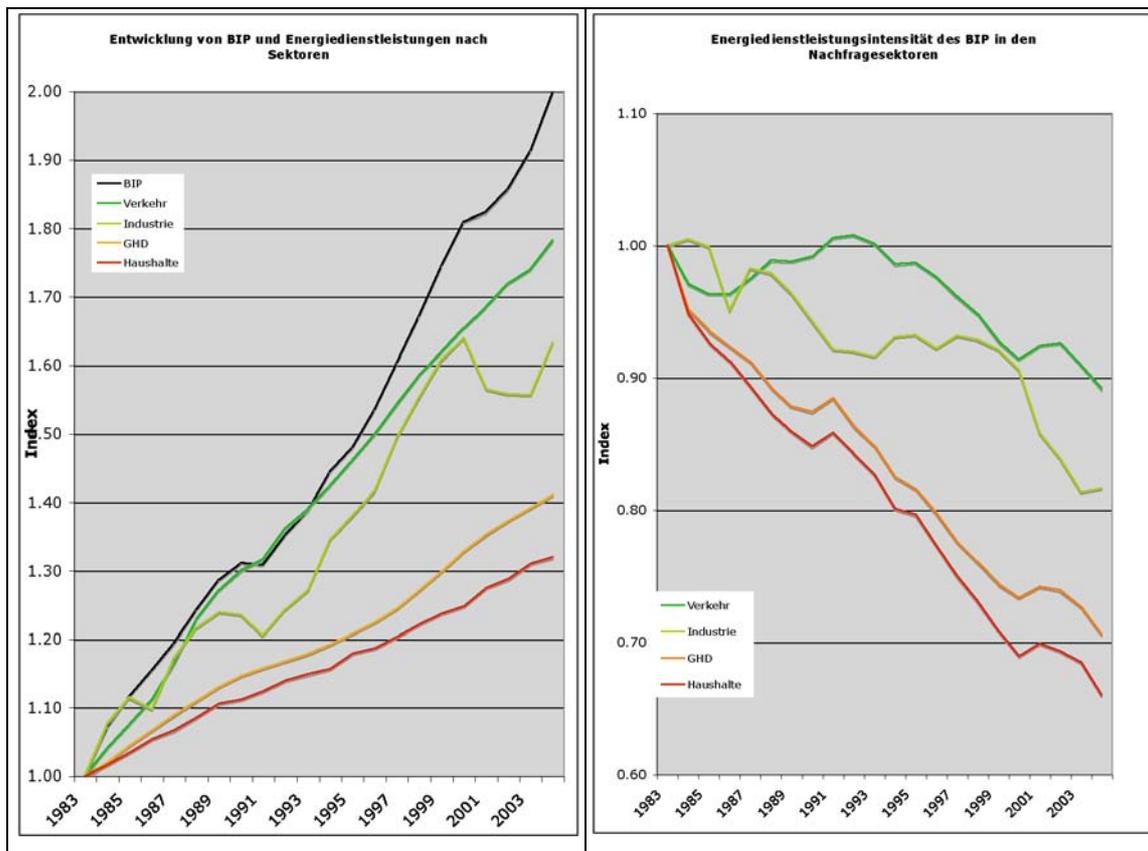
7.2.1.2 Identifikation von Trendänderungen als Voraussetzung für Hypothese Z1

Die folgenden Abbildungen geben die Realentwicklungen der wichtigsten hier berücksichtigten 12 bzw. 13 Prognosevariablen²⁰⁴ wieder. Die erste Abbildung enthält die Entwicklung des BIP sowie die Entwicklung der EDL-Indikatoren der Nachfragesektoren, links als Absolutwerte und rechts als Intensitäten bezogen auf das BIP. Die Grafiken zeigen, dass sich das BIP, von zwei temporären Einbrüchen abgesehen – den Rezessionen 1989 bis 1991 sowie 2001 –, sehr kontinuierlich entwickelt hat. Ebenfalls kontinuierlich hat sich auch die Anzahl der Haushalte (als EDL-Indikator für diesen Sektor) entwickelt. Bei der Entwicklung der Nutzflächen von Wohn- und Geschäftsgebäuden (EDL-Indikator im Sektor GHD) lässt sich ein leichtes Abweichen vom linearen Trend erkennen. Bis etwa 1989 lagen die Zuwachsraten bei rund 2% pro Jahr. Von 1990 bis 1996 dagegen lagen sie nur bei 0,9 bis 1,4% pro Jahr, um danach dann wieder auf rund 2% pro Jahr zuzunehmen. Ab 2002 dagegen ergibt sich wieder eine leichte Verringerung auf etwa 1,4% pro Jahr. Ein analoges Bild ergibt sich auch für die spezifischen Werte, d.h. Energiedienstleistungen bezogen auf das BIP. Hier schlagen sich lediglich die Rezessionen als temporäre Ausreißer nieder.

Im Verkehr (Fahrzeugkilometer der Pkw als EDL-Indikator) zeigt sich dagegen eine Trendänderung. Bei den absoluten Werten ergibt sich ab 1990 eine deutliche Verlangsamung des Zuwachses von im Durchschnitt 4,1% pro Jahr auf Werte um 2,3% pro Jahr. Bezogen auf das BIP ist der Trendwechsel noch klarer erkennbar. Während bis 1992 die Fahrleistung sogar stärker steigt als das BIP, nimmt die spezifische Fahrleistung pro Einheit des BIP seit 1993 kontinuierlich ab. Die Zeitverzögerung (Trendwechsel erst ab 1992, statt ab 1990) ergibt sich aufgrund des Einflusses der Rezession von 1991 mit den geringeren BIP-Zuwächsen, die die Trendwende in den spezifischen Werten zunächst maskieren.

²⁰⁴ Als wesentliche Variablen gelten das BIP, die vier sektoralen Energiedienstleistungsintensitäten (Haushalte, GHD, Industrie, Verkehr (nur Pkw)) sowie die Strom- und Brennstoffintensitäten in jedem Sektor (Verkehr nur Kraftstoffe) (vgl. Abschnitt 6.1). Die 13. Variable, CO₂-Intensität der Stromerzeugung, wird hier nicht näher analysiert.

Abbildung 7-1: Realentwicklung von BIP und Energiedienstleistungsindikatoren in den Nachfragesektoren



Quelle: eigene Berechnungen

In der Industrie sind die Schwankungen des Energiedienstleistungsindicators (Bruttowertschöpfung) relativ groß, was die Interpretation erschwert. Bezogen auf das Wachstum des BIP können grob zwei Hauptphasen unterschieden werden. Bis etwa 1999 zeigt sich ein – bezogen auf das BIP – langsamer Rückgang der Energiedienstleistungsintensität von etwa 0,5% pro Jahr, z.B. aufgrund sinkender Wertschöpfungsanteile der Industrie an der Gesamtwirtschaft. Danach stagniert das Wirtschaftswachstum der Industrie und die EDL-Intensität des BIP für den Sektor Industrie sinkt mit durchschnittlich 2,4% pro Jahr stark ab.

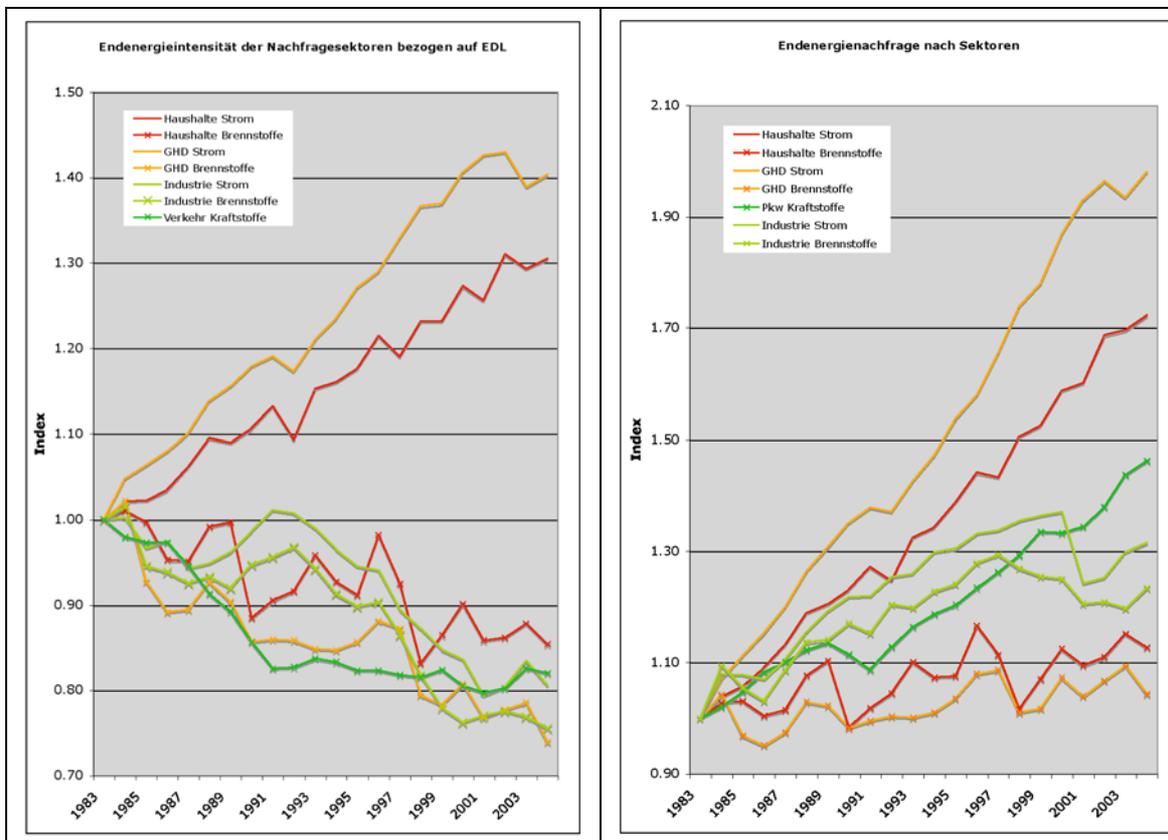
Die Energieintensitäten sind in der nächsten Abbildung ebenfalls zusammen mit den Absolutwerten, d.h. den Endenergieeinsätzen dargestellt, um das Verständnis der herrschenden Trends sowie etwaiger Trendänderungen zu erleichtern.

Im Bereich der Haushalte und des GHD-Sektors zeigen sich sehr kontinuierliche Entwicklungen. D.h. es sind keine Trendänderungen erkennbar. Die spezifischen Stromeinsätze steigen in beiden Sektoren stark an, die Brennstoffeinsätze dagegen sind – bei starken temperaturbedingten Schwankungen²⁰⁵ – leicht rückläufig. Ein

²⁰⁵ Der Einfluss der Temperatur lässt sich auch gut daran erkennen, dass die Schwankungen bei den absoluten Brennstoffeinsätzen beider Sektoren sehr parallel verlaufen.

leichtes Abschwächen des Zuwachses der spezifischen Stromeinsätze im GHD-Sektor ab etwa 2001 ist noch nicht langfristig genug, um hier zu entscheiden, ob es sich um eine kurzfristige Schwankung oder eine Trendänderung handelt²⁰⁶.

Abbildung 7-2: Realentwicklung von Endenergieeinsatz und Energieintensität in den Nachfragesektoren



Quelle: eigene Berechnungen

Veränderungen des Trends sind dagegen in der Industrie erkennbar. Während die Endenergieintensität sowohl beim Strom als auch bei den Brennstoffen bis etwa 1991 stagnierte, geht sie seitdem kontinuierlich um etwa 1,7% pro Jahr zurück. Beim absoluten Endenergieeinsatz dagegen ist dieser Effekt zunächst durch den Verlauf der Bruttowertschöpfung verdeckt. Hier ergibt sich bis 1996 ein zunächst recht kontinuierlicher Anstieg (+2,4% pro Jahr bei Strom bzw. +2,0% bei Brennstoffen), der dann in einen stagnierenden bzw. sogar leicht sinkenden Verlauf übergeht.

Sehr deutlich ist eine Trendwende auch im Verkehrssektor erkennbar, wenn auch in umgekehrter Richtung. Hier gingen die spezifischen Energieeinsätze bis 1991 relativ stabil um durchschnittlich 2,4% pro Jahr zurück. Ab 1992 dagegen stagnieren sie bei leichten Schwankungen. Im absoluten Endenergieeinsatz der Pkw ist diese Trendwen-

²⁰⁶ Daher bleibt dieser Effekt für die hier anstehende Analyse unberücksichtigt. Wird die Zeitreihe des Stromeinsatzes allerdings näher analysiert, so fällt zumindest auf, dass es sich um die mit Abstand größte Abweichung vom bisher sehr konstanten Trend handelt.

de dagegen kaum zu erkennen. Die fast gleichzeitige Verlangsamung des Verkehrswachstums nach 1992 führte im Ergebnis zu einem mehr oder weniger kontinuierlich ansteigenden Trend, der lediglich im Übergang beider Trendänderungen um 1991 sowie durch die Rezession 2001 leicht gebrochen wird²⁰⁷.

Insgesamt lassen sich bei den hier analysierten Basisvariablen über den Betrachtungszeitraum 1983 bis 2004 die folgenden dauerhaften Trendänderungen feststellen:

Tabelle 7-2: Übersicht der Trendänderungen in den historischen Entwicklungen der untersuchten Variablen

Variable		Trendänderung in der Realentwicklung
BIP		Keine Trendänderung, kurzfristige Brüche durch Rezessionen
Haus- halte	EDL-Intensität	Linear, keine Trendänderung
	Stromintensität	
	Brennstoffintensität	
GHD	EDL-Intensität	Drei leichte Trendänderungen
	Stromintensität	Keine Trendänderung erkennbar
	Brennstoffintensität	
Indu- strie	EDL-Intensität	Trendänderung ab 1999
	Stromintensität	Trendänderung ab 1992, bei starken Schwankungen
	Brennstoffintensität	
Verkehr (Pkw)	EDL-Intensität	Klare Trendänderung ab 1993
	Kraftstoffintensität	Klare Trendänderung ab 1992

Quelle: eigene Darstellung

Im Folgenden werden zunächst die sehr eindeutigen Trendänderungen im Verkehrssektor und danach die in der Industrie in Hinblick auf eine mögliche Bestätigung der Hypothese Z1 näher beleuchtet.

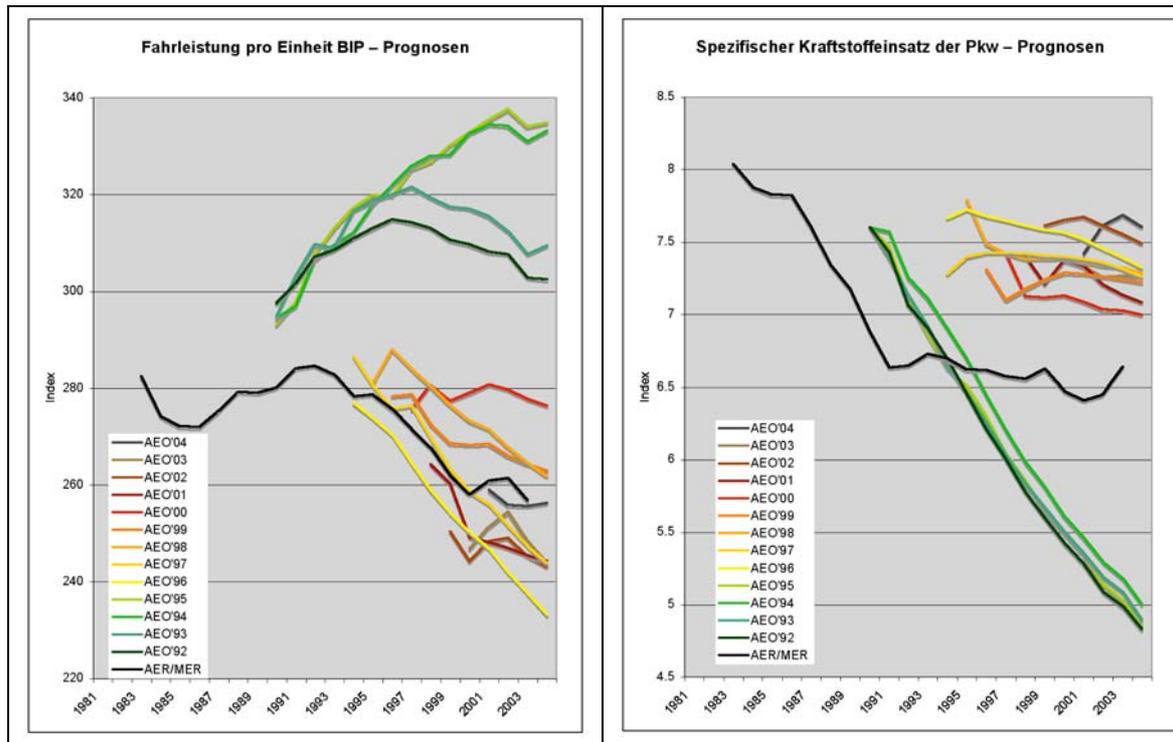
7.2.1.3 Analyse der Trendbrüche im Verkehrssektor in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die Prognosen

Wie voran stehend gezeigt, hat es im Verkehrssektor (Pkw) klare Trendänderungen in beiden zentralen Prognosevariablen, der Fahrleistung pro Einheit BIP sowie der spezifischen Kraftstoffeinsätze gegeben.

Die Abbildung 7-3 stellt für diese beiden Prognosevariablen die vorhandenen Prognosen (ab AEO 92) der realen Entwicklung gegenüber. Bei beiden Variablen ist der Assumption drag, d.h. das – zeitweilige – Übersehen einer Trendänderung erkennbar.

²⁰⁷ Diese Brüche würden aber ohne tiefere Kenntnis der dahinter liegenden Entwicklungen nur als – z.B. rezessionsbedingte – kurzfristige Veränderungen interpretiert werden.

Abbildung 7-3: Prognosen der Energiedienstleistungsintensität und der Energieintensität im Verkehrssektor (Pkw)



Quelle: eigene Berechnungen

Die **Fahrleistung pro Einheit BIP**, die Mitte der 80er Jahre noch rückläufig war, stieg bis 1991 an, allerdings in den letzten beiden Jahren nur aufgrund der rezessionsbedingt geringen BIP-Zuwächse bzw. sogar eines realen Rückgangs im Jahr 1991. Die Prognosen der AEOs 92 bis 95²⁰⁸ schrieben den jüngeren Trend fort, d.h. sie erwarteten mittelfristig einen stetigen Anstieg der Fahrleistung pro Einheit des BIP, der ab 1998 (AEOs 92 und 93) bzw. 2003 einen Sättigungspunkt mit nachfolgend wieder sinkenden spezifischen Fahrleistungen erreichen sollte. Auffällig ist auch, dass die Prognose zwischen den AEOs 92/93 und den beiden folgenden noch einmal angehoben und der Sättigungspunkt um fünf Jahre in die Zukunft verschoben wurde²⁰⁹.

Erst mit dem AEO 96 wurde die Prognose grundlegend verändert. Nun wurde eine – der Realität entsprechende – sinkende spezifische Fahrleistung pro Einheit des BIP erwartet. Diese Prognose wurde dann auch in den folgenden Prognosen beibehalten und nur in ihrer genauen Ausprägung modifiziert.

²⁰⁸ Aufgrund unterschiedlicher Datenbasen für die Ist-Werte und die Prognosen, lassen sich die Absolutwerte nicht exakt zur Deckung bringen. Es kommt hier aber vor allem auf den prognostizierten Trend der Werte an, daher werden die Abweichungen in der absoluten Höhe hier nicht weiter betrachtet.

²⁰⁹ Dieser Effekt wird unter der Hypothese Z2 (Einfluss aktueller Trends) näher analysiert.

Es ist also ein Brutto-Zeitverzug von 4 Jahren – vom ersten Auftreten der Trendänderung im Jahr 1992 bis zur Veränderung der Prognosehypothese im Jahr 1996 – aufgetreten. Dieser Zeitverzug muss allerdings noch näher aufgeteilt werden:

- Zunächst ist der *Zeitverzug der Datenverfügbarkeit* zu beachten. So sind die Daten für das Jahr 1992 frühestens Ende 1993, bei den EDL-Daten ggf. sogar erst 1994 verfügbar gewesen. Allerdings können Vorergebnisse sowie erste Trends wichtiger Daten auch schon früher verfügbar gewesen sein.
- Hinzu kommt der *Vorlauf der Prognoseerstellung*. Die AEOs werden in der Regel in der Periode vom Sommer des Vorjahres bis zum Frühjahr des Erscheinungsjahres bearbeitet. Sie werden typischerweise ab März des Erscheinungsjahres veröffentlicht.
- Die verbleibende Periode kann als eigentlicher ‚*Assumption drag*‘ bezeichnet werden, d.h. sie allein ist die Zeit, die der Prognostiker benötigt, um die in den Daten erkennbare Trendänderung als solche zu identifizieren und in die Prognosehypothese aufzunehmen.

Im hier vorliegenden Fall ist davon auszugehen, dass im Jahr 1993 zumindest erste Daten über eine Abweichung des Jahres 1992 vom bisherigen Trend vorlagen und sich diese Abweichung auch im Jahr 1994 für das zweite Jahr in Folge bestätigte. Für die Prognose des AEO 95 wurde trotzdem noch auf den alten Trend zurückgegriffen und die Prognose noch einmal leicht angehoben²¹⁰. Erst für den AEO 96, für den sich die Trendabweichung im dritten Jahr in Folge bestätigte, wurde die Prognose grundlegend verändert.

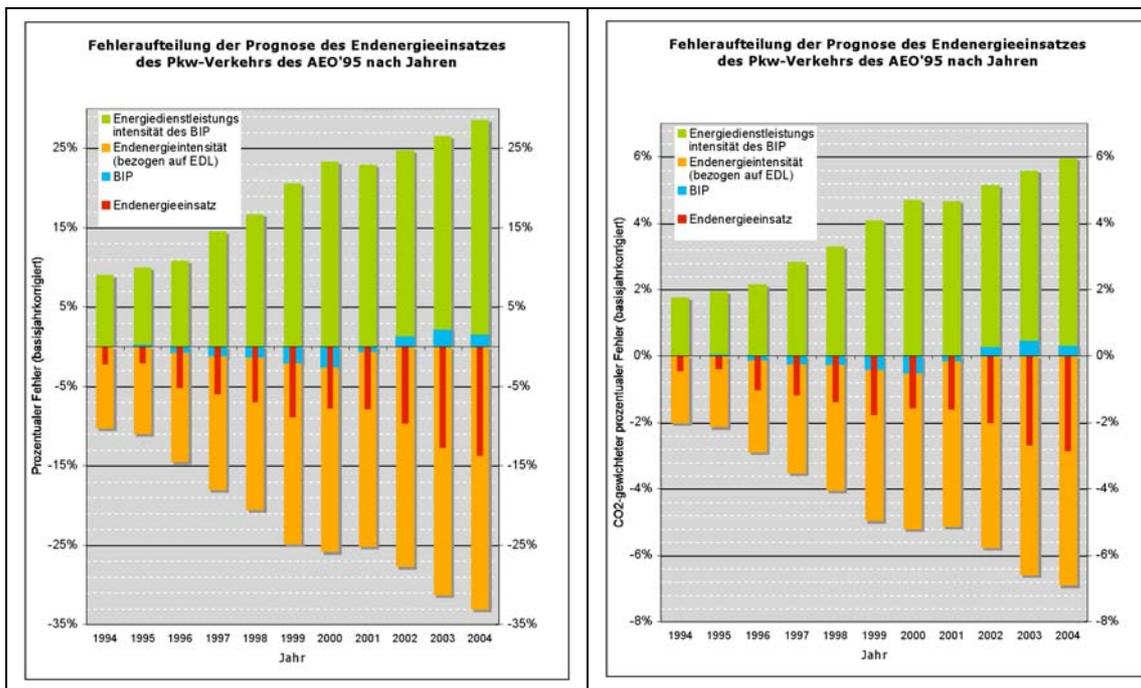
Diese Zeitverzögerung kann zum einen daran liegen, dass die Trendänderung in den absoluten Werten der Fahrleistung nicht so deutlich erkennbar ist, wie in den spezifischen Werten (insbesondere für das nochmalige Anheben der Prognose des AEO 95), zum anderen musste sich die Trendänderung offenbar erst über einen gewissen Zeitraum – hier von drei Jahren – manifestieren, um als solche erkannt zu werden²¹¹.

Für die **spezifischen Kraftstoffeinsätze** ergibt sich ein ganz ähnliches Bild. Auch hier zeigte sich 1992 erstmals eine Trendabweichung, nachdem der rückläufige Trend zuvor seit 1983 sehr stabil gewesen war. Auch hier wurde die Prognose erst im AEO 96 grundlegend verändert. Ebenfalls wurde auch hier noch im AEO 95 – entgegen der bereits sichtbaren Stagnationstendenz – eine leichte Beschleunigung des Rückgangs im Vergleich zur vorhergehenden Prognose des AEO 94 angenommen. Auch hier ergibt sich also ein echter ‚*Assumption drag*‘ von ca. 3 Jahren.

²¹⁰ Dies gilt nicht nur für die spezifischen Werte sondern auch für die absolute Fahrleistung.

²¹¹ Um diesen Zeitraum zu verkürzen, sind ggf. zusätzliche Analysen, die sich mit weiteren Hintergründen der interessierenden Prognosevariablen befassen, nützlich. Zusätzlich können ggf. Vorab-Ergebnisse und aktuelle Trendanalysen genutzt werden.

Abbildung 7-4: Aufteilung der Fehler der Prognosen des Endenergieeinsatzes im Verkehrssektor (Pkw) im AEO 95



Quelle: eigene Berechnungen

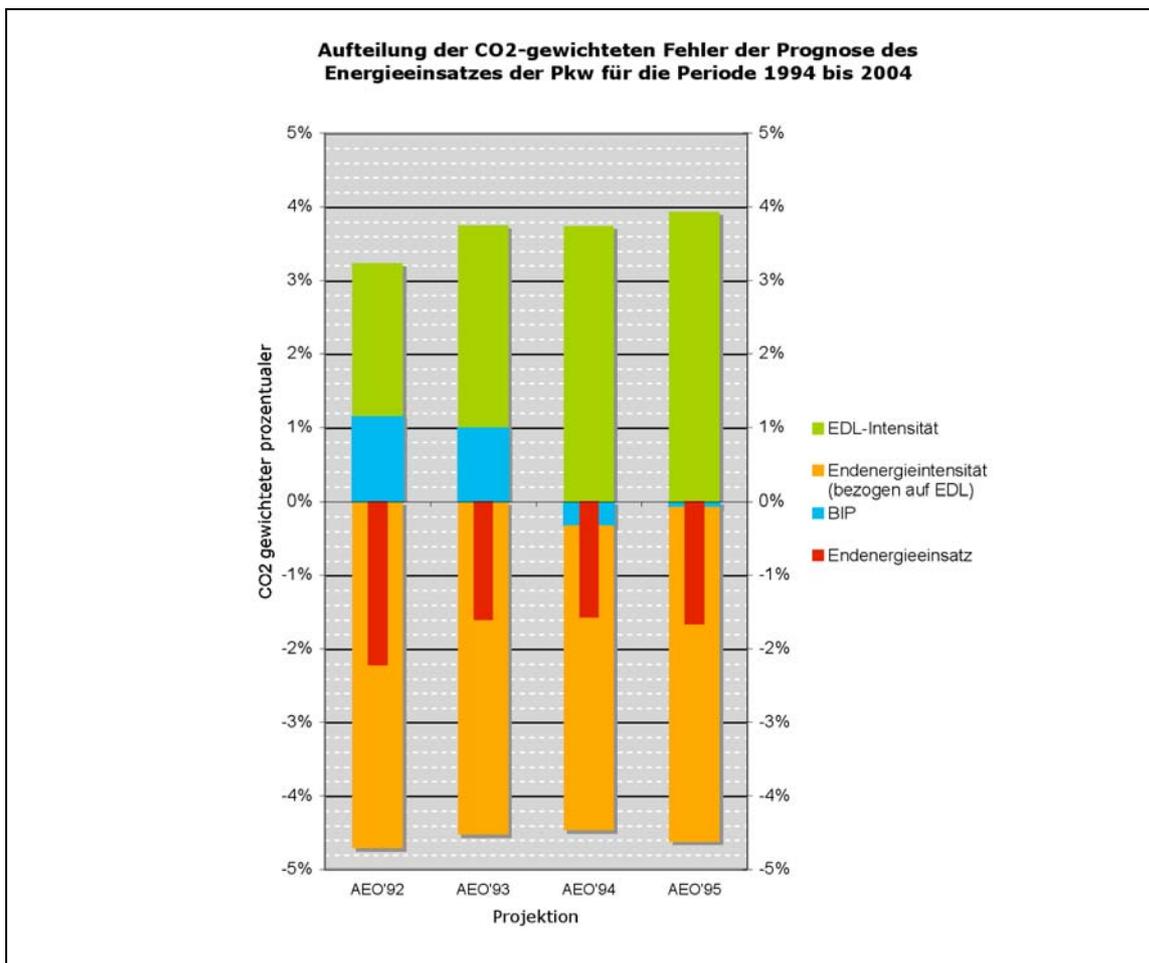
Abbildung 7-4 gibt die Größenordnung der durch diesen Assumption drag verursachten Fehler am Beispiel des AEO 95²¹² wieder. Während das BIP für den fraglichen Prognosezeitraum relativ gut prognostiziert wurde, wurde, wie oben schon gezeigt, die Verkehrsintensität des BIP deutlich überschätzt. Der Assumption drag führt entsprechend zu einem im Zeitverlauf von ca. +6% auf +27% ansteigenden Fehler dieser Teilprognose. Die CO₂-gewichteten Fehler (rechts in der Abbildung) zeigen, dass allein dieser Fehler – wären alle anderen Prognosen korrekt gewesen – zu einer Überschätzung der Zielvariable, des gesamten CO₂-Ausstoßes aller Sektoren der USA, von knapp 2 bis hin zu 6% geführt hätte. Allerdings wurde der Fehler kompensiert durch die – ebenfalls wie gezeigt auf den Assumption drag zurückzuführende – zeitlich parallele Fehlprognose der Energieintensität, die in einer Größenordnung von -8% bis -34% unterschätzt wurde (oder 2% bis 7% bezogen auf den gesamten CO₂-Ausstoß). Durch die (multiplikative) Verknüpfung der Fehler ergibt sich in der Zielvariable ein immer noch signifikanter Prognosefehler in Form einer Unterschätzung der Energieeinsätze und damit auch der CO₂-Emissionen, die insgesamt aber deutlich geringer ist als die Fehler der beiden wesentlichen Teilprognosen.

Die Abbildung 7-5 stellt alle vier von den beiden Trendbrüchen betroffenen AEOs im Vergleich dar (Mittelwerte über alle Fehler der Jahre 1994 bis 2004). Es zeigt sich, dass die Fehler in etwa gleich groß sind. In allen Prognosen wird die EDL-Intensität

²¹² Für die AEOs 92 bis 94 ergeben sich ganz ähnliche Darstellungen.

(d.h. die Fahrleistung der Pkw pro \$ BIP) deutlich über- und die Energieintensität (l/100km) deutlich unterschätzt. Im Ergebnis liegen die Prognosen des Endenergieeinsatzes des Pkw-Verkehrs, bezogen auf die gesamten CO₂-Emissionen der USA, um im Mittel ca. 2% zu niedrig. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass in den AEOs 92 und 93 das zu optimistisch eingeschätzte BIP noch einen Einfluss auf den Fehler hatte, in den beiden späteren AEOs dagegen war das BIP relativ korrekt prognostiziert worden. Allerdings wurde diese Verbesserung durch eine Steigerung der projizierten Energiedienstleistungsintensität wieder kompensiert.

Abbildung 7-5: Fehleraufteilung der Prognosen im Verkehrssektor (Pkw) – mittlerer Fehler der AEO 92 bis 95 für den Zeitraum 1994 bis 2004



Quelle: eigene Berechnungen

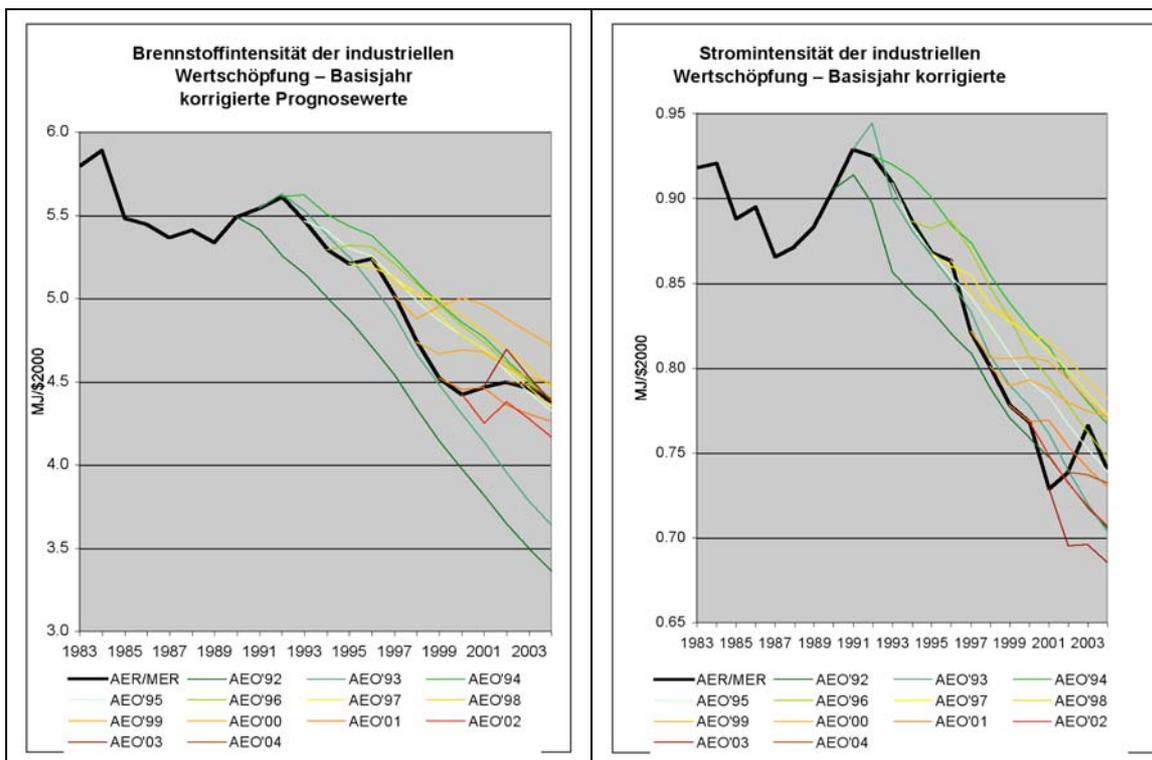
Auch, wenn alle vier AEOs letztlich für die Teilprognose Pkw-Verkehr sehr ähnliche Ergebnisse zeigen, muss beachtet werden, dass der ‚Assumption drag‘ in unterschiedlichem Maß daran beteiligt ist. Grundlegende Ursache der Fehler sind in allen Fällen nicht prognostizierte Trendänderungen. Diese sind für die AEOs 92 und 93 aber noch nicht auf den Assumption drag zurück zu führen sondern eher auf Hypothese Z3 (Stabilität des Trends während der Prognoseperiode; s.u.). Für die AEOs 94 und 95

dagegen spielt der Assumption drag tatsächlich eine Rolle, da hier die Trendänderung bereits in den Ist-Daten sichtbar gewesen ist.

7.2.1.4 Analyse der Trendbrüche in der Industrie in Bezug auf ihren Einfluss auf die Prognosen

Weitere Trendänderungen sind oben in der Entwicklung der Energiedienstleistungsintensität der Industrie (ab 1999) sowie in der Energieintensität sowohl bei Brennstoffen als auch beim Strom in der Industrie festgestellt worden.

Abbildung 7-6: Prognosen der Brennstoff- und Stromintensität der Industrie (bezogen auf EDL)



Die Brennstoff- und Stromintensität der Industrie werden hier ebenfalls in Bezug auf die Frage nach einem Vorliegen des Assumption drag untersucht. Die Entwicklung der Energiedienstleistungsintensität in der Industrie dagegen ist erst ab 1999 sichtbar und daher zu aktuell und einer Analyse nicht optimal zugänglich.

Die in Abbildung 7-6 dargestellten EDL-bezogenen Prognosen der Brennstoff- und Stromintensität der Industrie zeigen, dass die Trendwechsel, die sich für beide Variablen ab etwa 1993 ergeben haben, richtig prognostiziert wurden.

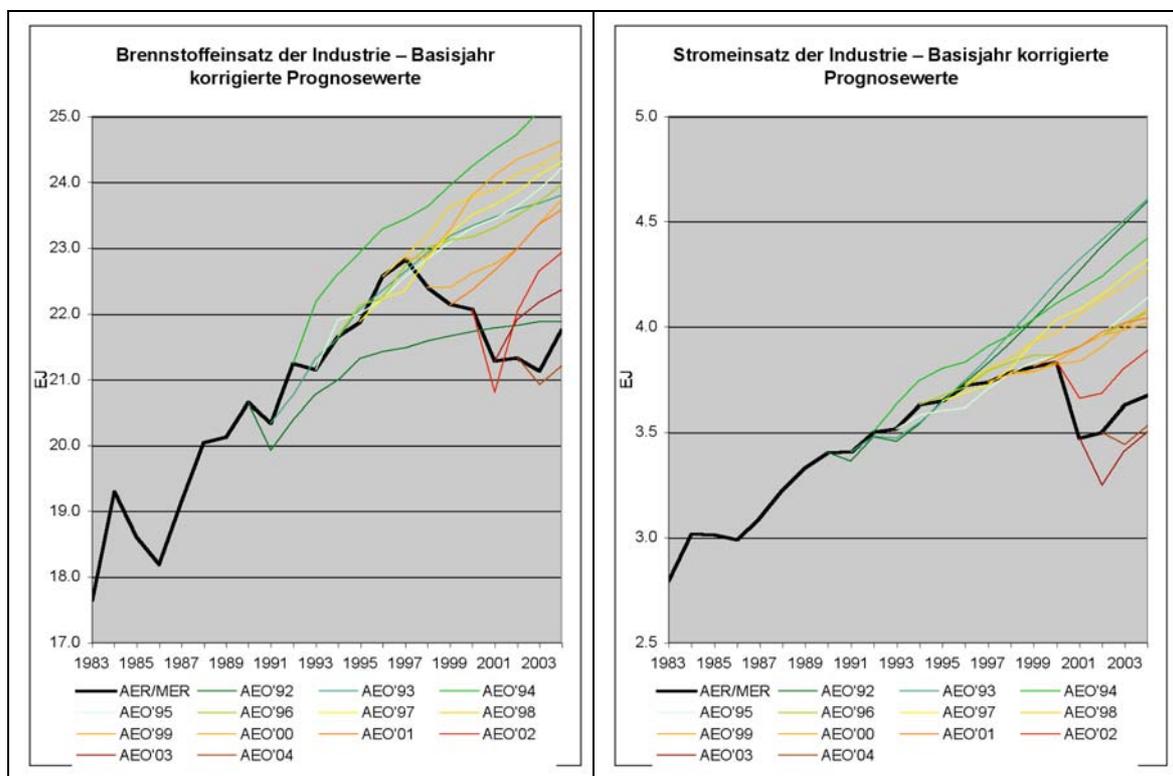
Die Gründe hierfür lassen sich jedoch mit der vorhandenen Datenbasis nur unvollständig erklären:

- Zunächst muss in Frage gestellt werden, ob von 1992 auf 1993 tatsächlich ein Trendwechsel stattgefunden hat. Es könnte sich auch um eine, z.B. durch die

Rezession von 88 bis 91 bedingte, temporäre Umkehrung eines ohnehin anhaltenden Trends gehandelt haben. Dies wird z.B. durch die Prognose des AEO 92 für die Brennstoffintensität nahe gelegt, die durchaus auch eine Fortsetzung eines dauerhafteren Trends sein könnte. Da Prognosen der EDL aber erst seit dem AEO 92 vorliegen, fehlen hier geeignete Daten um diese Frage zweifelsfrei zu klären.

- Weiterhin für diese Vermutung spricht die Tatsache, dass der absolute Brennstoff- wie der Stromeinsatz im fraglichen Zeitraum (ca. 1991 bis 1995) – bei gewissen Schwankungen – weitgehend konstant verlaufen ist und die Prognosen dieser Größen auch keine Trendänderung erwartet hatten.

Abbildung 7-7: Prognosen des absoluten Brennstoff- und Stromeinsatzes der Industrie



Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt ist die Entwicklung der Energieintensität der Industrie also nicht als Bestätigung von Hypothese Z1 ‚Übersehen von Trendänderungen‘ geeignet. Vielmehr stellt sie mit Einschränkungen ein Gegenbeispiel dar. Hier wurde die eingetretene Trendänderung – im Gegensatz zur Vermutung der Hypothese Z1 – tatsächlich in den AEOs auch erwartet. Allerdings handelte es sich um eine schwache Trendänderung, die überdies nur in einer Variablen auftrat, während die übrigen, vor- bzw. nachgelagerten Variablen EDL und Endenergieeinsatz eher kontinuierliche Trends aufwiesen. Es ist also zu vermuten, dass hier die sich eher kontinuierlich entwickelnden Variablen EDL (industrielle Wertschöpfung) und Endenergieeinsatz für die Prognose zugrunde gelegt

wurden und daher auch die Trendänderung der spezifischen Werte richtig prognostiziert wurde. Hier waren also weitere Informationen verfügbar, die eine bessere Einschätzung ermöglicht haben.

7.2.1.5 Schlussfolgerung zu Hypothese Z1: Assumption drag

Aufgrund der hier zur Verfügung stehenden Datenbasis, die nur einen relativ kurzen Zeitraum umfasst, sind nur wenige klar deutbare Trendänderungen in Basisvariablen der Prognose erkennbar. Dies schränkt die verfügbare Anzahl der Untersuchungsbeispiele ein.

Die analysierten Trendänderungen im Bereich des Pkw-Verkehrs (Energiedienstleistungsintensität des BIP und Energieintensität bezogen auf die EDL) zeigen allerdings klar die Einflüsse des Assumption drag, wie er auch von Keilmann (1990) und anderen beschrieben wird.

Dagegen wurde die Trendänderung in der Industrie (Energieintensität bezogen auf die EDL) gut prognostiziert. Hier lag allerdings auch keine so eindeutige Trendänderung vor. Zudem entwickelten sich wichtige messbare vor- und nachgelagerte Variablen eher linear. Hierdurch waren offenbar geeignete Voraussetzungen gegeben, um die Trendänderung auch in der Prognose zeitnah abzubilden.

Als Ergebnisse lassen sich festhalten:

- An zwei Beispielen konnte gezeigt werden, dass der Assumption drag einen signifikanten Einfluss auf die Qualität von Prognosen ausüben kann, sofern Trendänderungen in wichtigen Prognosevariablen vorliegen.
- In diesem Fall maskierten sich beide Trendänderungen – da gleichzeitig und entgegengesetzt wirksam – zum Teil, was ggf. die verzögerte Erkenntnis des veränderten Trends noch verstärkt hat.
- Beim Assumption drag muss berücksichtigt werden, dass sowohl die Zeitverzögerung der Datenverfügbarkeit als auch der Vorlauf der Prognoseerstellung die Reaktionszeit auf Trendänderungen einschränken.
- Die beiden Beispiele in denen kein Assumption drag auftrat, zeigen – mit Einschränkungen –, dass Trendänderungen ggf. richtig prognostiziert werden, wenn sie wie in diesen Beispielen eher abgeleitete Variablen betreffen und weitere vor- und nachgelagerte Variablen, die auch messbar sind, eher lineare Trends aufweisen.

Insgesamt zeigt sich anhand vor allem zweier sehr deutlicher Beispiele, dass der Assumption drag, d.h. das Übersehen von Trendänderungen ein wichtiger Einflussfaktor auf die Genauigkeit auch der hier untersuchten Teilprojektionen ist. Damit kann die Hypothese Z1 m. E. auch für die hier untersuchten Energie- und Emissionsprojektionen als bedeutsam bestätigt werden, wobei aber die Zeitlücke, bestehend aus der zeitlich verzögerten Verfügbarkeit der entsprechenden Daten und dem Vorlauf der

Projektionserstellung, berücksichtigt werden muss. In anderen Fällen wurden allerdings Trendänderungen rasch richtig erkannt, wobei hier vor allem der unveränderte Trend der vor- und nachgelagerten Variablen die entsprechende Voraussetzung lieferte.

7.2.2 Hypothese Z2: Erwartungen zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung/Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen

In Kapitel 4.2.1 wurde als Einflussfaktor auf die Genauigkeit von Projektionen herausgearbeitet, dass die jeweiligen *Erwartungen* zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung ebenfalls einen großen Einfluss auf ihren Inhalt und damit ihre Genauigkeit haben und, dass diese wiederum stark durch die aktuelle Situation, d.h. durch die aktuelle Ausprägung und/oder den aktuellen Trend der wesentlichen Prognosevariablen bestimmt werden, was zu einem *starken Einfluss aktueller kurzfristiger Entwicklungen auf die langfristigen Prognosen* führen kann.

Auch hier ist – wie in Hypothese Z1 – vorwiegend das erkenntnistheoretische Hemmnis zentraler Hintergrund des Fehlers. Die kurzfristige Schwankung einer Variablen wird überinterpretiert, da der aktuelle Eindruck bei allen subjektiven bzw. teilweise subjektiven Methoden häufig einen großen Einfluss auf die Erwartungen des Prognostikers ausübt.

7.2.2.1 Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese Z2

Die folgende Analyse der Hypothese, dass die Reaktion auf aktuelle Trends die Projektionen beeinträchtigen kann, muss in drei Schritte untergliedert werden:

1. Zunächst werden die Fragen näher geklärt, ob die Ersteller der vorliegenden Teilprojektionen überhaupt erkennbar auf aktuelle Trends reagieren, in welcher Weise dies ggf. geschieht und wie ggf. der Zusammenhang zu den Änderungen der Ist-Daten ausgestaltet ist. Denn nur wenn klar ist, dass die Erstellung der Prognosen signifikant auf aktuelle Trends reagiert, kann auch der Einfluss dieser Reaktion auf die Qualität der Prognosen diskutiert werden. Hierfür ist zunächst festzulegen, was überhaupt unter einer aktuellen Veränderung des Trends zu verstehen ist und zweitens, wie die Reaktion der Prognostiker hierauf zu messen ist.
2. Es stellt sich nun die Frage: Entstehen durch die Reaktion auf den kurzfristigen Trend Fehler? Im zweiten Schritt muss daher zunächst festgelegt werden, wie die entsprechenden Fehler definiert und entdeckt bzw. gemessen werden können. Da die Hypothese davon ausgeht, dass durch die (Über-)Reaktion auf aktuelle Trends die Qualität, d.h. vor allem die Genauigkeit der Prognose beeinträchtigt wird, wird hier als Maß die Verbesserung bzw. Verschlechterung der Prognose gegenüber der Vorprognose (d.h. die absolute Vergrößerung oder Verkleinerung des Prognosefehlers) gewählt und die vorliegenden Teilprognose-

sen werden entsprechend auf ihre Verbesserung bzw. Verschlechterung gegenüber der Vorprognose hin analysiert.

3. Anhand ausgewählter besonders signifikanter Beispiele für die Verschlechterung gegenüber der Vorprognose wird schließlich als Synthese untersucht, ob diese Verschlechterung als Reaktion auf einen kurzfristigen Trend zu erklären ist.

7.2.2.2 Basisanalyse: Einfluss aktueller Trends auf Prognosen

7.2.2.2.1 Veränderungstypen von Prognosen gegenüber der Vorprognose

Bei der näheren Analyse sollten drei mögliche Veränderungstypen von Prognosen gegenüber der jeweiligen Vorprognose unterschieden werden:

- Im ersten Fall führen z.B. aktuelle Änderungen in den Basisdaten zu einer *Parallelverschiebung (P)* der Prognose. D.h. eine aktuelle, als kurzfristig eingeschätzte Veränderung einer Variablen führt nicht dazu, dass die Prognose grundsätzlich verändert wird. Vielmehr werden die angenommenen Wachstumsraten beibehalten, aber das Niveau verändert. Diese Art der Reaktion auf eine aktuelle Änderung ist z.B. bei der Prognose absoluter Werte zu erwarten, wenn angenommen wird, dass die kurzfristige Trendabweichung zwar den erwarteten generellen Trend nicht verändern wird, sich aber über den Niveaufekt im absoluten Niveau zukünftiger Jahre auswirken wird.
- Im zweiten Fall werden aktuelle Änderungen zwar als Ausreißer einbezogen, die Prognose kehrt jedoch nach einer Übergangsperiode zur ursprünglichen Prognose zurück (*Rückkehr R*). In diesem Fall findet insofern eine gewisse Änderung der Prognose statt, als dass angenommen wird, dass die kurzfristige Abweichung vom erwarteten Trend durch eine nachholende Entwicklung in den Folgejahren wieder kompensiert wird. Solche Annahmen sind z.B. typisch für die Prognose spezifischer Werte mit Zieljahrbezug, d.h. wenn entsprechende politische Vorgaben existieren, z.B. Effizienzziele, und angenommen wird, dass diese auch erreicht werden.
- Im dritten Fall wird dagegen tatsächlich die Prognose grundlegend verändert, d.h. ggf. aufgrund kurzfristiger Schwankungen werden langfristig Zuwachsraten verändert (*Änderung Ä*) bzw. *ÄÄ* für starke Änderungen von mehr als 5% gegenüber der Vorjahresprojektion.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die hier relevanten Teilprognosen in den einzelnen Energienachfragesektoren. Dabei sind sowohl die spezifischen als auch die absoluten Prognosen dargestellt²¹³.

²¹³ Es wird zunächst nur die Änderungen gegenüber der Vorprojektion dargestellt. Ein Bezug zum aktuellen Trend dagegen wird hier noch nicht hergestellt. D.h., die Projektionsänderungen können auch durch anders begründete Erwartungen über die Zukunft getrieben sein.

Tabelle 7-3: Prognosetyp bezogen auf die Änderung gegenüber der Vorprognose

Haushalte	AEO'93	AEO'94	AEO'95	AEO'96	AEO'97	AEO'98	AEO'99	AEO'00	AEO'01
BIP	0	ÄÄ-	0	P	Ä-	R	P	R	ÄÄ+
EDL/BIP	R/0	ÄÄ+	R/0	Ä+	Ä+	R	P	R	Ä-
EDL	R/0	ÄÄ+	R/0	Ä+	Ä+	R	P	R	Ä-
Strom/EDL	P	Ä-	P	Ä+	P	P	R	Ä+	Ä+
Strom	P	ÄÄ-	P	ÄÄ+	P	P	R	Ä+	Ä+
Brennst./EDL	R/0	ÄÄ+	Ä-	Ä+	P	P	Ä-	R	P
Brennst.	P	ÄÄ+	Ä-	ÄÄ+	P	P	Ä-	R	P
GHD-Sektor	AEO'93	AEO'94	AEO'95	AEO'96	AEO'97	AEO'98	AEO'99	AEO'00	AEO'01
BIP	0	ÄÄ-	0	P	Ä-	R	P	R	Ä+
EDL/BIP	R/0	Ä-	R/0	Ä+	Ä+	ÄÄ+	P	Ä+	P
EDL	P/0	ÄÄ-	P/0	Ä+	Ä-	Ä+	P/0	P	Ä+
Strom/EDL	ÄÄ-	Ä+	R	Ä+	Ä+	P	P	P	Ä+
Strom	ÄÄ-	ÄÄ-	R	Ä+	P	P	P	P	Ä+
Brennst./EDL	P	ÄÄ+	Ä-	Ä+	P	P	Ä-	P	P
Brennst.	P	R	Ä-	ÄÄ+	R	Ä+	P	P	Ä+
Industrie	AEO'93	AEO'94	AEO'95	AEO'96	AEO'97	AEO'98	AEO'99	AEO'00	AEO'01
BIP	0	ÄÄ-	0	P	Ä-	R	P	R	Ä+
EDL/BIP	R+	Ä-	Ä-	P/Ä	Ä+	P	Ä-	R	Ä/P
EDL	R	Ä-	Ä-	P/Ä	P	Ä-	Ä-	R	P
Strom/EDL	R	ÄÄ+	P	R	Ä+	P	P	Ä-	Ä-
Strom	P	ÄÄ-	P	Ä-	Ä+	P	P	R	Ä-
Brennst./EDL	P	ÄÄ+	P	P	P	P	Ä+	R?	P
Brennst.	Ä+	Ä+	P	P	P	P	P	R	Ä-
Pkw-Verkehr	AEO'93	AEO'94	AEO'95	AEO'96	AEO'97	AEO'98	AEO'99	AEO'00	AEO'01
BIP	0	ÄÄ-	0	P	Ä-	R	P	R	Ä+
EDL/BIP	P	Ä+	P	Ä-/R	P	Ä+	Ä+	P	P
EDL	P	P	P	ÄÄ-	R/P	P	Ä+	P	Ä+
Kraftst./EDL	P	P	P	ÄÄ+	Ä+	Ä+	Ä+	P	R
Kraftstoffe	Ä+/P	Ä+/P	P	Ä+	Ä+	Ä+	ÄÄ+	P	P

Ä+/- positive/negative Änderung ggü. Vorprognose; ÄÄ starke Änderung (mehr als +/-5% ggü. Vorjahresprognose), 0 keine Änderung, P Parallelverschiebung, R Rückkehr zur Vorprognose

Quelle: eigene Darstellung

Bei der Interpretation der Verteilung der Änderungstypen zeigt sich zuerst, dass die jeweils zusammenhängenden spezifischen und absoluten Projektionen meist (in 80% aller Fälle) den gleichen Typ aufweisen. Dies ist auch zu erwarten gewesen. In einigen Fällen aber kommt es zu einer solchen Kombination zwischen der spezifischen Prognose (z.B. Stromintensität) und der Prognose eines vorgelagerten Wertes (z.B. EDL), so dass die absolute Prognose (in diesem Beispiel Stromeinsatz) einen anderen Änderungstyp aufweist.

Interessanterweise sind die Änderungen der Teilprognosen innerhalb einer Prognose relativ homogen. Besonders gute Beispiele hierfür sind die AEOs 94 und 96, hier wurden sehr viele Teilprognosen z.T. deutlich geändert.

Zudem ist eine gewisse Periodizität der Änderungen erkennbar. Häufig werden Teilprognosen ein- bis zweimal deutlich verändert, dann wieder über einen gewissen Zeitraum nur parallel verschoben oder es wird bei Abweichungen der aktuellen Daten von einer Rückkehr zur vorherigen Prognose ausgegangen. Dies kann sowohl an den Veränderungen in der Realität liegen, die phasenweise sehr stark waren und dann wieder relativ kontinuierlich verliefen, oder daran, dass die Prognosen nicht jedes Jahr mit gleicher Intensität überprüft wurden, in gewissen Abständen dagegen die zugrunde liegenden Annahmen und Erwartungen deutlicher überprüft wurden.

In den Fällen, in denen die Projektionen nicht grundlegend geändert, sondern eher nur an den aktuellen Trend angepasst wurden (Rückkehr und Parallelverschiebung) überwiegt der Typ der Parallelverschiebung. Eine Häufung der Parallelverschiebung bei absoluten und der Rückkehr bei relativen Prognosen, was man nach der eingangs aufgestellten Zuordnung eigentlich erwarten könnte, lässt sich in den Daten nicht erkennen. Dies ist bei genauerer Analyse aber auch nicht zu erwarten, da beide (die jeweilige spezifische und die absolute) Projektionen inhaltlich und statistisch eng zusammenhängen. Das stärkere Vorkommen der Parallelverschiebung als Typ könnte daher einen Hinweis darauf geben, dass bei der Gestaltung der Prognoseannahmen eher die Entwicklung der absoluten Variablen als die der spezifischen im Vordergrund steht.

7.2.2.2.2 Zusammenhang zwischen aktuellen Veränderungen und Prognosen

Es gibt prinzipiell mehrere Möglichkeiten, wie die hier zu untersuchende Beeinflussung der Prognostiker durch eine Veränderung des aktuellen Trends aussehen könnte. Für die Prognose entscheidend sind, so Hypothese Z2 wie oben erläutert, die zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung bestehenden Erwartungen des/der Prognostiker. Diese können, so die Hypothese, durch aktuelle Entwicklungen maßgeblich beeinflusst werden, da aktuelle Entwicklungen in der Regel intensiver wahrgenommen werden und damit das Urteil stärker beeinflussen als dies bei langfristigeren (aber ggf. für die Prognose relevanteren) Trends der Fall ist. Es ergibt sich also eine Verzerrung durch die Überbewertung der aktuellen Entwicklungen.

Im Folgenden werden zwei mögliche Reaktionen der Prognostiker auf aktuelle Entwicklungen näher analysiert:

- a) Aktuelle Veränderungsrate der zu prognostizierenden Variablen bestimmen maßgeblich das Niveau der prognostizierten Veränderungsrate mit. Dieses ist die von Keilmann (1990, 58) formulierte Grundhypothese. D.h., die aktuellen Veränderungsrate bilden den eigentlichen Kern der Prognoseannahme.
- b) Ebenfalls denkbar ist aber auch der folgende Reaktionsweg: Die eigentliche Prognose beruht ggf. auf Analysen bzw. Erwägungen, die über das bloße Niveau der aktuellen Veränderungsrate hinausgehen. Aber aktuelle Veränderungen gegenüber dem Trend beeinflussen den Prognostiker dennoch und

werden in analoge (nicht notwendigerweise exakt gleiche) Änderungen der Prognose und ggf. ihrer weiteren zugrunde liegenden Annahmen umgesetzt. D.h., hier ist weniger die Korrelation der Steigerungsraten des Ist und der Prognose als vielmehr die der jeweiligen Veränderungen entscheidend.

Zu a): Korrelation zwischen aktuellem Trend und Steigung der Prognose

Die folgende Tabelle analysiert die erste Teilfragestellung, d.h. ob die Steigung (Veränderungsrate) der Prognose im Wesentlichen aus der aktuellen Änderungsrate, d.h. dem aktuellen Trend abgeleitet ist.

Tabelle 7-4: Korrelation zwischen aktuellem Trend und Steigung der Prognose

Industrie Stromeinsatz	Trend der Ist-Entwicklung über die letzten ...			
	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre
AEO+1	0,28	0,38	0,45	0,48
AEO+2	0,24	0,42	0,52	0,59
AEO+3	0,34	0,53	0,52	0,60
GHD EDL	2J	3J	4J	5J
AEO+1	0,05	0,26	0,07	-0,11
AEO+2	0,45	0,68	0,50	0,30
AEO+3	0,84	0,92	0,83	0,70
GHD Stromintensität	2J	3J	4J	5J
AEO+1	0,37	0,37	0,17	0,02
AEO+2	0,16	0,33	0,46	0,28
AEO+3	0,27	0,65	0,65	0,70
GHD Stromeinsatz	2J	3J	4J	5J
AEO+1	-0,22	-0,11	-0,37	-0,57
AEO+2	0,09	0,39	0,13	-0,16
AEO+3	0,47	0,81	0,72	0,46
Pkw-EDL-Intensität	2J	3J	4J	5J
AEO+1	-0,02	0,16	0,19	0,34
AEO+2	0,28	0,52	0,40	0,39
AEO+3	0,59	0,66	0,64	0,55
Pkw-Kraftstoffintensität	2J	3J	4J	5J
AEO+1	0,22	0,31	0,34	0,34
AEO+2	0,30	0,51	0,50	0,53
AEO+3	0,55	0,82	0,77	0,74

AEO+1 etc.: Nachlauf zwischen Prognose und Jahr der Änderung, d.h. AEO+1 = der AEO reagiert nach einem Jahr auf die aktuellen Werte, AEO+2 = nach zwei Jahren etc.; AEO+1': Korrelation nur für solche AEOs in denen keine Rückkehr auf die Vorprognose festgestellt wurde;

Quelle: eigene Berechnung

Dafür wurden zunächst vier verschiedene lineare Trendentwicklungen über 2 bis 5 Jahre gebildet und dabei jeweils die Steigung der Regressionsgeraden für die entsprechenden Zeiträume ermittelt. Diese wurden dann zu den mittleren Zuwachsraten der einzelnen Prognosen in Bezug gesetzt, wobei drei Varianten berücksichtigt wurden: Erstens, die für den Prognostiker verfügbaren Daten und damit der von ihm (hypothetisch) zugrunde gelegte Trend reichen bis zum Vorjahr der Prognose (AEO+1). Zweitens, es liegen zwei bzw. drittens drei Jahre dazwischen und entsprechende aktuellere Trends konnten vom Prognostiker noch nicht berücksichtigt werden. Durch diese drei Varianten werden die beiden Größen Datenverzögerung und Prognosevorlauf berücksichtigt, die in der Regel dafür sorgen, dass die Prognosen die aktuellsten Ist-Trends noch nicht berücksichtigen können.

Die Tabelle 7-4 gibt die entsprechenden Korrelationskoeffizienten für die 6 Variablen wieder, für die entsprechende Korrelationen zwischen dem so definierten ‚aktuellen Trend‘ und der Steigung der Prognose bestehen. Für die übrigen 17 Variablen ergeben sich mit diesem Verfahren dagegen keine Korrelationen zwischen aktuellem Trend und Steigung der Prognose.

Die Ergebnisse der Tabelle 7-4 zeigen, dass für die Variablen Energiedienstleistungen im GHD-Sektor, Stromeinsatz im GHD-Sektor sowie Kraftstoffintensität der Pkw recht klare Korrelationen (Korrelationskoeffizient $>0,8$) bestehen, während sie bei den drei übrigen Variablen mit Werten zwischen 0,5 und 0,66 weniger signifikant sind.

Die Länge des Trends (2, 3, 4 oder 5 Jahre) ist dagegen relativ unerheblich für das Ergebnis. Etwas geringere Korrelationen zeigen sich lediglich im Kurzfristtrend über nur 2 Jahre. Ein Grund dafür, dass die Steigungen der Teilprognosen im Regelfall mit den Trends über 3, 4 und 5 Jahre korrelieren liegt vor allem daran, dass diese Trends untereinander relativ stark korreliert sind.

In Bezug auf die Zeitlücke zwischen dem relevanten Trendende (letzte einbezogene Datenbasis) und dem Prognosestart, d.h. Datennachlauf und Prognosevorlauf zeigt sich ein klares Ergebnis. Die Korrelationen ergeben sich ganz überwiegend für die Variante AEO+3, d.h. bei einer Zeitlücke von 3 Jahren bezogen auf das Veröffentlichungsjahr.

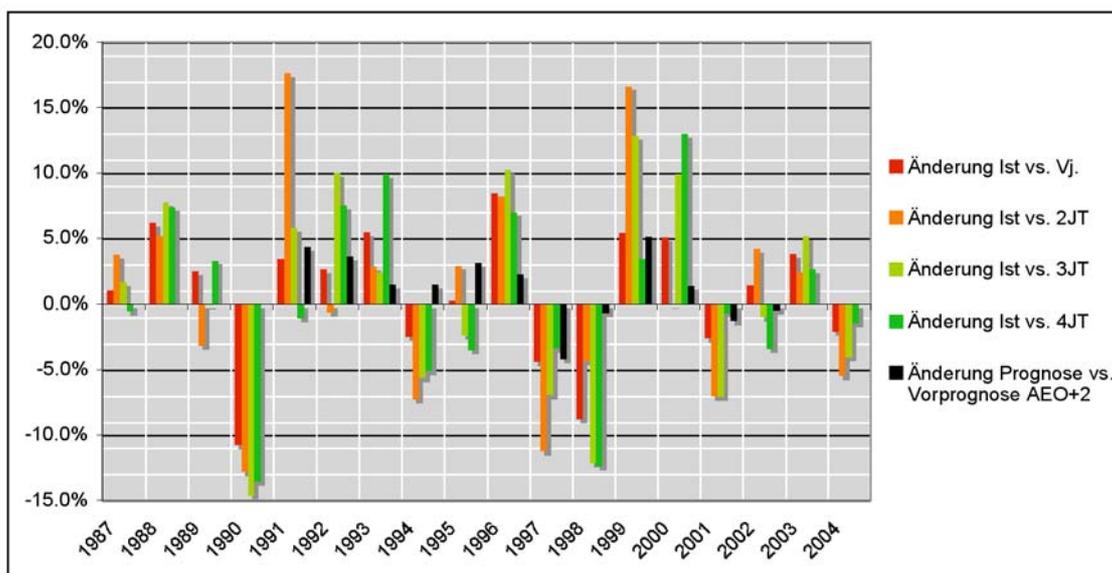
Im Ergebnis zeigt sich also, dass eine direkte Korrelation zwischen aktuellem (um die Zeitlücke bereinigten) Trend und der Steigungsrate der Prognose nur für wenige Variablen vorhanden ist. Auch für die Variablen, bei denen die Korrelation gegeben ist, kann nicht eindeutig geschlossen werden, ob dies auf die eingangs aufgestellte Vermutung, die aktuelle Änderungsrate bilde die zentrale Prognosegröße, zurückzuführen ist oder ob hier nicht auch die Stabilität des Trends eine Rolle spielt, d.h. dass sich die Korrelation nur zufällig als Ergebnis unabhängiger Annahmen – z.B. aufgrund eines stabilen Trends – ergibt.

Zu b): Korrelation zwischen aktuellen Trendabweichungen und Prognoseänderungen

Die zweite Teilhypothese geht dahin, dass vielmehr als die aktuelle Veränderungsrate des Trends die aktuelle Abweichung vom Trend für entsprechende Änderungen der Prognosen gegenüber der jeweiligen Vorprognose verantwortlich sein könnte (siehe die beispielhafte Abbildung unten).

Um dieses Phänomen anhand der Daten identifizierbar zu machen, muss zunächst definiert werden, was unter einer aktuellen Entwicklung im Gegensatz zum Trend zu verstehen ist: Hier wird angenommen, dass sich eine aktuelle Entwicklung durch eine Änderung der Ist-Werte gegenüber dem Vorjahr bzw. einem aktuellen Trend (über 2 bis 4 Jahre) charakterisieren lässt. Hintergrund für diese Annahme ist, dass die Prognostiker in der Regel einen relativ kontinuierlichen Trend, wie er sich aus einer Trendextrapolation über einen kürzeren Zeitraum (2 bis 4 Jahre) ergibt, als ‚normal‘ erwarten würden (s.o.). Stellt sich der tatsächliche aktuelle Wert im Gegensatz dazu als deutlich verändert da, so deutet das auf eine sichtbare Veränderung, also eine sehr aktuelle Entwicklung hin.

Abbildung 7-8: Änderung der Ist-Werte sowie der Projektion gegenüber der Vorjahresprojektion, Brennstoffeinsatz der Haushalte



Quelle: eigene Berechnungen

Die farbigen Balken in Abbildung 7-8 geben jeweils die prozentuale Abweichung des aktuellen Ist Wertes vom Vorjahreswert sowie aufgrund der Annahme eines linearen Trends über 2 bis 4 Jahre zu erwartenden Ist-Wertes. Als ‚aktueller‘ Wert wird hier der letzte verfügbare Wert, zwei Jahre vor der Veröffentlichung der Projektion verwendet.

Die schwarzen Balken in Abbildung 7-8 geben im Vergleich dazu die prozentuale Abweichung (als Mittelwert der Abweichungen für die gemeinsam prognostizierten Jahre) der jeweiligen Projektion von der des Vorjahres an.

Der in der Abbildung beispielhaft dargestellte Vergleich für den Brennstoffeinsatz der Haushalte zeigt, dass die Änderung der Prognose gegenüber der Vorprognose in fast allen Fällen (außer 1994 und ggf. 1995) in der gleichen Richtung erfolgte, in der auch der aktuelle Wert vom linearen Trend abwich.

Die nachfolgende Tabelle 7-5 analysiert diesen Effekt für alle hier berücksichtigten Variablen näher, d.h. inwiefern eine Korrelation zwischen der oben definierten aktuellen Abweichung vom Trend und der daraufhin gegenüber der Vorjahresprognose veränderten Prognose besteht, wobei alle Jahre, also auch die, die keine signifikante Änderung gegenüber dem Trend zeigen, berücksichtigt wurden.

Dabei werden wiederum Varianten gebildet, sowohl was die aktuelle Abweichung vom Trend der vergangenen Jahre (über 1 bis 4 Jahre) angeht, als auch in Bezug auf die Zeitlücke. Zusätzlich wurde hier noch eine Variante mit untersucht, bei der die oben ermittelten Rückkehrprognosen, also Prognosen, deren absolute Werte sich den im Vorjahr prognostizierten wieder annähern, ausgenommen wurden²¹⁴.

Insgesamt zeigt sich bei der Analyse dieser Teilhypothese, d.h. der Korrelationen in der oben stehenden Tabelle 7-5, dass für immerhin 18 der insgesamt 23 Variablen eine zumindest leichte Korrelation zwischen der Abweichung (inklusive Nichtänderung) der aktuellen Werte gegenüber dem kurz- bis mittelfristigen Ist-Trend und der Veränderung der Prognose besteht. D.h., es kann hier ein breiter, allerdings nur leicht ausgeprägter Zusammenhang festgestellt werden.

Im Einzelnen zeigt sich bei der Analyse, dass die Korrelationen häufig nur wenig oberhalb einer Signifikanzschwelle von 0,5²¹⁵ liegen. Auch sind sie weniger häufig vorhanden als bei der vorgenannten Analyse für alle Zeiträume des Ist-Trends. Dies ist sicher auch darauf zurückzuführen, dass aktuelle Veränderungen eher in ihrer Richtung, aber nicht unbedingt in ihrer genauen Größenordnung als Prognoseänderungen übernommen werden. Dies unterstützt auch die in der Teilhypothese formulierte Vermutung, dass der Prognose noch weitere Annahmen zugrunde liegen, so dass aktuelle Änderungen ihren Einfluss nur ‚gefiltert‘ ausüben.

Ähnliche Korrelationsmuster zeigen sich außerdem generell zwischen den spezifischen Entwicklungen sowie den zugehörigen Absolutwerten. D.h., hier zeigen sich im Regelfall ähnliche Entwicklungen.

Die Herausnahme der Rückkehrprognosen aus der Analyse hat nur in einigen Fällen eine Verstärkung der Korrelationen zur Folge. Vor allem im Bereich der Stromintensität und der Stromeinsätze führt sie sogar zu einer Verringerung der Korrelation.

²¹⁴ Hintergrund dafür ist die Überlegung, dass bei diesen Prognosen im Regelfall eine Abweichung von den Vorjahreswerten bzw. häufig auch vom Trend durch höhere/niedrigere Veränderungsrate der Prognose ausgeglichen wird, d.h. dass die Prognoseänderung typischerweise in der entgegengesetzten Richtung verläuft, als die kurzfristige Trendabweichung.

²¹⁵ Hier werden Korrelationen größer 0,5 bzw. kleiner -0,5 als signifikant eingestuft.

Tabelle 7-5: Korrelation aktueller Änderungen der Ist-Werte mit der Änderung der jeweiligen Prognose gegenüber der Vorprognose

BIP	Industrie				Haushalte				GHD-Sektor			
	Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...			
	Vorj.	2JT	3JT	4JT	Vorj.	2JT	3JT	4JT	Vorj.	2JT	3JT	4JT
AEO+1	0,45	0,11	-0,01	0,02	0,45	0,11	-0,01	0,02	0,45	0,11	-0,01	0,02
AEO+2	0,23	-0,17	-0,06	0,13	0,23	-0,17	-0,06	0,13	0,23	-0,17	-0,06	0,13
AEO+3	0,44	0,15	0,36	0,43	0,44	0,15	0,36	0,43	0,44	0,15	0,36	0,43
AEO+1'	0,25	-0,11	-0,38	-0,34	0,25	-0,11	-0,38	-0,34	0,25	-0,11	-0,38	-0,34
AEO+2'	0,25	-0,14	-0,44	-0,34	0,25	-0,14	-0,44	-0,34	0,25	-0,14	-0,44	-0,34
AEO+3'	0,59	0,08	0,33	0,44	0,59	0,08	0,33	0,44	0,59	0,08	0,33	0,44
EDL Intensität	Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...			
	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT
AEO+1	-0,68	-0,62	-0,36	0,43	0,12	0,07	0,08	0,40	0,25	0,27	0,27	0,27
AEO+2	0,10	0,37	0,38	0,20	-0,08	-0,03	0,05	0,02	0,00	0,02	0,04	0,04
AEO+3	0,42	0,30	0,41	0,32	0,10	0,17	0,30	0,02	0,03	0,06	0,09	0,09
AEO+1'	-0,73	-0,66	-0,36	0,37	0,05	0,02	0,03	0,48	0,35	0,52	0,47	0,47
AEO+2'	0,21	0,39	0,38	0,26	-0,05	-0,01	0,01	0,26	0,31	0,22	0,13	0,47
AEO+3'	0,46	0,30	0,53	0,37	0,10	0,12	0,33	-0,28	-0,34	-0,27	-0,14	-0,14
EDL (absolut)	Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...			
	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT
AEO+1	0,22	-0,25	-0,33	-0,19	-0,40	-0,54	-0,32	-0,19	0,71	0,21	0,28	0,42
AEO+2	0,47	-0,15	0,08	0,30	0,56	0,49	0,61	0,69	0,59	0,30	0,49	0,63
AEO+3	0,64	0,35	0,53	0,63	-0,28	-0,05	-0,11	-0,21	0,43	0,67	0,76	0,69
AEO+1'	0,25	-0,41	-0,50	-0,24	-0,41	-0,51	-0,28	-0,22	0,71	0,21	0,28	0,42
AEO+2'	0,25	-0,41	-0,50	-0,24	0,55	0,69	0,57	0,57	0,59	0,30	0,49	0,63
AEO+3'	0,71	0,21	0,51	0,70	-0,64	-0,22	-0,48	-0,56	0,43	0,67	0,76	0,69
Stromintensität	Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...			
	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT
AEO+1	0,44	-0,13	0,13	0,13	-0,36	-0,55	-0,31	-0,30	0,49	0,11	0,44	0,44
AEO+2	0,63	0,38	0,27	0,26	0,68	0,59	0,60	0,70	0,50	0,47	0,34	0,54
AEO+3	0,13	-0,33	-0,18	-0,06	-0,41	-0,34	-0,35	-0,29	-0,22	-0,28	0,04	0,02
AEO+1'	0,44	-0,08	0,21	0,19	-0,37	-0,59	-0,31	-0,31	0,38	-0,01	0,29	0,30
AEO+2'	0,44	-0,08	0,21	0,19	-0,62	-0,74	-0,55	-0,52	-0,22	-0,39	-0,15	-0,22
AEO+3'	0,04	-0,37	-0,20	-0,12	-0,42	-0,34	-0,36	-0,29	-0,23	-0,32	0,18	0,11
Strom-einsatz	Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...			
	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT
AEO+1	0,27	-0,35	0,14	0,28	-0,25	-0,44	-0,22	-0,20	0,52	-0,04	0,27	0,42
AEO+2	0,71	0,60	0,69	0,65	0,59	0,50	0,53	0,67	0,76	0,49	0,57	0,79
AEO+3	-0,21	-0,31	-0,29	-0,25	-0,32	-0,27	-0,21	-0,07	0,10	0,04	0,34	0,41
AEO+1'	0,14	-0,68	-0,05	0,15	-0,23	-0,46	-0,21	-0,15	0,52	-0,03	0,26	0,42
AEO+2'	0,08	-0,71	-0,04	0,17	-0,56	-0,67	-0,50	-0,46	0,34	-0,27	0,03	0,22
AEO+3'	-0,21	-0,30	-0,28	-0,24	-0,31	-0,23	-0,23	-0,07	0,26	0,07	0,48	0,60
Brennstoffint.	Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...			
	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT
AEO+1	0,18	-0,61	-0,48	-0,26	0,44	-0,18	0,43	0,77	0,22	-0,36	0,21	0,39
AEO+2	0,75	-0,02	0,21	0,44	0,69	0,83	0,79	0,45	0,69	0,74	0,59	0,28
AEO+3	0,67	0,37	0,60	0,53	-0,63	-0,09	-0,50	-0,72	-0,47	-0,25	-0,57	-0,52
AEO+1'	0,02	-0,60	-0,51	-0,40	0,71	0,18	0,70	0,86	0,47	-0,14	0,29	0,52
AEO+2'	-0,16	-0,68	-0,52	-0,44	0,71	0,18	0,70	0,86	0,48	-0,15	0,25	0,48
AEO+3'	0,63	0,18	0,53	0,52	-0,76	-0,18	-0,55	-0,69	-0,29	-0,07	-0,26	-0,22
Brennstoffeins.	Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...				Aktuelle Änderung vs. ...			
	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT	Vj.	2JT	3JT	4JT
AEO+1	0,47	0,03	0,24	0,28	0,54	-0,07	0,49	0,79	0,27	-0,16	0,38	0,42
AEO+2	0,44	0,20	0,22	0,13	0,63	0,79	0,72	0,37	0,49	0,73	0,40	0,05
AEO+3	0,13	-0,09	-0,21	-0,30	-0,61	-0,12	-0,51	-0,67	-0,64	-0,52	-0,71	-0,57
AEO+1'	0,23	-0,12	0,16	0,11	0,81	0,32	0,83	0,90	0,49	0,36	0,52	0,44
AEO+2'	-0,33	-0,82	-0,29	-0,36	0,82	0,32	0,81	0,89	0,49	0,36	0,51	0,43
AEO+3'	-0,15	-0,31	-0,49	-0,58	-0,78	-0,40	-0,72	-0,72	-0,50	-0,69	-0,63	-0,38

Aktuelle Änderungen jeweils im aktuellen Jahr gegenüber dem Vorjahr, bzw. dem Trend über die vorhergehenden 2 bis 4 Jahre; AEO+1 etc.: Nachlauf zwischen Prognose und Jahr der Änderung; AEO+1': Korrelation nur für solche AEOs in denen keine Rückkehr auf die Vorprognose angenommen wurde; Beispiel: Korrelation 2JT mit AEO+2: Korrelation zwischen der Änderung der Ist-Werte jedes Jahres der Zeitreihe 1991 bis 2001 mit der Änderung der Prognosen des AEO93 ggü. AEO92 und aller weiteren AEOs entsprechend.

Quelle: eigene Berechnungen

Bezüglich der Zeitlücke zeigt sich ein weniger eindeutiges Bild. Die meisten Korrelationen ergeben sich für eine Zeitlücke von 2 Jahren (AEO+2). Viele aber auch für 3 Jahre und in Einzelfällen für 1 Jahr. Die hier etwas kürzere Zeitlücke als in der vorhergehenden Teilhypothese könnte daraus begründet sein, dass hier nicht absolute Werte, sondern aktuelle Abweichungen vom langfristigen Trend als wesentliche Einflussgröße gesehen werden. Abweichungen vom Trend werden aber häufig schneller sichtbar als die genauen Größenordnungen. D.h., die Prognostiker haben ggf. bereits vorläufige Zahlen oder vorab Kenntnisse von Änderungen, auch wenn das genaue Zahlengerüst noch nicht zur Verfügung steht. Es können also identifizierte Abweichungen schon einen Einfluss auf die Prognose haben, bevor die endgültigen Zahlen als Basisdaten aufbereitet sind und in die Prognose eingehen.

7.2.2.2.3 Zwischenfazit zum Einfluss aktueller Trends auf die Projektionen

Die folgende Tabelle 7-6 gibt eine Übersicht über alle 23 hier betrachteten Teilprojektionen und die in den beiden voran stehenden Abschnitten identifizierten Korrelationen zu aktuellen Trends (Steigung) bzw. der Korrelationen ihrer Veränderung gegenüber der jeweiligen Vorprognose zu den aktuellen Abweichungen der Ist-Werte vom Trend.

Tabelle 7-6: Teilprognosen und Korrelationstypen zum Trend

	Haushalte	GHD	Industrie	Pkw
BIP	(Änderung)			
EDL/BIP	./.	(Änderung)	(Änderung)	Steigung/ (Änderung)
EDL	Änderung	Steigung/ Änderung	Änderung	./.
Strom/EDL	Änderung	Steigung/ (Änderung)	(Änderung)	
Stromeinsatz	Änderung	Steigung/ Änderung	Steigung/ Änderung	
Brennst./EDL	Änderung	Änderung	Änderung	Steigung/ Ände- rung
Brennstoff- einsatz	Änderung	Änderung	./.	./.
Steigung: Steigung der Prognose korreliert mit der Steigung des ‚aktuellen‘ Trends (siehe 7.2.2.2.a) Änderung: Prozentuale Änderung der Prognose gegenüber der Vorprognose korreliert mit der prozentualen Änderung des letzten Ist-Jahres gegenüber dem Trend der vorhergehenden Jahre (s. 7.2.2.2.b) Angabe in (Klammern): Zusammenhang nur schwach ausgeprägt.				

Quelle: eigene Darstellung

In der Übersicht in Tabelle 7-6 zeigt sich, dass für 19 von 23 Teilprognosen ein – wenn auch zum Teil nur schwacher – Einfluss aktueller Trends auf die Prognose bzw. ihre Modifikation gezeigt werden kann. Dabei lässt sich die ursprüngliche Hypothese einer Korrelation zwischen der beobachteten Änderungsrate und der prognostizierten Rate nur in wenigen Fällen zeigen. Häufig dagegen ist ein Zusammenhang zwischen einer Abweichung der aktuellen Ist-Daten vom Trend und der Veränderung der Prognose gegenüber der Vorjahresprognose zu erkennen. Auffällig ist auch, dass die erste

Korrelationsart durchgängig mit der zweiten kombiniert ist. D.h., es besteht bei den Variablen, die einen Zusammenhang zwischen der Wachstumsrate im Trend und der prognostizierten Rate aufweisen, auch immer eine mindestens leichte Korrelation in Bezug auf die Änderung von Trend und Prognose.

Als Zwischenergebnis kann entsprechend festgehalten werden, dass – mit wenigen Ausnahmen – ein Einfluss aktueller Trends auf die Prognosen existiert und auch quantitativ nachweisbar ist. Dabei haben insbesondere aktuelle Veränderungen eine Auswirkung auf die Prognoseannahmen, ein Aspekt, der sich erkenntnis- und wahrnehmungstheoretisch (vgl. Wiedemann 1991, 32²¹⁶) begründen lässt. Gerade aktuelle Entwicklungen, die vom derzeit vorherrschenden Trend abweichen, fallen dadurch natürlich besonders auf bzw. erhalten besondere Aufmerksamkeit. Entsprechend finden sie auch Eingang in die Prognoseannahmen und wirken sich in entsprechenden Änderungen der Prognosen aus.

Allerdings ist damit noch keine Aussage darüber getroffen, ob dieser Effekt die Qualität bzw. den Fehler der Prognose positiv oder negativ beeinflusst. Um diese Frage zu klären werden im Folgenden einige relevante Fälle ausgewählt, in denen die Prognosen gegenüber der Vorprognose signifikant schlechter geworden sind und diese Effekte auf den Einfluss des aktuellen Trends hin analysiert.

7.2.2.3 Analyse: Verschlechterung von Prognosen aufgrund aktueller Entwicklungen

Nachdem im voranstehenden Abschnitt gezeigt wurde, wie Prognosen aufgrund aktueller Entwicklungen, vor allem aktueller Trendabweichungen, verändert werden, sollen in diesem Abschnitt die Teilprojektionen identifiziert werden, die durch eine Reaktion auf aktuelle Veränderungen in ihrer Genauigkeit negativ beeinträchtigt wurden. Dazu werden zunächst alle Teilprojektionen identifiziert, die gegenüber der Vorjahresprojektion verschlechtert wurden (d.h. die größere Trendfehler aufweisen). Danach werden die vier eklatantesten Beispiele darauf hin analysiert, ob die Verschlechterung tatsächlich – wie in Hypothese Z2 vermutet – als Überinterpretation sehr aktueller Entwicklungen erfolgt ist.

7.2.2.3.1 Beispiele für die Verschlechterung von Prognosen

In der folgenden Tabelle ist für alle Prognosevariablen und alle Prognosen von AEO'93 bis AEO'01 angegeben, wie stark der Fehler der Prognose gegenüber der Vorjahresprognose angestiegen ist (Die Fälle in denen die Prognose verbessert wurde, sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Tabelle weggelassen worden).

²¹⁶ Wiedemann betont als wahrnehmungstheoretisches Problem allerdings vor allem den selektiven Einfluss bisheriger Erfahrungen und Präferenzen des bzw. der Projektionsersteller.

Tabelle 7-7: Teilprognosen und Veränderung gegenüber Vorprognose sofern eine Verschlechterung des CO₂-gewichteten Fehlers stattfand

Haushalte	AEO'93	AEO'94	AEO'95	AEO'96	AEO'97	AEO'98	AEO'99	AEO'00	AEO'01
BIP			0 0,1%	P 0,1%	Ä- 0,3%		P 0,3%		Ä+ 0,6%
EDL/BIP	R/0 0,1%		R/0 0,0%		Ä+ 0,4%		P 0,3%		Ä- 0,8%
EDL	R/0 0,1%	ÄÄ+ 0,0%	R/0 0,1%			R 0,0%	P 0,0%		Ä- 0,0%
Strom/EDL	P 0,3%	Ä- 0,9%		Ä+ 0,1%					Ä+ 0,1%
Strom	P 0,4%	ÄÄ- 1,0%		ÄÄ+ 0,0%					Ä+ 0,2%
Brennst./EDL			Ä- 0,1%		P 0,1%	P 0,2%			P 0,1%
Brennstoffe				ÄÄ+ 0,0%	P 0,1%	P 0,1%		R 0,1%	P 0,1%
GHD-Sektor	AEO'93	AEO'94	AEO'95	AEO'96	AEO'97	AEO'98	AEO'99	AEO'00	AEO'01
BIP			0 0,1%	P 0,1%	Ä- 0,3%		P 0,2%		Ä+ 0,5%
EDL/BIP	R/0 0,1%	Ä- 0,3%	R/0 0,1%		Ä+ 0,0%	ÄÄ+ 0,0%		Ä+ 0,0%	P 0,5%
EDL			P/0 0,2%	Ä+ 0,0%	Ä- 0,3%		P/0 0,1%		Ä+ 0,0%
Strom/EDL	ÄÄ- 0,4%	Ä+ 0,1%		Ä+ 0,2%		P 0,2%			Ä+ 0,1%
Strom	ÄÄ- 0,5%	ÄÄ- 0,7%	R 0,0%	Ä+ 0,2%		P 0,1%			Ä+ 0,2%
Brennst./EDL			Ä- 0,0%	Ä+ 0,1%	P 0,1%	P 0,2%	Ä- 0,0%		P 0,1%
Brennstoffe	P 0,1%		Ä- 0,1%		R 0,0%	Ä+ 0,2%			Ä+ 0,2%
Industrie	AEO'93	AEO'94	AEO'95	AEO'96	AEO'97	AEO'98	AEO'99	AEO'00	AEO'01
BIP			0 0,1%	P 0,1%	Ä- 0,5%		P 0,4%		Ä+ 1,0%
EDL/BIP		Ä- 0,2%		P/Ä 0,1%	Ä+ 1,5%	P 0,1%	Ä- 0,3%	R 0,5%	Ä/P 0,0%
EDL					P 0,9%	Ä- 0,3%		R 0,6%	P 2,2%
Strom/EDL		ÄÄ+ 0,6%		R 0,3%	Ä+ 0,1%	P 0,2%			
Strom	P 0,1%	ÄÄ- 0,3%		Ä- 0,3%	Ä+ 0,5%	P 0,3%		R 0,2%	Ä- 0,5%
Brennst./EDL		ÄÄ+ 0,3%		P 0,3%		P 0,5%	Ä+ 0,6%		
Brennstoffe	Ä+ 0,5%	Ä+ 1,1%		P 0,2%	P 0,4%	P 0,7%	P 0,5%		Ä- 0,3%
Pkw-Verkehr	AEO'93	AEO'94	AEO'95	AEO'96	AEO'97	AEO'98	AEO'99	AEO'00	AEO'01
BIP			0 0,1%	P 0,1%	Ä- 0,3%		P 0,3%		Ä+ 0,6%
EDL/BIP	P 0,3%	Ä+ 0,9%	P 0,0%				Ä+ 0,0%	P 0,6%	P 0,3%
EDL	P 0,2%	p 0,1%			R/P 0,0%		Ä+ 0,2%		Ä+ 0,1%
Kraftst./EDL			P 0,0%				Ä+ 0,5%		R 0,4%
Kraftstoffe			P 0,0%		Ä+ 0,0%			P 0,0%	P 0,5%

Änderungstyp (siehe Tabelle 7-3 oben) und Verschlechterung gegenüber Vorprognose in % (CO₂-gewichtet mit CO₂-Emissionsanteil 1998; Vergleich zweier benachbarter Prognosen jeweils über denselben Zeitraum); **fett**: signifikante Verschlechterung um mindestens 0,5% bez. auf die gesamten CO₂-Emissionen.; **Eingeraht**: Vier besonders signifikante Verschlechterungen gegenüber der Vorjahresprognose, die als Beispiele näher analysiert werden.

Quelle: eigene Darstellung

Dabei wird der Fehler als absolute CO₂-gewichtete²¹⁷ Abweichung vom tatsächlichen Wert interpretiert und als Datengrundlage wurden die basisjahrkorrigierten Prognosen verwendet²¹⁸. Anhand der CO₂-Gewichtung kann direkt die Bedeutung des einzelnen Fehlers auf das Gesamtergebnis, die energiebedingten CO₂-Emissionen der USA, abgelesen werden. Um die Veränderung gegenüber der Vorjahresprognose möglichst präzise ermitteln zu können müssen mögliche Einflüsse der Prognosedauer sowie des Prognosezeitraums möglichst ausgeblendet werden, da sie ebenfalls einen Einfluss auf den Fehler haben können (s.u.) und diese potentiellen Einflüsse hier möglichst ausgeschaltet werden sollen.

Zu diesem Zweck wurden die Prognosedauern jeweils vereinheitlicht. D.h. eine Prognose wird jeweils mit der Vorprognose ohne deren letztes Prognosejahr verglichen. Damit haben beide Prognosen die gleiche Prognosedauer, so dass ein Einfluss dieses Faktors vermieden wird. Es bleibt der Periodeneffekt, d.h. dass beide Prognosen die gleiche Länge, nicht aber exakt denselben Zeitraum abdecken. Da es sich aber bei benachbarten Prognosen jeweils nur um ein Jahr Verschiebung handelt, wurde dieser Einfluss als in der Regel nicht gravierend angesehen und akzeptiert²¹⁹.

In der Analyse der Tabelle 7-7 zeigt sich zunächst, dass die Prognosen etwas häufiger verschlechtert als verbessert wurden (in 117 von 207 Fällen bzw. 57%). Dies gilt ebenfalls für fast alle Variablen. Von den jeweils 9 hier berücksichtigten Prognosen waren in der Regeln 5 oder 6 schlechter als die Vorprognose. Nur für wenige Variablen war das Verhältnis mit 4 zu 5 umgekehrt und nur in einem Fall 3 zu 6.

Auch für die einzelnen AEOs gilt, dass für die meisten Variablen mehr Teilprognosen einen größeren Fehler aufwiesen als die jeweilige Vorjahresprognose. Besonders viele Verschlechterungen weisen die AEOs 97 und 01 auf. Mehr verbesserte als verschlechterte Teilprognosen dagegen finden sich bei den AEOs 99 und 2000.

Besonders gravierende Verschlechterungen, hier definiert als eine CO₂-gewichtete Verschlechterung um mindestens 0,5% der gesamten CO₂-Emissionen, dagegen fanden vor allem zwischen den AEOs 93 und 94 statt. In etwa jedem fünften Fall ergaben sich besonders gravierende Verschlechterungen.

²¹⁷ Als Gewichtungsfaktor wurde vereinfachend der Anteil des jeweiligen Subsektors für das Jahr 1998 verwendet. Da sich dieser Wert etwa in der Mitte der hier betrachteten Prognosezeiträume befindet und sich die jeweiligen Anteile ohnehin nur sehr langsam ändern, ist dieser Wert eine gute Annäherung.

²¹⁸ Da die entsprechenden Variablen ab dem AEO'92 vorliegen, ist der AEO'93 der erste, für den gegenüber der Vorjahresprognose Veränderungen angegeben werden können. Für die AEOs ab 2001 ist dagegen die Datenbasis zur Beurteilung der Veränderung zu klein, so dass sie hier nicht berücksichtigt werden.

²¹⁹ Eine vollständige Eliminierung dieses Faktors ist ohnehin nicht möglich, da das erste Prognosejahr der Vorjahresperiode durch die nachfolgende Prognose bereits vorausgesetzt werden konnte und daher für dieses Jahr keine Prognose vorliegt.

7.2.2.3.2 Analyse ausgewählter Teilprognosen mit gegenüber der Vorprognose signifikant höherem Fehler

Im Folgenden sollen die in der Tabelle eingerahmten Beispiele mit besonderer quantitativer Relevanz näher daraufhin analysiert werden, ob die Verschlechterung der Prognosen auf den Einfluss aktueller Trends zurückgeführt werden kann. Dabei werden die eng zusammenhängenden relativen und absoluten Prognosen jeweils gemeinsam betrachtet. Drei der vier ausgewählten Beispiele betreffen dabei den AEO'94 und eines den AEO'97.

Analysebeispiel a) Stromeinsatz der Haushalte, AEO'94

Für den Stromeinsatz der Haushalte ließ sich weiter oben generell zeigen, dass ein statistischer Zusammenhang zwischen aktuellen Trendabweichungen und den Veränderungen der Prognosen besteht. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Höhe des Vergangenheitstrends und der Steigung der Prognose dagegen ließ sich nicht zeigen.

Die voranstehende Tabelle zeigt, dass die Prognose des Stromeinsatzes der Haushalte im AEO'94 signifikant schlechter ausfiel als im AEO'93. Die Vergrößerung des Prognosefehlers betrug 6,9 bzw. 7% des spezifischen bzw. des absoluten Stromeinsatzes. Bezogen auf die Gesamtprognose der CO₂-Emissionen ist der Einfluss dieser Verschlechterung einer Teilprognose signifikant. Er bedeutet eine Verschlechterung der Gesamtprognose um knapp 1%.

Die folgende Abbildung zeigt beide zusammenhängende Teilprognosen, die des spezifischen und die des absoluten Stromeinsatzes der Haushalte. Dabei wurden die (basisjahrkorrigierten) Prognosen der AEOs 92, 93 und 94 ausgewählt. Zusätzlich ist die Realentwicklung angegeben.

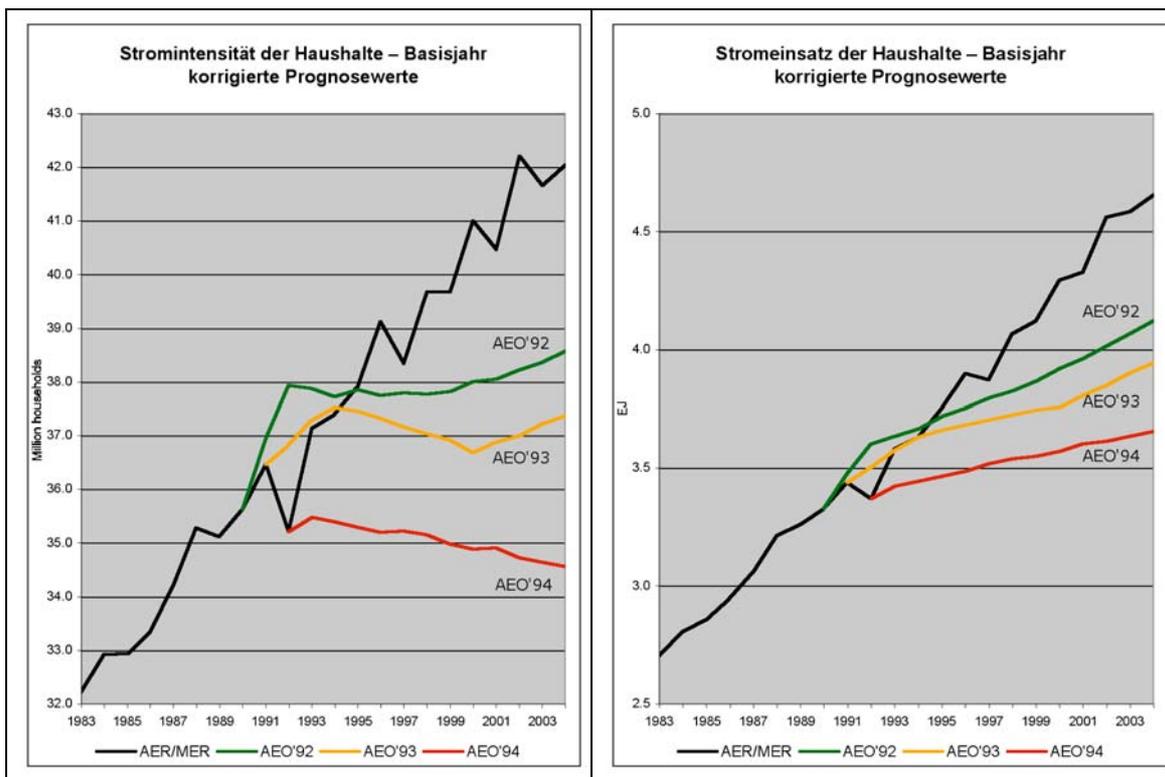
Beide Variablen zeigen ein gut vergleichbares Bild. Bereits die Prognosen des AEO'92 und des AEO'93 gingen von einer leichten Verlangsamung des Stromeinsatzanstiegs in der Zukunft aus. Dies korrespondiert mit der (im Nachhinein falschen) Erwartung, dass sich die spezifischen Stromeinsätze pro Haushalt nach einem nur noch kurzfristigen Anstieg auf einem in etwa stabilen Niveau einpendeln würden.

Bereits die Teilprognosen des AEO'93 zeigen, dass der entsprechende Anstieg und das erwartete Zukunftsniveau der spezifischen Stromeinsätze gegenüber dem AEO'92 leicht reduziert wurden – trotz des kurzfristig in 1990 sogar wieder rascheren Anstiegs der spezifischen Stromeinsätze. Mit Blick auf den mehrjährigen Trend ist hier allerdings zu erkennen, dass dieser vor allem durch den Einbruch des spezifischen Stromeinsatzes im Jahr 1987 und die danach geringeren Wachstumsraten eher rückläufig war. Die Veränderung des AEO'93 steht also in Korrelation mit der Veränderung des Trends, auch wenn die aktuellsten Werte dem entgegen standen.

Vom AEO'93 zum AEO'94 wurde dagegen die Prognose noch weiter verändert. Nun wurden auf der spezifischen Ebene sogar sinkende Stromeinsätze pro Haushalt erwar-

tet und bei den absoluten Stromeinsätzen eine deutlich Abflachung des Wachstumstrends vermutet. Hierdurch wurde die Prognose signifikant verschlechtert, d.h. der Fehler im Vergleich zur Realentwicklung deutlich vergrößert. Parallel zu dieser Entwicklung läuft der starke (rezessionsbedingte) Einbruch der Stromeinsätze pro Haushalt des Jahres 1992²²⁰. Der Rückgang um 3,4% gegenüber dem Vorjahr führte sogar zu einem absoluten Rückgang des Stromeinsatzes der Haushalte, was seit 1983 nicht vorgekommen war.

Abbildung 7-9: Prognosen des spezifischen und absoluten Stromeinsatzes der Haushalte, AEOs 92 bis 94 im Vergleich



Quelle: eigene Berechnungen

Es kann daher angenommen werden²²¹, dass diese signifikante Trendabweichung einen deutlichen Einfluss auf die Gestaltung der Prognose genommen hat, zumal diese Abweichung in die gleiche Richtung wie die bereits im Vorjahr vorgenommenen Modifikation ging. Die signifikante Entwicklung passte zur ohnehin angenommenen Abschwächung des Trends, d.h. sie passte zur ohnehin zu diesem Zeitpunkt herrschen-

²²⁰ Diese Änderung war zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung – zumindest vorab – bekannt. Dies entspricht auch der für die Änderungshypothese (b) gefundenen Zeitlücke von typischerweise 2 Jahren (s.o.).

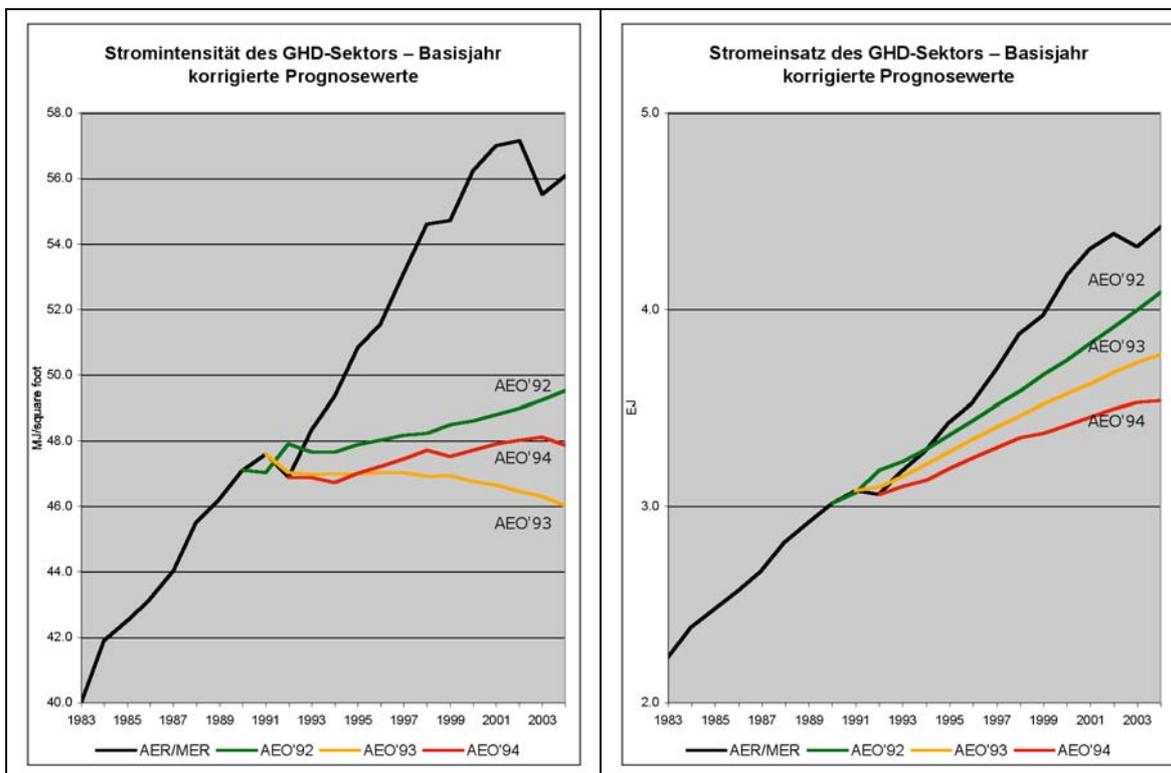
²²¹ Streng genommen handelt es sich hier nur um eine Koinzidenz, der kausale Zusammenhang kann hier nur vermutet werden. Allerdings wird die Koinzidenz zusammen mit weiteren Beispielen als Teil einer „Indizienkette“ verwendet, die dann einen möglichst validen Schluss zulassen sollte.

den Ansicht einer Abschwächung des Zuwachstrends und hatte deshalb womöglich eine besonders hohe Wirkung.

Analysebeispiel b) Stromeinsatz des GHD-Sektors, AEO'94

Im Bereich des relativen wie auch des absoluten Stromeinsatzes im GHD-Sektor wurde eine Korrelation sowohl zwischen der Änderungsrate des Trends und der Steigung der Prognose als auch zwischen aktuellen Trendabweichungen und der Veränderung der Prognose gegenüber der Vorprognose festgestellt (s.o.).

Abbildung 7-10: Prognosen des spezifischen und absoluten Stromeinsatzes des GHD-Sektors, AEOs 92 bis 94 im Vergleich



Quelle: eigene Berechnungen

Ähnlich wie bei den Haushalten verschlechterte sich die Prognose des absoluten Stromeinsatzes im AEO'94 gegenüber der des AEO'93 um mehr als 5% oder um etwa 0,7% bezogen auf die Gesamtprognose des CO₂-Einsatzes der USA.. Die Prognose des spezifischen Stromeinsatzes dagegen verschlechterte sich nur leicht.

In erster Näherung ähneln Prognosen und Realentwicklung, die in der folgenden Abbildung wiedergegeben sind, dem Bild im Haushaltssektor. Alle drei dargestellten Prognosen gehen von einer Abflachung des Wachstumstrend des spezifischen Stromeinsatzes aus sowie von einem Rückgang der Zuwachsraten beim Stromeinsatz.

Im Bereich absoluter Stromeinsatz gleicht das Bild dem im Haushaltssektor. Bereits die Prognose des AEO'93 nimmt geringere Wachstumsraten an als die des AEO'92, dies

möglicherweise als Reaktion auf einen sich leicht abschwächenden Trend. Eine weitere sehr deutliche Rücknahme der Prognose erfolgt dann zum AEO'94.

Hintergrund hierfür könnte wiederum der Stromverbrauchseinbruch sein – wie im Haushaltssektor der erste seit mindestens 1983 – und entsprechend im Sinne einer Trendänderung interpretiert wurde, obwohl es sich nur um eine kurzfristige Abweichung handelte. Etwas unklarer wird das Bild dagegen, wenn die spezifischen Stromeinsätze mit betrachtet werden. Hier wurde die Prognose des AEO'94 gegenüber dem AEO'93 zwar anfänglich aufgrund des absinkenden Trends nach unten korrigiert, über die mittlere Frist wurden aber höhere spezifische Stromeinsätze erwartet als im AEO'93. Hier war also die veränderte EDL-Prognose entscheidend für die veränderte Stromeinsatzprojektion. Dennoch ist auch hier zu vermuten, dass die Abwärtsbewegungen der absoluten und spezifischen Stromverbrauchsprognosen klar durch die Realentwicklung beeinflusst wurden. Denn der Verlauf der Prognosen des AEO'93 deutet darauf hin, dass ggf. schon hier Anzeichen des einbrechenden Stromeinsatzes (z.B. über die Monats- und Quartalsstatistiken, die im Bereich Strom ja relativ zeitnah zur Verfügung stehen) bei der Erstellung des AEO'93 bekannt waren und daher der Effekt bereits teilweise im AEO'93 berücksichtigt war. Der vergrößerte Fehler der Stromeinsatzprognose ist entsprechend zum Teil durch die verringerte EDL-Prognose bedingt.

Auch dieses Beispiel zeigt, dass die Überinterpretation aktueller Trendabweichungen zu zusätzlichen Fehlern der Prognosen führen kann, wobei aber auch andere Effekte eine Rolle spielen können.

Analysebeispiel c) Brennstoffeinsatz der Industrie, AEO'94

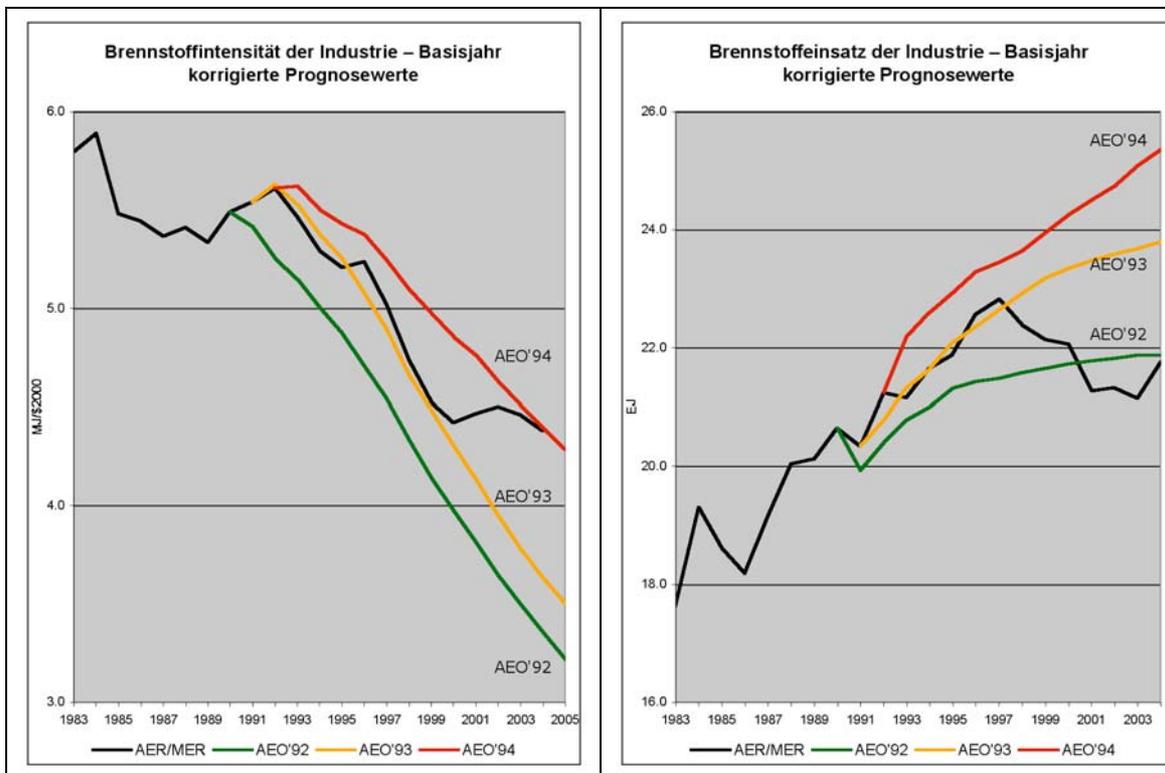
Ein weiteres Beispiel aus dem AEO'94 sind die Brennstoffeinsätze der Industrie. Für die spezifischen Brennstoffeinsätze konnte oben ein Zusammenhang zwischen aktuellen Trendabweichungen und Veränderungen der Prognosen gezeigt werden, für die Prognose des absoluten Brennstoffeinsatzes jedoch war statistisch keine Korrelation zu erkennen.

Allerdings wurde vor allem die Teilprognose des absoluten Brennstoffeinsatzes relevant (um im Mittel 5,7%) gegenüber der Vorjahresprognose des AEO'93 verschlechtert. Bezogen auf das Gesamtergebnis der energiebedingten CO₂-Emissionen bedeutet das immerhin eine Vergrößerung des Fehlers um 1,1%. Die Teilprognose spezifischer Brennstoffeinsatz wurde dagegen deutlich weniger verschlechtert.

Hier zeigt sich für beide Teilprognosen wieder die Abfolge der AEOs. Im Bereich der spezifischen Brennstoffeinsätze wurde ursprünglich eine Fortsetzung eines abwärtsgerichteten Trends erwartet, obwohl die letzten Jahre keinen eindeutigen Trend anzeigten. In den Jahren 1989 bis 1992 zeigte sich im Gegenteil ein Anstieg der spezifischen Verbräuche. Die absoluten Verbräuche stiegen ebenfalls weiter an. Erst 1991 gingen kurzfristig die absoluten Brennstoffeinsätze zurück, die spezifischen Brennstoffeinsätze

hingegen nicht, was sich gut durch die nachlassende Konjunktur im Rezessionsjahr 1991 erklären lässt, die über eine schlechtere Auslastung zu höheren spezifischen Verbräuchen führte .

Abbildung 7-11: Prognosen des spezifischen und absoluten Brennstoffeinsatzes der Industrie, AEOs 92 bis 94 im Vergleich



Quelle: eigene Berechnungen

Parallel zu den ansteigenden spezifischen Verbräuchen wurden die Prognosen verändert, wobei es sich vor allem um Parallelverschiebungen, im AEO'94 gekoppelt mit einer leichten Abschwächung des generellen Rückgangstrends, handelte.

Allerdings führte diese Veränderung zunächst eher zu einer Verbesserung der Prognose des AEO'93 (zumindest über den hier betrachteten Zeitraum). Mit dem AEO'94 wurde die Prognose ein weiteres Mal angepasst, dadurch aber verschlechtert. Deutlicher ist dieser Effekt bei den absoluten Verbräuchen zu sehen, hier führen beide Veränderungen zu einer Verschlechterung der Prognose²²².

Der Hintergrund für die Veränderung könnte hier ebenfalls in der Realentwicklung liegen. Allerdings wurde hier der konjunkturbedingte Einbruch nicht als Trendänderung eingeschätzt sondern es wurde bereits im AEO'93 eine Anpassung nach der Prognose oben angenommen. Wäre dies durch die aktuelle Entwicklung bedingt, so kann das nur darauf zurückzuführen sein, dass schon recht früh zumindest in der Richtung klar

²²² Hier wird der Fehler allerdings durch die Basisjahrkorrektur noch etwas verstärkt.

war, dass die Rückgänge von 1991 durch einen starken Anstieg des Verbrauchs kompensiert werden würden, wonach die Zahlen des Jahres 1992 tatsächlich ausse-
hen.

Die Richtung der Änderung stimmte wiederum gut mit der allgemeinen Wachstumserwartung überein, was einen weiteren Hinweis darauf gibt, dass ggf. die Reaktion auf aktuelle Veränderungen besonders rasch oder deutlich ausfällt, wenn sie zu den allgemeinen Erwartungen passt bzw. zu passen scheint. Einschränkend muss allerdings gesagt werden, dass die Änderungen kurzfristig die Prognose verbesserten und der Fehler erst wirklich deutlich durch die Trendänderung ab 1996 entstand.

Analysebeispiel d) Energiedienstleistungen der Industrie, AEO'97

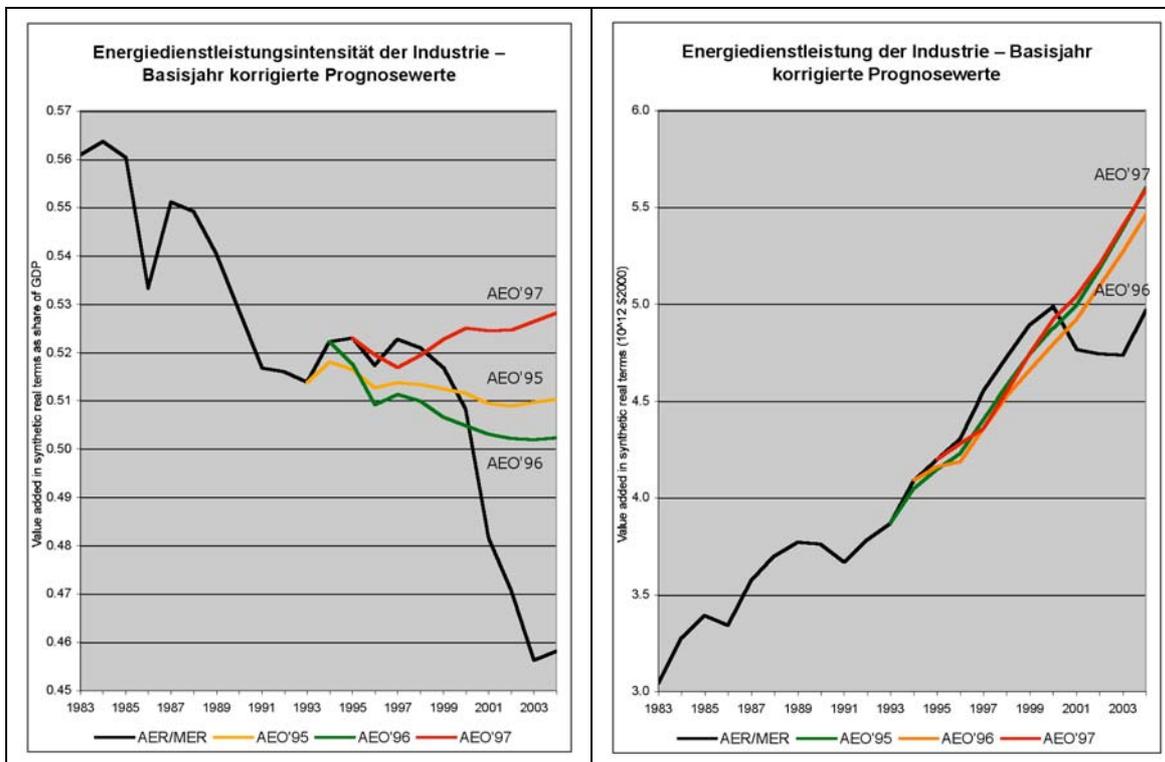
Als letztes Beispiel soll hier die Prognose der Energiedienstleistung der Industrie (Value added) sowie der Energiedienstleistungsintensität bezogen auf das BIP (Anteil des industriellen Value added am BIP) des AEO'97 untersucht werden. Bei beiden Teilprognosen wurde oben eine statistische Korrelation zwischen den Veränderungen gegenüber dem aktuellen Trend und den Veränderungen der Prognose ausgemacht. Im AEO'97 wurde zudem sowohl die Prognose der Energiedienstleistungsintensität um 4,7% als auch die Prognose der Energiedienstleistung um 3% verschlechtert. Bezogen auf das Gesamtergebnis (energiebedingte CO₂-Emissionen) entspricht das Fehlern von 1,5 bzw. 0,9%²²³.

Deutlich lässt sich die Entwicklung der Prognosen in der Abbildung zur Energiedienstleistungsintensität erkennen. Im AEO'95 wurde etwa entsprechend dem Trend der letzten zwei bis drei Jahre (1991 bis 1993) angenommen, dass der Anteil der industriellen Produktion am BIP stagnieren würde. 1994 und 1995 steig der Anteil aber zunächst stärker und dann nur noch schwach wieder an. Der AEO'96 liegt in der Abbildung sogar noch unterhalb des AEO'95, was aber teilweise durch die Basisjahrkorrektur erzeugt wird. Im Grunde handelt es sich eher um eine klassische Rückkehrprognose, deren Startwert überschätzt wurde und die deshalb in der basisjahrkorrigierten Abbildung noch als Verringerung dargestellt wird. Im AEO'97 wird dann aber offenbar die Konsequenz aus der auch noch bis 1995 weiter ansteigenden Energiedienstleistungsintensität gezogen und die Prognose nun verändert. Es wird nun für die Zukunft ein ganz leicht steigender Trend beim Anteil der Industrie am BIP prognostiziert. Diese Prognose ist damit deutlich schlechter als ihre Vorjahresprognose, was sich aber erst ab 1999 zeigt, denn ab diesem Zeitpunkt sanken die Anteile der Industrie am BIP rapide und bis 2003 kontinuierlich. Kurzfristig führte auch hier die Reaktion auf den aktuellen Trend zu einer Verbesserung der Prognose, die sich erst langfristig als Verschlechterung herausstellte. Im Bereich der EDL, d.h. des industriellen Value added, findet sich eine ganz ähnliche Entwicklung, sie wurde allerdings zum Teil durch

²²³ Hier wurde ein Fehler von mindestens 0,5% der gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen als signifikant eingestuft (s.o., Tabelle 7-7).

den entgegengesetzten Fehler bei der Prognose des BIP kompensiert. Hier lieferte die Prognose des AEO'97 sogar noch bis 2000 bessere Ergebnisse, da sich der absolute EDL-Trend erst ab diesem Jahr änderte.

Abbildung 7-12: Prognosen der Energiedienstleistungen in der Industrie, AEOs 95 bis 97 im Vergleich



Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt kann auch hier ein Einfluss des aktuellen Trends auf den Fehler der Prognose vermutet werden, wobei es interessant ist, dass der kurzfristig geänderte Trend zunächst nicht berücksichtigt wurde, sondern die Prognose beibehalten wurde. Erst im zweiten Jahr, als sich der veränderte Trend schon wieder abschwächte wurde die (falsche) Prognoseänderung vorgenommen. Ein Grund für die langsamere Aufnahme des aktuellen Trends in die Prognose könnte darin liegen, dass hier die Änderung nicht unbedingt der zuvor vorherrschenden Prognosehypothese konstanter Anteile der Industrie entsprach.

7.2.2.4 Schlussfolgerungen zu Hypothese Z2: Erwartungen zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung

Insgesamt konnte an vier Beispielen für die quantitativ bedeutendsten Verschlechterungen von Prognosen gegenüber ihren Vorgängern mehr oder weniger deutlich gezeigt werden, dass Verschlechterungen Reaktionen auf vorhergehende Trendänderungen sein könnten. Hieraus lässt sich der begründete Schluss ziehen, dass in mehreren Fällen unangemessene, d.h. übergroße Veränderungen der Prognosen als

Reaktion auf aktuelle (oft neue) Trends zu beobachten sind. Diese (und womöglich weitere hier nicht näher untersuchte) Beispiele belegen damit die Hypothese Z2.

Allerdings scheint der häufigste Zusammenhang nicht wie in der Literatur in Abschnitt 4.2.1 formuliert zwischen der Wachstumsrate des aktuellen Trends und der Wachstumsrate der Prognose zu liegen, sondern in der Veränderung der Prognose als Reaktion auf neue kurzfristige Trends bzw. kurzfristige signifikante Trendänderungen.

Besonders deutlich scheinen die Reaktionen zu sein, wenn die kurzfristige Trendabweichung oder Trendänderung in die Richtung der bisherigen Prognose geht (siehe Beispiel Stromeinsatz der Haushalte). In diesem Fall bestätigt die auffallende jüngste Entwicklung die Erwartung der Prognostiker und wird entsprechend rasch und deutlich aufgegriffen²²⁴. Entgegengesetzt zeigt das Beispiel Energiedienstleistungsintensität der Industrie, dass eine Trendänderung, wenn sie entgegen der zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Prognoseerwartung verläuft, ggf. erst später aufgenommen wird. In diesem Fall wurde zunächst zur ursprünglichen Prognose zurückgekehrt und die Prognose erst angepasst, als sich die Änderung im zweiten Jahr fortsetzte.

Zu beachten ist auch hier die Zeitlücke zwischen der Verfügbarkeit der Daten und der Prognoseveröffentlichung²²⁵. Diese schient hier überwiegend 2 Jahre zu betragen. Allerdings zeigt das Beispiel der Brennstoffeinsätze der Industrie, dass ggf. sehr relevante Trendänderungen in den Sektoren, die über ein gutes statistisches Berichtswesen verfügen (ggf. auch z.B. durch Vorab-Daten), auch eher berücksichtigt werden (sofern sie in die aktuell vorherrschende Hypothese passen).

²²⁴ Vgl. Wiedemann (1991, 32), der „Whishful thinking“ explizit als eine Fehlerursache bei der Szenarioerstellung nennt.

²²⁵ Datennachlauf und Prognosevorlauf.

7.2.3 Hypothese Z3: Stabilität des Trends

Ein dritter erstellungszeitspezifischer Einflussfaktor auf die Genauigkeit einer Prognose, der in Kapitel 4.2.1. festgestellt wurde, ist die Stabilität des Trends: *In Zeiten relativ stabiler Entwicklungen ohne größere strukturelle Veränderungen werden häufig auch genauere Prognosen erstellt.*

7.2.3.1 Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese Z3

Bei der Analyse der Hypothese Z3 muss unterschieden werden zwischen zwei relevanten Zeiträumen:

- Zum einen den *Zeitraum vor der Prognoseerstellung*, da dieser Zeitraum (wie die Analyse der voranstehenden Hypothesen gezeigt hat) einen besonders relevanten Einfluss auf die Gestaltung der Prognoseannahmen hat. So konnte in Hypothese Z2 gezeigt werden, dass erstens bei fast allen Teilprognosen eine Korrelation zwischen aktuellen Trendänderungen und der Veränderung der Prognose besteht. Anhand mehrerer Beispiele in denen Prognosen signifikant verschlechtert wurden, konnte außerdem gezeigt werden, dass dies in der Regel im Zusammenhang mit aktuellen Trendabweichungen stand. Zudem hat die Analyse der Hypothese Z1 gezeigt, dass aktuell bereits in den Daten sichtbare Trendänderungen nicht als solche erkannt wurden und hierdurch signifikante Fehlprognosen verursacht wurden.
- Zum anderen der *Prognosezeitraum*, d.h. der Zeitraum für den die Prognose erstellt wird und an dessen Realentwicklung die Genauigkeit und die Qualität der Prognose gemessen wird²²⁶.
 - Abgesehen von stark um einen Mittelwert fluktuierenden Zeitreihen könnten vor allem zukünftige Trendbrüche einen Einfluss auf die Genauigkeit der Prognosen haben. Es ist einleuchtend, dass diese in der Regel noch schwerer zu erkennen sind als solche Trendbrüche, die sich bereits während des Erstellungszeitraums (s.o.) in den Daten abzeichnen. Zukünftige Trendbrüche können dabei entweder durch eine Veränderung eines aktuell wirksamen Trends zustande kommen (z.B. Sättigungsfunktion oder aber durch die Beendigung einer Regulierung, die zu Effizienzsteigerung geführt hat etc.) oder durch eine echte Störgröße, die in der Regel auf eine Krise oder Innovation zurückzuführen ist.
 - Ebenfalls einen Einfluss auf die Prognosegenauigkeit könnten kurzfristige Trendabweichungen z.B. aufgrund von Rezessionsphasen haben. Hierbei ist dann noch zu unterscheiden, ob die rezessionsbedingte

²²⁶ Während die Charakteristik des Erstellungszeitraums klar als erstellungszeitspezifischer Einfluss gekennzeichnet werden kann, weist die Charakteristik des Prognosezeitraums enge Beziehungen zu den gegenstandsspezifischen Hypothesen G1 und G2 auf (s.u.).

Trendabweichung später durch z.B. höhere Wachstumsraten wieder ausgeglichen wird oder ob es zu einer Parallelverschiebung des Trends kommt²²⁷.

Die Untersuchung der Hypothese, dass die Stabilität des Trends einen Einfluss auf die Prognosegenauigkeit hat, soll hier nach den oben erläuterten Teilaspekten, a) Stabilität des Trends zum Erstellungszeitpunkt und b) Stabilität des Trends während des Prognosezeitraums gegliedert werden.

Die Stabilität des Trends während des Erstellungszeitraums der Prognose wurde bereits in den Hypothesen Z1 und Z2 thematisiert. Im Ergebnis wurde gefolgert, dass sich ein instabiler Trend zum Erstellungszeitpunkt – der entsprechend durch zahlreiche deutliche Abweichungen vom Trend gekennzeichnet ist – auf die Erwartungen der Prognoseersteller auswirkt. Dies kann eine relevante Fehlerursache sein, sofern die Veränderung eines Trends überinterpretiert, oder aber nicht erkannt und ignoriert wird.

Daher liegt hier der Schwerpunkt auf der Untersuchung der Stabilität des Trends während des Prognosezeitraums der jeweiligen Prognose. Die Frage ist hierbei, ob sich die Hypothese bestätigen lässt, dass gewisse – ruhig verlaufende – Zeiträume leichter zu prognostizieren sind als andere unruhigere Zeiträume. Für die Untersuchung dieser Frage wäre es ggf. günstig, wenn eine Realzeitreihe jeweils einer zu betrachtenden Variablen zur Verfügung steht, die deutlich länger ist als die individuellen Prognosezeiträume. Zusätzlich sollten über die gesamte Zeitreihe verteilt Prognosen verfügbar sein. Die Prognosen sollten andererseits möglichst mit analoger Methodik erstellt worden sein, was i.d.R. eher gewährleistet ist, wenn der Gesamtzeitraum nicht zu lang ist²²⁸. Da diese Bedingung mit den hier vorhandenen Daten nicht vollständig erfüllbar ist, sollen hier zwei Untersuchungsansätze parallel genutzt werden:

- Zum einen werden die Prognosevariablen, für die Zeitreihen von 1983 bis 2004, d.h. über 22 Jahre zur Verfügung stehen, beispielhaft in einer ‚Längsschnittanalyse‘ auf unterschiedlich stabile Zeiträume hin analysiert und die Genauigkeit der für diese Zeiträume erstellten Prognosen gemessen (Abschnitt 7.2.3.2).
- Zum anderen werden alle hier im Mittelpunkt stehenden Variablen in Bezug auf ihre Linearität (Bestimmtheitsmaß des linearen Trends) untersucht, und diese werden mit der Genauigkeit der jeweiligen Prognose korreliert (Abschnitt 7.2.3.3).

²²⁷ Siehe zu diesen beiden Möglichkeiten, die auch in der Veränderung von Prognosen reflektiert werden, die Ausführungen zu Hypothese Z2 (Abschnitt 7.2.2.2.1).

²²⁸ Diese Bedingungen stehen, zumindest bei mittel- und langfristigen Prognosen in einem gewissen Gegensatz zueinander und lassen sich daher kaum simultan erfüllen. Anders sieht dies aber z.B. bei den von McNees (1992) untersuchten Konjunkturprognosen über Zeiträume von maximal einem Jahr aus, hier lassen sich beide Bedingungen gut kombinieren.

7.2.3.2 Längsschnittanalyse einer Prognosevariablen

In der Längsschnittanalyse wird die jeweilige Variable über den gesamten zur Verfügung stehenden Zeitraum untersucht, wobei die Genauigkeit der Prognosen während Zeiten stabilerer bzw. instabilerer Trends betrachtet wird. Als Beispiele kommen daher nur diejenigen Variablen in Betracht, für die Prognosen über den gesamten Analysezeitraum zur Verfügung stehen. Das sind hier vor allem die Endenergieeinsatzdaten der Nachfragesektoren:

- Die Brennstoffeinsätze der Industrie lassen sich grob in drei unterschiedlich stabile Zeiträume einteilen (s.u.). Diese Variable wird daher hier als Beispiel näher analysiert.

Nicht geeignet für die Analyse der Hypothese 2 sind dagegen die übrigen Variablen des Endenergieeinsatzes:

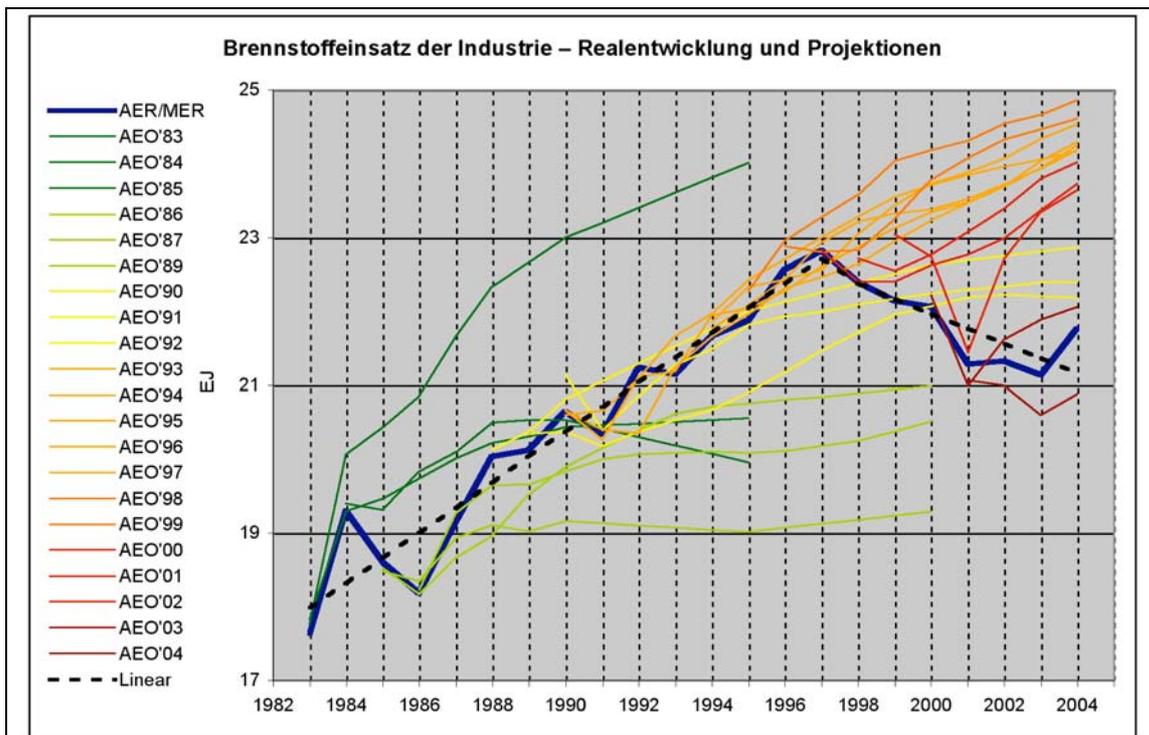
- Der Stromeinsatz der Industrie verlief bis ca. 2001 relativ stabil, danach zeichnet sich ein instabilerer Trend bzw. sogar eine Trendänderung ab. Da dieser Zeitraum aber zu weit am aktuellen Rand der hier betrachteten Zeitreihe liegt, ist er nur eingeschränkt für eine Analyse geeignet.
- Die Brennstoffeinsätze der Haushalte, und ganz ähnlich die des GHD-Sektors, zeigen über den gesamten Zeitraum von 1983 bis 2004 einen recht kontinuierlichen Trend mit starken jährlichen Fluktuationen vor allem aufgrund der Temperaturschwankungen. Unterschiedliche Zeiträume im Sinne der hier vorzunehmenden Längsschnittanalyse sind aber nicht vorhanden.
- Der Stromeinsatz der Haushalte und der Stromeinsatz des GHD-Sektors dagegen zeigen sehr stabile, fast lineare Trends mit lediglich zwei kurzen Ausreißern im Umfeld der Rezessionen 1991 und 2001. Auch hier fehlen entsprechend unterschiedlich stabile Zeiträume²²⁹.

Die Abbildung 7-13 zeigt den Brennstoffeinsatz der Industrie zwischen 1983 und 2004. Dabei lassen sich drei unterschiedlich stabile Zeiträume unterscheiden: Zwischen 1983 und 1989 zeigt sich ein steigender Trend, bei allerdings deutlichen Schwankungen der Zeitreihe. Das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression über diesen Zeitraum beträgt entsprechend 0,695²³⁰. In der darauf folgenden Periode von 1989 bis 1997 setzte sich der Trend fast unverändert fort, allerdings mit nur noch sehr geringen Schwankungen. Das Bestimmtheitsmaß betrug 0,972. Ab 1998 kippt der Trend, die Brennstoffeinsätze sinken, allerdings bei großen Schwankungen. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,731.

²²⁹ Beide Variablen wurden mit Blick auf die Trendabweichungen schon in Hypothese Z2 näher betrachtet. Weitere Details zu diesen Zeitreihen finden sich dort.

²³⁰ Das Bestimmtheitsmaß (= Korrelation der Werte der Trendlinie mit den Realwerten) dient hier als Maß der Stabilität des Trends.

Abbildung 7-13: Trendstabilität und Prognosefehler am Beispiel verschiedener Zeiträume des industriellen Brennstoffeinsatzes



Hier: Unkorrigierte Prognosewerte; Korrelation der Realwerte mit jeweiligem linearen Trend:
 Periode 83 bis 88: 0,695; Periode 89 bis 97: 0,972; Periode 98 bis 04: 0,731

Quelle: eigene Berechnungen

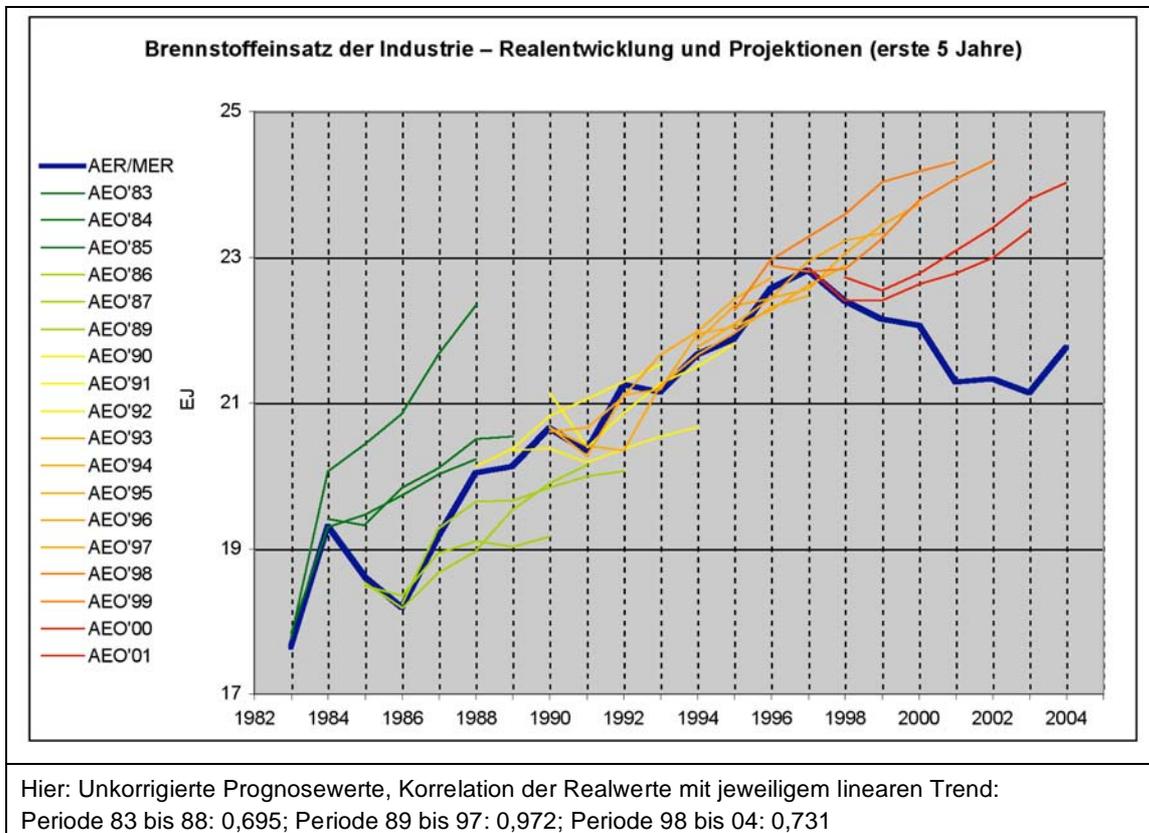
Die 22 Prognosen für diese Variable sind in den Abbildungen farblich in Gruppen gegliedert. Während die Abbildung 7-13 die Prognosen vollständig wiedergibt (z.T. interpolierte Werte) werden in der Abbildung 7-14 jeweils nur die ersten 5 Projektionsjahre dargestellt. Denn durch eine Beschränkung auf den mittelfristigen Zeitraum von 5 Jahren können hier die zeitraumbezogenen Effekte besser isoliert werden, da so die Einflüsse unterschiedlicher Prognosedauern sowie die Tatsache, dass längere Prognosen im Regelfall mehrere der oben identifizierten unterschiedenen Zeiträume abdecken weitest möglich ausgeschaltet werden .

In Tabelle 7-8 sind alle Prognosen und ihre durchschnittlichen Fehler (bezogen auf die Prognosevariable sowie gewichtet mit dem Anteil an den gesamten CO₂-Emissionen) über die ersten 5 Prognosejahre aufgelistet und analog zu den Abbildungen in Gruppen eingeteilt:

- Die ersten drei AEOs (83 bis 85) sind sowohl bezüglich ihres Startjahres als auch des Prognosezeitraums der unruhigen Phase bis 1988 zuzuordnen. Sie

weisen signifikante Fehler auf, wobei vor allem der AEO'84 mit einem mittleren Fehler von fast 10% herausragt²³¹.

Abbildung 7-14: Prognosen des industriellen Brennstoffeinsatzes (jeweils für 5 Jahre)



Quelle: eigene Berechnungen

- Ebenfalls in der instabilen Phase erstellt wurden die drei AEOs 86 bis 89²³². Allerdings decken sich ihre Prognoseperioden zum Teil mit der stabileren Phase ab 1989. Die Fehler dieser Projektionen liegen mit 3,1 bis 3,7% in einer ähnlichen Größenordnung wie die der vorhergehenden Projektionen. Der Einfluss der beginnenden stabilen Periode auf die Prognosegenauigkeit ist daher nur gering.
- Demgegenüber sind die AEOs 90 bis 96 (und teilweise der AEO'97) in einer stabilen Phase erstellt worden und weisen außerdem einen ungebrochen stabilen Trend auch während der hier betrachteten ersten 5 Jahre des Prognosezeitraums auf, wobei der Trend während der Erstellungszeit der AEOs 90 bis 92

²³¹ Hier zeigt der Vergleich mit dem AEO'83, dass die Prognose massiv nach oben korrigiert wurde – womöglich unter dem Eindruck des kurzfristigen massiven Verbrauchsanstiegs des Jahres 1984, der ggf. bei der Erstellung des AEO'84 schon genauer absehbar war. Insofern ist der Fehler nicht allein durch die instabile Zeitreihe sondern ggf. zumindest teilweise auch durch die damit zusammenhängende Überinterpretation einer aktuellen Trendabweichung (Hypothese Z2) zu begründen.

²³² Ein AEO'88 existiert aufgrund einer Umstellung der Benennungskonvention nicht.

noch etwas instabiler war als ab dem AEO'93. Diese AEOs weisen – für ihre jeweils ersten 5 Prognosejahre – einen deutlich geringeren Fehler von im Mittel 2,4% auf. Einzelne Prognosen allerdings liegen mit Fehlern von 3,8 bzw. 4% (AEO'91, AEO'94) deutlich darüber und damit sogar im Bereich der Fehler, wie sie in anderen Perioden häufig sind²³³.

Tabelle 7-8: Vergleich der Genauigkeit der verschiedenen AEOs für die Teilprognose Brennstoffeinsatz der Industrie

Projektion	Durchschnittlicher Fehler über die ersten 5 Jahre abs. / CO ₂ -gewichtet		1./ 5. Prognosejahr		Kommentar
AEO'83	3.1%	0.7%	1984	1988	Unruhiger Startzeitraum und unruhiger Prognosezeitraum, → tlw. hoher Prognosefehler
AEO'84	9.8%	2.1%	1984	1988	
AEO'85	3.9%	0.8%	1985	1989	
AEO'86	3.5%	0.7%	1986	1990	Unruhiger Startzeitraum, überwiegend linearer Prognosezeitraum → mittlerer Prognosefehler
AEO'87	3.1%	0.6%	1987	1991	
AEO'89	3.7%	0.8%	1988	1992	
AEO'90	1.2%	0.2%	1989	1993	Linearer Startzeitraum und linearer Prognosezeitraum → überwiegend geringer Prognosefehler
AEO'91	3.8%	0.8%	1990	1994	
AEO'92	2.7%	0.6%	1991	1995	
AEO'93	1.0%	0.2%	1992	1996	Linearer Startzeitraum und linearer Prognosezeitraum → überwiegend geringer Prognosefehler
AEO'94	4.0%	0.8%	1993	1997	
AEO'95	1.2%	0.3%	1994	1998	
AEO'96	2.1%	0.4%	1995	1999	
AEO'97	3.4%	0.7%	1996	2000	
AEO'98	6.1%	1.2%	1997	2001	
AEO'99	8.5%	1.6%	1998	2002	Linearer Startzeitraum, unruhiger Prognosezeitraum → hoher Fehler (ggf. Einfluss der Trendänderung)
AEO'00	5.8%	1.1%	1999	2003	Unruhiger Startzeitraum und unruhiger Prognosezeitraum, → hoher Prognosefehler
AEO'01	6.9%	1.2%	2000	2004	
Durchschnitt	4.1%	0.8%			

Quelle: eigene Berechnungen

- Eine weitere hier relevante Gruppe bilden die AEOs 00 und 01. Sie liegen sowohl was das Startjahr als auch was die Prognoseperiode angeht in der letzten, wieder instabilen Phase. Diese beiden Projektionen weisen hohe Fehler von 5,8 bzw. 6,9% auf. Allerdings ist hier vermutlich die Instabilität des Realverlaufs nicht der einzige Grund für den Fehler. Die zwischen 1997 und 1998 zumindest zeitweilig eingetretene Trendwende vom ansteigenden zum sinkenden Trend ist, wie die Abbildungen oben zeigen, nicht in die Projektionen übernommen worden. Hier ist also ggf. auch ein Einfluss des Assumption drag (Hypothese 1a) vorhanden, der zumindest einen Teil der Fehlerhöhe erklären sollte.

²³³ Der AEO'97 weist ebenfalls einen höheren Fehler auf, dies liegt allerdings daran, dass die Prognose zeitlich in die nächste Phase nach dem Trendbruch hineinragt.

- Die AEOs 98 und 99 werden hier nicht in die Analyse einbezogen, da ihr Fehler überwiegend auf die Trendänderung am Beginn ihrer Prognoseperiode zurückzuführen sein dürfte.

Am Beispiel der kurz- bis mittelfristigen Prognosen (bis zu einem Zeitraum von 5 Jahren) der industriellen Brennstoffeinsätze lässt sich also zeigen, dass die Prognosen, die in der stabileren Phase erstellt wurden und deren Prognoseperiode sich ebenfalls mit der stabilen Periode deckte, tatsächlich im Schnitt niedrigere Fehler aufweisen als die Prognosen, deren Erstellungszeitraum und Prognoseperiode in den instabileren Zeiträumen lag. Allerdings gilt diese Beobachtung nicht ausnahmslos. In zwei von acht Fällen lag der Prognosefehler dennoch in der Größenordnung der Fehler der Prognosen während der instabilen Phasen. Insbesondere in den instabilen Phasen sind vor allem bei den Prognosen mit besonders hohen Fehlern weitere erstellungszeitspezifische Einflussfaktoren mitbestimmend für die Fehlerhöhe. Dies ist auch logisch, da die Verkennung einer Trendänderung bzw. die Überinterpretation einer kurzfristigen Änderung (Hypothesen Z1 und Z2) vor allem in Phasen mit stärkeren Schwankungen der Realdaten zu erwarten sind.

7.2.3.3 Vergleichende Analyse verschiedener Prognosevariablen

Ein weitere Möglichkeit, der Hypothese Z3 nachzugehen, ist der Vergleich verschiedener Prognosevariablen in Bezug auf die Stetigkeit der zugrunde liegenden Realentwicklung und die durchschnittlichen Prognosefehler²³⁴. Die Fehler werden hier nur relativ in Bezug auf die jeweilige Variable ausgewiesen, um einen entsprechenden Vergleich zwischen Variablen mit unterschiedlichen Anteilen in Bezug auf die Gesamtprojektion zu ermöglichen.

Hierzu werden im Folgenden die wesentlichen hier näher untersuchten Variablen, BIP, EDL-Intensität des BIP sowie absolute EDL, spezifischer und absoluter Strom- und Brennstoffeinsatz der vier Nachfragesektoren Haushalte, GHD-Sektor, Industrie sowie Pkw untersucht.

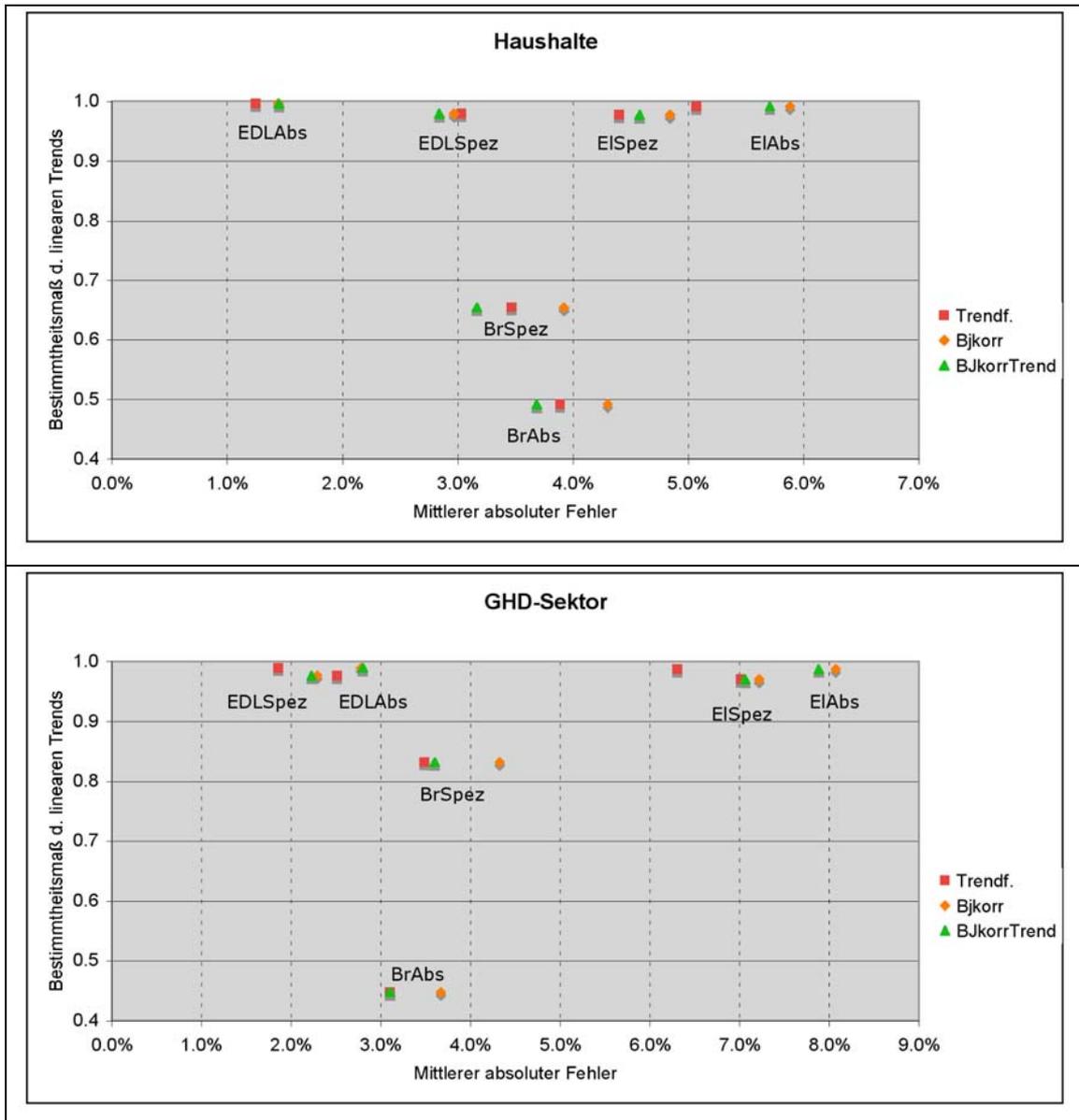
Dazu wird zunächst die Linearität des realen Trends jeder Variablen anhand des Bestimmtheitsmaßes der linearen Regression ermittelt. Dieser Wert wird dem mittleren Fehler aller Projektionen gegenübergestellt. Dadurch, dass für alle Variablen der gleiche Zeitraum (1990 bis 2004) zugrunde gelegt wurde und für alle Variablen die gleichen Projektionen zur Verfügung stehen, können einige störende Effekte, wie z.B. der Periodeneffekt oder der Effekt der Prognosedauer verringert werden. Sie bleiben aber durch die unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Projektionen mit unterschiedlichen Prognosedauern sowie unterschiedlichen relevanten Zeiträumen latent im

²³⁴ Als Prognosefehler werden sowohl der absolute Rohfehler, d.h. die absolute Abweichung zwischen Prognosewert und Realwert in einem Jahr, sowie der absolute basisjahrkorrigierte Rohfehler als auch der absolute Trendfehler, d.h. die absolute Abweichung zwischen der auf den Trendwert des Basisjahres korrigierten Prognose vom Trendverlauf der Realentwicklung dargestellt.

Vergleich enthalten und müssen daher bei der Interpretation der Werte soweit möglich mit berücksichtigt werden.

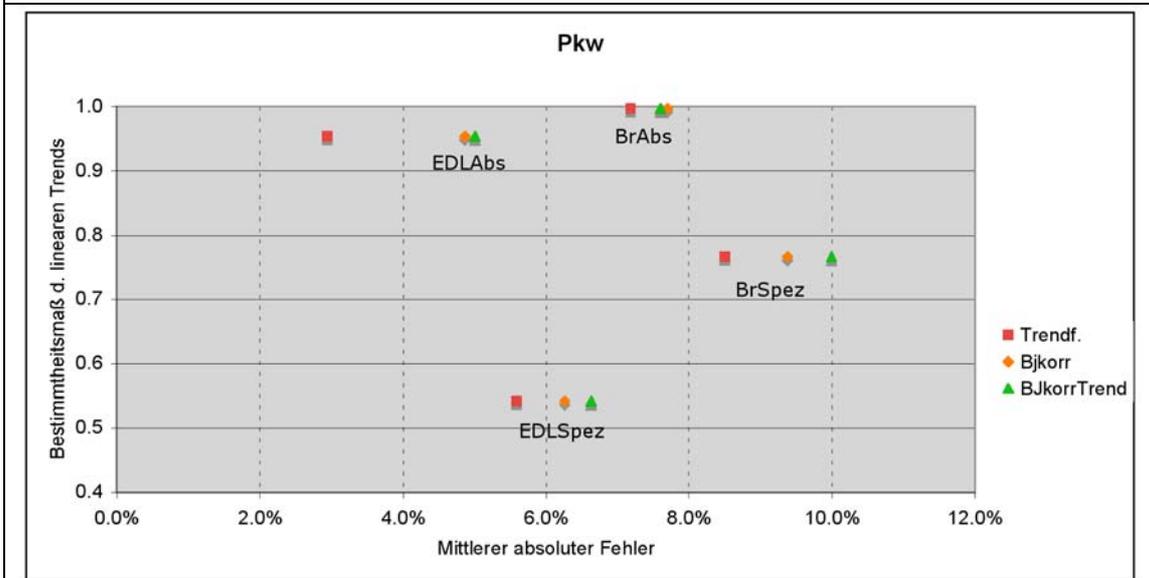
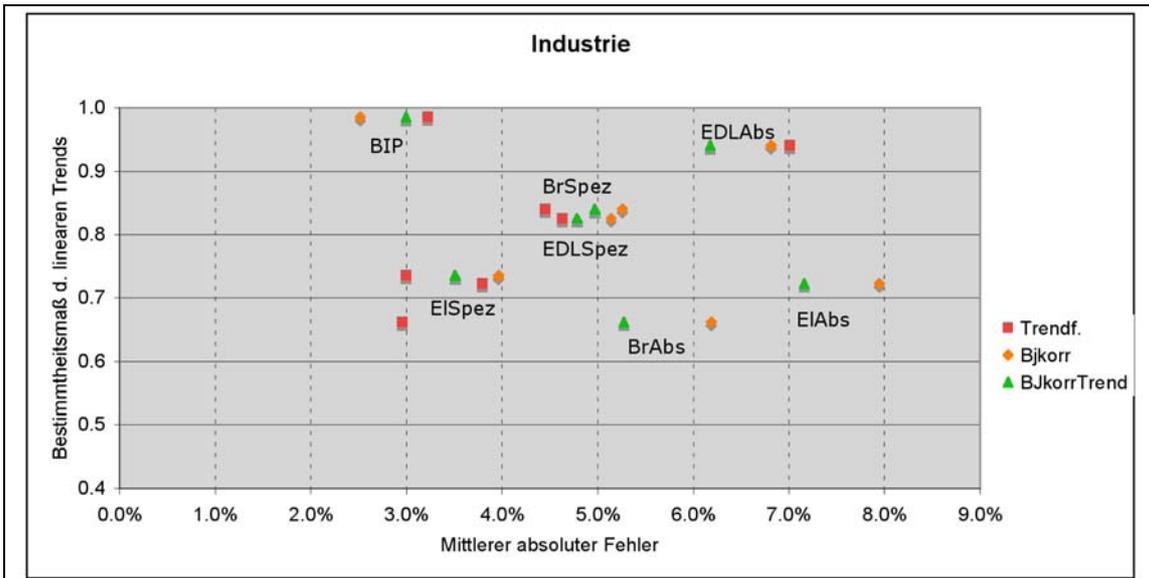
Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse dieser Analyse für die einzelnen Nachfragesektoren.

Abbildung 7-15: Zusammenhang zwischen Trendstabilität und Prognosefehler, nach Sektoren



Erläuterungen siehe Ende der Abbildung

Fortsetzung von Abbildung 7-15



Abkürzungen:

Bjkorr: Basisjahrkorrigierter Fehler vs. reale Zeitreihe;

BJKorrTrend: Basisjahrkorrigierter Fehler vs. Trend;

Trendf.: Trendfehler (= BjkorrTrend aber Basisjahrkorrektur bezogen auf Trendwert nicht Realwert im Startjahr.

EDLAbs: Absolutwert der EDL; EDL spez: BIP-spezifische EDL-Intensität; EIAbs: Stromeinsatz; BrAbs: Brennstoffeinsatz; EISpez: Stromintensität bezogen auf die EDL; BrSpez: Brennstoffintensität bezogen auf die EDL

Quelle: eigene Berechnungen

Die Prognosen des Haushaltssektors sowie des GHD-Sektors zeigen hier eine hohe Übereinstimmung.

- Die Entwicklungen von Energiedienstleistung und Stromeinsatz weisen, sowohl spezifisch als auch absolut eine hohe Linearität auf, mit Bestimmtheitsmaßen der linearen Regression von über 0.95. Die Fehler dagegen weichen voneinan-

der ab. Die EDL-Projektionen weisen im Mittel geringe Fehler zwischen 1 und 3% auf, während die Projektionen des Stromeinsatzes deutlich höhere Fehler von 4 bis 8% aufweisen.

- Die Entwicklungen des Brennstoffeinsatzes sind deutlich instabiler, die absoluten Werte weisen Bestimmtheitsmaße der linearen Regression von unter 0,5 auf, die der spezifischen Werte liegen höher. Offensichtlicher Hintergrund für diese geringe Korrelation zum linearen Trend ist dabei vor allem der Einfluss der Temperatur auf den in diesen Sektoren den Brennstoffeinsatz dominierenden Raumwärmebedarf. Trotz dieser Instabilität der Realentwicklung liegen die Fehler mit überwiegend 3 bis 4% im Mittelfeld der hier analysierten Projektionen. Hinter den kurzfristig stark schwankenden Werten lag offenbar ein relativ stabiler Trend, der sich mit gutem Erfolg prognostizieren ließ. Dies zeigt sich z.B. auch in den durchgängig niedrigeren Fehlern im Vergleich zum linearen Trend für die brennstoffbezogenen Variablen.

Etwas weniger einheitlich sind die Ergebnisse für die beiden übrigen Sektoren, Industrie und Pkw-Verkehr. Ergebnisse, die hier denen in den Sektoren Haushalte und GHD gleichen, sind:

- In dieser Darstellung ist keine direkte Korrelation zwischen der Linearität des Trends (gemessen über die gesamte Periode) und dem mittleren Fehler der Projektionen zu erkennen.
- Es gibt in allen Sektoren Variablen mit hoher Linearität und relativ geringem Fehler (im Pkw-Bereich ist das Fehlerniveau allerdings etwas höher als in den übrigen Sektoren).
- Es gibt aber gleichzeitig auch in allen Sektoren Variablen mit hoher Linearität und hohem Fehler.
- Variablen mit mittlerer oder nur geringer Linearität der Zeitreihe weisen einem mittleren oder hohen Fehler auf.

Aus diesen Beispielen kann also gefolgert werden, dass ein stabiler Trend zwar offenbar Voraussetzung für einen kleinen Prognosefehler ist, jedoch keine Gewähr dafür bietet.

7.2.3.4 Schlussfolgerung zu Hypothese Z3: Stabilität des Trends

Aus der Längsschnittanalyse der kurz- und mittelfristigen Projektionen des industriellen Brennstoffeinsatzes für den Zeitraum 1983 bis 2004 und aus der vergleichenden Analyse aller hier detailliert projizierten nachfrageseitigen Variablen für den Zeitraum von 1992 bis 2004 lässt sich folgern, dass die Stabilität des Trends (hier ausgedrückt als Bestimmtheitsmaß des linearen Trends) einer Variablen durchaus einen relevanten Einfluss auf die Genauigkeit der entsprechenden Projektionen – die während und vor allem für diesen Zeitraum gemacht werden – hat:

- Der Vergleich der verschiedenen Projektionen zeigt, dass ein **stabiler Trend eine wichtige Voraussetzung für geringe Prognosefehler ist**. Niedrige Prognosefehler kommen im Vergleich aller Variablen nur bei solchen vor, die ein hohes Bestimmtheitsmaß des linearen Trends aufweisen. Diese Beobachtung wird auch durch die Ergebnisse der Längsschnittanalyse unterstützt. Geringe Fehler finden sich auch dort nur in den Prognosen, deren Erstellungszeit *und* deren Prognoseperiode sich weitgehend oder vollständig mit der Phase eines stabilen linearen Trends deckten.
- Umgekehrt gilt diese Aussage jedoch nicht. Dies zeigen sowohl die Ausreißer in der Längsschnittanalyse als auch vor allem der Vergleich der verschiedenen Variablen. Hier sind nicht nur die Variablen mit den niedrigsten sondern auch die mit den höchsten Prognosefehlern stark mit einem stabilen Trend korreliert. D.h., ein **linearer Trend** über die prognostizierte Periode ist zwar eine Voraussetzung, aber **keine Garantie für kleine Prognosefehler**.
- Prognosen während und für instabile Perioden dagegen weisen typischerweise eher mittlere, z.T. auch hohe Fehler auf. Dies zeigt, dass **ein instabiler Trend in der Regel die Prognosegenauigkeit negativ beeinflusst**. ‚Relativ gute‘ Projektionen sind bei mittlerer und hoher Instabilität des Trends offenbar kaum realisierbar²³⁵. Dennoch gibt es auch hier große Unterschiede zwischen mittleren und hohen Fehlern.

Diese Schlussfolgerungen bestätigen die Hypothese Z3 in der in der Literatur angegebenen Form für die Projektionen der AEOs in vollem Umfang. Die Stabilität der Realentwicklung, vor allem während der Prognoseperiode, ist eine wichtige Voraussetzung, aber keine Garantie für niedrige Fehler. Dies gilt ebenfalls für den Zeitraum vor und während der Prognoseerstellung, wobei dieser Effekt eng mit den in Hypothesen Z1 und Z2 analysierten Fehlerquellen zusammenhängt.

7.3 Analyse methodischer und prognosespezifischer Faktoren

7.3.1 Hypothese P1: Länge der Prognoseperiode

Die Länge der Prognoseperiode, d.h. der Prognosehorizont hat nach verschiedenen Untersuchungen ebenfalls einen Einfluss auf die Prognosegenauigkeit (vgl. Kap. 4.2.2). Allgemein stellen diese Analysen fest: *Je länger der Prognosehorizont, desto ungenauer ist die Projektion.*

²³⁵ Dies lässt sich zum Teil damit erklären, dass die Prognosen generell relativ kontinuierliche Entwicklungen projizieren, und kurzfristige, z.B. wetterbedingte Schwankungen explizit ausblenden. Allein hierdurch ergibt sich ein höherer absoluter Rohfehler. Bei den beiden anderen, gegenüber dem linearen Trend bestimmten Fehlermaßen ist dieser Effekt jedoch ausgeschaltet.

Diese Schlussfolgerung ist logisch erklärbar. Allerdings müssen hier zwei grundsätzlich verschiedene Fälle unterschieden werden.

- Der erste denkbare Effekt ist vor allem bei relativ stabilen Entwicklungen der Realwerte zu erwarten. Wenn sich die Realwerte ohne große Brüche kontinuierlich weiterentwickeln, dann wird eine Prognose, die einen steileren oder schwächeren Trend prognostiziert hat, ‚automatisch‘ mit zunehmender Prognosedauer immer ungenauer. Dies gilt häufig auch dann, wenn eine Trendänderung in der Zukunft prognostiziert wird (sofern diese in der gleichen Richtung abweicht wie die übrige Prognose). Dieser Effekt wäre also direkt mit der Länge der Prognoseperiode zu erklären. Der Fehler selbst wird durch einen anderen Grund verursacht, aber die Tatsache, dass er mit der Zeit immer größer wird, lässt sich auf die Länge der Prognoseperiode zurückführen.
- Ein anderer Effekt lässt sich entweder auf ontologische Einflüsse, d.h. auf Unregelmäßigkeiten in der Realentwicklung, sowie echte Trendänderungen²³⁶ zurückführen. Diese z.B. durch Chaos, freien Willen oder Innovation verursachten Einflüsse sind über einen längeren Zeitraum wahrscheinlicher als über kürzere Zeiträume (Rescher 1998, 77). Damit steigt bei einem langen Prognosehorizont auch die Wahrscheinlichkeit, dass signifikante, vorher nicht prognostizierte Ereignisse eintreten, die den Fehler vergrößern. Weiterhin ist es denkbar, dass die der Projektion zugrunde gelegten Gesetzmäßigkeiten bzw. Regelmäßigkeiten vielleicht kurzfristig stabil und von hoher Aussagekraft sind, sich längerfristig aber verändern, z.B. aufgrund von überlagernden anderen Trends oder aufgrund von Innovationen, bzw. dass die gegenwärtige Erkenntnis zwar für die Beschreibung kurzfristig richtiger Zusammenhänge, nicht aber für die Formulierung längerfristig gültiger Sätze ausreicht.

Allerdings gibt es auch Gegenbeispiele, d.h. Aspekte, die langfristige Projektionen zum Teil leichter machen als kurzfristige. Rescher bezeichnet diesen Aspekt als Dämpfung (1998, 78) So sind z.B. Umschlagsraten (Reinvestitionsraten) von Geräten, Anlagen und Gebäuden etc. für längere Zeiträume oft leichter zu prognostizieren als für kurze Zeiträume. Die Aussage, dass bis zu einem bestimmten Zeitpunkt alle dieser Anlagen ihre Lebensdauer überschritten haben werden und daher durch neue ersetzt sein werden, ist nämlich häufig einfacher zu treffen, als eine Aussage über die kurzfristige Reinvestitionsdynamik, d.h. bis zu welchem Zeitpunkt dies bei einem bestimmten Anteil der Fall gewesen sein wird. Letztere erfordert häufig erheblich mehr Detailwis-

²³⁶ In Hypothese Z1 werden Trendänderungen analysiert, die bereits in den Daten sichtbar geworden sind, aber dennoch nicht in die Prognose aufgenommen werden. Häufig noch schwerer sind Trendänderungen zu prognostizieren, die vollständig in der Zukunft liegen. Sie haben dann, wenn sie auftreten häufig einen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der bisherigen Prognosen, vgl. auch Hypothese Z3.

sen und ggf. ein wesentlich differenzierteres Modell als die langfristige Prognose²³⁷. Auch für kurzfristige ökonomische Prognosen zeigt sich in der Analyse von McNees (1992), dass die länger laufenden Prognosen (über ein Jahr) oft genauer sind als die kürzeren, monatlichen bzw. Quartalsprognosen²³⁸.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass viele empirische Befunde und auch die offensichtliche Logik dafür sprechen, dass Prognosen mit steigendem Prognosehorizont immer ungenauer werden. Dies gilt sowohl für Fälle, in denen schwer voraussehbare Unregelmäßigkeiten in der Zukunft liegen – in diesen Fällen drückt diese Hypothese also vor allem eine Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen anderer Fehler aus –, als auch für Fälle, in denen die Realentwicklung linear verläuft. Die Hypothese ist aber nicht zwingend für alle Sachverhalte zutreffend. D.h., die Länge der Prognoseperiode kann zwar ein Maß bzw. ein Indikator für die zu erwartende Ungenauigkeit einer Prognose sein, sie ist aber nicht immer die Ursache für den Fehler.

7.3.1.1 Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese P1

Im Folgenden wird anhand der hier vorhandenen Datenbasis analysiert, ob, und wenn ja, in welcher Form, die Hypothese P1 auch für die hier prognostizierten Sachverhalte zutreffend ist und ob es Unterschiede zwischen einzelnen Variablen gibt und ggf. welche quantitative Bedeutung die Hypothese für die festgestellten Prognoseungenauigkeiten hat.

Um eine möglichst lang laufende und damit aussagekräftige Datenbasis zu erhalten werden im Folgenden nur die Variablen näher betrachtet, für die entsprechend lange Zeitreihen von 1983 bis 2004 sowohl für die Realentwicklung als auch entsprechende Projektionen vorliegen.

Die Analyse verfolgt zwei Ansätze:

- a) Zunächst werden alle geeigneten Variablen *vergleichend analysiert*. Hierfür wird für jede Variable für verschiedene Projektionshorizonte der mittlere absolute Trendfehler ermittelt, der für jede Variable ein entsprechendes zeitabhängiges Maß der Genauigkeit der Projektionen darstellt. D.h. es wird ermittelt, wie sich der Projektionsfehler in Abhängigkeit der Prognosedauer, als Mittelwert über alle Projektionen für die jeweilige Variable entwickelt.

²³⁷ So muss für die Kurzfristprognose z.B. die Altersverteilung des Bestandes bekannt sein, um eine hinreichend fundierte Prognose über den Bestandsaustausch zu erstellen. Für die Langfristprognose dagegen ist diese Information nicht erforderlich, da davon ausgegangen werden kann, dass zu einem Zeitpunkt in der Zukunft, an dem auch gerade neu investierte Geräte bzw. Anlagen ihre Lebensdauer überschritten haben, davon ausgegangen werden kann, dass (nahezu) alle Geräte einmal ausgetauscht wurden. Zudem wird für die kurzfristigere Prognose ein (z.B. jährlich) roulierendes Bestandsmodell des Gerätebestandes benötigt, um die zeitliche Dynamik der Reinvestitionen abbilden zu können. Für die Langfristprognose dagegen ist dies nicht erforderlich.

²³⁸ Weil sich hier z.B. saisonale Effekte über ganze Jahre wieder ausgleichen und diese damit die Jahresprognose deutlich geringer „stören“ als kürzer laufende.

- b) Danach werden *ausgewählte Variablen im Detail* untersucht, wobei für jede dieser Variablen die Entwicklung des Trendfehlers jeder einzelnen Projektion mit steigender Projektionsdauer dargestellt und analysiert wird, um Effekte der Mittelwertbildung (zwischen mehreren Projektionen für eine Variable) zu vermeiden.

7.3.1.2 Vergleichende Analyse von Zeitreihen

Zunächst werden die mittleren absoluten Trendfehler der wesentlichen hier für längere Zeiträume zur Verfügung stehenden Zeitreihen (Variablen) im Vergleich analysiert. Dazu wurden die mittleren absoluten Trendfehler²³⁹ für jeden Prognosehorizont ermittelt. Projektionshorizonte für Zeiträume über elf Jahre wurden hier nicht berücksichtigt, da hierfür zu wenige Projektionen zur Verfügung stehen.

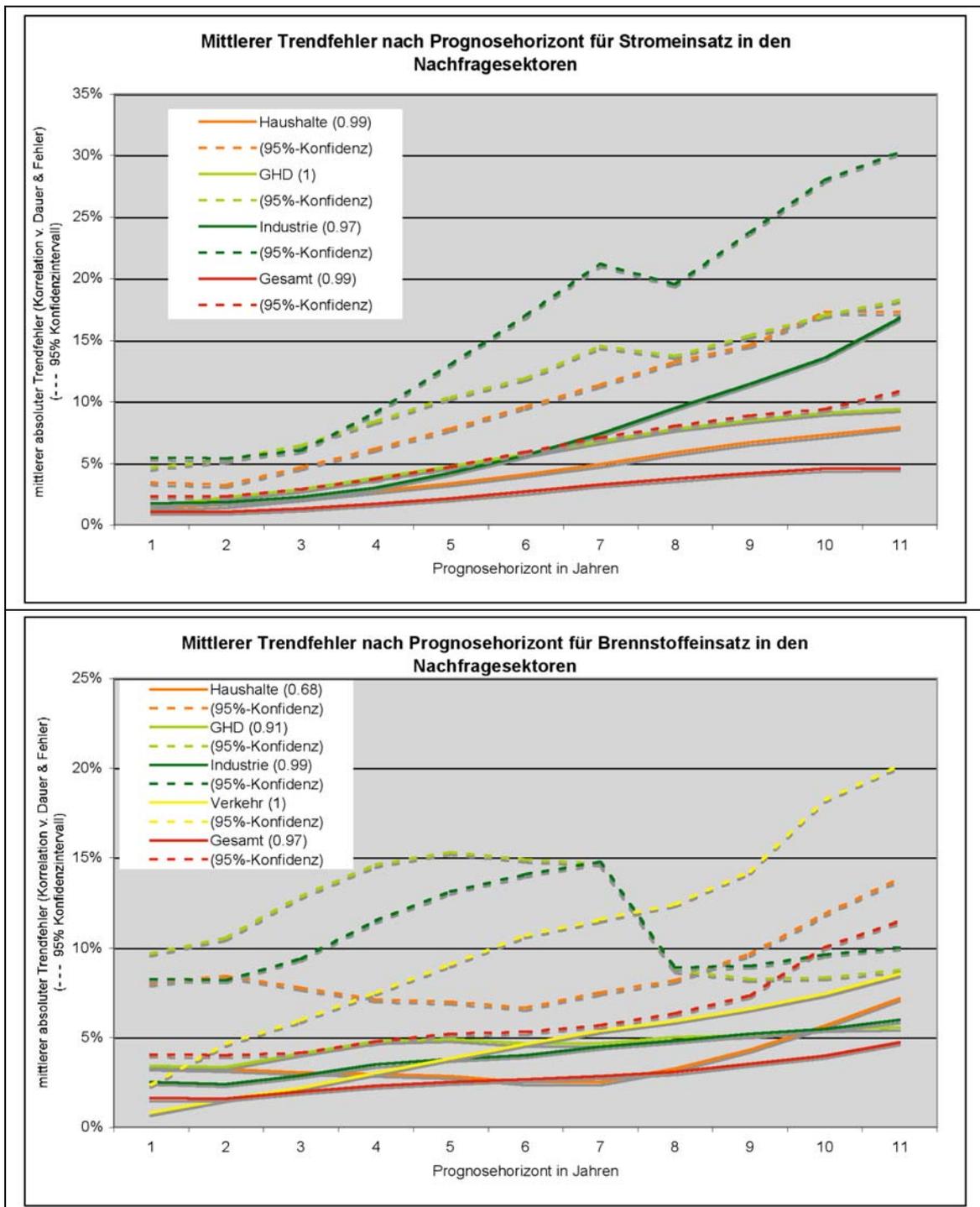
Ein Problem dieser Analyse ist jedoch, dass Periodeneffekte sowie andere Fehlereinflüsse kaum ausgeschaltet werden können:

- D.h. einige Projektionen über einen bestimmten Zeitraum (von z.B. 5 Jahren) könnten für lineare, leicht prognostizierbare Zeiträume, andere dagegen für schwierigere Zeiträume erstellt worden sein. Dieser Fall kann aber zumindest für Variablen mit sehr linearer Realentwicklung als irrelevant ausgeschlossen werden. Bei den anderen Variablen könnte dieser Effekt ggf. eine Rolle spielen.
- Darüber hinaus können länger laufende Projektionen zu größeren Teilen solche schwierigeren Perioden abdecken und daher allein schon einen größeren Fehler aufweisen. Dieser Effekt ist letztlich Teil der 2. Variante der Hypothesenbegründung (s.o.), denn länger laufende Projektionen haben eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass sich Trendänderungen während ihrer Prognoseperiode ereignen. Dieser Fall soll explizit nicht ausgeschlossen werden.
- Ebenfalls ist es denkbar, dass länger laufende Projektionen überwiegend mit einer älteren, vielleicht überholten Annahme bzw. Hypothese gebildet wurden, die kürzeren Projektionen dagegen zu einem höheren Anteil aus ‚möglicherweise besseren‘ neueren Projektionen bestehen. Um diesen Effekt zu bereinigen, wurden die mittleren absoluten Trendfehler alternativ nur für die Projektionen erstellt, für die alle Zeithorizonte verfügbar waren, d.h. für die Projektionen der AEOs 83 bis 95. D.h. für die Fehlerbetrachtung jeden Zeithorizonts wurden immer die gleichen Projektionen verwendet. Das Ergebnis zeigte hier fast keine Abweichung von der Analyse unter Einbeziehung aller, auch der jüngeren Projektionen (AEO'96 bis AEO'04), daher wurde der Effekt als vernachlässigbar eingeschätzt.

²³⁹ Es werden absolute Fehler verwendet, da sich ansonsten positive Fehler einiger Projektionen mit negativen Fehlern anderer Projektionen im Mittelwert ausgleichen würden. Da der mittlere Fehler hier vor allem die Abweichung der Projektion vom Trend, nicht aber deren Richtung wiedergeben soll, ist der entsprechende Informationsverlust hier unproblematisch.

Die folgende Abbildung zeigt die mittleren absoluten Trendfehler für die Strom- und Brennstoffeinsätze der Nachfragesektoren sowie die der jeweiligen Summen. Zusätzlich ist das 95%-Konfidenzintervall der Prognosefehler angegeben. Dieses zeigt, zusätzlich zum mittleren Fehler aller verfügbaren Prognosen, für jeden Prognosehorizont den Bereich an, in dem sich 95% aller Projektionen bewegen.

Abbildung 7-16: Mittlerer Trendfehler von Prognosen in Abhängigkeit vom Prognosehorizont



Quelle: eigene Berechnungen

Die Analyse der mittleren Trendfehler der Stromverbrauchsprojektionen zeigt, dass diese in den ersten drei Jahren für alle Projektionen etwa im Bereich von 3% liegen. Für längere Zeithorizonte stiegen die mittleren Fehler dann stetig an und erreichen im Haushaltsbereich 8% und in der Industrie 17%. Ähnliches gilt für die durch die Konfidenzintervalle angegebenen Bandbreiten. Sie liegen bereits zu Anfang höher und steigen ebenfalls überwiegend stetig an. Ausnahmen gibt es lediglich in der Industrie und im GHD-Sektor, wo die Konfidenzintervalle zwischen den Prognosedauern 7 und 8 Jahre wieder leicht sinken. Insgesamt bestätigen die Fehler der Stromverbrauchsprognosen sehr gut die Hypothese, dass Fehler mit steigender Prognosedauer kontinuierlich größer werden. Dies ergibt sich bereits optisch. Zusätzlich sind in Abbildung 7-16 noch die Korrelationskoeffizienten zwischen absolutem prozentualen Fehler und Prognosedauer (in Klammern) angegeben. Sie liegen zwischen 0,97 und 1, d.h. der Fehler-trend lässt sich statistisch weitestgehend bereits durch die Prognosedauer erklären.

Die Prognosen der Brennstoffeinsätze ergeben ein etwas anderes Bild. Hier steigen die mittleren Fehler wie auch die Fehlerbandbreite im Verkehrssektor sowie bei der Summenvariablen ebenfalls sehr kontinuierlich an. Für die übrigen Brennstoffeinsätze ist der Anstieg dagegen geringer ausgeprägt. Insbesondere im Haushaltssektor steigt der mittlere Fehler erst ab dem achten Jahr an. Ähnliches gilt auch für die Bandbreiten, wobei diese in der Industrie und im GHD-Sektor zunächst recht hoch liegen und ansteigen, ab dem achten Jahr aber wieder unter das Startniveau absinken.

Für die Brennstoffeinsätze (außer Verkehr) gilt also, dass hier ein schwächer ausgeprägter Zusammenhang zwischen Prognosehorizont und mittlerem Fehler sowie Prognosehorizont und Fehlerbandbreite existiert²⁴⁰.

Die folgende Tabelle gibt für alle Variablen das Bestimmtheitsmaß des linearen Trends wieder. Dabei zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Fehleranalyse nach Prognosejahren.

Tabelle 7-9: Linearität der Realrends verschiedener Variablen von 1983 bis 2004

Bestimmtheitsmaß des linearen Trends	Haushalte	GHD	Industrie	Verkehr	Gesamt
Strom	1,00	0,99	0,85	--	1,00
Brennstoffe	0,70	0,67	0,81	0,99	0,97

Quelle: eigene Berechnungen

Die Projektionen, deren mittlerer Fehler mit der Prognosedauer relativ kontinuierlich ansteigt, weisen mit Bestimmtheitsmaßen des linearen Trends von mehr als 0,97 alle

²⁴⁰ Interessant ist, dass die Summenvariablen jeweils einen deutlich geringeren mittleren Trendfehler aufweisen als die einzelnen Variablen. Dies gilt auch für die nächste Aggregationsstufe, die gesamten CO₂-Emissionen. Dieser Effekt wird hier aber nicht näher betrachtet sondern unter der folgenden Hypothese P3 analysiert.

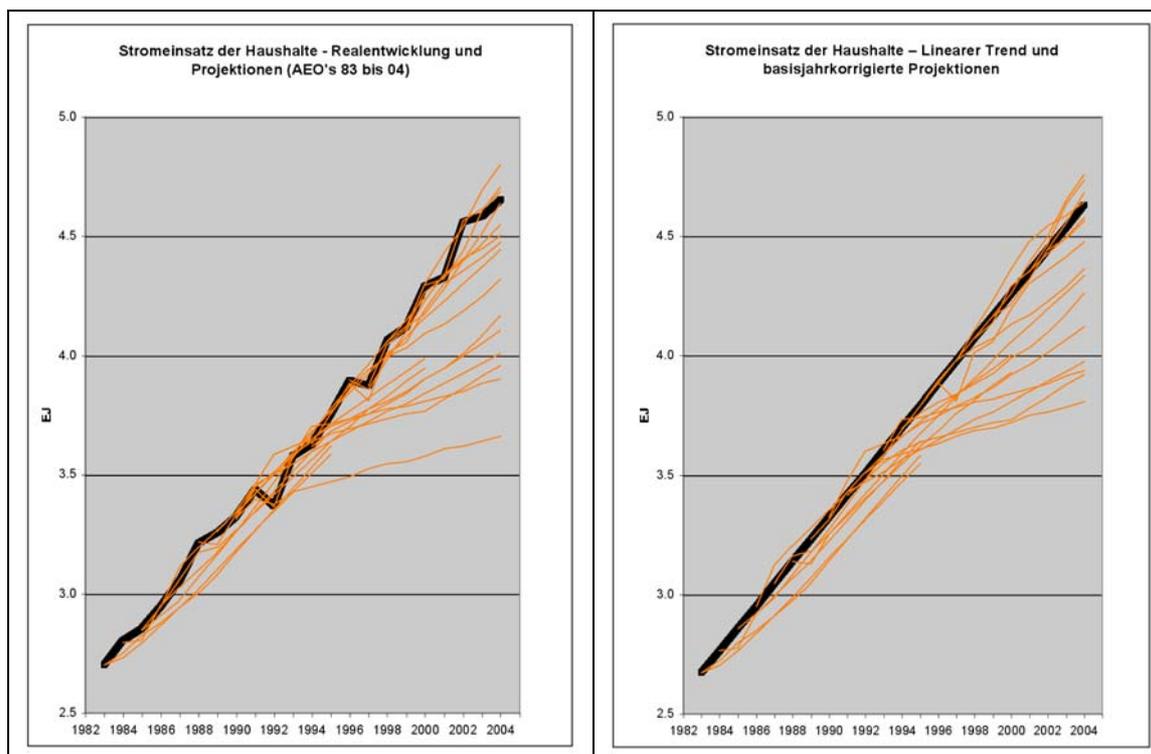
eine sehr hohe Linearität auf²⁴¹. Lediglich der Stromeinsatz der Industrie, der den höchsten kontinuierlich steigenden Fehler aufweist, liegt mit 0,85 darunter.

Die Brennstoffeinsätze von Haushalten, GHD und Industrie, für die der Zusammenhang nur sehr schwach ist, sind dagegen auch weniger linear in der Realentwicklung.

Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass sich hier die Hypothese P1a bestätigen könnte. Insbesondere bei Variablen, deren Entwicklung sehr linear verläuft, ist wie oben diskutiert, zu erwarten, dass die Prognosen, wenn sie einmal von der Realentwicklung abweichen, mit der Zeit immer stärker abweichen.

Um dies zu verifizieren, müssen die Projektionen selbst analysiert werden. Die Abbildung 7-17 zeigt dies für den Stromeinsatz der Haushalte. Dabei sind sowohl links die Realentwicklung und die Originalprognosen der AEOs angegeben (die dem Rohfehler zugrunde liegen), als auch rechts der lineare Trend der Realwerte und die auf diesen im Basisjahr korrigierten Projektionen (die dem Trendfehler zugrunde liegen).

Abbildung 7-17: Stromeinsatz der Haushalte, Realentwicklung und Projektionen



Quelle: eigene Berechnungen

Die Abbildungen machen deutlich, dass sich die Vermutung hier bestätigt. In beiden Abbildungen ist erkennbar, dass die herrschenden Trends teils stärker, teils schwächer

²⁴¹ Das gilt auch für die in den Abbildungen nicht dargestellten Variablen BIP und CO₂-Emissionen, die einen sehr linearen Fehlerzuwachs mit der Prognosedauer aufweisen und deren Bestimmtheitsmaße des linearen Trends bei 0,99 bzw. 0,98 liegen.

falsch prognostiziert wurden. In fast allen Projektionen nimmt der Fehler mit der Zeit stetig zu, was sich logisch aus der Linearität der Realentwicklung und den fast durchgängig ebenfalls linearen Projektionen ergibt²⁴². Für die übrigen sich sehr linear entwickelnden Variablen ergibt sich ein vergleichbares Bild.

Es zeigt sich also, dass die Hypothese P1, von mit der Prognosedauer stetig ansteigender Fehler für Variablen, deren Realentwicklung sehr linear verläuft gut bestätigt werden kann. Dies gilt sehr stabil für den Durchschnitt aller Projektionen (s.o.), aber auch für die meisten individuellen Projektionen wie die Abbildung auf dieser Seite zeigt²⁴³.

Im Folgenden wird noch detaillierter untersucht, wie sich die Fehler einzelner Projektionen mit zunehmender Projektionsdauer entwickeln.

7.3.1.3 Analyse der Fehlertrends individueller Projektionen ausgewählter Variablen

Im Mittelpunkt der Analyse der Fehlertrends der individuellen Projektionen sollen hier diejenigen Variablen stehen, deren Realentwicklung wenig linear verläuft. Hier ist nicht ‚automatisch‘ damit zu rechnen, dass der Fehler der Projektionen mit steigendem Prognosehorizont ebenfalls zunimmt. Bei diesen Variablen sollten steigende Fehler letztlich das Produkt zufälliger Störereignisse sein, deren Eintretenswahrscheinlichkeit mit der Prognosedauer zunimmt.

Entsprechend dieser Begründung zeigte sich schon im voranstehenden Abschnitt, dass für die Variablen, deren Entwicklung nicht sehr linear verläuft, kein eindeutiger Trend mit der Prognosedauer zunehmender Fehler existiert.

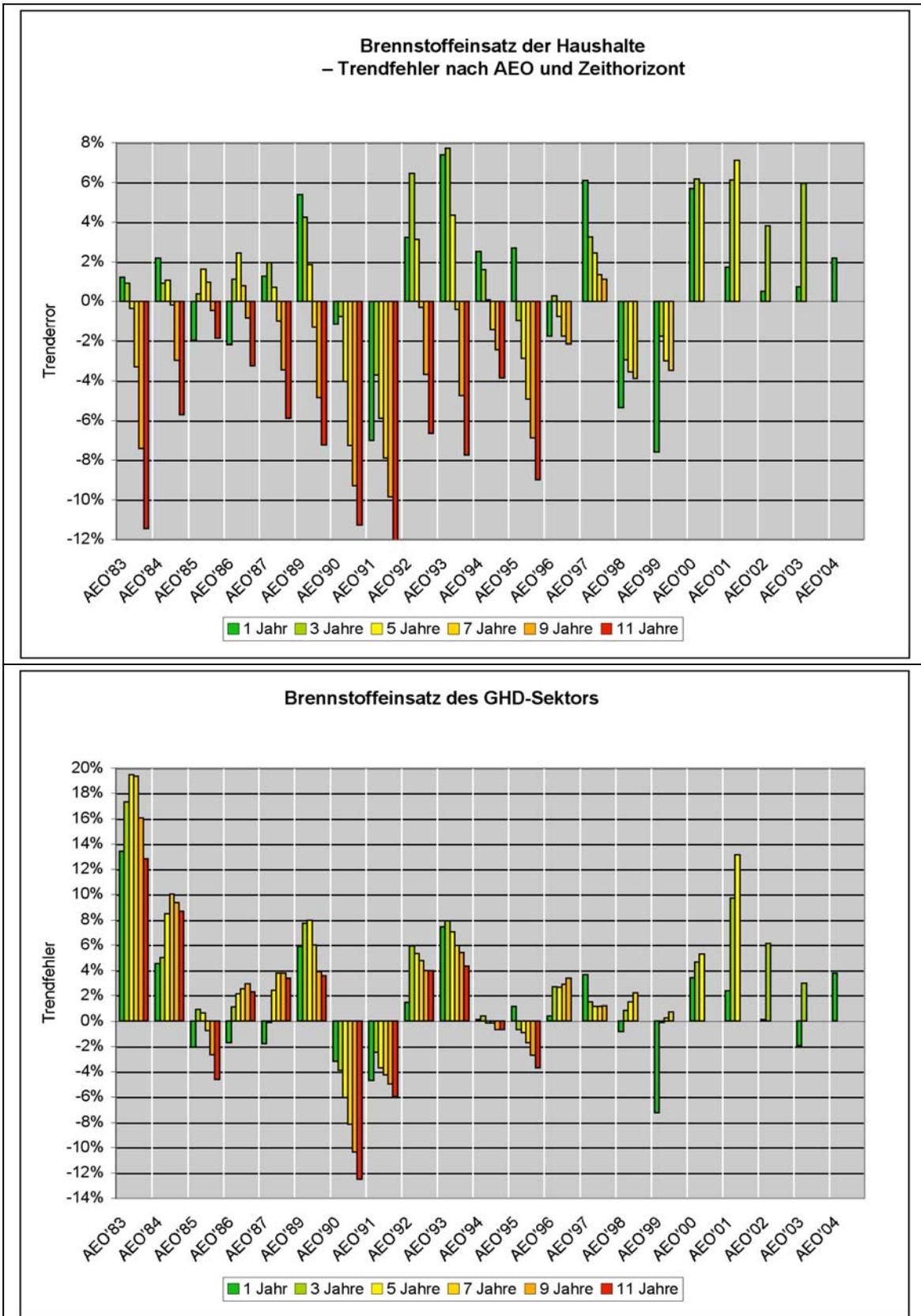
Die Abbildung 7-18 stellt für die drei Variablen, Brennstoffeinsatz der Haushalte, des GHD-Sektors und der Industrie für die sowohl der Trend weniger linear verlief (s.o. Tabelle 7-9), als auch im Mittel die Projektionsfehler weniger stark mit dem Projektionshorizont korreliert waren, alle vorhandenen Projektionen vor und gibt für jede Projektion den Trendfehler für verschiedene Zeithorizonte an²⁴⁴. Bei der Analyse aller Projektionen zeigt sich, dass auch auf der individuellen Ebene einzelner Projektionen kein einheitliches Bild existiert. Bei allen drei Variablen gilt für etwa die Hälfte der Projektionen, dass der Fehler relativ stetig mit der Prognosedauer ansteigt, die andere Hälfte der Projektionen dagegen verhält sich anders.

²⁴² Dabei ist der Effekt bezogen auf den Trendfehler noch etwas deutlicher, da hier die (ohnehin schon recht linearen) Realwerte in eine Trendgerade überführt wurden.

²⁴³ Ausnahmen bilden hier fast nur die Projektionen, die einen sehr geringen Fehler aufweisen. Diese geringen Fehler zeigen oft keinen eindeutigen Trend zur Verschlechterung. Aufgrund ihrer geringen Größe wirken sie sich auf den mittleren Fehler allerdings kaum aus.

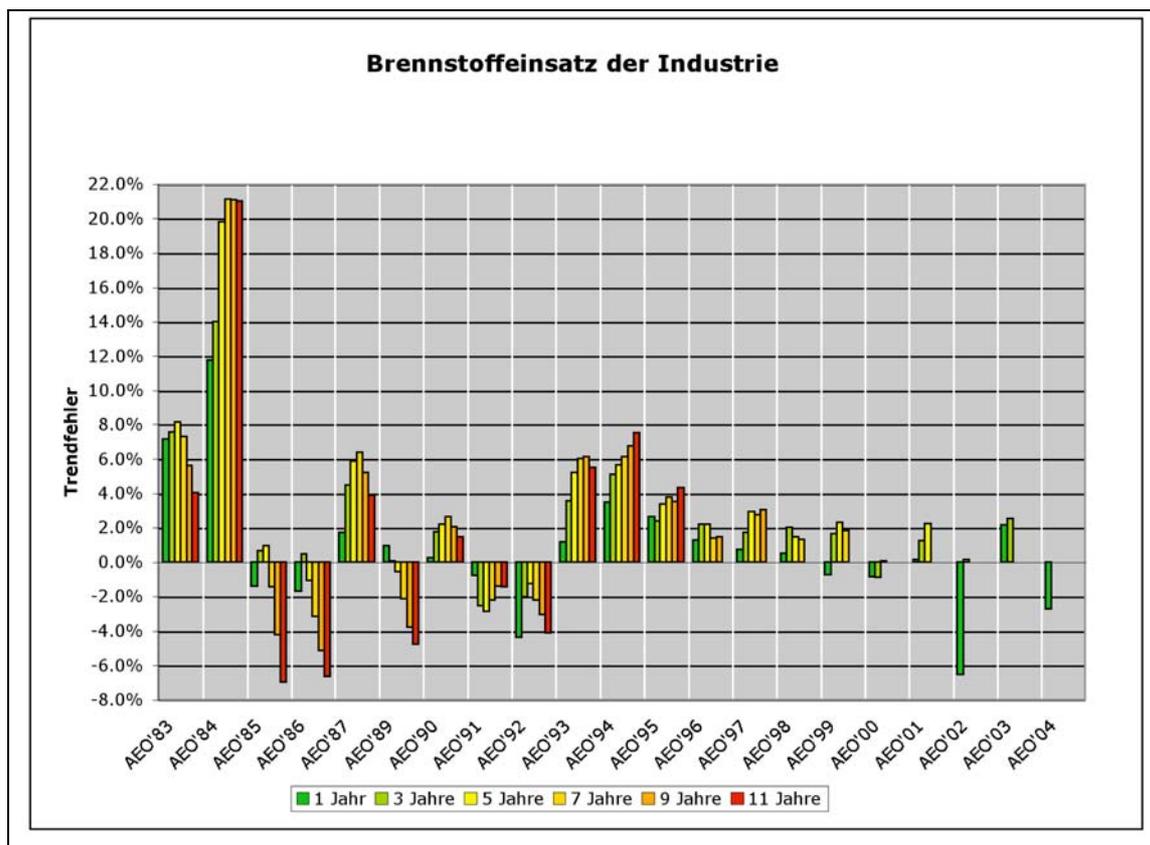
²⁴⁴ Hier wird der Trendfehler angegeben, d.h. Abweichungen nach oben und nach unten lassen sich in der Darstellung ablesen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur die ungeraden Jahre, von 1 bis 11 dargestellt.

Abbildung 7-18: Trendfehler der einzelnen Projektionen nach Zeithorizonten für ausgewählte Variablen



Fortsetzung nächste Seite...

Fortsetzung von Abbildung 7-18



Quelle: eigene Berechnungen

Eine Besonderheit ist insbesondere im Bereich des Brennstoffeinsatzes der Haushalte zu beobachten. Hier schneidet der Trend der Fehler für einige AEOs die 0-Linie. D.h., zunächst weicht die Prognose stark nach oben ab, der Fehler verringert sich dann, um dann nach unten wieder größer zu werden. Die Prognose schneidet in diesen Fällen also die Realentwicklung.

7.3.1.4 Schlussfolgerung zu Hypothese P1: Länge der Prognoseperiode

Anhand der hier analysierten Datenbasis, vornehmlich der Endenergieeinsätze von Strom und Brennstoffen in den einzelnen Nachfragesektoren, ergibt sich für die Hypothese P1 für Projektionsperioden von bis zu 11 Jahren ein differenziertes Bild.

Bereits die eingangs angestellten Überlegungen deuteten an, dass für Hypothese P1 zwei Fälle unterschieden werden müssen. Zum einen Variablen, deren historische Entwicklung während des Projektionszeitraums sehr linear verläuft, und solche mit instabileren Realentwicklungen.

Für Variablen mit sehr stabiler Entwicklung liegt es logisch nahe, dass die Projektionsfehler mit der Zeit stetig größer werden. Dies konnte hier auch anhand mehrerer Variablen sehr klar sowohl für den mittleren Trendfehler als auch für das Konfidenzintervall aller Fehler gezeigt werden. Für diese Variablen gilt dieser Zusammenhang auch für

durchgängig fast alle Projektionen, mit Ausnahme derer, die die Realentwicklung tatsächlich sehr gut wiedergeben.

- Für Variablen mit instabilerer Realentwicklung dagegen lässt sich die Hypothese P1 nicht generell bestätigen. Zwar liegt es auch hier, wie eingangs diskutiert, nahe, dass die Prognosefehler mit der Zeit größer werden, jedoch zeigt sich für die hier vorhandenen Daten ein schwächerer Zusammenhang zwischen der Länge der Prognoseperiode und dem Prognosefehler. Dies gilt sowohl für die mittleren Trendfehler sowie die Fehlerbandbreite aller Projektionen als auch für die Analyse individueller Projektionen. Hier zeigt sich, dass die Hypothese etwa für die Hälfte aller individuell untersuchten Projektionen mit weniger linearem Trend zutrifft, für die andere Hälfte jedoch nicht.
- Zusammenfassend gilt zunächst, dass die Hypothese P1 nicht die Ursache von Prognosefehlern beschreibt, sondern eher die (wahrscheinlichen) Wirkungen anderer Fehler darstellt. Obwohl es sehr einleuchtet, dass die Prognosefehler mit der Dauer der Prognoseperiode typischerweise immer größer werden, kann die Hypothese nur für bestimmte Variablen, deren Realentwicklung relativ linear verläuft, bestätigt werden. Für Variablen mit instabilerer Realentwicklung dagegen gilt die Hypothese nur zum Teil.

7.3.2 Hypothese P2: Stabile Fehlerrichtung

Die Tendenz, dass sich eine einmal aufgetretene Über- oder Unterschätzungen in der Folge sehr kontinuierlich durch die ganze Projektion hindurch ziehen, wurde in Kapitel 4.2.2 als ein für viele Projektionen beobachteter Effekt herangeführt. Die insofern nicht kategorisch sondern lediglich statistisch aufzustellende Hypothese P2 lautet entsprechend: *„Einmal über-/unterschätzt, immer über-/unterschätzt“*. Entsprechend gilt es im Folgenden also nicht, zu zeigen ob die Hypothese generell gilt, sondern zu analysieren, unter welchen Randbedingungen sie hier zutrifft.

Wie bereits die Hypothese zur Länge der Prognoseperiode beschreibt auch diese Hypothese keine Fehlerursache im engeren Sinn, sondern macht eine – empirische – Aussage über die Fehlerentwicklung einer oder mehrerer Projektionen.

Diese Hypothese beruht ebenfalls auf erkenntnistheoretischen Problemen der Projektion. Sie kann allerdings prinzipiell nur dann bestätigt werden, wenn einige Vorbedingungen erfüllt sind:

- Zunächst darf die zu projizierende Variable keinen extremen Schwankungen bzw. gar grundlegenden Trendänderungen unterliegen. Dazu sollten hinreichend stabile Gesetzmäßigkeiten existieren und die Einflüsse der Willkür be-

grenzt sein. D.h., die ontologischen Hemmnisse sollten im Regelfall begrenzt sein²⁴⁵.

- Darüber hinaus muss eine mangelnde Kenntnis von Gesetzmäßigkeiten und/oder Informationen gegeben sein, oder aber eine mangelnde Schlussfolgerung aus den hinreichenden Kenntnissen gezogen worden sein, die dann zu einer (stabilen) Über- oder Unterschätzung der zu prognostizierenden Variablen führen.

Hier sollen zuerst die Grundbedingungen für die Hypothese P2 näher diskutiert werden. Ähnlich wie bei Hypothese P1 müssen hier auch wieder Variablen mit einer sehr linearen Realentwicklung sowie solche mit instabiler Realentwicklung unterschieden werden. Hinzu kommen allerdings noch weitere Fälle, in denen ein Richtungswechsel des Fehlers per se erwartet werden sollte.

- Eine stabile Fehlerrichtung ist dann am wahrscheinlichsten, wenn sowohl Realentwicklung als auch Prognosen stark linear angelegt sind (s.o.). In diesem Sinne ist die Hypothese P1 ein Spezialfall der Hypothese P2. Wenn Fehler mit der Zeit immer größer werden, ist auch ein Wechsel der Fehlerrichtung ausgeschlossen, weil die einmal eingeschlagene Fehlerrichtung ja immer größer wird.
- Sind dagegen entweder die Realentwicklung oder die Projektion oder beide durch große Schwankungen und/oder Trendänderungen gekennzeichnet, dann ist die stabile Fehlerrichtung vorwiegend eine Frage der Größe sowie z.T. auch der zeitlichen Abfolge der Schwankungen. Bei solchen Variablen kann also die Hypothese P2 nur stochastisch, d.h. in Form empirisch bestimmter Wahrscheinlichkeiten belegt werden. Es ist aber zu erwarten, dass ein Wechsel der Fehlerrichtung umso weniger wahrscheinlich ist, je größer der Fehler der Prognose ist (vgl. den umgekehrten Fall unten).
- Wechsel der Fehlerrichtung sind dagegen explizit zu erwarten, wenn ein Basisjahrfehler vorliegt und dieser in die entgegengesetzte Richtung des Trendfehlers zeigt. In diesem Fall ist ein Schnittpunkt von Prognose und Realentwicklung typischerweise in den ersten Jahren der Prognose zu erwarten²⁴⁶.
- Eine hohe Wahrscheinlichkeit haben Wechsel der Fehlerrichtung außerdem für Projektionen mit sehr geringem Fehler. Da bei diesen die Prognosewerte sehr nah an den Realwerten liegen, können hier schon leichte Schwankungen oder Trendänderungen zu einem Wechsel der Fehlerrichtung führen.

²⁴⁵ Es würde theoretisch natürlich ausreichen, wenn sich die Variable „zufällig“ relativ kontinuierlich und ohne Brüche entwickelt.

²⁴⁶ Wird in der Analyse ausschließlich auf den Trendfehler abgestellt, so ist dieser Effekt natürlich ausgeschlossen.

7.3.2.1 Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese P2

Im Folgenden soll anhand des vorliegenden Datenmaterials untersucht werden, ob bzw. in welcher Form die Hypothese, dass die Fehlerrichtung (d.h. Abweichung vom sich einstellenden Realtrend) innerhalb einer Projektion im Regelfall stabil bleibt, bestätigt werden kann. Aufgrund der verfügbaren längeren Zeitreihen wurde auch hier wieder mit den von 1983 an durchgängig dokumentierten Variablen gearbeitet.

Insgesamt sind von 189 hier einbezogenen Projektionen (9 Variablen mit je 21 Projektionen) bei 90 bzw. 48% Fehlerrichtungsänderungen des Trendfehlers vorgekommen, bei 99 dagegen nicht. Als erstes Ergebnis lässt sich also festhalten, dass Fehlerrichtungsänderungen – entgegen der Hypothese – offenbar recht häufig sind. Sie treten hier in etwa der Hälfte aller Projektionen auf. D.h., dass die Hypothese zumindest in ihrer einfachsten Form hier offenbar nicht bestätigt werden kann.

Deshalb wird im Folgenden untersucht, inwiefern die oben geäußerten Vermutungen zur Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlerrichtungsänderungen näher bestätigt werden können.

- Dazu wird zunächst der voranstehend in der Präzisierung der Hypothese vermutete reziproke Zusammenhang zwischen der Fehlergröße und der Häufigkeit von Fehlerrichtungsänderungen näher betrachtet.
- Zusätzlich wird der zeitliche Verlauf der Fehlerrichtungsänderungen betrachtet, um zum einen den Zusammenhang zwischen Basisjahrfehler und Fehlerrichtungsänderung herauszustellen und zum anderen zu klären, ob sich hieraus eine modifizierte Formulierung der Hypothese generieren lässt²⁴⁷.

7.3.2.2 Analyse des Zusammenhangs zwischen Fehlergröße und Richtungsänderungen

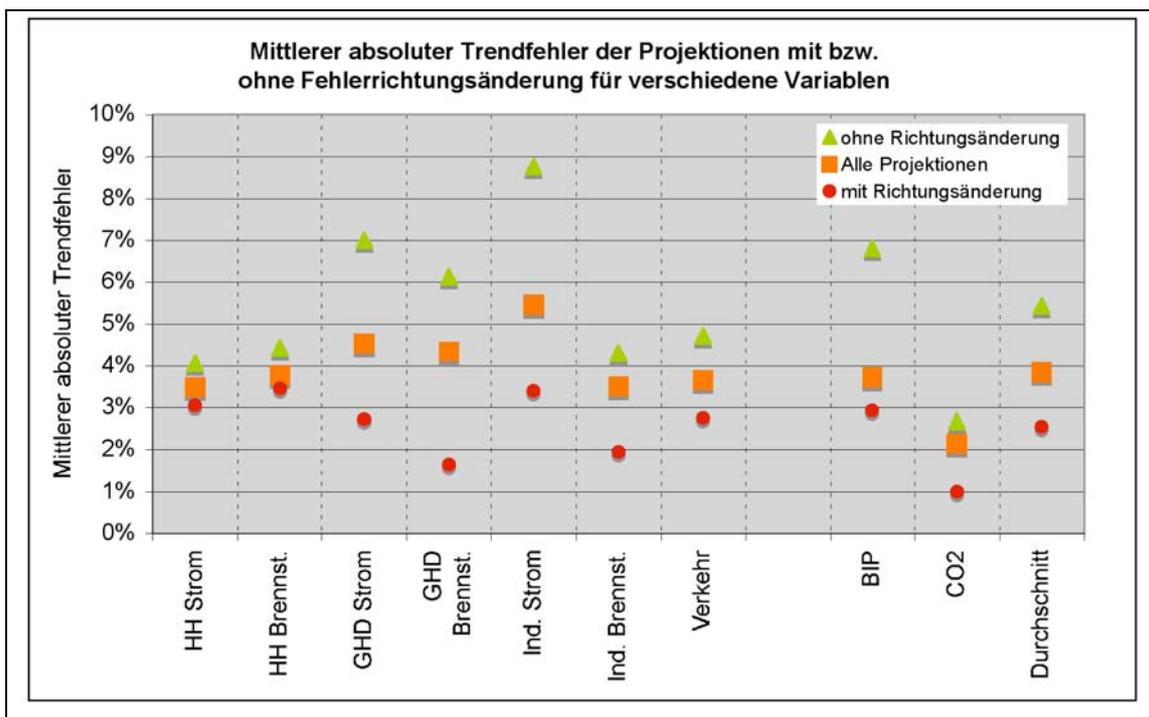
Zunächst soll analysiert werden, ob die oben abgeleitete Teilaussage bestätigt werden kann, dass ein hoher Fehler der Projektion eine Gewähr dafür bietet, dass wenig Fehlerrichtungsänderungen vorkommen.

Hierzu wurden für die hier näher analysierten 9 Variablen alle Projektionen nach solchen mit und solchen ohne Fehlerrichtungsänderung sortiert. Danach wurde für jede Variable der mittlere absolute Trendfehler aller Projektionen mit bzw. ohne Fehler bestimmt²⁴⁸.

²⁴⁷ Z.B. in der Form, dass zwar nicht der Fehler des ersten Projektionsjahres einen Rückschluss auf die generelle Fehlerrichtung zulässt, wohl aber die Fehlerrichtung nach Überschreiten eines gewissen Schwellenwerts.

²⁴⁸ Dabei wurden nur Prognosehorizonte bis zu 11 Jahren berücksichtigt, da die längeren Zeiträume von nur wenigen Projektionen dominiert werden, diese aber durch überwiegend hohe Fehler den Mittelwert verzerren würden. Der absolute Trendfehler wurde gewählt, weil er bei der Aggregation ein besseres Maß der Ungenauigkeit von Projektionen bietet, da hier die Kompensation negativer und positiver Fehler vermieden wird.

Abbildung 7-19: Mittlerer absoluter Trendfehler von Projektionen mit- bzw. ohne Fehlerrichtungsänderung



Quelle: eigene Berechnungen

Das Ergebnis ist in der voran stehenden Abbildung zusammengefasst. Es zeigt sich für alle Variablen, dass die Projektionen, die einen Fehlerrichtungswechsel aufweisen, einen im Mittel deutlich geringeren absoluten Trendfehler aufweisen (als rote Punkte in Abbildung 7-19 markiert). Umgekehrt gilt auch, dass die Projektionen ohne Fehlerrichtungswechsel (grüne Dreiecke) einen wesentlich größeren (in den meisten Fällen, abgesehen vom Haushaltssektor und vom Verkehrssektor mehr als doppelt so großen) mittleren Trendfehler haben.

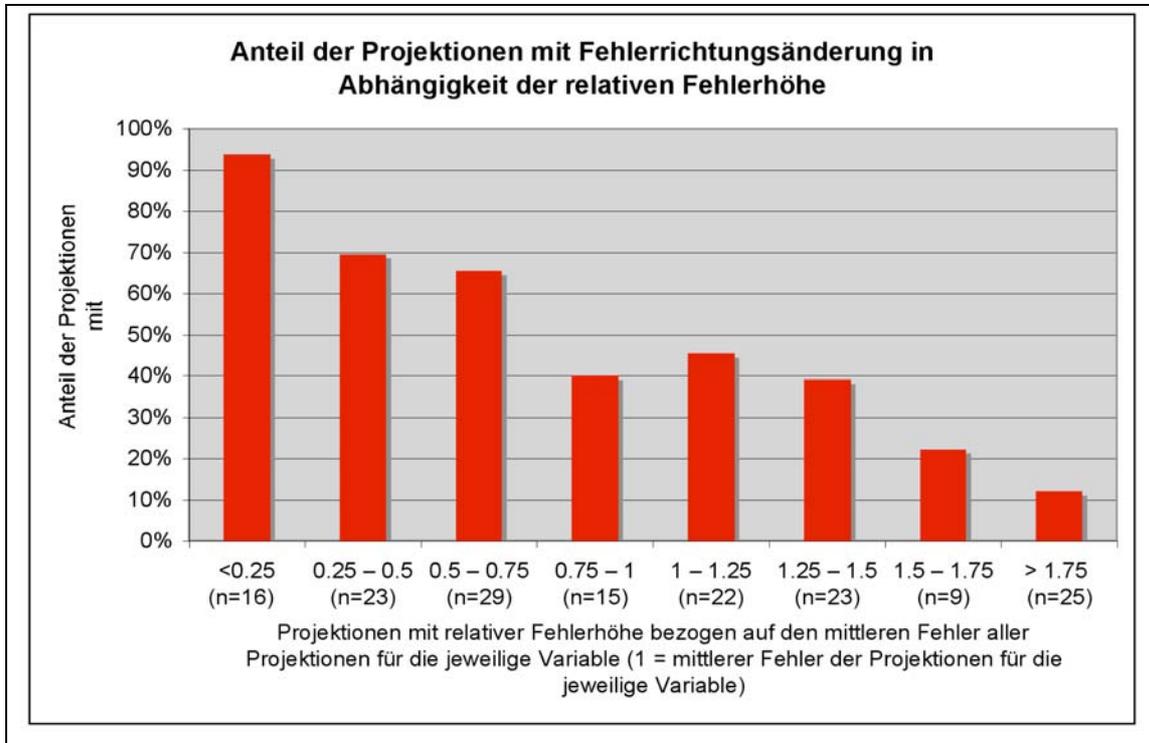
Werden umgekehrt die Einzelprojektionen für die verschiedenen Variablen nach ihrem relativen Fehler²⁴⁹ sortiert, so ergibt sich das Bild 7-20. In der Abbildung wird die Verteilung der Fehlerrichtungsänderungen in Abhängigkeit von der Genauigkeit der Prognosen abgebildet. Dabei zeigt sich ein analoges Bild. Generell verhalten sich die Höhe des Fehlers (hier ausgedrückt als relativer Wert bezogen auf den mittleren Fehler der Projektionen für eine Variable) und die Wahrscheinlichkeit einer Fehlerrichtungsänderung im Großen und Ganzen entgegengesetzt.

Für Projektionen mit sehr kleinem Fehler (mindestens drei Viertel kleiner als der jeweilige mittlere Fehler) beträgt die Wahrscheinlichkeit eines Fehlerrichtungswechsels

²⁴⁹ Hier wird der relative Fehler als Indexwert bezogen auf den mittleren Fehler aller Projektionen für eine Variable (=1) gebildet, um die Ergebnisse über alle Variablen (mit z.T. sehr unterschiedlichen prozentualen Fehlern) bilden zu können.

94%. Für Projektionen deren Fehler umgekehrt um drei Viertel über dem Mittelwert liegt, ist ein Fehlerrichtungswechsel dagegen mit 12% nur noch selten.

Abbildung 7-20: Vorkommen von Fehlerrichtungsänderungen in Abhängigkeit vom relativen Prognosefehler



Quelle: eigene Berechnungen (Gesamtzahl der untersuchten Projektionen (n) = 162)

Bezogen auf den Mittelwert des Fehlers lassen sich drei große Gruppen bilden: Projektionen die mit einer Abweichung von +/- einem Viertel dem Mittelwert entsprechen liegt die Wahrscheinlichkeit eines Fehlerrichtungswechsels bei etwa 43%. Für die Projektionen deren relativer Fehler kleiner ist liegt die Wahrscheinlichkeit dagegen im Mittel bei 74%. Für die Projektionen deren Fehler aber überdurchschnittlich groß ist besteht nur eine geringe Wahrscheinlichkeit eines Fehlerrichtungswechsels von etwa 25%.

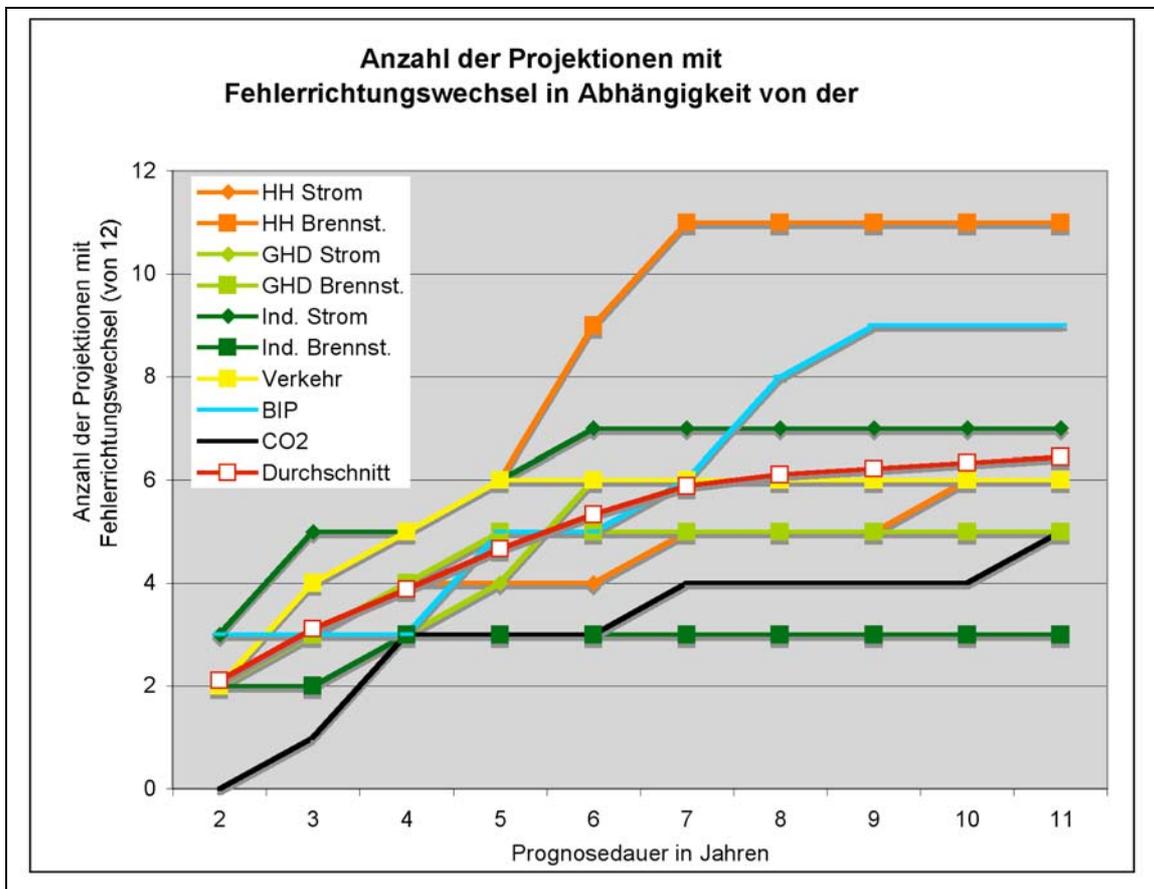
Damit lässt sich die erste Teilvermutung zur Hypothese P2 klar bestätigen. Ein großer Prognosefehler korreliert klar mit weniger Fehlerrichtungsänderungen. Dagegen weisen die Projektionen mit Fehlerrichtungsänderungen im Schnitt einen deutlich kleineren Fehler auf. Allerdings überschneiden sich die Bandbreiten der mittleren Fehler für die beiden Kategorien für fast alle Variablen deutlich. Damit ist dies nur eine statistische Bestätigung, die für die Mittelwerte gut belegt ist, jedoch nicht im Vergleich zweier individueller Projektionen gelten muss. Ebenso wenig lässt sich ein Grenzwert angeben, oberhalb dessen ein Fehlerrichtungswechsel ausgeschlossen ist. In der hier analysierten Datenbasis ist es allerdings so, dass bei Projektionen, deren mittlerer absoluter Trendfehler um mindestens ein Viertel über dem mittleren absoluten Trend-

fehler aller Projektionen für eine Variable liegt, für 75 %iger Wahrscheinlichkeit kein Fehlerrichtungswechsel vorkommt.

7.3.2.3 Analyse der zeitlichen Verteilung der Fehlerrichtungswechsel

Als nächstes soll die zeitliche Verteilung der Fehlerrichtungswechsel näher analysiert werden. Wie eingangs diskutiert, sind Fehlerrichtungswechsel dann relativ kurz nach dem Prognosestart zu erwarten, wenn der Basisjahrfehler dem Trendfehler entgegen gerichtet ist. Dagegen kann bei einer relativ korrekten Projektion ein Fehlerwechsel zu jeder Zeit stattfinden. Eine gewisse Abnahme der Fehlerrichtungswechsel mit der Prognosedauer ist zudem zu erwarten, weil die Fehler mit zunehmender Dauer häufig größer werden²⁵⁰ und damit ein Fehlerrichtungswechsel immer unwahrscheinlicher wird.

Abbildung 7-21: Mittlerer absoluter Trendfehler von Projektionen mit- bzw. ohne Fehlerrichtungsänderung



Quelle: eigene Berechnungen

Um dies zu untersuchen wurden die Fehlerrichtungswechsel einzelner Projektionen für jede Variable ausgezählt und in Beziehung zur jeweiligen Prognosedauer gesetzt. Für diese Analyse wurden ebenfalls nur die Projektionshorizonte bis zu 11 Jahren berücks-

²⁵⁰ Siehe dazu die Ergebnisse zu Hypothese P1.

sichtigt. Außerdem wurden nur die AEOs 83 bis 95 berücksichtigt, da für jüngere Projektionen nur kürzere Zeitreihen zur Verfügung stehen und entsprechend Fehlerrichtungsänderungen in späteren Prognosejahren nicht ermittelt werden können²⁵¹.

In der Abbildung 7-21 sind die entsprechenden zeitlichen Verläufe der insgesamt auftretenden Projektionen mit Fehlerrichtungswechsel für alle Variablen eingetragen. Für alle Projektionen gilt, dass die Zahl der Fehlerrichtungswechsel mit der Prognosedauer recht kontinuierlich zunimmt, wobei die Gesamtanzahl je nach Variable stark unterschiedlich ist. Im Durchschnitt kommt es in den ersten 11 Jahren der untersuchten Projektionen zu 6,4 Richtungswechseln pro Variable, bei insgesamt jeweils 12 Projektionen.

Als erstes Ergebnis zeigt die Abbildung 7-21 ein gewisses Abflachen der Kurven bei höheren Prognosedauern. Bereits nach 5 Jahren sind mehr als zwei Drittel aller Fehlerrichtungsänderungen aufgetreten und nach 8 Jahren 95%. D.h., bei länger laufenden Projektionen werden Fehlerrichtungsänderungen immer unwahrscheinlicher. Werden die o.g. Werte auf alle Projektionen (nicht nur die mit Fehlerrichtungsänderung) bezogen, so ist nach Ablauf von 4 Jahren nur noch eine Wahrscheinlichkeit von einem Drittel sowie nach Ablauf von 5 Jahren von knapp einem Viertel gegeben, dass die Projektion noch einen Fehlerrichtungswechsel aufweisen wird. Nach Ablauf von 7 Jahren beträgt die Wahrscheinlichkeit im Mittel weniger als 10%.

Das zweite Ergebnis ist, dass nach 3 Jahren knapp 50% aller Fehlerrichtungswechsel bereits eingetreten sind. Dies korreliert damit, dass – wie untenstehende Tabelle zeigt – mehr als 60 % aller Fehlerrichtungswechsel auf Projektionen entfallen, bei denen Basisjahrfehler und Trendfehler eine entgegengesetzte Richtung aufweisen. In den meisten dieser Fälle war oben angenommen worden, dass der Fehlerrichtungswechsel vorwiegend durch die unterschiedliche Richtung von Trendfehler und Basisjahrfehler verursacht würde²⁵². Dieser Effekt spielt also für etwa die Hälfte aller Fehlerrichtungswechsel eine wichtige Rolle.

In Tabelle 7-10 zeigt sich, dass für viele Variablen eine hohe Korrelation zwischen Fehlerrichtungswechsel und entgegengesetztem Basisjahr- und Trendfehler besteht. Dies gilt für alle Stromeinsätze sowie die klimabereinigten Brennstoffeinsätze der Haushalte. Für die Brennstoffeinsätze des GHD-Sektors und der Industrie sowie die CO₂-Emissionen dagegen ist kein klarer Zusammenhang erkennbar. Im Verkehrssektor sind Basisjahr- und Trendfehler nur zweimal entgegengesetzt, beim BIP dagegen in allen Fällen. Die Korrelation von entgegengesetztem Trend- und Basisjahrfehler mit

²⁵¹ Damit verringert sich die Zahl der untersuchten Projektionen auf 108 (9 Variablen x je 12 Projektionen), von denen 58 (54%) während der ersten 11 Prognosejahre einen Fehlerrichtungswechsel aufweisen.

²⁵² Allerdings ist es auch denkbar, dass es hier eine Vermischung mit dem Typ der sehr genauen Projektion gibt. Denn diese Projektionen können zusätzlich entgegengerichtete Basisjahr- und Trendfehler aufweisen.

einem Fehlerrichtungswechsel (des Trendfehlers) ist also verstärkt bei stärker linearen Variablen²⁵³ zu beobachten.

Tabelle 7-10: Richtung von Basisjahr- und Trendfehler für alle Projektionen ausgewählter Variablen

		Anzahl Projektionen ^{A)} mit ...		
		Richtungsänderung des Trendfehlers	Basisjahr- und Trend- fehler ^{B)} entgegenge- setzt	Beide Effekte kombi- niert
Haushalte	Strom	6	6	5
	Brennstoffe	11	7	7
GHD	Strom	6	7	5
	Brennstoffe	5	6	2
Industrie	Strom	7	10	6
	Brennstoffe	4	6	2
Verkehr	Brennstoffe	6	2	1
BIP		9	12	9
CO ₂		5	3	0
Gesamt		59	59	37

^{A)} AEOs 83 bis 95; 12 Projektionen je Variable, insgesamt 108; ^{B)} Trendfehler im 11. Jahr der Projektion

Quelle: eigene Berechnungen

7.3.2.4 Schlussfolgerung zu Hypothese P2: Stabile Fehlerrichtung

Insgesamt kann die aus der Literatur gefundene Hypothese einer häufig zu erwartenden stabilen Fehlerrichtung, d.h. dass eine Prognose entweder die Realwerte dauerhaft unter- oder sie dauerhaft überschätzt, anhand der hier vorhandenen Analysebeispiele für die amerikanischen Energie- und Emissionsprojektionen nicht ohne weitere Präzisierungen bestätigt werden. Im Gegenteil weisen etwa 50% der hier untersuchten Projektionen einen Fehlerrichtungswechsel auf (je nach Zuschnitt der Analysegrundgesamtheit). Ebenfalls konnte anhand des hier vorhandenen Untersuchungsgegenstands nicht gezeigt werden, dass der angenommene Zusammenhang zwischen der Linearität des Trends einer Variablen und einer stabileren Fehlerrichtung bzw. umgekehrt zwischen einer stark schwankenden Realentwicklung und einer größeren Häufigkeit von Fehlerrichtungsänderungen besteht²⁵⁴.

Allerdings konnten die eingangs aufgestellten präzisierenden Vermutungen weitgehend belegt werden:

- So weisen Projektionen mit einem überdurchschnittlich hohen Fehler mit etwa 70% erheblich häufiger eine stabile Fehlerrichtung auf, solche Projektionen, de-

²⁵³ Zur Linearität der Variablen siehe die nähere Analyse unter Hypothese P1 (Tabelle 7-9).

²⁵⁴ Dies gilt nicht nur bei der Analyse aller Projektionen, sondern auch, wenn z.B. die Projektionen mit kleinen Fehlern, die besonders für Fehlerrichtungsänderungen anfällig sind ausgenommen werden. Da hier allerdings „nur“ neun Variablen untersucht wurden, die jeweils sehr individuelle Verhältnisse bezüglich der Fehlerrichtungsänderung aufweisen, kann diese Vermutung nicht bestätigt werden, sie sollte aber auch nicht als widerlegt gelten, da verschiedene individuelle Einflüsse das Gesamtbild verzerren können.

ren Fehler um mehr als die Hälfte über dem mittleren Fehler aller Projektionen für eine Variable liegt, weisen sogar zu 85% eine stabile Fehlerrichtung auf. Im Gegenzug beträgt die Wahrscheinlichkeit einer Fehlerrichtungsänderung bei Prognosen, deren Fehler um mindestens ein Viertel unter dem jeweiligen Durchschnitt liegt, fast 75%.

- Hieraus ergibt sich unmittelbar eine Korrelation mit der Prognosedauer. Da für viele – aber nicht alle – Prognosen mit der Dauer auch der mittlere Fehler signifikant steigt²⁵⁵ steigt die Wahrscheinlichkeit eines weiterhin stabilen Trends mit der Prognosedauer an. Hat sich in einer Prognose nach Ablauf von vier (fünf) Jahren noch kein Fehlerrichtungswechsel ergeben, so wurde mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 66% (75%) ein weiterhin stabiler Trend festgestellt.

D.h. dass die Hypothese häufig stabiler Fehlerrichtungen nur für Projektionen mit überdurchschnittlich hohen Fehlern gilt und, dass ihre Wahrscheinlichkeit mit zunehmender Projektionsdauer steigt.

Ein weiterer Einflussfaktor, der der Hypothese P2 direkt entgegengerichtet ist, ist das Vorliegen eines Basisjahrfehlers, der in die entgegengesetzte Richtung des Trendfehlers zeigt. In mehr als 60% dieser Fälle kommt es danach zu einer Fehlerrichtungsänderung, wobei dieser Zusammenhang verstärkt bei Variablen mit einer deutlich linearen Realentwicklung zu beobachten ist.

7.3.3 Hypothese P3: Kompensation von Teilfehlern

Die dritte methodisch bzw. prognoseorientierte Fehlerhypothese bezieht sich auf zusammengesetzte (aggregierte) Projektionen, die sich aus mehreren Teilprognosen zusammensetzen: *Aggregierte Prognosen erscheinen zum Teil richtig, weil sich Fehler in den Teilprognosen gegenseitig kompensieren.*

Dieser häufig berichtete Effekt kann grundsätzlich unterschiedliche Ursachen haben, je nachdem, ob die aggregierte Gesamtprojektion sich ausschließlich aus der Kombination der Teilprojektionen zusammensetzt, oder ob die Gesamtprojektion zumindest teilweise unabhängig von den Teilprojektionen erstellt wurde.

Im ersten Fall, wenn die Gesamtprojektion nichts weiter ist als die Summierung verschiedener Einzelprojektionen, müsste die Fehlerkompensation vor allem statistisch begründbar sein. D.h., wenn sich eine Prognose als Aggregat aus verschiedenen – sei es räumlichen oder inhaltlichen – Teilprognosen zusammensetzt, könnte eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegeben sein, dass die Detailfehler der Teilprojektionen in verschiedene Richtungen gehen und sich in der Summe – v.a. wenn sich diese aus zahlreichen Detailprojektionen zusammensetzt – ausgleichen.

²⁵⁵ Wie oben zu Hypothese P2 gezeigt wurde, gilt dies für Prognosen von Variablen, die einen relativ stabilen Realtrend aufweisen. Für stark schwankende Variablen dagegen kann dieser Zusammenhang nicht generell gezeigt werden.

Ist dagegen die Gesamtprojektion – zumindest teilweise bzw. ergänzend – unabhängig erstellt worden, oder sind die Teilprognosen z.T. aus der Gesamtprognose abgeleitet, dann könnten verschiedene erkenntnistheoretische und ontologische Aspekte eine Begründung liefern.

- Aus erkenntnistheoretischer Sicht könnte ein solcher Aspekt der größere Maßstab und hierfür ggf. besser verstandene Gesetzmäßigkeiten oder eine bessere und aktuellere Datenbasis sein²⁵⁶.
- Aus ontologischer Sicht könnte ggf. eine geringere Schwankungsanfälligkeit der – größeren – Realdaten einer Gesamtmenge im Vergleich zu den jeweils kleineren Teilmengen einen Einfluss darauf ausüben, dass Gesamtprognosen genauer sind als Teilprognosen. Insbesondere wenn solche ontologisch oder erkenntnistheoretisch begründeten ‚Teilmengen – Gesamtmengen Effekte‘ eine Rolle spielen liegt eine Fehlerkompensation durchaus nahe. Denn einzelne Teilmengen sind dann nicht nur ungenauer bekannt, ihre jeweiligen Fehler kompensieren sich auch oft bei der Aggregation zur Gesamtmenge, bzw. die Einzeldaten werden im Zweifelsfall anhand der vertrauenswürdigeren Gesamtzahl modifiziert, so dass sich ein in sich konsistentes Bild ergibt. Diese Effekte spiegeln sich ggf. auch in den Projektionen wider.

Es lässt sich also festhalten, dass sich für den von zahlreichen Autoren beobachteten Effekt der Fehlerkompensation verschiedene mögliche Begründungszusammenhänge anführen lassen. Insgesamt geht auch diese Hypothese nicht direkt auf die Ursache der Fehler, sondern eher auf ihr Erscheinungsbild sowie ihre Kombination ein.

7.3.3.1 Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese P3

Dass auch im hier gewählten Beispiel der US-Energie- und Emissionsprojektionen Fehlerkompensationen stattfinden, wird bereits aus Abbildung 7-16 deutlich. Die dort abgebildeten mittleren Trendfehler zeigen, dass sich die Trendfehler der Detailprojektionen des hier gewählten Projektionsmodells auf keinen Fall vollständig kumulieren. Z.T. weisen weiter aggregierte Projektionen sogar geringere Fehler auf als Teilprojektionen.

Hier soll dieser Effekt näher analysiert werden:

- Zuerst wird er in Abschnitt 7.3.3.2 rein statistisch auf eine ohnehin rein stochastisch zu erwartende Fehlerkompensation sowohl bei multiplikativer als auch bei additiver Kombination zweier oder mehrerer zufallsverteilter Fehlerverteilungen untersucht.

²⁵⁶ Im Bereich der Energiestatistik sind z.B. Gesamtabsatzmengen von Energieträgern häufig erheblich schneller und genauer bekannt als die (z.T. nur geschätzten) Teilmengen, die an verschiedene Sektoren oder in verschiedene Regionen gelieferten Mengen.

- Danach werden in Abschnitt 7.3.3.3 die im Modell der Energie- und Emissionsprojektionen vorkommenden Fehlerkompensationen anhand der konkreten Daten betrachtet.
- Schließlich wird in Abschnitt 7.3.3.4 ein Fazit zur Hypothese P3 gezogen.

Das dieser Analyse zugrunde liegende Prognosemodell und die darin angenommene mehrstufige Aggregation von Teilprojektionen wurde bereits oben in Abbildung 6-1, Abschnitt 6.1 näher erläutert.

Dabei kommt es sowohl zu multiplikativen als auch zu additiven Verknüpfungen von Teilprojektionen²⁵⁷.

- *Multiplikative Verknüpfungen* sind immer dann gegeben, wenn sich eine Projektion aus der Multiplikation zwischen einer vorgelagerten Projektion und der Projektion spezifischer Werte (z.B. Stromeinsatz pro Einheit EDL) ergibt. Das Ergebnis einer solchen Kombination soll hier der Klarheit halber als *Produktprojektion* bezeichnet werden.
- *Additiv* werden dagegen mehrere auf einer Ebene liegende Teilprojektionen verknüpft. Hier handelt es sich um Teilaggregate (hier im Regelfall die einzelnen Verbrauchssektoren), deren Projektionen zur Gesamtsumme zusammengefügt werden. Das Ergebnis wird hier als *Summenprojektion* bezeichnet.

7.3.3.2 Statistische Fehlerkompensation

Grundsätzlich können sich Fehler unterschiedlicher Teilprojektionen rein zufällig kompensieren, sofern der Fehler der einen Teilprojektion eine Über- und der der anderen Teilprojektion eine Unterschätzung der Realentwicklung darstellt. In diesem Fall wird die zusammengesetzte Gesamtprojektion einen kleineren Fehler haben, als wenn die Fehler beider Projektionen (bei derselben absoluten Größe) in die gleiche Richtung gegangen wären.

Um die Größenordnung dieser statistisch zu erwartenden Fehlerkompensation zu ermitteln, wurden Fehlerkompensationsrechnungen anhand verschiedener zufällig ermittelter Fehlerverteilungen vorgenommen. Hierfür wurden jeweils Fehlerzeitreihen für Teilprojektionen von bis zu 11 Jahren im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation²⁵⁸ untersucht. Die drei – als Repräsentation der real vorkommenden Fehlerstreuung jeweils einer Projektion – verwendeten statistischen Modelle (Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen) waren:

²⁵⁷ Weitere Erläuterungen und Beispiele dazu finden sich ebenfalls in Abschnitt 6.1.

²⁵⁸ Monte-Carlo-Verfahren werden vielseitig eingesetzt. Ihr verbindendes Merkmal ist die Nutzung eines Zufallsgenerators (vgl. Lechtenböhrer, Hanke 2005, 1f), der – hier gesteuert durch eine die realen Werte möglichst gut annähernde Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion – Zufallswerte für die zu untersuchenden Variablen erzeugt und diese immer wieder kombiniert. Allgemeine Hinweise zum Einsatz der Methode im Umweltbereich geben z.B. IPCC (2000b), Cullen und Frey (1999) sowie EPA (1997).

- a) Eine unabhängige Schätzung jedes einzelnen Fehlers (d.h. für jedes Projektionsjahr) der Zeitreihen unter Verwendung einer *Gleichverteilung* der Fehler von -25% bis +25% als Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (Mittlerer absoluter Fehler: 12,5%).
- b) Eine ebenfalls unabhängige Schätzung jedes Fehlers unter Verwendung einer *Normalverteilung* mit etwa demselben mittleren Fehler (Mittelwert 0 und Standardabweichung 0,15²⁵⁹) als Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (Mittlerer absoluter Fehler: 12,0%).
- c) Eine Schätzung unter Anwendung einer *linearisierten Normalverteilung*. Hierzu wurde die vorgenannte Normalverteilung zugrunde gelegt und zusätzlich die vorkommenden Fehlerrichtungsänderungen auf ein Niveau von etwa 50% aller Projektionen, in denen eine oder mehrere Fehlerrichtungsänderungen vorkommen, gedämpft. Dies entspricht der mittleren Häufigkeit aller Fehlerrichtungsänderungen in den hier betrachteten Variablen (s.o.). Hierdurch soll eine möglichst gute Annäherung an die tatsächlichen Fehlerreihen erreicht werden.

Für jedes dieser Modelle wurden im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation jeweils 1000 zufällig geschätzte Fehlerverteilungen mit einer anderen ebenfalls zufällig geschätzten Verteilung derselben Art verknüpft und das Ausmaß der jeweiligen Fehlerkompensation ermittelt.

Dabei wurden unterschiedliche Verknüpfungsarten (multiplikativ und additiv) sowie unterschiedliche Gewichtungen verwendet, um die in der Realität vorkommenden Fälle von Fehlerkompensationen abzudecken. Mit Hilfe der Gewichtung wurden dabei unterschiedliche Fehlerausmaße simuliert, denn es ist zu erwarten, dass sich eine höhere Fehlerkompensation ergibt, wenn die Fehler beider kombinierter Variablen etwa gleich groß sind, als wenn sie stark unterschiedlich ausfallen²⁶⁰.

Additive Verknüpfungen

Additive Verknüpfungen können sich unterscheiden durch die Art der verknüpften Variablen, durch die Relation der Fehlergröße der verknüpften Variablen (z.B. eine Variable mit relativ kleinen, eine andere mit relativ großen Fehlern, oder auch Variablen mit im Durchschnitt gleich großen Fehlern) und durch die Anzahl der addierten Variablen. Alle diese Größen haben einen Einfluss auf die Fehlerkompensation. Um die rein statistisch erwartbare Fehlerkompensation bei additiver Verknüpfung zu ermitteln, wurden entsprechende Varianten mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode (s.o.) analysiert. Tabelle 7-11 bis 7-13 geben die Resultate der Monte-Carlo Simulationsrechnungen wider. Dabei wurden Prognosen unterschiedlicher Dauer berücksichtigt. An den

²⁵⁹ Schätzung einer normalverteilten Zufallsvariablen mit Mittelwert 0,5 und Parallelverschiebung der Ergebnisse um -0,5.

²⁶⁰ In letzterem Fall erfolgt zwar genau so häufig eine Kompensation, allerdings ist das Ausmaß der Kompensation erwartungsgemäß umso größer, wenn die Fehler auch etwa gleich groß sind.

Ergebnissen ist erkennbar, dass die Fehlerkompensation starken statistischen Schwankungen unterliegt. Diese nehmen allerdings mit zunehmender Prognosedauer leicht ab. Der Mittelwert der Fehlerkompensation ist dagegen weitgehend unabhängig von der Prognosedauer.

Tabelle 7-11: Statistische Fehlerkompensation bei additiver Verknüpfung von zwei Projektionen (Vergleich von Fehlermodellen)

Fehler gleich groß	Prognosedauer in Jahren									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
gleichverteilt										
Mittelwert	31.7%	31.7%	31.8%	31.2%	31.3%	31.2%	31.2%	31.2%	31.3%	31.0%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.8%	6.0%	7.5%	9.4%	9.7%	10.4%
97,5%-Quantil	47.0%	45.5%	43.7%	42.3%	41.3%	40.9%	39.9%	39.3%	38.6%	38.3%
normalverteilt										
Mittelwert	27.4%	28.1%	28.0%	28.2%	28.2%	28.0%	28.1%	28.1%	28.1%	28.1%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.4%	4.6%	6.4%	7.9%	8.1%	9.0%
97,5%-Quantil	44.3%	40.8%	39.8%	38.5%	37.9%	36.6%	36.4%	35.9%	35.8%	35.6%
normalverteilt u. linearisiert										
Mittelwert	26.4%	26.6%	26.8%	26.8%	26.7%	26.8%	26.8%	26.9%	27.0%	27.2%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	2.3%	3.5%	3.8%
97,5%-Quantil	42.7%	39.5%	39.0%	38.4%	37.8%	36.7%	36.3%	36.0%	36.0%	36.0%

Quelle: eigene Berechnungen / Monte-Carlo Simulation

Leichte Unterschiede gibt es zwischen den verwendeten *Fehlermodellen*. Während die Fehlerkompensation bei der Addition zweier Projektionen mit (zufällig) gleichverteilten Fehlern ca. 31% beträgt, liegt sie bei der Addition zweier Projektionen mit normalverteilten Fehlern bei nur 28,1%. Sind diese dann auch noch bezüglich ihrer Fehlerrichtung linearisiert, liegt die mittlere zu erwartende Fehlerkompensation nur bei 27,2%. Hintergrund hierfür ist, dass bei den beiden ersten Fehlermodellen zwar die Wahrscheinlichkeit einer Fehlerkompensation an sich gleich hoch ist, aber im Falle einer Kompensation bei der Gleichverteilung der Fehlerhöhen die Wahrscheinlichkeit etwas höher ist, dass die sich kompensierenden Fehler gleich groß sind. Daher ist das Ausmaß der Kompensation im Durchschnitt etwas größer. Die Linearisierung dagegen verringert gegenüber der unlinearisierten Normalverteilung leicht die Wahrscheinlichkeit, dass es überhaupt zu Fehlerkompensationen kommt.

Die Fehlerkompensation hängt erwartungsgemäß stark von der Anzahl der addierten Projektionen ab, wie die folgende Tabelle zeigt. Bei der Addition von drei Projektionen ist die Kompensation im Mittel um 50% größer als bei zwei Projektionen, bei vier Projektionen um 80% und bei fünf Projektionen doppelt so hoch, wie bei der Addition zweier Projektionen.

Tabelle 7-12: Statistische Fehlerkompensation bei additiver Verknüpfung von zwei bis fünf Projektionen (Fehlermodell: linearisierte Normalverteilung, gleich hohe Fehler)

Anzahl addierter	Prognosedauer in Jahren
------------------	-------------------------

Projektionen	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2 Projektionen										
Mittelwert	26.3%	26.6%	26.8%	26.8%	26.7%	26.8%	26.7%	26.9%	26.9%	27.2%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	2.3%	3.5%	3.7%
97,5%-Quantil	42.7%	39.5%	39.0%	38.4%	37.8%	36.7%	36.3%	36.0%	36.0%	36.0%
3 Projektionen										
Mittelwert	40.0%	39.8%	40.5%	40.3%	40.1%	40.3%	40.5%	40.7%	40.7%	40.9%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	5.7%	9.6%	11.5%	11.9%	13.1%	15.0%	16.6%	16.9%
97,5%-Quantil	56.1%	54.6%	52.7%	51.7%	50.2%	50.4%	49.8%	50.2%	50.1%	50.0%
4 Projektionen										
Mittelwert	48.5%	48.0%	48.4%	48.4%	48.2%	48.3%	48.4%	48.6%	48.6%	48.8%
2,5%-Quantil	2.5%	9.0%	14.7%	17.0%	18.3%	20.1%	20.0%	22.8%	23.6%	23.5%
97,5%-Quantil	66.4%	61.7%	60.7%	59.7%	58.5%	57.8%	57.5%	57.5%	56.8%	56.7%
5 Projektionen										
Mittelwert	54.4%	53.6%	53.6%	53.7%	53.6%	53.8%	53.9%	54.2%	54.1%	54.4%
2,5%-Quantil	7.9%	14.9%	22.1%	24.8%	26.5%	27.9%	28.4%	31.5%	32.3%	33.3%
97,5%-Quantil	71.6%	66.9%	65.9%	64.6%	63.7%	63.2%	62.7%	62.2%	61.9%	61.9%

Quelle: eigene Berechnungen / Monte-Carlo Simulation

In Tabelle 7-13 wurde schließlich untersucht, wie stark sich die unterschiedliche Fehlerhöhe zweier kombinierter Projektionen auf das Ausmaß der Fehlerkompensation auswirkt. Dabei wurden die entsprechenden Kennwerte für verschiedene Verhältnisse bis zu einem Wert von 1 zu 10 ermittelt. Dabei ist klar, dass bei großen Unterschieden der Fehler die Kompensation zurückgeht, bei einem extremen Verhältnis von 1 zu 10 um etwas mehr als die Hälfte.

Zusätzlich konnte hier festgestellt werden, dass die Differenz der Fehlermodelle (s.o.) bei steigender Fehlerabweichung schrumpft.

Im Ergebnis zeigt sich also: Bei der additiven Verknüpfung von Projektionen ist im statistischen Mittelwert mit einer signifikanten Fehlerkompensation zu rechnen. Bei der Kombination zweier Projektionen mit dem normalverteilten linearisierten Fehlermodell, das die höchste Realitätsnähe der hier verwendeten Modelle aufweist, liegt die Fehlerkompensation durchschnittlich bei 27,2%, bei den beiden übrigen Modellen ist sie leicht höher. Sie steigt, je mehr Projektionen addiert werden, bei der Addition von fünf Projektionen liegt sie doppelt so hoch wie bei zwei Projektionen. Die Fehlerkompensation sinkt hingegen, wenn die addierten Projektionen unterschiedlich große Fehler aufweisen. Bei einem Verhältnis von 1 zu 10 liegt die Fehlerkompensation nur noch halb so hoch, wie bei dem optimalen Verhältnis von 1 zu 1. Die absolute Fehlergröße dagegen spielt für die relative Fehlerkompensation keine Rolle.

Tabelle 7-13: Statistische Fehlerkompensation bei additiver Verknüpfung von zwei Projektionen mit unterschiedlich hohen Fehlern (Fehlermodell: normalverteilt, linearisiert)

Verhältnis der mittleren Fehler	Prognosedauer in Jahren									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 : 1										
Mittelwert	26.4%	26.6%	26.8%	26.8%	26.7%	26.8%	26.8%	26.9%	27.0%	27.2%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	2.3%	3.5%	3.8%
97,5%-Quantil	42.7%	39.5%	39.0%	38.4%	37.8%	36.7%	36.3%	36.0%	36.0%	36.0%
1 : 2										
Mittelwert	24.8%	24.7%	25.0%	24.9%	24.8%	24.8%	24.8%	24.9%	25.0%	25.2%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	1.9%	2.3%	2.9%
97,5%-Quantil	42.0%	36.5%	36.8%	35.0%	35.5%	34.3%	33.7%	34.4%	33.9%	33.4%
1 : 3										
Mittelwert	22.3%	22.1%	22.3%	22.2%	22.1%	22.1%	22.2%	22.2%	22.3%	22.5%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	1.3%	1.6%	2.3%
97,5%-Quantil	37.7%	33.0%	32.7%	32.1%	30.8%	31.0%	30.6%	30.7%	30.5%	30.0%
1 : 5										
Mittelwert	18.4%	18.2%	18.3%	18.2%	18.1%	18.1%	18.2%	18.2%	18.3%	18.4%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	1.0%	1.6%
97,5%-Quantil	32.6%	28.9%	27.4%	26.8%	25.5%	25.8%	25.4%	25.4%	25.3%	25.1%
1 : 10										
Mittelwert	13.1%	12.9%	13.0%	12.9%	12.8%	12.8%	12.9%	12.9%	12.9%	12.9%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.5%	0.9%
97,5%-Quantil	20.7%	20.2%	19.5%	19.0%	18.5%	17.9%	17.7%	17.6%	17.8%	17.4%

Quelle: eigene Berechnungen / Monte-Carlo Simulation

Multiplikative Verknüpfungen

Neben additiven kommt es häufig zu multiplikativen Verknüpfungen von Projektionen. Dabei wurde hier nur die multiplikative Kombination zweier Projektionen berücksichtigt²⁶¹. Die folgende Tabelle gibt einen Vergleich der entsprechenden Fehlerkompensation für die drei oben beschriebenen Fehlermodelle, wobei für alle drei gleich große mittlere absolute Fehler (12%) angesetzt wurden.

Das Ergebnis ist für alle drei statistischen Modelle nahezu gleich. Es ergeben sich lediglich leichte Unterschiede in der gleichen Richtung wie bei der additiven Verknüpfung, d.h. bei gleichverteilten Fehlern ist die Kompensation etwas höher als bei normalverteilten. D.h., rein zufällig ist eine Fehlerkompensation in dieser Höhe zu erwarten. Deutlicher fallen die Unterschiede bei der Breite der Konfidenzintervalle aus. Hier ist die Bandbreite beim normalverteilten und linearisierten Fehlermodell deutlich größer als bei den anderen beiden. Dabei ist insbesondere die Wahrscheinlichkeit, dass es zu keiner Fehlerkompensation kommt, größer als bei den anderen Modellen. Bezogen auf den kumulierten Fehler, der sich ergeben würde, wenn beide Teilprognosen immer synchron Über- bzw. Unterschätzungen liefern würden (Fehlerkumulation), liegt der tatsächliche Fehler im Mittel um 19,3% bis 19,7% geringer.

²⁶¹ Die multiplikative Verknüpfung von drei oder mehr Variablen wird hier als mehrstufige Verknüpfung gewertet.

Tabelle 7-14: Statistische Fehlerkompensation bei multiplikativer Verknüpfung von zwei Projektionen (Vergleich von Fehlermodellen)

Fehler gleich groß	Prognosedauer in Jahren									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
gleichverteilt										
Mittelwert	20.0%	19.7%	19.6%	19.5%	19.5%	19.5%	19.6%	19.8%	19.6%	19.7%
2,5%-Quantil	0.0%	2.5%	5.7%	6.7%	7.5%	7.8%	9.4%	9.6%	10.1%	10.5%
97,5%-Quantil	28.1%	26.2%	24.8%	24.4%	23.6%	23.8%	23.3%	23.4%	23.0%	22.8%
normalverteilt										
Mittelwert	20.2%	20.0%	19.9%	19.6%	19.7%	19.5%	19.4%	19.2%	19.3%	19.4%
2,5%-Quantil	0.0%	2.3%	5.0%	5.2%	6.4%	7.6%	7.5%	7.9%	9.0%	9.6%
97,5%-Quantil	29.1%	27.1%	26.1%	25.0%	24.7%	23.9%	23.8%	22.8%	23.0%	23.1%
normalverteilt u. linearisiert										
Mittelwert	19.0%	19.3%	19.2%	19.0%	19.0%	19.0%	19.0%	19.2%	19.2%	19.3%
2,5%-Quantil	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	2.1%	3.0%	3.4%	3.8%	4.4%	5.1%
97,5%-Quantil	28.3%	27.6%	26.8%	25.8%	25.6%	25.2%	25.1%	24.9%	24.6%	24.7%
Mittlerer absoluter Fehler aller Projektionen: 12%										

Quelle: eigene Berechnungen / Monte-Carlo Simulation

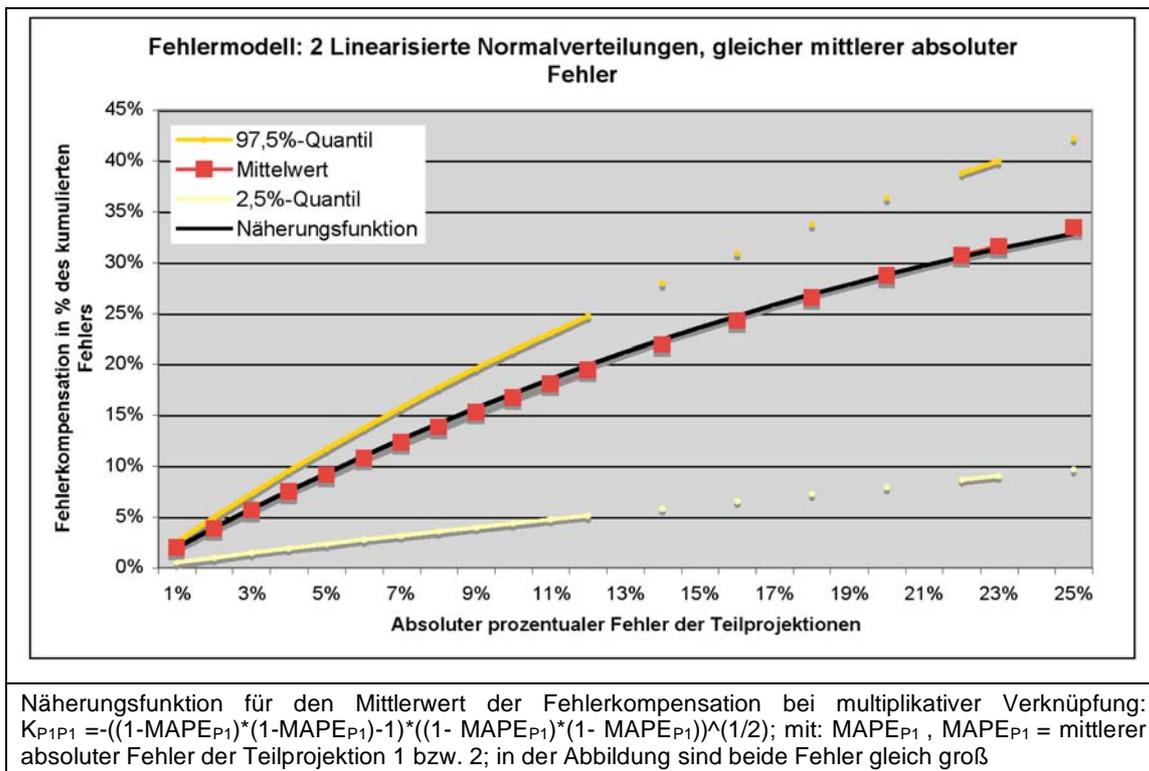
Anders als bei der additiven Verknüpfung ist die relative Fehlerkompensation bei der multiplikativen Verknüpfung von der Absoluthöhe der Fehler der Teilprojektionen abhängig.

Die Abbildung 7-22 zeigt diesen Zusammenhang für den Spezialfall, dass die mittleren absoluten Fehler der beiden Projektionen gleich groß sind. Die Mittelwerte der Fehlerkompensation bei der Multiplikation zeigen einen hyperbelartig steigenden Verlauf, in Abhängigkeit von der Größe der mittleren absoluten Fehler der Teilprojektionen. Die mittlere Fehlerkompensation lässt sich dabei für Fehlergrößen bis etwa 25% gut durch die in der Grafik angegebene Näherungsfunktion beschrieben. Die Grafik zeigt, dass sich kaum Abweichungen zwischen den Funktionsergebnissen und den mit Hilfe der Monte-Carlo Simulation gewonnenen Fehlerkompensationsraten ergeben. Weichen die Fehlergrößen der beiden Projektionen voneinander ab, so ergibt sich eine etwas größere Abweichung zwischen Funktionsergebnis und Simulationsergebnis. Dennoch ist die Funktion auch hier gut geeignet, um die mittlere wahrscheinliche Fehlerkompensation zu ermitteln.

Im Ergebnis hängt die statistisch erwartbare Fehlerkompensation bei der multiplikativen Verknüpfung damit von der Größe der mittleren absoluten Fehler der Teilprojektionen ab. Sie liegt bei gleichen Fehlerhöhen beider beteiligter Teilprojektionen etwas niedriger als die der Summe der Teilfehler.

Sind die Fehler nicht gleichverteilt, sinkt die Fehlerkompensation umso stärker ab, je stärker die Teilfehler differieren, was ebenfalls in der Näherungsformel reflektiert wird.

Abbildung 7-22: Fehlerkompensation bei multiplikativer Verknüpfung zweier Projektionen in Abhängigkeit von der Fehlerhöhe



Quelle: eigene Berechnungen / Monte-Carlo Simulation

Zusammenfassung der statistischen Fehlerkompensationsanalyse

Die Ergebnisse der Monte-Carlo Analyse machen deutlich, dass bereits rein statistisch, je nach der Art der Kombination, nach der Höhe der absoluten Fehler der einzelnen Teilprojektionen sowie ihrem Verhältnis zueinander signifikante Fehlerkompensationen bei der Kombination zweier oder mehrerer Teilprojektionen zu einer aggregierten Projektion zu erwarten sind. Dabei zeigen die hier durchgeführten Analysen aber auch, dass eine hohe Bandbreite möglicher Ergebnisse besteht.

Insgesamt kann gefolgert werden, dass Fehlerkompensationen bei einzelnen Projektionen, die höher sind als entsprechende Vergleichswerte insbesondere aber höher sind als die dem 95% Konfidenzintervallen zuzuordnenden Fehlerkompensationen, nicht mehr rein statistisch zu begründen sind sondern zumindest teilweise auf andere Effekte zurückgeführt werden müssen. Dies gilt ebenfalls für Projektionen bei denen die Fehlerkompensation niedriger als statistisch erwartet ist. Hier ist das Bild etwas weniger eindeutig, da – je nach Fehlermodell und Prognosedauer – eine recht hohe Wahrscheinlichkeit geringerer als durchschnittlicher oder sogar keiner Fehlerkompensation

besteht. Dennoch können in Fällen unterdurchschnittlicher Fehlerkompensation zufällige Einflüsse eine Rolle spielen²⁶².

7.3.3.3 Beobachtete Fehlerkompensation

Das hier verwendete Prognosemodell (siehe Abbildung 6-1) setzt sich aus zahlreichen einzelnen Projektionen zusammen, die über mehrere Ebenen sowohl additiv als auch multiplikativ miteinander verknüpft werden. Entsprechend der voranstehend durchgeführten Monte-Carlo-Analysen sind daher umfangreiche Fehlerkompensationseffekte zwischen den einzelnen Teilprojektionen zu erwarten. Entsprechend eindeutige Resultate ergeben sich auch bereits aus den Ergebnissen zur Gesamtprojektion der energiebedingten CO₂-Emissionen in Abschnitt 6.4.1.1.

Für die Analyse dieser Fehlerkompensationen werden im Folgenden die basisjahrkorrigierten prozentualen Fehler verwendet. Dieses Fehlermaß (s.o.) gibt den relativen (prozentualen) Abstand des jeweiligen Prognosewerts vom entsprechenden Realwert an. Durch die Basisjahrkorrektur wird lediglich der Basisjahrfehler in den Daten bereinigt. Der prozentuale Fehler ist ein relativ aussagekräftiger Fehlerwert und weist gegenüber dem Trendfehler den Vorteil auf, dass sich die einzelnen Fehlerwerte über Verknüpfungen hinweg miteinander kombinieren lassen. Hierdurch ergibt sich ein exaktes Fehlermodell, das für die hier angestrebte Analyse wichtig ist²⁶³.

Für die Analyse wurden alle im Modell vorkommenden Prognoseverknüpfungen betrachtet.

- Bei der multiplikativen Verknüpfung wurden für alle drei beteiligten Variablen (absoluter Basiswert, spezifischer Wert, Produkt) jeweils die prozentualen und die absoluten prozentualen Fehler für jedes Jahr für jede der hier einbezogenen Projektionen ermittelt (insgesamt 104). Für die Produktvariable wurde dann der kumulative Fehler als multiplikative Verknüpfung der absoluten prozentualen Fehler der beiden Teilprojektionen berechnet²⁶⁴ und mit dem tatsächlich vorkommenden prozentualen Fehler in der Produktprojektion verglichen. Die Verknüpfung der absoluten Fehler schaltet dabei im Sinne einer Worst-case Betrachtung die Möglichkeit aus, dass sich die Fehler der Teilprojektionen kompensieren. Im tatsächlichen absoluten prozentualen Fehler der Produktprojekti-

²⁶² Dies gilt prinzipiell für alle Projektionen. Denn die statistische Wahrscheinlichkeit einer Fehlerkompensation in Höhe eines bestimmten Wertes X sagt noch nichts darüber aus, ob die Fehlerkompensation einer konkreten Projektion rein zufällig aufgetreten ist, oder ob weitere, z.B. in der Prognoseerstellung begründete Einflüsse eine Rolle gespielt haben. Daher wird die zufällige Fehlerkompensation hier als Vergleichswert bzw. „Benchmark“ verwendet.

²⁶³ Der ansonsten hier überwiegend genutzte Trendfehler kommt im Mittel einer Prognose zu nahezu demselben Ergebnis wie der prozentuale Fehler, weicht aber für einzelne Werte aufgrund des Bezugs auf den Trendwert und nicht den Realwert ab.

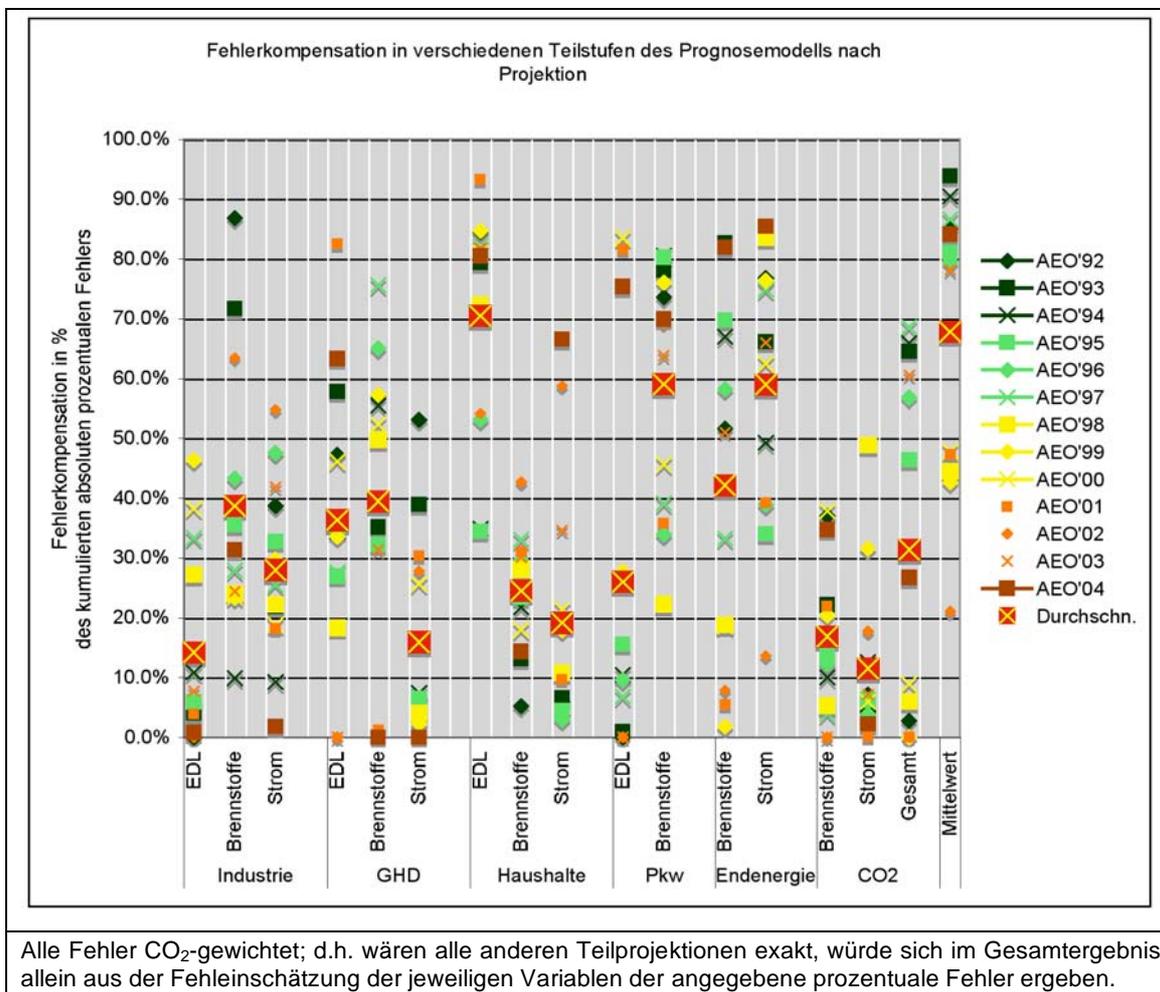
²⁶⁴ Die Formel der multiplikativen Verknüpfung lautet: $APE_P = (1 - APE_{T1}) \times (1 - APE_{T2}) - 1$, wobei APE_P = absoluter prozentualer Fehler der Produktprojektion, APE_{T1} = absoluter prozentualer Fehler der Teilprojektion 1 und APE_{T2} = absoluter prozentualer Fehler der Teilprojektion 2.

on dagegen ist die ggf. vorkommende entgegengesetzte Richtung der beiden Teilfehler berücksichtigt. Die Differenz beider Werte zeigt das Vorkommen sowie das Ausmaß der Fehlerkompensation.

- Die additive Kombination besteht analog aus der Summierung der absoluten prozentualen Fehler der einzelnen (n) Teilprojektionen, wobei hier darauf zu achten ist, dass die Fehler entsprechend des Beitrags der jeweiligen Teilprojektion zur Gesamtprojektion gewichtet werden²⁶⁵. Die Differenz der Summe der absoluten Teilfehler von der Summe der Teilfehler ergibt wiederum das Vorkommen sowie das Ausmaß der Fehlerkompensation.

Übersicht über Fehlerkompensationen

Abbildung 7-23: Fehlerkompensation in verschiedenen Projektionen und Teilstufen des Modells



Quelle: eigene Berechnungen

²⁶⁵ Hierfür wurde durchgängig die CO₂-Gewichtung verwendet. D.h., alle Fehler wurden auf ihren Anteil am Gesamtergebnis hin normiert. Daher können alle gewichteten Teilfehler direkt additiv miteinander verknüpft werden.

In der Abbildung 7-23 wird zunächst ein Überblick über die Ergebnisse gegeben. Sie gibt für jede Variable und für jede Projektion an, um welchen Anteil der theoretische kumulierte Fehler durch Kompensation reduziert wird. Das Ergebnis ist dabei sehr breit. Die Fehlerkompensationsraten liegen zwischen 0 und 94%, d.h. sie decken den möglichen Datenbereich nahezu vollständig ab. Auch innerhalb einzelner Variablen sind die Schwankungen zwischen verschiedenen Projektionen hoch. Das gleiche gilt für einzelne Projektionen. Vor diesem Hintergrund sind Interpretationen der Ergebnisse mit Vorsicht durchzuführen.

Die große Zahl von Projektionen, deren mittlere Kompensation oberhalb des statistisch zu erwartenden Mittelwerts von 19,2% und auch oberhalb des Werts von 40% liegt, jenseits dessen in der Zufallskorrelation kaum noch Fehlerkompensationen auftreten, zeigt, dass im vorliegenden Beispiel deutliche nicht zufällige Einflussfaktoren eine Rolle spielen.

Ergebnisse nach Variablen

Die folgende Abbildung 7-24 gibt einen Überblick über die Gesamtergebnisse der Analyse. Dabei wurde die Fehlerkompensation über alle Projektionen für eine Variable gemittelt. Dargestellt sind in der Abbildung oben die gewichteten Fehlerwerte. Diese geben keinen direkten Überblick über das Ausmaß der Fehlerkompensation, wohl aber über dessen Relevanz für das Gesamtergebnis. Das genaue Ausmaß der jeweiligen Fehlerkompensation findet sich in der unteren Abbildung. Dabei wurde die für die jeweilige Produkt- bzw. Summenprojektion statistisch zu erwartende und die tatsächlich beobachtete Fehlerkompensation aufgetragen.

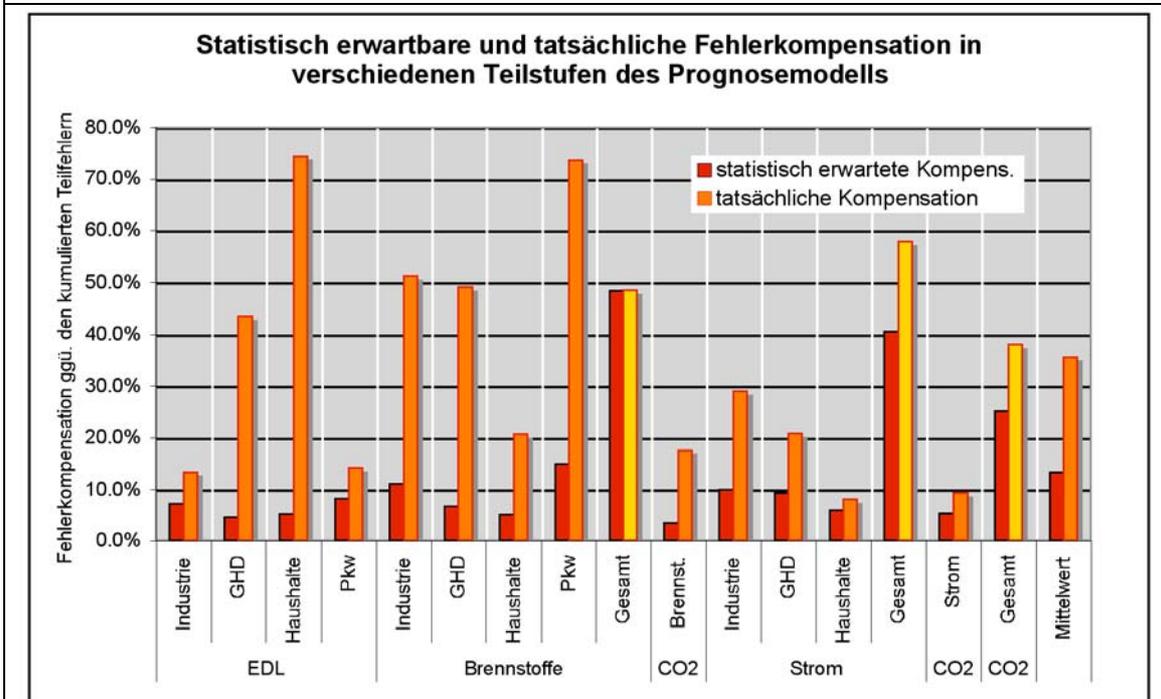
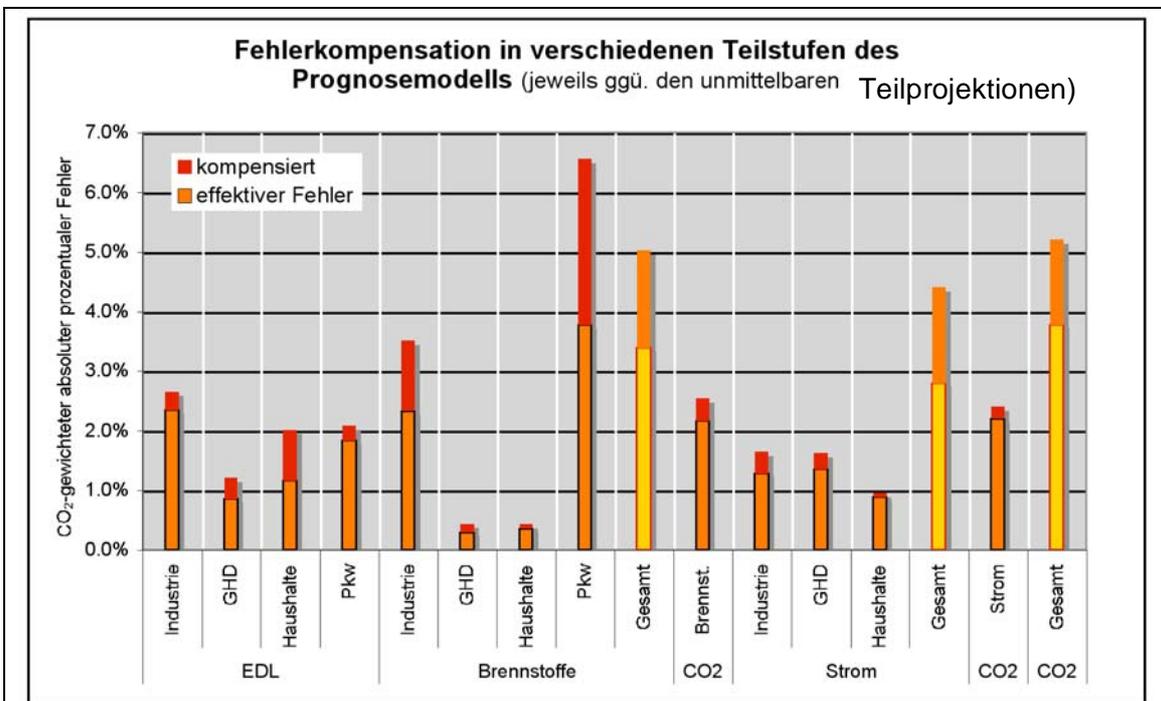
Es zeigen sich zunächst sehr unterschiedliche Ergebnisse. Für alle Variablen lässt sich das Phänomen der Fehlerkompensation nachweisen. Dabei gibt es deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Variablen.

Am Beispiel der Produktprojektionen der EDL in den einzelnen Sektoren soll eine erste Interpretation stattfinden. Es fällt auf, dass bei der EDL der Industrie und im Pkw-Bereich nur eine geringe Fehlerkompensation stattfindet. Beide Werte liegen nur etwas oberhalb des bei zufälliger Kombination zu erwartenden Kompensationsniveaus. Im Haushalts- und im GHD-Sektor ist dagegen eine sehr deutliche Fehlerkompensation von 74 bzw. 43% zu beobachten, bei gleichzeitig in diesen Sektoren noch geringerem statistischem Erwartungswert (siehe auch Tabelle 7-15 unten).

Diese Differenzierung könnte auf den Grad der Unabhängigkeit der einzelnen Projektionen zurückzuführen sein. Die Prognose der industriellen Wertschöpfung (=EDL Industrie) hängt sehr eng mit der BIP-Prognose zusammen und dies gilt somit auch für den spezifischen Wert. Daher ist im Zweifelsfall zu erwarten, dass beide Teilprojektionen die gleichen oder zumindest ähnlich bzw. in der Regel gleichgerichtete Fehler enthalten und dies auch kaum durch eine Kontrolle anhand der Gesamtergebnisse ausgeglichen wird. Entsprechend kommt es kaum zu einer Fehlerkompensation. Im

Haushaltsbereich dagegen ist der EDL-Indikator, die Zahl der Haushalte. Diese Größe hängt kaum mit der BIP-Entwicklung zusammen, sondern wird in der Regel eher auf der Basis der Bevölkerungsprognose projiziert.

Abbildung 7-24: Fehlerkompensation in verschiedenen Teilstufen des Prognosemodells



Orange/rot: Produktprognosen; gelb/orange: Summenprognosen;

Alle Fehler CO₂-gewichtet; d.h. wären alle anderen Teilprojektionen exakt, würde sich im Gesamtergebnis allein aus der Fehleinschätzung der jeweiligen Variablen der angegebene prozentuale Fehler ergeben.

Quelle: eigene Berechnungen

Aufgrund der Unabhängigkeit beider Teilprognosen (bzw. der zusätzlichen Kontrolle durch die Produktprojektion) ist es wenig überraschend, dass es hier zu einer sehr hohen Fehlerkompensation kommt. Im GHD-Sektor ist die Bürofläche der EDL-Indikator. Diese Größe hängt nur zum Teil mit der BIP-Entwicklung zusammen, wie die Haushaltszahl ist sie eine echte Bestandsgröße und daher allein schon aufgrund der Persistenz²⁶⁶ teilweise unabhängig. Hier findet ebenfalls eine signifikante Fehlerkompensation statt. Die Fahrleistungsprognose der Pkw dagegen hängt stark vom verfügbaren Einkommen der Haushalte ab, das eng mit der BIP-Entwicklung gekoppelt ist und daher auch nur eine geringe Fehlerkompensation aufweist.

Tabelle 7-15: Fehlerkumulation und Fehlerkompensation aller aggregierten Projektionen

		Mittlerer absoluter prozentualer Fehler			CO ₂ -gewichteter absoluter prozentualer Fehler			Fehlerkompensation in %	
		kumuliert	tatsächlich	Kompensation	kumuliert	tatsächlich	Kompensation	tatsächlich	statist. erwartet
EDL	Industrie	7.9%	6.8%	1.1%	2.3%	2.0%	0.3%	13.4%	7.2%
	GHD	4.9%	2.8%	2.1%	0.8%	0.5%	0.4%	43.4%	4.6%
	Haushalte	5.6%	1.4%	4.2%	1.2%	0.3%	0.9%	74.4%	5.3%
	Pkw	9.0%	7.7%	1.3%	1.8%	1.6%	0.3%	14.2%	8.2%
Brennstoffe	Industrie	12.6%	6.2%	6.4%	2.3%	1.1%	1.2%	51.2%	11.0%
	GHD	7.2%	3.7%	3.6%	0.3%	0.1%	0.1%	49.1%	6.7%
	Haushalte	5.4%	4.3%	1.1%	0.4%	0.3%	0.1%	20.6%	5.2%
	Pkw	18.5%	4.9%	13.7%	3.8%	1.0%	2.8%	73.7%	15.0%
	Gesamt	5.5%	2.9%	2.7%	3.4%	1.7%	1.6%	48.5%	48.4%
CO ₂	Brennst.	3.5%	2.9%	0.6%	2.2%	1.8%	0.4%	17.5%	3.4%
Strom	Industrie	11.0%	7.9%	3.1%	1.3%	0.9%	0.4%	28.9%	9.9%
	GHD	10.3%	8.1%	2.2%	1.3%	1.1%	0.3%	20.7%	9.3%
	Haushalte	6.4%	5.9%	0.5%	0.9%	0.8%	0.1%	8.1%	6.0%
	Gesamt	7.2%	3.0%	4.1%	2.8%	1.2%	1.6%	57.9%	40.5%
CO ₂	Strom	5.7%	5.1%	0.5%	2.2%	2.0%	0.2%	9.4%	5.4%
CO ₂	Gesamt	5.7%	2.3%	3.3%	3.8%	2.3%	1.4%	37.9%	25.0%

Quelle: eigene Berechnungen

Im Bereich der Brennstoffprojektionen, die ebenfalls Produktprojektionen sind, zeigt sich eine relativ hohe Korrelation zwischen der absoluten kumulativen Fehlerhöhe und der Fehlerkompensation. D.h., bei hohem kumulativen Fehler kommt es auch relativ zu einer hohen Kompensation, bei einem kleinerem Fehler ist die relative Kompensation dagegen geringer. Dies entspricht auch der aufgrund der oben ermittelten Verteilungsfunktion zu erwartenden Differenzierung der Fehler bei multiplikativer Verknüpfung.

²⁶⁶ Im Gegensatz zum BIP, das – in gewissen Grenzen – auch nach unten schwanken kann, ist die Bürofläche bereits stark durch die Vorjahresfläche determiniert. Diese kann zwar theoretisch auch durch Abriss oder Umwidmung reduziert werden, ist aber aufgrund der begrenzten Kapazitäten der Bauindustrie in ihrer Schwankung recht begrenzt.

Insgesamt liegen die Fehlerkompensationen hier mit zwischen 21% im Haushaltssektor und 74% im Verkehrssektor eher höher als im Bereich der EDL-Projektionen. Hier könnte die relativ niedrige Fehlerkompensation im Haushaltsbereich im Vergleich zum Verkehr und den anderen Sektoren z.B. darauf zurückzuführen sein, dass der Brennstoff verbrauchende Bestand im Haushaltssektor in der Tendenz langsamer umgeschlagen wird als in den anderen Sektoren. Damit ist die Projektion in der Tendenz festgelegter (und eigentlich auch genauer). Allerdings verhindert der geringere Freiheitsgrad der spezifischen Brennstoffeinsätze im Haushaltsbereich den ‚Spielraum‘ für die Fehlerkompensation.

Im Strombereich ergibt sich bei in der Tendenz geringerer Fehlerkompensation als im Brennstoffbereich wiederum die aufgrund der statistischen Fehlerkompensationserwartung leichte Korrelation zwischen kumulativer Fehlerhöhe und Kompensationsgrad²⁶⁷. Auch hier liegt der Haushaltssektor mit nur 8% Fehlerkompensation deutlich niedriger als die beiden übrigen Sektoren, ohne dass sich hier eine schlüssige inhaltliche Erklärung aufdrängt.

Sehr geringe Fehlerkompensationen weisen darüber hinaus auch die Produktprojektionen für die CO₂-Emissionen des Strom- und des Brennstoffeinsatzes mit 9 bzw. 18% auf. Hier sind in Bezug auf die jeweiligen Emissionsfaktoren wie beim Brennstoffeinsatz der Haushalte nur geringe Freiheitsgrade der Projektion gegeben, insofern können diese Teilprojektionen in der Dimension kaum ein entsprechendes Gewicht haben, um die Fehler in der Energienachfrage zu kompensieren.²⁶⁸

Durchgängig signifikante Fehlerkompensationen finden sich bei den drei Summenprojektionen mit 38% für die gesamte CO₂-Emissionen sowie 49 bzw. 58% für die Summen der Brennstoffe und des Stroms. Diese Werte liegen allerdings nur leicht oberhalb der statistisch zu erwartenden Fehlerkompensation für die entsprechenden additiven Prognosekombinationen. Zusätzliche inhaltliche Gründe wie z.B. die Kontrolle durch unabhängige Projektionen der Gesamtaggregate müssen daher nicht zwingend eine signifikante Rolle gespielt haben.

7.3.3.4 Schlussfolgerung zu Hypothese P3: Fehlerkompensation

Die voranstehende Analyse zeigt, dass die Kompensation von Fehlern bei der Aggregation von Teilprojektionen zu Gesamtprojektionen eine große Rolle spielt, nicht nur in

²⁶⁷ Insgesamt ergibt sich dieser leichte Zusammenhang für alle multiplikativen Verknüpfungen (Korrelationskoeffizient 0,675; wenn der Ausreißer EDL-HH ausgenommen wird). Dies könnte als Hinweis darauf gewertet werden, dass statistische Fehlerkompensationseffekte auch mit in die Ergebnisse hineinspielen.

²⁶⁸ Kontraintuitiv ist jedoch die Tatsache, dass die Kompensation bei den Brennstoffen höher ist, als beim Strom, obwohl der Emissionsfaktor für Strom deutlich stärker schwanken kann als der für die (vorwiegend auf Mineralöle sowie Erdgas konzentrierten) Brennstoffe. Dies gilt ebenso für die statistischen Erwartungswerte.

der Literatur, sondern auch im hier gewählten Beispiel der US-Energie- und Emissionsprojektionen.

Aufgrund der mehrstufigen Kombination von insgesamt 26 Projektionen zu einer Gesamtprojektion, der energiebedingten CO₂-Emissionen der USA, im hier gewählten Analysemodell ergeben sich zahlreiche Aggregationen von Teilprojektionen sowohl in multiplikativer als auch additiver Form und entsprechend viele Möglichkeiten der Fehlerkompensation.

Im Durchschnitt aller Kombinationen von Teil- zu Gesamtprojektionen aller betrachteten Projektionen der AEOs 92 bis 04 ergibt sich eine Fehlerkompensation von 36%. D.h., wenn immer Projektionen kombiniert wurden lag der Fehler aufgrund von Kompensationseffekten um 36% niedriger, als wenn keine Kompensation aufgetreten wäre. Die Bandbreite der Fehlerkompensationen ist dabei hoch und reicht für die Mittelwerte einzelner Variablen von 8 bis 74%, werden einzelne Projektionen (über alle Variablen) verglichen, so liegt die Spannweite zwischen 21 und 94%.

Bezogen auf das Gesamtergebnis (gesamte energiebedingte CO₂-Emissionen) bedeutet dies, dass – gesetzt den Fall, alle Fehler wären kumuliert worden – der mittlere Prognosefehler bei knapp 31% gelegen hätte. Tatsächlich lag er im Mittel nur bei 2,3%. Insgesamt wurden also über 92% des theoretisch denkbaren Fehlers durch Fehlerkompensation über mehrere Aggregationsstufen vermieden. Der Gesamtfehler ist also nicht extrem hoch, sondern liegt im Gegenteil eher niedriger als der durchschnittliche Fehler von 4,7% der verwendeten Detailprojektionen²⁶⁹. CO₂-gewichtet liegt der mittlere Fehler der Detailprojektionen bei 1,2%. Das bedeutet, dass – ohne Fehlerkompensation – allein die Fehler in zwei Detailprojektionen ausreichen würden, um den Gesamtfehler zu erklären.

Bei der Interpretation dieser Zahlen müssen allerdings zwei Aspekte berücksichtigt werden. Zum einen steigt der theoretische kumulierte Fehler mit der Zahl der Teilprojektionen an, d.h., er hängt signifikant vom gewählten Modell ab, je mehr Teilprojektionen genutzt (bzw. in der Analyse berücksichtigt) werden, desto höher ist zunächst der kumulierte Fehler. Zum anderen ist es rein statistisch zu erwarten, dass bei einer Kombination zweier Prognosen eine Fehlerkompensation auftritt. Anhand einer Monte-Carlo Simulation konnten die wesentlichen Aspekte der bei verschiedenen Kombinationen von Projektionen zu erwartenden Fehlerkompensationseffekte quantifiziert werden. Der Mittelwert der hier rein zufällig zu erwartenden Fehlerkompensation beträgt etwa 13%. D.h., gut ein Drittel der vor allem bei der multiplikativen Kombination von

²⁶⁹ Dieser Effekt kann ggf. auch zur Erhellung der Beobachtung beitragen, dass oft einfachere Prognosemodelle bessere oder zumindest keine schlechteren Ergebnisse liefern als komplexere Modelle. Denn offenbar ist es so, dass Detailprojektionen nicht notwendigerweise besser sind als stärker aggregierte Projektionen. Denn nur durch eine Verkleinerung des Blickfeldes muss sich nicht unbedingt eine bessere Prognose ergeben, im Gegenteil kann z.T. die Datenlage sogar schlechter sein. Wenn die Teilprognosen aber nicht wirklich besser sind als höher aggregierte, kann auch durch eine Aufspaltung des Modells keine wirklich höhere Genauigkeit erwartet werden.

Teilprojektionen aufgetretenen Fehlerkompensation wäre auch zufällig zu erwarten gewesen. Für den Rest der Kompensationen besteht die Wahrscheinlichkeit, dass andere Einflüsse eine Rolle gespielt haben.

Trotz generell hoher Streuung der Ergebnisse zwischen einzelnen Projektionen und Variablen lassen sich einige der eingangs aufgestellten Vermutungen zu näheren Details des Fehlerkompensationseffekts näher belegen.

So lassen sich besonders hohe und besonders niedrige Fehlerkompensationsraten an einigen Beispielen durch inhaltliche Argumente belegen.

- Besonders hohe Kompensationsraten treten auf, wenn die beiden multiplikativ aggregierten Projektionen stark unabhängig sind, was meist der Fall ist, wenn die Produktprojektion selber unabhängig prognostiziert oder zumindest verifiziert werden kann.
- Im Gegensatz dazu kommt es kaum zu Fehlerkompensationen, wenn eine starke inhaltliche Abhängigkeit zwischen beiden Teilprojektionen und/oder zwischen Treibergröße und Produktprojektion besteht.
- Ebenfalls treten kaum Fehlerkompensationen auf, wenn statt der inhaltlichen Abhängigkeit, die Faktorprojektion nur in engen Grenzen variieren kann bzw. gut prognostiziert werden kann.

Insgesamt kann also die Hypothese, dass es bei der Aggregation von Teilprojektionen zur Fehlerkompensation kommt, klar bestätigt werden. Als Hintergründe hierfür können sowohl statistische Effekte als auch inhaltliche Aspekte, vor allem die Unabhängigkeit der betroffenen Projektionen genannt werden.

Die von mehreren Autoren²⁷⁰, teils mit einer gewissen Ernüchterung über die Qualität und Nützlichkeit ihrer Projektionen bemerkte Fehlerkompensation ist demnach in erster Linie keine glückliche Fügung sondern bestenfalls – ein statistisch auch erwartbarer – Zufall gewesen. Sie ist außerdem aber auch zumindest teilweise auf sinnvolle inhaltliche Einflüsse zurückführbar. So finden sich besonders hohe Fehlerkompensationen gerade dort, wo die kombinierten Teilprognosen bzw. die Teilprognosen und die kombinierte Prognose inhaltlich stark unabhängig sind und weitere Informationen und Projektionsgrundlagen zur Verfügung standen und auch genutzt wurden.

²⁷⁰ Siehe z.B. Landsberg (1985), Smil (2000), Linderoth (2002), Koomey et al. (2003). O’Niell und Desai (2005) berichten diesen Effekt auch für die hier im Fokus stehenden Energieprojektionen der USA.

7.4 Analyse gegenstandsspezifischer Faktoren

7.4.1 Hypothese G1: Absolute Größe

In Kapitel 4.3.2 wurde herausgearbeitet, dass zwischen der absoluten Größe (der zu prognostizierenden Variablen) und dem Prognosefehler ein klarer negativer Zusammenhang besteht. D.h. *je größer die zu prognostizierende Variable, desto kleiner ist der zu erwartende Fehler.*

Die Hypothese G1 wird in der Literatur (vor allem in Bezug auf die Bevölkerungsprognostik) vor allem im Vergleich gleicher Größen für unterschiedliche Regionen aufgestellt. Entsprechende Daten fehlen hier, da alle Variablen sich stets auf die gesamten USA beziehen²⁷¹. Hier können daher nur unterschiedliche, aber ggf. vergleichbare Variablen in Bezug auf die Hypothese untersucht werden.

7.4.1.1 Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese G1

Da in der hier gewählten Datenbasis alle Variablen nur einmal vorkommen, ist es erforderlich vergleichbare Variablen zu ermitteln, die einander in Bezug auf die Korrelation von absoluter Größe und Projektionsfehler gegenübergestellt werden können. Dazu sind hier die sektoralen Teilprojektionen (siehe Hypothese P3 sowie das Projektionsmodell in Abbildung 6-1) geeignet.

Die Hypothese bezieht sich vornehmlich auf Teilprojektionen in räumlicher Hinsicht. Hier werden dagegen die Teilprojektionen in sektoraler Hinsicht betrachtet. D.h. für die Analyse der Hypothese G1 werden die einzelnen Projektionsstufen, EDL, Brennstoffintensität, Brennstoffeinsatz, Stromintensität, Stromeinsatz, Endenergieeinsatz und CO₂-Emissionen als Variablen definiert und die entsprechenden Teilprojektionen für die vier Nachfragesektoren als vergleichbar in Bezug auf die Hypothese angenommen.

Als Maß zur Vergleichbarkeit bzw. zur Bestimmung der absoluten Größe der einzelnen (Teil-)Variablen wird die bereits in Kapitel 6 vorgenommene Normierung auf die Zielgröße d.h. die CO₂-Emissionen verwendet. Hierüber existiert ebenfalls ein gutes Vergleichsmaß der Teilprojektionen für einzelne Sektoren²⁷².

Im Folgenden wird entsprechend für jede Projektionsstufe analysiert, ob innerhalb der sektoralen Teilprojektionen negative Korrelationen zwischen der absoluten Größe

²⁷¹ Prinzipiell werden die Energieprojektionen der USA auch für neun Teilregionen erstellt. Diese Daten wurden hier aber nicht aufbereitet, da nationale Emissionsprojektionen im Fokus der Arbeit stehen und in den meisten anderen Ländern keine subnationalen Einheiten prognostiziert werden. Zudem würde die Analyse von Teilaggregaten z.T. zusätzliche Datenprobleme erzeugen, da nicht alle Teilergebnisse gleich gut und über gleich lange Zeiträume zur Verfügung stehen.

²⁷² Obwohl die CO₂-Gewichtung alle hier genutzten Variablen auf einen Nenner bringt, ist es doch wenig sinnvoll, alle Variablen miteinander zu vergleichen, da sie sich ggf. auf ganz andere nicht vergleichbare Größen beziehen. Das Maß wird hier dennoch genutzt, da es auch für Teilvergleiche gut handhabbar ist und ggf. anderen Maßen wie Endenergieeinsatz äquivalent ist.

(gemessen als Beitrag zu den gesamten CO₂-Emissionen) und dem mittleren Fehler aller Projektionen vorkommen.

7.4.1.2 Analyse vergleichbarer Variablen

Die Tabelle gibt die zur Untersuchung der Hypothese benötigten mittleren absoluten prozentualen Fehler der Projektionen und die jeweilige CO₂-Gewichtung der einzelnen Variablen wieder.

Tabelle 7-16: Größe und mittlerer Fehler betrachteter Projektionen im Vergleich (AEOs 92 bis 04)

	Industrie	GHD	Haushalte	Pkw/Verk	Gesamt
	EDL-Intensität bezogen auf BIP				BIP
Größe / CO ₂ -Gewicht	29.7%	17.3%	20.5%	20.4%	100.0%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	5.1%	2.3%	3.0%	6.3%	2.5%
Korrelationskoeffizient (Gewicht; Fehler)	0.49				
	EDL				
Größe / CO ₂ -Gewicht	29.7%	17.3%	20.5%	20.4%	
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	6.8%	2.8%	1.4%	7.7%	
Korrelationskoeffizient (Gewicht; Fehler)	0.52				
	Brennstoffintensität				
Größe / CO ₂ -Gewicht	18.4%	4.1%	6.6%	20.4%	
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	5.3%	4.3%	3.9%	9.4%	
Korrelationskoeffizient (Gewicht; Fehler)	0.79				
	Brennstoffeinsatz				Brennst.
Größe / CO ₂ -Gewicht	18.4%	4.1%	6.6%	20.4%	61.1%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	6.2%	3.7%	4.3%	4.9%	2.9%
Korrelationskoeffizient (Gewicht; Fehler)	0.80				-0.46
	Stromintensität				
Größe / CO ₂ -Gewicht	11.4%	13.2%	13.9%		
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	4.0%	7.2%	4.8%		
Korrelationskoeffizient (Gewicht; Fehler)	0.50				
	Stromeinsatz				Strom
Größe / CO ₂ -Gewicht	11.4%	13.2%	13.9%		38.6%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	7.9%	8.1%	5.9%		3.0%
Korrelationskoeffizient (Gewicht; Fehler)	-0.67				-0.92
	Endenergie				Enden.
Größe / CO ₂ -Gewicht	29.8%	17.3%	20.4%	32.1%	99.9%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	6.3%	4.3%	4.3%	2.2%	2.3%
Korrelationskoeffizient (Gewicht; Fehler)	-0.16				-0.53
				CO ₂	CO ₂
				Brennst.	Strom
Größe / CO ₂ -Gewicht				61.1%	38.8%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler				2.9%	5.1%
					Gesamt
					100.0%
					2.3%

Anm.: CO₂-Gewichte als Mittelwerte über Prognosejahre, daher keine exakte Summierung zu 100%.

Quelle: eigene Berechnungen

Zusätzlich wird der Korrelationskoeffizient für jeweils zusammengehörende und damit vergleichbare Projektionen angegeben. Dabei werden Gruppen aus den jeweiligen Teilprojektionen einer Größe gebildet und entsprechend über die einzelnen Sektoren – die jeweils eine unterschiedliche Größe aufweisen – die Korrelationen gebildet. In den

Fällen, in denen zugehörige Summenprojektionen sinnvoll waren, wurden auch diese berücksichtigt. Hier wurde zusätzlich der Korrelationskoeffizient für diese Größen unter Einbeziehung der Gesamtsummen gebildet.

Bei der Analyse der Werte fällt zunächst auf, dass in vielen Teilbereichen nur eine geringe Größendifferenzierung vorhanden ist. D.h., die verschiedenen Sektoren unterscheiden sich zumindest in Bezug auf ihre relative Größe nur unwesentlich voneinander. Diese Tatsache muss als Einschränkung bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Das Ergebnis überrascht zunächst. Für fünf Gruppen von Variablen ergibt sich eine positive Korrelation von Größe und Fehlerhöhe. D.h., der Fehler wird größer, wenn die Variable größer wird; ein Ergebnis, das der Untersuchungshypothese direkt widerspricht. Lediglich für den Bereich Stromeinsatz ergibt sich die erwartete negative Korrelation, die allerdings vor dem Hintergrund fast gleicher Sektorgewichte kaum aussagekräftig ist. Bei den CO₂-Emissionen sind nur zwei Werte vorhanden. Diese verhalten sich auch entsprechend der Hypothese; hier ist zusätzlich auch ein deutlicher Größenunterschied gegeben. Für die Endenergie ist keine Korrelation zwischen Größe und Fehlerhöhe erkennbar.

Auch wenn solche Variablen aus der Analyse ausgenommen werden, die nur ein unterdurchschnittliches Bestimmtheitsmaß des linearen Trends aufweisen, ergibt sich keine verbesserte negative Korrelation zwischen der absoluten Größe der Variablen und der Fehlerhöhe.

Werden allerdings die jeweiligen Summen mit einbezogen, so ändert sich das Bild etwas. Nun ergibt sich auch für die Endenergie eine leicht negative Korrelation, während diese für den Brennstoffeinsatz nur annähernd erreicht wird. Allerdings ist bei Einbeziehung der Summenprojektionen die Auswirkung der in Hypothese P3 nachgewiesenen Fehlerkompensation zu beachten. Dort konnte gezeigt werden, dass bei einer Addition mehrerer Projektionen mit hohen Fehlerkompensationen zu rechnen ist. Diese sollten hier ebenfalls maßgeblich dafür verantwortlich sein, dass die Summenprojektionen auch der Größenregel entsprechen. Als Bestätigung für die Hypothese G1 können diese Fälle also eher nicht gewertet werden.

7.4.1.3 Schlussfolgerung zu Hypothese G1: Absolute Größe

Insgesamt kann die Hypothese G1, die besagt, dass die Fehlergröße typischerweise mit zunehmender absoluter Größe der zu prognostizierenden Variablen abnimmt, anhand der hier vorhandenen Daten nicht bestätigt werden. Bei diesem Ergebnis muss allerdings berücksichtigt werden, dass hier nur sektorale Vergleiche, nicht aber regionale Vergleiche durchgeführt werden konnten. Diese wurden zusätzlich dadurch beeinträchtigt, dass in den meisten Fällen nur geringe Größenunterschiede der jeweils wenigen verglichenen Variablen vorhanden sind. Die Tatsache, dass die Hypothese

nicht bestätigt werden konnte, kann daher durchaus auch auf die hier vorhandene Datenbasis zurückzuführen sein.

Scheinbare Bestätigungen für die Hypothese ergeben sich allerdings, wenn Summenprojektionen mit in die Betrachtung einbezogen wurden. Hier ist allerdings die in Hypothese 11 gezeigte hohe statistisch zu erwartende Fehlerkompensation bei additiver Kombination von Projektionen für das Ergebnis verantwortlich²⁷³.

7.4.2 Hypothese G2: Veränderungsrate

Die Fehlerhypothese G2 bezieht sich ebenfalls auf den zu prognostizierenden Gegenstand. In Kapitel 4.2.3 wurde analysiert, dass die *Veränderungsrate* der zu prognostizierenden Größe bzw. Variablen positiv mit dem Prognosefehler korreliert: *Je stärker sich z.B. der Energieeinsatz ändert (wächst oder sinkt), desto ungenauer ist offenbar die Prognose.*

Die Analyse dieser Hypothese anhand der hier vorhandenen Daten wird allerdings dadurch eingeschränkt, dass nicht unterschiedliche Prognosen ein und desselben Gegenstands z.B. für verschiedene Länder vorliegen. Allerdings ist es – hilfsweise – möglich, die verschiedenen Teilprognosen in Bezug auf eine Korrelation von Veränderungsrate und Prognosefehler zu untersuchen. Dabei ist aber zu beachten, dass bei unterschiedlichen Teilprognosen weitere, vielfach individuelle Einflüsse auf die Prognosegenauigkeit existieren (siehe übrige Hypothesen). Insbesondere wenn unterschiedliche Prognosegegenstände in den Vergleich einbezogen werden, ist es schwer, diese Einflüsse adäquat auszuschalten.

7.4.2.1 Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese G2

Im Folgenden wird für Hypothese G2 untersucht, inwiefern in den hier vorhandenen Daten eine Korrelation zwischen der Veränderungsrate der Realwerte und dem mittleren Fehler der zugehörigen Projektionen feststellbar ist.

Diese Analyse wird dadurch weiter eingeschränkt, dass die Wachstumsraten der hier betrachteten Variablen über den Zeitraum 1990 bis 2004 nur in einem begrenzten Rahmen variieren. Die absoluten mittleren Veränderungsrate über diesen 15-Jahreszeitraum lagen für die hier betrachteten insgesamt 30 Variablen zwischen 0,1% pro Jahr (Emissionsfaktoren für Strom und Brennstoffe) und 3,9% pro Jahr (BIP und Stromeinsatz des GHD-Sektors). Dies sind sowohl von der Bandbreite her, als auch in Bezug auf die absolute Veränderung gegenüber den jeweiligen Vorjahren vergleichsweise geringe Werte²⁷⁴.

²⁷³ Es kann hier nicht völlig ausgeschlossen werden, dass Beispiele aus der Literatur zumindest teilweise auch auf einer Fehlinterpretation dieses Einflusses beruhen.

²⁷⁴ Über den mittleren Prognosehorizont der hier verglichenen 13 Einzelprojektionen pro Variable ergibt sich aus einer jährlichen Veränderungsrate von 2,9% eine Veränderung um insgesamt 36%. Bezogen auf die mittlere Änderung des oberen Drittels aller Variablen liegt dieser Wert bei 21% (2,4%/a). Dem-

Von einer Analyse einzelner Zeitabschnitte für eine Variable wurde hier abgesehen, denn entweder handelt es sich um Variablen mit hoher Linearität des Trends (siehe Hypothese Z3, dann ist hier keine zusätzliche Differenzierung von Veränderungsrate gegeben, oder aber es sind Variablen mit klaren Trendbrüchen, die selber einen Einfluss auf die Prognosequalität ausüben, der typischerweise den eventuellen Effekt der Änderungsrate stark überlagert²⁷⁵.

Um die Effekte der Veränderungsrate auf den Prognosefehler zu ermitteln, kommt es darauf an, mögliche Störeffekte anderer Fehlerquellen möglichst zu reduzieren. Die ersten Einflussgrößen dazu sind Prognosedauer und –periode. Sie werden hier durch die Nutzung des mittleren absoluten Fehlers über alle verfügbaren Projektionen zwischen dem AEO'02 und dem AEO'04 weitgehend vermieden. Damit werden für alle betrachteten Variablen die gleichen Zeithorizonte und Prognosedauern zugrunde gelegt.

Der Einfluss von Trendänderungen wird dadurch berücksichtigt, dass im Folgenden solche Variablen mit sehr linearem Trend zusätzlich analysiert werden. Das gleiche gilt für die Interpretation der Ergebnisse in Bezug auf den Typ der Variablen (Bestandsgröße, Änderungsgröße).

7.4.2.2 Vergleichende Analyse der vorkommenden Variablen und Projektionen

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die mittleren absoluten Fehler und die Änderungsrate der hier genutzten Projektionen bzw. beschriebenen Variablen. Dabei wurden zusätzlich für die beiden verglichenen Größen die zum oberen bzw. unteren Drittel des Wertebereichs gehörenden Werte hervorgehoben.

Eine allgemeine Korrelation zwischen Änderungsrate und Fehlerausmaß ist dabei nicht erkennbar (Korrelationskoeffizient 0,19). Werden allerdings die 20% der Variablen als Ausreißer eliminiert, deren Steigung im oberen und deren Fehler im unteren Drittel liegen²⁷⁶, bzw. umgekehrt, dann ergibt sich eine leichte Korrelation der beiden Größen (Korrelationskoeffizient 0,69).

Werden einzelne Gruppen von Variablen separat betrachtet, dann ergeben sich für die EDL und die Stromintensität gute Korrelationen zwischen Änderungsrate und Fehlern. Für alle anderen Gruppen sind keine Korrelationen der beiden Größen erkennbar. Ähnliches gilt auch bei der Betrachtung nach Sektoren. Im Haushalts- und GHD-Sektor ergeben sich schwache Korrelationen in der Industrie und im Verkehrsbereich nicht.

gegenüber liegt die Änderung im Mittel des unteren Drittels nur bei 4% (0,5%/a). Der sich hieraus ergebende Raum für eine größere Wirksamkeit ontologischer Unsicherheiten ist insgesamt als begrenzt zu bezeichnen.

²⁷⁵ Dies wird z.B. durch die Beispiele zur Analyse der Hypothese Z3 deutlich.

²⁷⁶ BIP, EDL-Intensität der Pkw, EDL GHD; Brennstoffintensität der Pkw; Brennstoffeinsatz der Industrie, Stromeinsatz der Industrie.

Zusätzlich wurden die 50% bzw. die 33% der Variablen mit der höchsten Linearität in Bezug auf eine Korrelation zwischen Änderungsrate und Fehler analysiert, um eine Analysegrundgesamtheit zu erreichen, die weniger stark z.B. von Trendänderungen betroffen ist. Allerdings ergaben sich für die entsprechend ausgewählten Teilgruppen ebenfalls keine Korrelationen zwischen Änderungsrate und Fehler (Korrelationskoeffizienten: -0,33/-0,02).

Tabelle 7-17: Änderungsraten aller Variablen und mittlere Fehler der zugehörigen Projektionen (AEOs 92 bis 04)

	Industrie	GHD	Haushalte	Pkw	BIP
	EDL-Intensität des BIP				
Steigung 1990 bis 2004	-0.8%	-1.4%	-1.7%	-0.8%	3.9%
- absolut	0.8%	1.4%	1.7%	0.8%	3.9%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	5.1%	2.3%	3.0%	6.3%	2.5%
Bestimmtheitsmaß des linearen Trends	0.809	0.981	0.984	0.517	0.984
Korrelationskoeffizient (Steigung; Fehler)	-0.91				-0.65
	EDL				
Steigung 1990 bis 2004	2.5%	1.7%	1.3%	2.8%	--
- absolut	2.5%	1.7%	1.3%	2.8%	--
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	6.8%	2.8%	1.4%	7.7%	--
Bestimmtheitsmaß des linearen Trends	0.932	0.987	0.995	0.996	--
Korrelationskoeffizient (Steigung; Fehler)	1.00				
	Brennstoffintensität				
Steigung 1990 bis 2004	-1.7%	-1.0%	-0.6%	-0.4%	--
- absolut	1.7%	1.0%	0.6%	0.4%	--
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	5.3%	4.3%	3.9%	9.4%	--
Bestimmtheitsmaß des linearen Trends	0.826	0.809	0.620	0.733	--
Korrelationskoeffizient (Steigung; Fehler)	-0.43				
	Brennstoffeinsatz				
Steigung 1990 bis 2004	0.4%	0.5%	0.5%	2.1%	1.0%
- absolut	0.4%	0.5%	0.5%	2.1%	1.0%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	6.2%	3.7%	4.3%	4.9%	2.9%
Bestimmtheitsmaß des linearen Trends	0.613	0.450	0.445	0.948	0.929
Korrelationskoeffizient (Steigung; Fehler)	0.01				
	Stromintensität				
Steigung 1990 bis 2004	-1.6%	1.7%	1.4%	--	--
- absolut	1.6%	1.7%	1.4%	--	--
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	4.0%	7.2%	4.8%	--	--
Bestimmtheitsmaß des linearen Trends	0.729	0.966	0.974	--	--
Korrelationskoeffizient (Steigung; Fehler)	0.65				
	Stromeinsatz				
Steigung 1990 bis 2004	0.5%	3.9%	3.0%	--	2.4%
- absolut	0.5%	3.9%	3.0%	--	2.4%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	7.9%	8.1%	5.9%	--	3.0%
Bestimmtheitsmaß des linearen Trends	0.685	0.985	0.990	--	0.992
Korrelationskoeffizient (Steigung; Fehler)	-0.22				
	CO ₂ -EF		CO ₂		CO ₂
	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom	Gesamt
Steigung 1990 bis 2004	-0.1%	-0.1%	0.8%	2.2%	1.3%
- absolut	0.1%	0.1%	0.8%	2.2%	1.3%
Mittlerer absoluter prozentualer Fehler	0.7%	2.6%	2.9%	5.1%	2.3%
Bestimmtheitsmaß des linearen Trends	0.829	0.471	0.920	0.976	0.969

Fett, rot: Steigung/Fehler im oberen Drittel; kursiv: im unteren Drittel

Quelle: eigene Berechnungen

7.4.2.3 Schlussfolgerung zu Hypothese G2: Veränderungsrate

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Hypothese, die Fehlerhöhe sei positiv mit der Veränderungsrate der zu prognostizierenden Größe gekoppelt, anhand der hier untersuchten Daten nicht bestätigt werden konnte. Zwar leuchtet die Hypothese, wie die theoretischen Überlegungen zeigen, durchaus ein, es ist aber zu vermuten, dass die hier verwendeten Beispiele nur mit Einschränkungen für eine entsprechende Analyse nutzbar sind. Als Grund hierfür kommt erstens die Tatsache, dass durchgängig verschiedene Variablen miteinander verglichen werden mussten, aber keine Vergleiche derselben Größe z.B. für unterschiedliche Länder möglich war, in Frage. Als zweiter Grund ist dann noch die geringe Spreizung der mittleren Veränderungsraten der hier verglichenen Größen zu nennen. Aufgrund der theoretischen Überlegungen sollte die Hypothese vor allem bei Bestandsvariablen und dann vor allem bei hohen Veränderungsraten gelten. Daher kann angenommen werden, dass die hier vorkommende maximale Änderungsrate von 3,9% pro Jahr noch zu niedrig liegt, um geeignete Ergebnisse zu erzielen.

7.5 Zusammenfassung: Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen

Aufbauend auf der umfassend angelegten quantitativ deskriptiven Fehleranalyse und Untersuchung der Hauptkomponenten der Fehler der CO₂-Emissionsprojektionen in Kapitel 6 wurden in Kapitel 7 die Hintergründe der festgestellten Fehler der einzelnen Teilprojektionen anhand ausgewählter Untersuchungshypothesen zu den (Hinter-)Gründen von Projektionsfehlern näher untersucht.

Dazu werden zunächst aus den 18 in Kapitel 4 aus der Literatur zur Energie- und Bevölkerungsprognose herauskristallisierten Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen acht für den hier betrachteten Untersuchungsgegenstand relevante Untersuchungshypothesen ausgewählt.

Dies sind drei Hypothesen zu (*erstellungs-*)*zeitspezifischen Einflussfaktoren* auf die Genauigkeit von Emissionsprojektionen,

- Z1: Übersehen von Trendänderungen (assumption drag),
- Z2: Erwartungen zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung (Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen als Trendänderungen) und
- Z3: Stabilität des Trends (in der Zeit vor der Erstellung der Projektion sowie während der Prognosedauer).

Drei Hypothesen zu *methoden- bzw. prognosespezifischen Einflussfaktoren*,

- P1: Länge der Prognoseperiode,
- P2: Stabile Fehlerrichtung und
- P3: Fehlerkompensation (zwischen den Teilprojektionen einer aggregierten Projektion).

Sowie zwei Hypothesen zu *gegenstandsspezifischen Einflussfaktoren* auf die Genauigkeit der Prognosen,

- G1: Absolute Größe (der zu prognostizierenden Variablen) und
- G2: Höhe der Veränderungsrate (der zu prognostizierenden Variablen).

Bei der Untersuchung anhand von Teilprojektionen der CO₂-Emissionsprojektionen zeigt sich, dass die drei (*erstellungs-*)*zeitspezifischen* Hypothesen als relevant bestätigt werden. Dabei müssen sie aber zum Teil anders definiert werden als dies bisher in der Literatur erfolgte, bzw. gelten wie Hypothese Z1 (Übersehen von Trendänderungen) nicht generell.

- Hypothese Z1 ‚Übersehen von Trendänderungen‘ (assumption drag) kann nur untersucht werden, wenn Trendänderungen in den historischen Daten vorkommen, dies ist aber bei den hier zur Verfügung stehenden relativ kurzen Zeitrei-

hen nicht immer eindeutig identifizierbar. Für die EDL-Intensität und die Kraftstoffintensität des Pkw-Verkehrs kann der Einfluss des assumption drag aber gezeigt werden wie er auch von Keilmann (1990) und anderen beschrieben wird, wobei sich die Trendänderungen der beiden Variablen – aufgrund ihrer zeitlichen Nähe – in den Ergebnissen gegenseitig maskieren. Die Trendänderungen der Energieintensität der Industrie dagegen sind gut erkannt worden, da geeignete Voraussetzungen dafür gegeben waren: weniger starke Trendänderungen und vor- sowie nachgelagerte Variablen, die sich eher linear entwickelt haben.

- Das Gegenstück hierzu bildet die Hypothese Z2: ‚*Erwartungen zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung*‘ bzw. Überinterpretation aktueller Veränderungen als Trendwechsel. Insgesamt konnte diese Fehlerursache für fünf Beispiele bestätigt werden, bei denen eine Veränderung der Projektion gegenüber der Vorjahresprojektion als Reaktion auf neue kurzfristige Trends bzw. kurzfristige signifikante Trendänderungen erfolgte und sich dadurch eine Vergrößerung des Fehlers ergab²⁷⁷. Dabei ist die Anfälligkeit für diese Fehlerursache besonders groß, wie das Beispiel der Stromeinsatzprojektion der Haushalte zeigt, wenn die aktuelle Abweichung in die Richtung der bisherigen Projektion(en) geht, weil dadurch die Erwartungen der Prognoseersteller – scheinbar – bestätigt werden. Dies zeigt auch das Beispiel der EDL-Intensität der Industrie, da hier die Überinterpretation des aktuellen Trends, der nicht der allgemeinen Erwartung entsprach, zunächst nicht erfolgte²⁷⁸.
- Die Ergebnisse der ersten beiden Hypothesen ergeben auch, dass die ‚*Stabilität des Trends*‘ für die Zeit vor der Erstellung der Projektion (Hypothese Z3a) eine wichtige Voraussetzung für geringe Prognosefehler ist, denn es entfallen die Grundlagen für das Vorliegen des assumption drag und der Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen von Basisdaten. Die Längsschnittanalyse der kurz- und mittelfristigen Prognosen des industriellen Brennstoffeinsatzes für den Zeitraum 1983 bis 2004 und die vergleichende Analyse aller hier detailliert betrachteten nachfrageseitigen Variablen für den Zeitraum von 1992 bis 2004 zeigen dasselbe für die Stabilität des Trends während der Prognosedauer (Hypothese Z3b). Die Tatsache, dass nicht nur die Variablen mit den niedrigsten, sondern auch die mit den höchsten Prognosefehlern stark mit einem stabilen Trend korreliert sind, zeigt, dass ein stabiler Trend aber keine Garantie für geringe Projektionsfehler ist. Umgekehrt gilt, dass ein instabiler Trend in der

²⁷⁷ Damit kann zwar die in der Literatur geäußerte Hypothese bestätigt werden, jedoch ist der Wirkungsmechanismus – die Veränderung der Projektion als Reaktion auf aktuelle Entwicklungen – ein anderer als dort normalerweise vermutet wird. (Üblicherweise wird bei hohen bzw. niedrigen Wachstumsraten eher eine Übertragung dieser Verhältnisse auf die Projektionen erwartet, d.h. eine Über- oder Unterschätzung der Zukunftsentwicklung.)

²⁷⁸ In diesem Fall wurde zunächst zur ursprünglichen Prognose zurückgekehrt und die Prognose erst als sich die Änderung im zweiten Jahr fortsetzte in dieser Richtung verändert.

Regel die Prognosegenauigkeit negativ beeinflusst. Diese Schlussfolgerungen bestätigen die Hypothese Z3 in der in der Literatur angegebenen Form für die Projektionen der AEOs in vollem Umfang.

Diese Ergebnisse bedeuten, dass die aktuellen Entwicklungen kurz vor bzw. während der Erstellung einer Prognose einen hohen Einfluss auf die Inhalte und die Genauigkeit derselben haben. Unabhängig von der Teilprojektion und des verwendeten Prognosemodells kann gezeigt werden, dass aktuelle Entwicklungen die Prognosefehler der hier untersuchten Projektionen deutlich beeinflusst haben. Dabei muss die Zeitlücke, d.h. die Zeitverzögerung der Datenverfügbarkeit und der Vorlauf der Prognoseerstellung berücksichtigt werden.

Neben den aktuellen Entwicklungen zum Erstellungszeitpunkt haben wichtige *Eigenschaften der Projektion* selber ebenfalls einen Einfluss auf die Genauigkeit der Projektionen. Die wichtigsten hier als relevant analysierten Eigenschaften sind die Länge der Prognoseperiode, die Stabilität der Fehlerrichtung²⁷⁹ sowie die Zusammensetzung der Projektion aus wenigen oder vielen Teilprojektionen deren Fehler sich kumulieren oder kompensieren können. Im Gegensatz zu den erstellungszeitspezifischen Fehlerursachen können die aus der Literatur übernommenen prognosespezifischen Fehlerhypothesen hier aber nur zum Teil belegt werden.

- Zusammenfassend gilt zunächst, dass die Hypothese P1 ‚*Länge der Prognoseperiode*‘ nicht die eigentliche Ursache von Prognosefehlern beschreibt, sondern eher die (wahrscheinlichen) Wirkungen anderer Fehler darstellt. Obwohl es einleuchtet, dass die Prognosefehler mit der Dauer der Prognoseperiode typischerweise immer größer werden, kann die Hypothese nur für bestimmte Variablen, deren Realentwicklung relativ linear verläuft, bestätigt werden. Für Variablen mit instabilerer Realentwicklung dagegen gilt die Hypothese nur zum Teil.
- Anhand der hier genutzten Daten kann die Hypothese P2 einer ‚*stabilen Fehlerrichtung*‘, d.h. dass eine Prognose entweder die Realwerte dauerhaft unter- oder sie dauerhaft überschätzt, weder für Variablen mit sehr linearer noch für solche mit stark schwankender Realentwicklung bestätigt werden. Denn etwa die Hälfte aller Projektionen weist einen Fehlerrichtungswechsel auf, wobei dieser vermehrt bei Projektionen auftritt, deren Basisjahrfehler dem Trendfehler entgegengerichtet ist. Allerdings ergibt sich – erwartungsgemäß – ein reziproker Zusammenhang mit der Fehlerhöhe. D.h. das Viertel der Projektionen mit den kleinsten Fehlern weist zu fast 80% einen Fehlerrichtungswechsel auf, das Viertel mit den größten Fehlern zu 85% eine stabile Fehlerrichtung.
- Die von mehreren Autoren, teils mit einer gewissen Ernüchterung über die Qualität und Nützlichkeit ihrer Projektionen bemerkte hohe *Fehlerkompensation* ag-

²⁷⁹ Wobei es sich bei dieser Hypothese eher um ein Ergebnis als um eine von vorneherein bestehende Eigenschaft der Projektion handelt.

gregierter Projektionen (Hypothese P3) ist auch im hier gewählten Beispiel nachweisbar und beeinflusst den Gesamtfehler in höchstem Maße (vgl. auch Kapitel 6.4). So zeigt sich, dass der effektive Gesamtfehler der CO₂-Emissionsprojektionen im Mittel der hier untersuchten Projektionen und Zeiträume durch umfangreiche Kompensationen entgegengerichteter Fehler zwischen den verschiedenen Nachfragesektoren und auf den verschiedenen Stufen (vom BIP über die EDL und die Endenergie zu den Emissionen) nur etwa ein Fünftel der Größe hat, die er hätte, wenn sich alle Teilfehler kumuliert hätten. Die Fehlerkompensation ist auf der einen Seite allein stochastisch zu erwarten – dabei steigt sie mit der Zahl der Teilprojektionen an – und kann auf der anderen Seite zumindest teilweise auf sinnvolle inhaltliche Einflüsse zurückgeführt werden. So finden sich besonders hohe Fehlerkompensationen – d.h. höher als statistisch zu erwarten gewesen wären – gerade dort, wo die kombinierten Teilprojektionen bzw. die Teilprojektionen und die kombinierte Projektion inhaltlich stark unabhängig sind und weitere Informationen und Projektionsgrundlagen zur Verfügung standen und auch genutzt wurden²⁸⁰.

Insgesamt zeigt sich, dass die Hypothesen zu den *prognosespezifischen Einflussfaktoren*, d.h. zu den Fehlerquellen, die durch die Methodik und Anlage der Projektion selber determiniert werden, nur zum Teil bestätigt werden können. Einen ganz zentralen Einfluss hat der Disaggregationsgrad des Projektionsmodells selber. Je mehr Teilprojektionen vorhanden sind, desto höher ist – bereits rein statistisch – die Fehlerkompensation, wobei aber nicht belegt werden konnte, dass der Gesamtfehler zwingend kleiner ist, als es der einer mit einem einfacheren Modell erstellten Prognose gewesen wäre. Dass die Prognosefehler mit steigender Prognosedauer größer werden, leuchtet ebenfalls ein, lässt sich hier aber nur für Variablen bestätigen, deren Realentwicklung einem relativ linearen Trend folgt. Für solche mit unregelmäßigerer Realentwicklung gilt diese Aussage (hier) nicht generell. Keine uneingeschränkte Bestätigung findet sich dagegen für die Hypothese der stabilen Fehlerrichtung.

Schließlich werden die beiden Hypothesen zu *gegenstandsspezifischen Einflussfaktoren* untersucht, die nahe legen, dass die absolute Größe sowie die Veränderungsrate der zu prognostizierenden Variablen die Projektionsfehler beeinflussen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass hier nur ein eingeschränkter Datenfundus zur Untersuchung der beiden Hypothesen zur Verfügung steht. Dies betrifft insbesondere die Tatsache, dass nur sektorale Vergleiche, d.h. zwischen verschiedenen Sektoren

²⁸⁰ Ein offensichtliches Beispiel ist die EDL der Haushalte, die hier als Zahl der Haushalte definiert ist und sich entsprechend definitorisch aus dem BIP und der EDL-Intensität (Kehrwert des BIP pro Haushalt) ergibt. Erstens ist die damit unterstellte Abhängigkeit der Haushaltszahlen von der Entwicklung des BIP in der Realität wohl nur sehr schwach ausgeprägt und zweitens existieren für die Zahl der Haushalte unabhängige Projektionen, die auch genutzt werden und so Fehler der vorgelagerten Projektionen kompensieren können.

aber keine regionalen Vergleiche, zwischen verschiedenen Ländern oder Regionen, durchgeführt werden.

- Hypothese G1, die – angelehnt an das statistische Gesetz der großen Zahl – besagt, dass die Fehlergröße typischerweise mit zunehmender *absoluter Größe* der zu prognostizierenden Variablen abnimmt, kann anhand der hier vorhandenen Daten in sektoralen Vergleich nicht bestätigt werden. Lediglich Summenprojektionen weisen geringere Fehler auf als Teilprojektionen²⁸¹. Hierfür ist allerdings die Fehlerkompensation bei additiver Kombination von Projektionen verantwortlich (vgl. Hypothese P3)²⁸².
- Ebenso wenig kann hier die Hypothese G2, die Fehlerhöhe sei positiv mit der *Veränderungsrate* der zu prognostizierenden Größe gekoppelt, bestätigt werden, wobei zu der Beschränkung auf sektorale Vergleiche noch die Tatsache hinzu kommt, dass die in den Daten vorkommende Spreizung der Änderungsraten bei einer maximalen Rate von 3,9% pro Jahr zu niedrig liegt, um geeignete Ergebnisse zu erzielen.

Die möglichen Fehlereinflüsse, die sich allein aus der Charakteristik des Gegenstands (der Prognosevariablen) herleiten, lassen sich also für die hier untersuchten Energie- und Emissionsprojektionen der Jahre 1983 bis 2004 für die USA nicht bestätigen.

Insgesamt zeigt sich bei der Analyse der acht hier relevanten Fehlerhypothesen, dass für die hier untersuchten Energie- und Emissionsprojektionen (und die dazugehörigen Projektionen des BIP und der sektoralen EDL) und für die hier untersuchten Zeiträume²⁸³ vor allem die zeitabhängigen Faktoren einen großen Einfluss haben:

- Ein relativ gleichmäßiger (linearer) Trend (Hypothese Z3) ist eine wichtige Voraussetzung für niedrige Projektionsfehler, er bietet allerdings keine Garantie dafür. Auch die Projektionen mit den höchsten Fehlern weisen einen relativ kontinuierlichen historischen Trend auf. Dies hängt auch mit der prognoseabhängigen Hypothese P1, Länge der Prognoseperiode zusammen, die nur für Variablen mit relativ linearem historischen Trend mit steigenden Fehlern korreliert ist.
- Trendbrüche und kurzfristige Schwankungen in Basisdaten im Zeitraum kurz vor der Prognoseerstellung haben dagegen einen deutlichen messbaren Einfluss auf die Veränderungen der Prognosen gegenüber der Vorjahresprognose, wobei echte Trendbrüche (Hypothese Z1) in den ersten Jahren, obwohl schon in den Daten sichtbar, leicht verkannt werden und so zu hohen Prognosefehlern

²⁸¹ Z.B. gesamter Endenergieeinsatz gegenüber Endenergieeinsatz eines Sektors.

²⁸² Es kann hier nicht völlig ausgeschlossen werden, dass Beispiele aus der Literatur zumindest teilweise auch auf einer Fehlinterpretation dieses Einflusses beruhen.

²⁸³ Diese entsprechen vielfach nicht dem gesamten Projektionszeitraum sondern nur dem bis heute (2004) analysierbaren Teil der Projektionen.

führen, es sei denn, vor- und nachgelagerte Variablen weisen eher kontinuierliche Trends auf, die den Trendbruch in einer Variable mit erklären.

- Kurzfristige Schwankungen dagegen werden besonders leicht als Trendänderungen fehlinterpretiert (Hypothese Z2), wenn sie die Erwartungen der Prognoseersteller zu bestätigen scheinen. Andernfalls dauert es in der Regel länger, bis sie als Anlass zu einer Prognoseveränderung genommen werden.

Weiterhin ergeben sich bei kombinierten Projektionen mit der Zahl der Teilprojektionen steigend sehr signifikante Kompensationen entgegengerichteter Fehler untereinander²⁸⁴ (Hypothese P3). Dies ist auf der einen Seite sowohl stochastisch zu erwarten, als auch auf der anderen Seite inhaltlich begründet, z.B. durch die Korrektur fehlerhafter Erwartungen einer grundlegenden Projektion (z.B. BIP) durch eine eigenständige Projektion einer nachfolgenden Größe (z.B. EDL im GHD-Sektor).

Andere auf der Basis der Literaturanalyse erwartete mögliche Fehlerursachen (Hypothesen G1 und G2 sowie teilweise P2), konnten dagegen im Rahmen dieser Untersuchung nicht bestätigt werden. D.h., im Vergleich der Variablen untereinander findet sich weder ein Beleg dafür, dass die absolute Größe oder die Höhe der Änderungsrate einen Einfluss auf die Fehlerhöhe hätten, noch dass die Fehlerrichtung einer Projektion typischerweise konstant bleibt. Dass der Fehler bei allen Projektionen mit der Länge der Prognoseperiode ansteigt gilt hier für den größeren Teil der untersuchten Variablen; vor allem für die mit sehr gleichmäßigem historischen Trend aber nur zum Teil für Variablen mit weniger linearem Trend.

²⁸⁴ In diesem Fall wird der Fehler der BIP-Prognose aufgrund einer unabhängigen Einschätzung der EDL-Projektion durch die entsprechende Projektion der EDL-Intensität – inhaltlich begründet, nicht zufällig – kompensiert.

8 Zusammenfassung, Gesamtergebnis und Ausblick

Projektionen gewinnen im Rahmen einer zielorientierten Politik zunehmend an Bedeutung. Ganz zentral ist dies in der Energie- und Klimapolitik sichtbar: Langfristige Herausforderungen wie z.B. der Klimawandel erfordern Reaktionen, die auch aus Zielsetzungen und Plänen für mittel- und langfristige Zeiträume bestehen. Für den Klimawandel ist die Zielsetzung letztlich auf ein ganzes Jahrhundert bezogen worden, indem festgelegt wurde, die Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems vermieden wird. Durch das Herunterdeklिनieren dieser globalen Jahrhundertziele auf die nationale Ebene²⁸⁵, entstehen Emissionszielkorridore, wie sie erstmals im Kyoto-Protokoll völkerrechtlich verbindlich festgelegt wurden. Um diese Zielkorridore auf nationaler Ebene einhalten zu können, werden Rahmendaten und Projektionen benötigt, anhand derer der jeweilige energie- und klimapolitische Handlungsbedarf eingeschätzt, Schwerpunkte festgelegt und Maßnahmen geplant werden können. Folgerichtig haben sich die Industrieländer im Rahmen der UNFCCC verbindlich vorgegeben, regelmäßig im Rahmen ihrer Nationalberichte mittelfristige, d.h. für die nächsten 15 bis 20 Jahre geltende, nationale Emissionsprojektionen vorzulegen.

Einen bisherigen Höhepunkt in der Bedeutung von Projektionen für konkrete Politikformulierung bildet der Energieeffizienzaktionsplan der EU. Im Rahmen dieses Plans wurde das Ziel aufgestellt, in der EU 25 bis zum Jahr 2020 20% Primärenergie gegenüber der Baseline-Entwicklung einzusparen. Hier erfüllt also erstmals die Projektion nicht nur die Funktion, zukünftige Handlungserfordernisse und Potentiale differenziert und vor allem in ihrer zeitlichen Dynamik aufzuzeigen, sondern dient als Bezugsgröße der Zielformulierung²⁸⁶.

Trotz dieser hohen und steigenden Relevanz von Projektionen für die Energie- und Klimapolitik gibt es bislang noch **keinerlei methodische Festlegungen für nationale Treibhausgasemissionsprojektionen**, und auch die **Evaluierungen** der bislang vorgelegten Projektionen – sei es vom Sekretariat sowie den Subsidiary Bodies der UNFCCC, sei es von der EU im Rahmen ihres Monitoring Mechanismus, der die nationalen Projektionen der EU-Mitgliedsstaaten zusammenführt – **beschränken sich**

²⁸⁵ Wie dies z.B. von Hohmeyer (2005, 154) empfohlen wird, weil, wie er zeigt, das alternative Modell, die Bestimmung eines ökonomisch optimalen Mix aus Anpassung an und Vermeidung von zusätzlichem Klimawandel aufgrund der hierfür erforderlichen umfangreichen normativen Setzungen, nicht international konsensfähig ist.

²⁸⁶ Ein ähnlicher Mechanismus wurde bereits im Rahmen des Clean Development Mechanismus (CDM) des Kyoto-Protokolls institutionalisiert. Auch hier werden die durch die CDM-Projekte bedingten Emissionsminderungen gegenüber einer jeweils projektspezifisch anhand entsprechend genehmigter Methoden zu bestimmenden ‚Baseline‘ ermittelt. Sie wird in den entsprechenden Richtlinien der UN als Szenario bezeichnet, „that reasonably represents the anthropogenic emissions by sources of greenhouse gases (GHG) that would occur in the absence of the proposed project activity.“ (FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1, 16)

bislang noch weitestgehend auf formale Aspekte der Abdeckung, Vollständigkeit und Dokumentation der Projektionen. Fundiertere wissenschaftliche Untersuchungen der Qualität und hier insbesondere des zentralen Aspekts der Genauigkeit, d.h. der Tragfähigkeit und Aussagekraft der nationalen Emissionsprojektionen, wurden noch nicht durchgeführt.

An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an.

Die Genauigkeit, in Abgrenzung von der Richtigkeit einer Projektion stellt dabei das zentrale Kriterium für ihre Nutzbarkeit und Nützlichkeit dar. Während sich die Richtigkeit einer Projektion immer nur im Nachhinein erweist und unabhängig von der Qualität der Projektion rein zufällig eintreten kann, ist die Genauigkeit einer Zukunftsstudie ein graduelles Maß, das sich darauf bezieht, wie gut, d.h. wie detailliert und wie präzise sowie wie gut begründet eine Projektion ist und in wie weit ihre Aussage in Bezug auf diese Kriterien von der Realität entfernt ist. Sie kann daher, selbst wenn sie sich im Nachhinein als nicht zutreffend erweist – was für die meisten Projektionen aus verschiedensten Gründen eher erwartbar als unwahrscheinlich ist –, dennoch von hohem praktischen Nutzen, z.B. für die Steuerung von Politik und das Design von Maßnahmen sein.

Dabei lässt sich die Genauigkeit ex-post anhand des Konzepts des (prozentualen) Projektionsfehlers analysieren. Dazu wird vorrangig auf die prognostische Komponente der Projektionen Bezug genommen, deren Exaktheit im Nachhinein in Form einer Fehleranalyse an der inzwischen eingetretenen Realität gemessen werden kann. Es ist hierbei aber entscheidend, den zunächst sichtbaren Fehler entsprechend so zu modifizieren, dass sich ein geeignetes Fehlermaß ergibt, das dem entspricht, was mit der Projektion prognostiziert werden sollte. Außerdem wird die Genauigkeit der Projektionen durch eine detaillierte Analyse der Fehler der Teilprojektionen auf ihre Bestandteile und Hintergründe hin näher untersucht. Hierdurch wird neben der eindimensionalen relativen Exaktheit des Gesamtergebnisses (der Projektion der energiebedingten CO₂-Emissionen) auch der für die Genauigkeit zentrale Aspekt der Begründetheit der Projektion mit in die Analyse einbezogen.

Im *Abschnitt 8.1* werden zunächst kurz die *Kernfragen und zentrale Aspekte des Untersuchungsdesigns* thematisiert, Darauf erfolgt in *Abschnitt 8.2* die *Zusammenfassung* der wesentlichen Ergebnisse, sowohl der quantitativ deskriptiven Fehleranalyse (8.2.1) als auch der Untersuchung zentraler Hypothesen zu Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen (8.2.2). Ergänzt werden sie durch die Ergebnisse zur Methodik der ex-post Evaluierung von Projektionen (8.2.3). Schließlich werden die beiden Analyseansätze in *Abschnitt 8.3* zu einem *Gesamtergebnis und Schlussfolgerungen* gebündelt. Abschließend werden in *Abschnitt 8.4* *Empfehlungen* zur methodischen und institutionellen Verbesserung der Erstellung nationaler Emissionsprojektionen generiert und der sich ergebende weitere Forschungsbedarf skizziert.

8.1 Kernfragen und Untersuchungsdesign

In dieser Arbeit wurden **nationale Emissionsprojektionen als Zukunftsstudien untersucht**, da sie insbesondere starke Elemente sowohl von Szenarien als auch von Prognosen in sich tragen.

Vor dem Hintergrund einer pragmatisch orientierten Theorie der Prognose wurde zunächst herausgestellt, welche zentralen Qualitätskriterien für Zukunftsstudien sowohl aus theoretischer als auch aus praktischer Hinsicht gefordert werden sollten.

Im Hauptteil der Arbeit wurde das zentrale Qualitätskriterium ‚Genauigkeit‘ an einem der relevantesten und auch am besten analysierbaren Beispiele, den US-amerikanischen Energie- und Emissionsprojektionen der jährlich von der Energy Information Administration des US Energieministeriums erstellten Annual Energy Outlooks (AEOs) im Rahmen einer ex-post Analyse detailliert untersucht. Dabei wird hier vorrangig auf die prognostische Funktion der Energie- und Emissionsprojektionen Bezug genommen da an dieser die Genauigkeit primär evaluierbar ist²⁸⁷.

Die Analyse griff dazu zum einen auf die Ergebnisse und Methoden bisher bereits durchgeführter ex-post Fehleranalysen der Exaktheit von vor allem Energieprognosen aber auch Bevölkerungsprognosen zurück. Sie untersuchte auf dieser Basis, wie exakt und wie genau sowohl das Gesamtergebnis – die energiebedingten CO₂-Emissionen –, als auch wie exakt wichtige Teilergebnisse für einzelne Energienachfragesektoren in vergangenen Projektionen für die bis heute vergangene Zeitperiode prognostiziert wurden. Dabei konnten wichtige Fehlerquellen und Ansatzpunkte für die Verbesserung der Projektionen herausgestellt werden.

Zum anderen wurden aus einer Synopse bisheriger Evaluierungen von Energie- und Bevölkerungsprognosen ein Kanon bisher identifizierter Faktoren zusammengestellt, denen ein Einfluss auf die Qualität von Prognosen bzw. Projektionen zugeschrieben wird. Aus diesen wurden die anhand der US Energie- und Emissionsprojektionen analysierbaren Hypothesen ausgewählt und an jeweils geeigneten Teilen daraufhin untersucht, ob sie auch hier zutreffen bzw. einen Beitrag zur Erklärung der ermittelten Fehler liefern können.

Damit gibt die Arbeit zunächst einen theoretisch und methodisch begründeten Einblick in die Genauigkeit nationaler Emissionsprojektionen. Sie legt damit Grundlagen zur Beurteilung zentraler Aspekte der Verlässlichkeit und der Verwendbarkeit nationaler Emissionsprojektionen zur zielorientierten Politiksteuerung auf nationaler wie internationaler Ebene. Sie leistet außerdem einen Beitrag zu einer verbesserten, weil auf

²⁸⁷ Trotzdem ist die Genauigkeit ebenso für die explorative (Szenario-)Funktion der Projektionen von Bedeutung, da auch diese nur sinnvoll nutzbar ist, wenn sie – unter den jeweils angenommenen Randbedingungen – möglichst genaue Ergebnisse liefert (vgl. Abschnitt 2.2.3).

besser verstandenen und möglichst auch genaueren Projektionen basierenden zielorientierten Energie- und Klimapolitik.

Dafür wurden – auf der methodischen Ebene – bestehende Ansätze zur ex-post Evaluierung der Genauigkeit von Energieprognosen anhand von Fehleranalysen durch eine explizite Berücksichtigung der einzelnen Nachfragesektoren und der Energiedienstleistungsebene erweitert. Zusätzlich wurden Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der hierfür genutzten Methodik generiert. Durch die Überprüfung der Gültigkeit zentraler Hypothesen zur Genauigkeit von Projektionen an einem relevanten Beispiel wird zudem ein Beitrag zur Weiterentwicklung und Etablierung allgemeiner Hypothesen zu Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Prognosen geleistet.

8.2 Zusammenfassung: Ergebnisse der ex-post Analyse der Genauigkeit nationaler Emissionsprojektionen und ihrer Einflussfaktoren

Wissenschaftliche Zukunftsprognosen über komplexere Gegenstände wie z.B. das nationale Energiesystem sind ein sehr anspruchsvolles Unterfangen und erweisen sich häufig als mehr oder weniger fehlerhaft. Denn letztlich bleibt die Zukunft nur bedingt rational erschließbar und Projektionen können immer durch unvorhergesehene Entwicklungen infolge von Zufall, Chaos und freiem Willen widerlegt werden. Diese Eigenschaft hat allerdings auch grundlegende Zweifel an der Rationalität sozialwissenschaftlicher Projektionen geweckt, die vielfach auf die kritische Position Poppers (z.B. 1974, XII) zurückgehen²⁸⁸.

Dennoch hat sich in den letzten Jahrzehnten ein weitgehend gefestigter Methodenkanon von Zukunftsstudien herausgebildet, der zwar die grundlegenden Probleme der begrenzten Leistungsfähigkeit sozialwissenschaftlicher Prognosen nicht überwindet aber der es in pragmatischer Sicht erlaubt, gut begründete und auf einer objektiven Methodenbasis beruhende Projektionen zu erstellen²⁸⁹.

Gleichzeitig steigt angesichts der neuen globalen und langfristigen Herausforderungen der Klima- und Energiepolitik die Bedeutung von Energie- und Emissionsprojektionen als Basis für die Politikformulierung weiter an. Dieser Entwicklung steht bislang aber noch ein Mangel an Qualitätsvorgaben für dieses Instrument der politischen Planung und Zielformulierung sowie Politikevaluierung gegenüber²⁹⁰, so dass diese hier anhand der theoretischen Arbeit von Rescher (1998), anhand von Beispielen aus der Bevölkerungsprojektion sowie anhand von aus der Praxis gestellten Forderungen zusammen-

²⁸⁸ Siehe dazu die Ausführungen in Abschnitt 3.1.

²⁸⁹ Siehe die Diskussion in Abschnitt 3.2 sowie beispielhaft Rescher (1998, 56) Amara (2001), Steinmüller (2003a, 27), Slaughter (2002, 6).

²⁹⁰ Siehe Abschnitt 2.2.1. Die UNFCCC macht bislang lediglich sehr grobe Vorgaben, über die Zahl und den Zeitraum der aufzustellenden Projektionen (Dec 4/CP5) und auch der Monitoring Mechanismus der EU beschränkt sich weitgehend auf formale Vorgaben zur vergleichbaren Ausweisung von Ergebnissen und Annahmen (vgl. EC 2005a und EEA 2000).

getragen wurden. Im Zentrum steht dabei die Genauigkeit der Projektionen, die nicht mit der Richtigkeit (d.h. ihrem tatsächlichen Eintreten) verwechselt werden darf. Ein wichtiges Instrument für die Qualitätssicherung und Qualitätssteigerung ist dabei ihre ex-post Evaluierung anhand der im Nachhinein eingetretenen Wirklichkeit.

Vor diesem Hintergrund werden in dieser Arbeit die Energie- und CO₂-Emissionsprojektionen der USA analysiert. Dies basiert auf einer allgemeinen Einordnung der nationalen Emissionsprojektionen in den Methodenkanon der Zukunftsanalyse sowie einer grundsätzlichen Diskussion der Qualitätskriterien von Projektionen und Szenarien. Die USA sind mit einem Anteil von fast einem Viertel der weltweiten energiebedingten CO₂-Emissionen nicht nur der (noch) größte Emittent von CO₂. Dort werden bereits seit langem jährlich methodisch anspruchsvolle und detaillierte Projektionen erstellt und veröffentlicht, die damit die für diese Fragestellung am besten geeignete und relevanteste Untersuchungsbasis darstellen. Die Untersuchung nimmt die Ergebnisse und Methoden bisheriger Evaluierungen der US-Energieprojektionen auf, erweitert und vertieft sie.

Der Fokus liegt auf der Untersuchung des *zentralen Qualitätsmerkmals von Projektionen, ihrer Genauigkeit*. Auch wenn eine exakte Projektion weder erreichbar noch wirklich erstrebenswert ist, ist die Genauigkeit doch ein zentraler Parameter sowohl für die Nützlichkeit als auch die Glaubwürdigkeit. Dabei wird die Genauigkeit hier vorrangig anhand einer differenzierten Fehleranalyse gemessen, die zum einen lokalisiert, wo und wie stark sich die historisch eingetretene Realität von den projizierten Werten unterschied²⁹¹, und zum anderen analysiert, welche Faktoren die Fehlerhöhe beeinflusst haben. Dabei wird eine Projektion hier als exakt bezeichnet, wenn sie einen geringen Trendfehler aufweist²⁹². Ihre Genauigkeit bezieht darüber hinaus noch ihren Begründungszusammenhang, d.h. hier vor allem die ihr zugrunde liegenden Teilprojektionen mit ein.

In diesem Sinn hat die hier durchgeführte Analyse drei Hauptergebnisse – deren Kernaspekte im Folgenden kurz zusammengefasst werden:

- Zum einen gibt sie – basierend auf einer *Fehlerdekomposition* – erste Hinweise, an welchen Stellen die größten Schwachpunkte in den bisherigen Emissionsprojektionen aufgetreten sind und wie gut die Projektionen letztlich wirklich sind (Abschnitt 8.2.1).
- Zum anderen analysiert sie in Abschnitt 8.2.2 die für die Fragestellung relevanten *Hypothesen zu möglichen Einflussfaktoren* auf die Genauigkeit von Projektionen anhand ihrer Einflüsse auf die Fehler der Energie- und Emissionsprojek-

²⁹¹ Dabei ist es zentral, dass Realität und Prognosen in vergleichbarer Form vorliegen. Dies wird hier über eine entsprechende Fehleraufteilung gewährleistet.

²⁹² Der Begriff ‚exakt‘ wird hier als relatives Maß des Eintreffens der Projektionen (unter Berücksichtigung der entsprechenden Korrekturen (s.u.)) verstanden. Eine exakte Projektion weist entsprechend einen kleinen Trendfehler, eine weniger exakte Projektion einen größeren Trendfehler auf.

tionen und zeigt daran auf, welches die zentralen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit der Projektionen sind. Darauf aufbauend gibt sie Hinweise zum verbesserten Umgang mit den identifizierten Schwierigkeiten.

- Dabei werden auch *Erkenntnisse zur Verbesserung der Methodik* und der Grundlagen retrospektiver bzw. ex-post Analysen der Genauigkeit von Projektionen herausgearbeitet (Abschnitt 8.2.3).

8.2.1 Ergebnisse der quantitativ-deskriptiven Fehleranalyse

Im ersten Analyseteil (Kapitel 6) wurden die Fehler der hier im Fokus stehenden Projektionen der CO₂-Emissionen der USA im Rahmen einer quantitativ-deskriptiven Analyse getrennt nach den, in der Abbildung 8-1 dargestellten verschiedenen Stufen der Energienachfragekette sowie den vier Nachfragesektoren analysiert. Die Untersuchung baute vor dem Hintergrund bestehender Untersuchungen der Energie- oder Emissionsprojektionen der USA²⁹³ auf der von O’Niell und Desai (2003, 2005) verwendeten Methode auf und erweiterte sie sowohl in der Detailtiefe als auch um die zusätzliche Dimension der CO₂-Emissionen.

In der daraus resultierenden hohen Detailschärfe der Fehleranalyse liegt eines der wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit. Um diesem gerecht zu werden, werden die Ergebnisse hier aus verschiedenen Blickrichtungen dargestellt:

- a) Nach einer kurzen Einführung in die verwendete Methodik der Fehleranalyse
- b) wird zunächst das Gesamtergebnis bezogen auf die energiebedingten CO₂-Emissionen der USA wiedergegeben,
- c) dann wird dieses detaillierter nach den Anteilen der Teilprojektionen aufgeteilt
- d) und es werden die Anteile wichtiger Komponenten am Gesamtfehler dargestellt.
- e) Ergänzend wird ein Vergleich der Projektionsfehler im Vergleich zu linearen Trendextrapolationen (als Benchmark) durchgeführt.

a) Methode: Fehlerdekomposition und Fehlermaße

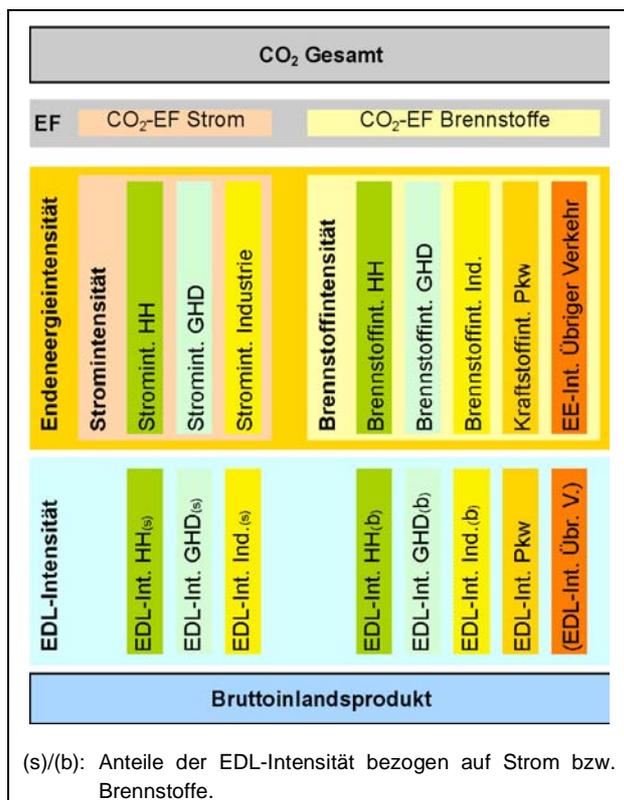
Zunächst wird die verwendete Methode mit Bezug auf die Aufteilung der Projektionen in Teilprojektionen, die Fehlerdekomposition und die verwendeten Fehlermaße kurz skizziert.

Als Basis der Analyse wird das in Abbildung 8-1 in schematischer Form skizzierte *Emissionsmodell* definiert, das eine auf wesentliche Komponenten reduzierte Repräsentation der zur Prognoseerstellung verwendeten Modelle IFFS und NEMS ist²⁹⁴.

²⁹³ Vgl. Abschnitt 4.1: Entsprechende Untersuchungen wurden u.a. von Craig et al. (2002), Cohen et al. (1995), Shlyakhter et al. (1994) sowie der EIA selbst (z.B. Sitzer 1996, Holte 2001, Sanchez 2003, Earley, Honeycut 2005, Wade 2007) durchgeführt.

²⁹⁴ Intermediate Future Forecasting System / National Energy Modelling System (siehe Kapitel 5.3)

Abbildung 8-1: Schema des in der Untersuchung zugrunde gelegten Emissionsmodells



Quelle: eigene Abbildung

Die so definierten Teilprojektionen stellen die für die Emissionsprojektionen wesentlichen Komponenten dar und sind gleichzeitig datentechnisch sowohl als Ist-Daten als auch als Projektionsergebnisse verfügbar²⁹⁵. Andere Größen, wie z.B. Energiepreise, Preiselastizitäten, Konsum- oder Nutzenfunktionen und ihre Parameter, die je nach Modell wichtige Hintergrundgrößen der Projektionen bilden, werden hier dagegen bewusst ausgeblendet.

Hieraus ergibt sich eine prinzipielle Übertragbarkeit des Emissionsmodells auf andere Emissionsprojektionen, da die hier verwendeten Teilkomponenten – unabhängig von der konkreten Modellphilosophie – in allen Emissionsprojektionen enthalten sind.

Um die Genauigkeit der Teilprojektionen des Emissionsmodells messen zu können werden die jeweiligen sichtbaren Projektionsfehler in Anlehnung an die Methodik von O’Niell und Desai (2005) weiter aufgeteilt (siehe Abbildung 8-2).

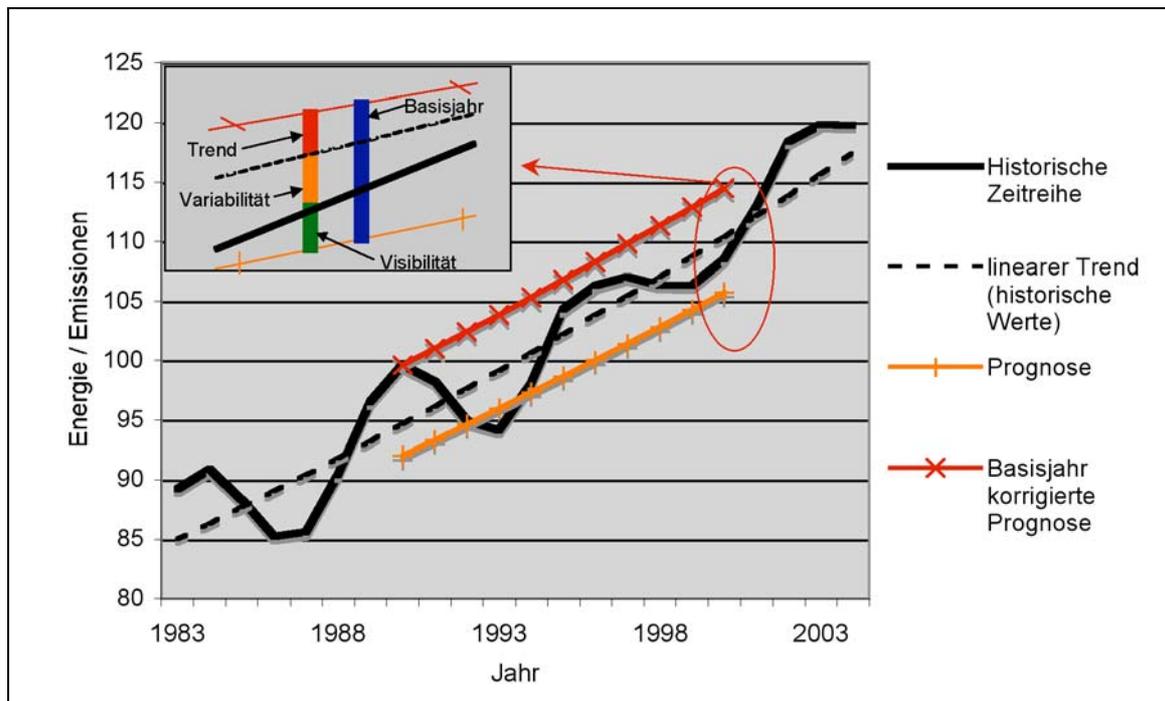
Vordergründig ergibt sich der Fehler einer Projektion (in Abb. 8-2 als orangefarbene Linie gekennzeichnet) zu einem bestimmten Zeitpunkt als Differenz zwischen dem prognostizierten Wert und dem historischen Wert zu diesem Zeitpunkt. Dieser sichtbare Fehler (Visibilität) ist in der Abbildung grün markiert.

Da mittel- und langfristige Energie- und Emissionsprojektionen in der Regel lineare Entwicklungen, nicht aber kurzfristige (meist klima- und konjunkturbedingte Schwankungen) abbilden sollen, wird die als Variabilität (orange) bezeichnete kurzfristige Abweichung der tatsächlichen Werte vom langjährigen Trend für die Fehleranalyse mit berücksichtigt²⁹⁶. Denn die Summe aus Visibilität und Variabilität stellt ein besseres Maß für die Genauigkeit der Projektion dar, da sie die – in der Projektion nicht interessierenden – kurzfristigen Schwankungen ausblendet.

²⁹⁵ Für die EDL gilt dies allerdings nur für die Projektionen ab dem AEO’92. Wobei für den Güter- und Flugverkehr eine Bestimmung der EDL nicht möglich war.

²⁹⁶ Vergleiche Abschnitt 8.2.3 zu den Nachteilen und Schwierigkeiten dieser Bereinigung.

Abbildung 8-2: Fehleraufteilung und Fehlertypen der ex-post Analyse von Energie- und Emissionsprojektionen



Quelle: eigene Abbildung, verändert nach O'Niell, Desai (2005, 983)

Zusätzlich wird die Projektion selber verändert. Da entweder als Startwert nur vorläufige und damit fehlerhafte Daten zur Verfügung standen (vgl. Keilmann 1990, 37) oder, wie hier festgestellt, die Definition der betreffenden Zeitreihe inzwischen verändert wurde, ergibt sich eine große Fehlerquelle aus der Tatsache, dass bereits der Startwert der Projektion nicht dem (im Nachhinein festgestellten) historischen Wert entspricht. Entsprechend wird die Projektion unter Beibehaltung der ursprünglichen Veränderungsrate an den Basiswert der historischen Zeitreihe angepasst (Basisjahr-Komponente). Die resultierende Verschiebung ist in der Abbildung 8-2 als blaue Säule gekennzeichnet.

Es ergibt sich der rot eingezeichnete *Trendfehler* der Projektionen als der ‚eigentliche‘ Fehler der Projektionen, d.h. die Abweichung der um den Basisjahrfehler korrigierten Projektionswerte (rote Linie in Abbildung 8-2) von der Trendlinie historische Zeitreihe (gestrichelte schwarze Linie), die damit möglichst weitgehend der Definition dessen entspricht was die Projektion ‚eigentlich‘ projizieren wollte.

Um die Fehler zwischen den Sektoren und in Bezug auf die hier interessierende Zielfunktion ‚Genauigkeit der CO₂-Emissionsprojektion‘ direkt einordnen zu können wurde neben dem prozentualen Trendfehler, der die jeweilige Abweichung der basisjahrkorrigierten Projektionswerte vom linearen Trend der historischen Werte in Prozent angibt, der CO₂-gewichtete prozentuale Trendfehler gebildet, der den Anteil der jeweiligen Teilprojektion an den gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen mit einbezieht.

Die im Folgenden angegebenen Fehlermaße sind darüber hinaus entweder Mittelwerte über verschiedene Projektionsjahre einer Projektion oder Mittelwerte der Fehler mehrerer Projektionen. Dabei gehen sowohl negative als auch positive Fehler in die Berechnung ein, so dass sie sich z.T. kompensieren. Zusätzlich wird, wo sinnvoll bzw. erforderlich²⁹⁷, der absolute Mittelwert angegeben. Dieser ist der Mittelwert der Fehlerbeträge. Hier kommt es also nicht zur Kompensation negativer und positiver Fehler zwischen mehreren Projektionen. Nachteil dieses Werts ist dafür, dass er nur das Ausmaß, nicht die Richtung der Fehler angibt.

Für das Gesamtergebnis, energiebedingte CO₂-Emissionen der USA, wurde zusätzlich ein hypothetischer kumulierter Gesamtfehler definiert, der sich aus der Summe der Beträge aller Trendfehler aller hier betrachteten Teilprojektionen ergibt²⁹⁸. Der Trendfehler der Zeitreihe CO₂-Emissionen enthält demgegenüber alle Fehlerkompensationen und wird im Vergleich zum kumulierten Gesamtfehler auch als Nettofehler bezeichnet. Der Vergleich beider Werte ermöglicht eine Quantifizierung des Ausmaßes der Fehlerkompensation.

b) Gesamtergebnis: Trendfehler der CO₂-Emissionsprojektionen

Im Ergebnis der voranstehend geschilderten Analyse ergeben sich die folgenden *zentralen Ergebnisse für die Trendfehler der Projektionen der energiebedingten CO₂-Emissionen*.

Die energiebedingten CO₂-Emissionen der USA, die zwischen 1990 und 2004 von gut 4,9 Mrd. t auf fast 5,9 Mrd. t bzw. um 1,3% pro Jahr anstiegen, wurden in den meisten Projektionen (AEOs) *relativ exakt* projiziert. Die zukünftige Trend-Entwicklung der CO₂-Emissionen wurde in den basisjahrkorrigierten AEOs im Mittel über die jeweils evaluierbaren Zeiträume um maximal 3,1% unter- (AEO'92) bzw. um maximal 2,7% überschätzt (AEO'99), was einer absoluten Fehlerhöhe von ca. -170 bis + 155 Mio. t CO₂ entspricht. Dabei werden die Fehler mit der Projektionsdauer im Mittel nicht größer. Der Mittelwert der absoluten Trendfehler der AEOs 92 bis 04 über alle Projektionsjahre liegt dabei bei 1,75%. Dies entspricht einer mittleren Abweichung der Projektionen vom tatsächlichen Wert um etwa 100 Mio. t CO₂²⁹⁹, was in der Größenordnung beinahe den CO₂-Emissionen Belgiens entspricht. Insgesamt halten sich Überschätzungen und Unterschätzungen der CO₂-Emissionen etwa die Waage, der Mittelwert über alle Projektionen liegt bei etwa +0,1%. Dabei überwiegen für Projektionshorizonte von 5

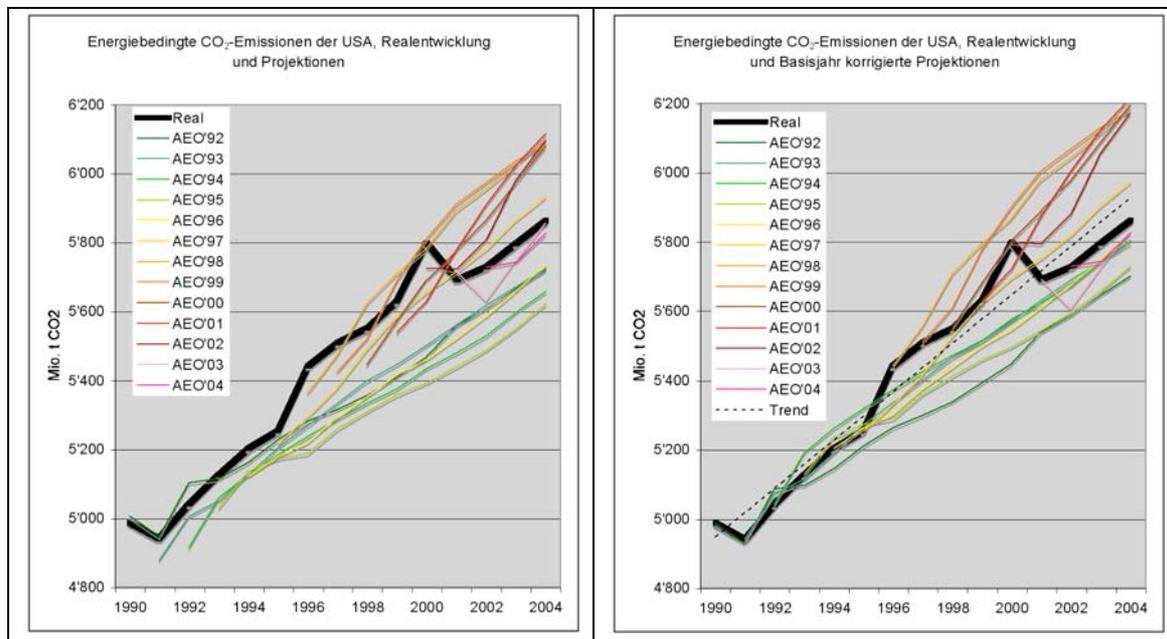
²⁹⁷ Wenn die gemittelten Projektionsfehler vollständig oder überwiegend in eine Richtung gehen, ist der Mittelwert ein gutes Maß. Der absolute Mittelwert würde in diesen Fällen lediglich das Vorzeichen unterdrücken.

²⁹⁸ Wenn angenommen wird, dass alle diese Teilfehler in die gleiche Richtung weisen und sich daher vollständig kumulieren.

²⁹⁹ Die Evaluierung der EIA ermittelte im Vergleich dazu für die AEOs 93 bis 03 und den Zeitraum bis 2002 einen mittleren unbereinigten Fehler von 2,6%. Zur Kritik der von der EIA verwendeten Methode siehe Abschnitt 4.1.

und 7 Jahren die Überschätzungen, für die Projektionsdauern von 9 Jahren dagegen ergibt sich im Mittel eine leichte Unterschätzung der Emissionen.

Abbildung 8-3: Energiebedingte CO₂-Emissionen der USA, Realentwicklung und Projektionen, 1990 bis 2004



Quelle: eigene Darstellung auf der Basis von EIA (div. Jg.)

Dieser prozentual gesehen relativ moderate Fehler der CO₂-Emissionsprojektionen ergibt sich allerdings aus einer *starken Kompensation von Teilfehlern* zwischen einzelnen Projektionsstufen, vom BIP über die EDL zur Endenergie und den Emissionen, zwischen den Sektoren sowie zwischen den Projektionen für Strom und Brennstoffe der einzelnen Nachfragesektoren. In dem hier untersuchten Projektionsmodell kommt es zu einer mittleren Fehlerkompensation der analysierten Projektionen über alle 15 einzeln untersuchten Teilprojektionen von mehr als 80%. D.h., der effektive Netto-Gesamtfehler der CO₂-Emissionsprojektion wird in allen Projektionen signifikant um mehr als vier Fünftel durch die in der Regel mehrfache Kompensation entgegengesetzter Teilfehler verringert.

c) Anteile der Teilprojektionen am Gesamtfehler

Um herauszuarbeiten, welche Teilprojektionen – im Mittel – den größten Einfluss auf den Fehler des Gesamtergebnisses haben, wurden die *mittleren Anteile der einzelnen Teilprojektionen für die verschiedenen Variablen am kumulierten Gesamtfehler* ermittelt. Dabei zeigt sich eine deutliche Konzentration. Bereits drei von 15 Teilprojektionen, die des BIP, der Fahrleistung sowie des spezifischen Kraftstoffverbrauchs der Pkw, bestimmen zusammen mehr als ein Drittel des kumulierten Gesamtfehlers; 5 bzw. 10 Teilprojektionen sind für im Mittel 55 bzw. 88% des kumulierten Gesamtfehlers verantwortlich. Der mittlere Fehler jeder einzelnen dieser 10 Teilprojektionen würde dabei

bereits mehr als ein Viertel (im Mittel 28%) des Betrages des tatsächlichen Netto-Gesamtfehlers erklären, der im Durchschnitt bei 19% des kumulierten Fehlers liegt³⁰⁰.

Die dabei identifizierten *Hauptfehlerquellen* der CO₂-Projektionen der AEOs 92 bis 04 sind im untersuchten Projektionsmodell die Projektion des *BIP* sowie die Projektionen von *Fahrleistung und spezifischem Kraftstoffverbrauch der Pkw*.

- Das BIP wird in den AEOs ab 92 fast durchgängig unterschätzt, wobei der mittlere CO₂-gewichtete Trendfehler der BIP-Projektionen bei etwa -1% liegt³⁰¹. Damit entfallen hierauf allein knapp 12% des kumulierten Fehlers, was vor allem darauf zurückzuführen ist, dass das BIP im hier zugrunde gelegten Modell in alle Projektionen eingeht. Der Fehler der BIP-Projektionen würde ohne jede Kompensation im Mittel alleine bereits mehr als 60% des Ausmaßes des Nettofehlers der CO₂-Projektionen (von im Durchschnitt 1,75%) erklären. Beide Fehler weisen aber nicht durchgängig in die gleiche Richtung.
- An zweiter und dritter Stelle der Fehlerquellen stehen die Projektionen der EDL-Intensität (Fahrleistung pro BIP) und der Kraftstoffintensität des Pkw-Verkehrs, der auch einer der wesentlichen Treibergrößen des CO₂-Emissionszuwachses zwischen 1983 und 2004 war (vgl. Abschnitt 5.1). Die Projektionen der EDL-Intensität und Kraftstoffintensität der Pkw tragen jeweils mehr als 10% zum kumulierten Gesamtfehler bei. Damit wären die Fehler dieser beiden Projektionen zum Pkw-Verkehr zusammen theoretisch ausreichend, um den Fehler der CO₂-Projektionen im Mittel voll zu erklären. Allerdings sind die Fehler der beiden Größen in allen Projektionen mit Ausnahme des AEO'98 immer entgegengesetzt und kompensieren sich so gegenseitig. In den AEOs 92 bis 95 (die in der Phase hoher EDL-Zuwächse und hoher Effizienzsteigerungen der Pkw erstellt wurden) kam es zu hohen Überschätzungen der EDL-Intensität und hohen Unterschätzungen der Kraftstoffintensität der Pkw. In den AEOs ab 96 dagegen waren die Fehler deutlich kleiner, nun wurde die EDL-Intensität unterschätzt und die Kraftstoffintensität leicht überschätzt³⁰². Die resultierenden Projektionen

³⁰⁰ Dabei sind die Teilprojektionen mit dem größten Anteil am Gesamtfehler der CO₂-Emissionsprojektion nicht notwendigerweise die mit dem größten mittleren Trendfehler, denn bei der hier dargestellten Analyse werden die Fehler der einzelnen Projektionen noch mit ihrem jeweiligen Anteil an den CO₂-emissionen gewichtet (s.o.).

³⁰¹ Dieses Ergebnis hängt stark davon ab, welcher Betrachtungszeitraum für die Bildung des Trendfehlers gewählt wird. Hier wurden die AEOs ab 92 berücksichtigt und der lineare Trend der Jahre 1992 bis 2004 zugrunde gelegt. Im Vergleich zum längerfristigen Trend der Jahre 1983 bis 2004 ergibt sich dagegen in den meisten Projektionen eine Überschätzung des BIP (vgl. O'Niell, Desai 2005, 989ff).

³⁰² Dieses Fehlprojektionsmuster lässt sich bereits gut im Vergleich zur Realentwicklung (siehe Kapitel 5.1) erklären. Bis einschließlich des AEO'95 wurde das historische Muster hoher EDL-Zuwächse bei hoher Effizienzsteigerung in den Projektionen zugrunde gelegt, das sich aber Anfang der 1990er Jahre grundlegend änderte. Ab 1991 stagnierte die Kraftstoffintensität der Pkw und ab etwa 1994 entkoppelte sich die Fahrleistung von der BIP-Entwicklung. Erst in den AEOs ab 1996 wurde dieser veränderte Trend zur Kenntnis genommen und in die Projektionen umgesetzt. Da dieser Trend bislang bis zum Ende der hier evaluierbaren Periode anhält, ergeben sich damit für die AEOs ab 1996 geringere Fehler, was aber aufgrund der fortgesetzten Fehlerkompensation nicht zu einer nennenswerten Ver-

der Kraftstoffeinsätze der Pkw waren aber über (fast) alle AEOs durchgängig zu niedrig, d.h. aus unterschiedlichen Gründen wurde trotz hoher Kompensation der Einzelfehler der starke Emissionszuwachs dieses Bereichs von 1,7% pro Jahr zwischen 1990 und 2004 durchgängig zu gering projiziert. Dabei war das erwartete Wachstum je nach Projektionsdauer im Mittel um etwa ein Viertel bis ein Drittel zu niedrig.

- Den viertwichtigsten Einfluss auf den kumulierten Gesamtfehler hat die Endenergieintensität des übrigen Verkehrs (Güterverkehr, Schienen- und Luftverkehr). Ihre Zuwachsrate wurde in allen AEOs – im Schnitt um etwa das Doppelte – sowie mit steigender Projektionsdauer zunehmend überschätzt. Dieser Fehler hätte im Durchschnitt ebenfalls ausgereicht um mehr als die Hälfte des tatsächlichen Fehlers der CO₂-Emissionsprojektionen zu erklären. Tatsächlich aber maskiert diese Überschätzung weitgehend die effektive Unterschätzung der Kraftstoffeinsätze der Pkw in den Projektionen, so dass sich insgesamt für die Projektionen des Endenergieeinsatzes des Verkehrs und seiner Emissionen nur ein geringer Fehler ergibt³⁰³.
- Die Brennstoffintensität der Industrie wurde fast durchgängig überschätzt und hat mit durchschnittlich 9,1% den fünftgrößten Einfluss auf den kumulierten Gesamtfehler. Dabei vergrößert der Periodeneffekt, die Veränderung von einer relativen Stagnation zu einem Rückgang der Brennstoffintensität in der Phase ab 1993, z.T. die Fehler der Projektionen der AEOs.
- Platz 6 in der Rangfolge nehmen die Projektionen der EDL-Intensität der Industrie ein, die in den AEOs 92 bis 98 z.T. signifikant sowie mit steigender Projektionsdauer zunehmend überschätzt wurde und damit den Einfluss des unterschätzten BIP überkompensierte. In allen AEOs ab 1999 wurde sie allerdings unterschätzt. Zusammen mit der in allen Projektionen überschätzten Brennstoff- und Stromintensität ergibt sich hieraus eine signifikante Überschätzung der CO₂-Emissionen der Industrie in allen AEOs.
- Die folgenden Fehleranteile entfallen in dieser Reihenfolge auf die Projektionen der Stromintensität des GHD-Sektors, des Emissionsfaktors des Stromeinsatzes, der Stromintensität in Haushalten und der Stromintensität der Industrie. Vollständig kumuliert wären auch die Fehler dieser vier Projektionen ausreichend um den effektiven Fehler der CO₂-Projektionen zu erklären. Abgesehen von der Stromintensität der Industrie (s.o.), die durchgängig überschätzt wird,

ringerung des Fehlers bei der Kraftstoffeinsatzprojektion geführt hat (siehe dazu auch Abschnitt 7.2.1.3).

³⁰³ An diesem Teilergebnis zeigt sich exemplarisch die Relevanz der hier gewählten disaggregierten Analyse. Denn würde die Endenergieebene ausschließlich summarisch betrachtet, wie das in den meisten bisherigen Arbeiten der Fall war, so wären diese wesentlichen Fehlerkomponenten unentdeckt geblieben und an dieser Stelle zunächst die Fehlprojektion des BIP als einzige wesentliche Fehlerquelle herausgestellt worden.

liegen die Projektionen der übrigen Variablen durchgängig unterhalb der Realität. D.h., die Wachstumsraten der beiden Größen, die (zusammen mit dem Pkw-Verkehr) den Zuwachs der CO₂-Emissionen maßgeblich bestimmen (vgl. Abschnitt 5.1) wurden in den Projektionen durchgängig um etwa ein Viertel (GHD) bzw. 10 bis 20% (Haushalte) unterschätzt.

- Die restlichen 5 Teilprojektionen – EDL-Intensität und Brennstoffintensität der Haushalte und des GHD-Sektors sowie Emissionsfaktor der Brennstoffe – dagegen spielen für den kumulierten Gesamtfehler der CO₂-Projektionen keine maßgebliche Rolle. Hintergründe dafür sind sowohl nur relativ kleine Fehler der Projektionen als auch ein geringer Anteil an den gesamten CO₂-Emissionen. Gleichzeitig haben diese Sektoren auch kaum Einfluss auf die tatsächliche Emissionsentwicklung gehabt. D.h. die geringen Fehler fielen mit überwiegend nur marginalen Veränderungen zusammen, wobei im Bereich der Brennstoffe auch der Klimawandel hin zu einem wärmeren Klima zur Fehlerkompensation beigetragen hat³⁰⁴.

Es zeigt sich also insgesamt, dass die Zuwachsraten der wesentlichen Komponenten des CO₂-Emissionszuwachses der vergangenen Jahre, der Kraftstoffeinsatz der Pkw sowie der Stromeinsatz des GHD-Sektors und der Haushalte durchgängig unterschätzt wurden. Ebenso wurde der Emissionsfaktor des Stromeinsatzes in den Projektionen bis zum AEO'97 unterschätzt, danach überschätzt. Demgegenüber wurden aber die Zuwächse im übrigen Verkehr sowie die stagnierenden Emissionsbeiträge der Industrie deutlich überschätzt, so dass sich in der Summe eine relativ genaue Projektion des steigenden Emissionstrends ergab. Der Einfluss des generell eher unterschätzten BIP wurde dabei durch unterschiedliche Effekte weitgehend ausgeglichen bzw. durch die Überschätzung der BIP-bezogenen Energieintensität des übrigen Verkehrs sowie die Überschätzung der EDL-Intensität der Industrie in den AEOs 92 bis 98 sogar überkompensiert.

d) Anteile der Komponenten bzw. Projektionsstufen am Gesamtfehler

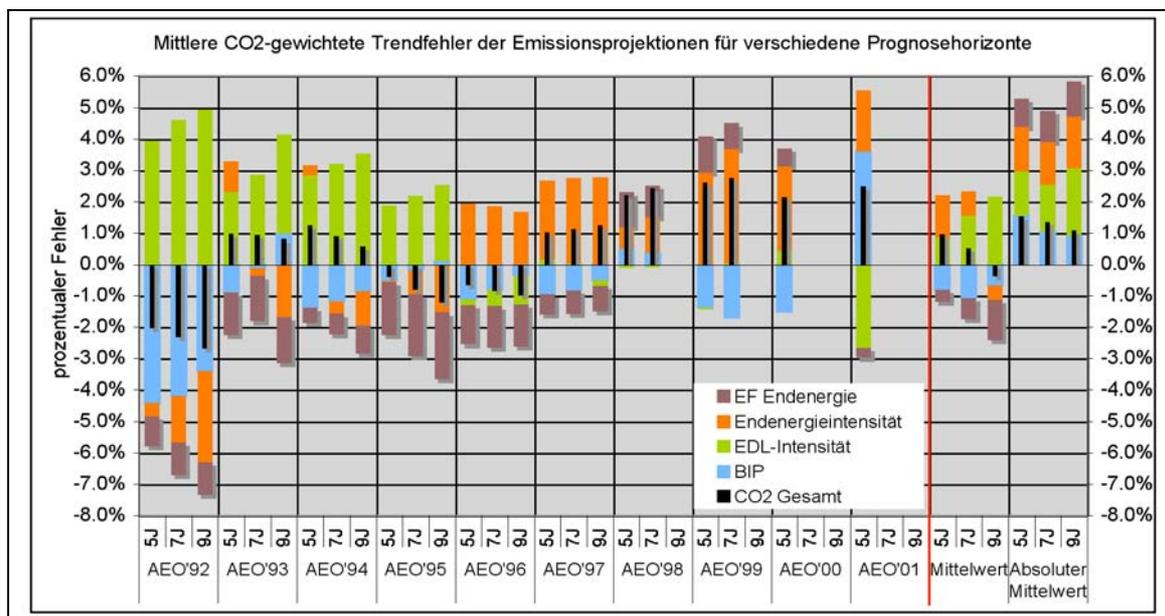
Die Analyse der Projektionen nach den Komponenten BIP, EDL-Intensität, Endenergieintensität und Emissionen in Abbildung 8-4 zeigt, dass in den AEOs 92 bis 95 vor allem die EDL-Intensität (des Pkw-Verkehrs und der Industrie) zu hoch projiziert wurde. Die hier ab Anfang der 1990er Jahre eingetretenen Trendänderungen wurden dagegen nicht antizipiert, sondern erst – z.T. mit Verspätung – nach ihrem Auftreten in die Projektionen integriert. Dem entgegen standen – aufgrund von Fehlerkompensation kleinere – Unterschätzungen der Energieintensität sowie eine deutliche Unterschätzung der Emissionsfaktoren, vor allem aufgrund der Überschätzung der Brennstoffein-

³⁰⁴ Indem er sich dämpfend auf die Verbrauchsentwicklung im Haushaltsbereich und z.T. im GHD-Sektor auswirkte. Dies wird besonders deutlich, wenn die gesamte Zeitreihe von 1983 bis 2004 betrachtet wird. Allerdings hatte der Klimawandel auch leichte verbrauchssteigernde Effekte, vor allem im GHD-Sektor, die die Fehler in diesem Bereich leicht verstärkt haben dürften.

sätze und gleichzeitiger Unterschätzung der Stromeinsätze – ein Effekt, der sich auf der Endenergieebene zwar kompensiert, auf die CO₂-Emissionen aber signifikante Auswirkungen hat.

Ab dem AEO'96 ändert sich dieses Bild. Die jüngeren AEOs überschätzen in der Folge die Energieintensität (vor allem des Verkehrs und der Industrie), während die EDL im Mittel der Sektoren relativ geringe Abweichungen zeigt. Aufgrund generell kleinerer Fehlerkompensation sind die absoluten Fehler in den jüngeren AEOs aber in der Tendenz (soweit sie bereits evaluiert werden können) größer geworden.

Abbildung 8-4: Mittlere Trendfehler der CO₂-Emissionsprojektionen aufgeteilt nach Projektionsstufen für die AEOs 92 bis 04



Quelle: eigene Berechnungen

Dies ist insbesondere interessant vor dem Hintergrund, dass diese AEOs eine wichtige Funktion im Rahmen der Klimapolitik der US-Regierung hatten bzw. noch haben und womöglich auch einen Teil zur bisher ablehnenden Haltung der USA gegenüber dem Kyoto-Protokoll beigetragen haben³⁰⁵.

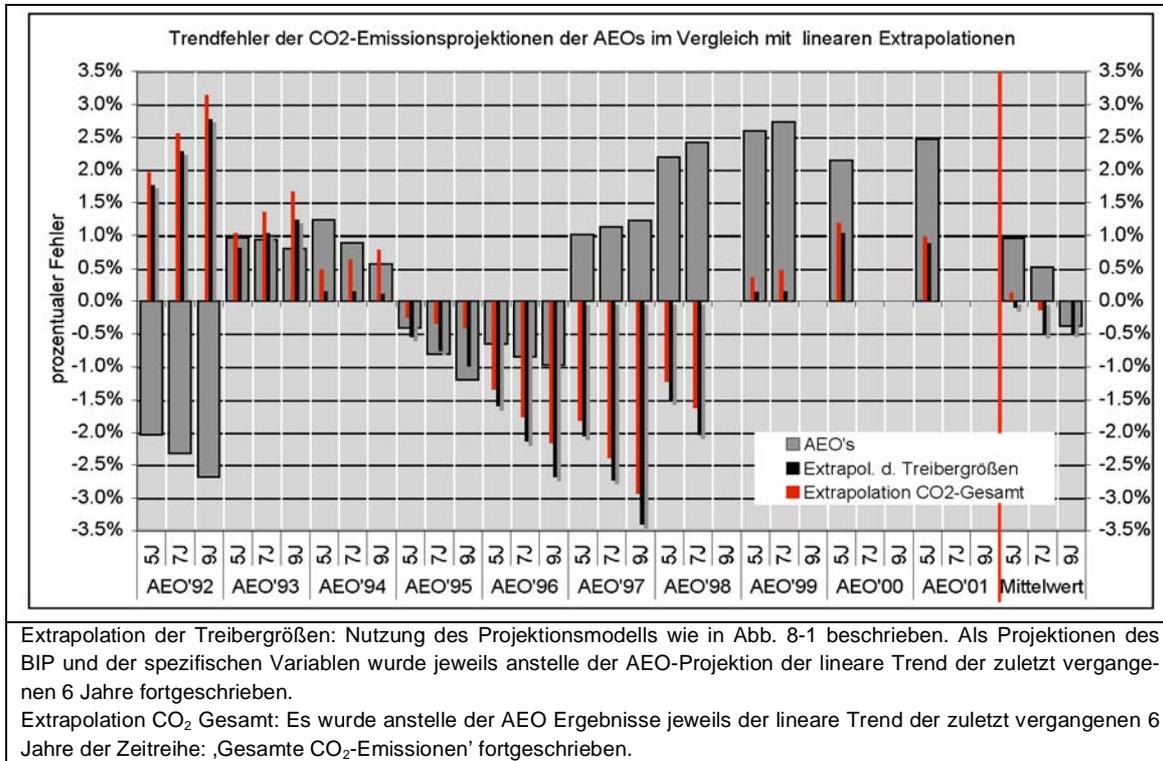
e) Vergleich der Genauigkeit mit neutralen Kontroll-Projektionen

Um die Genauigkeit der Projektionen neutral beurteilen zu können, wurden für die näher untersuchten AEOs 92 bis 04 Kontrollprojektionen mit dem hier verwendeten Emissionsmodell durchgeführt. Dabei wurden im Emissionsmodell die treibenden

³⁰⁵ Vgl. dazu auch Koomey 2007 der darauf hinweist eine CO₂-Reduktion in den Analysen der EIA zu extrem hohen Kosten führt.

Teilprojektionen³⁰⁶ jeweils durch eine – rein quantitativ bestimmte – lineare Trendextrapolation der historischen Werte der letzten 6 Jahre ersetzt.

Abbildung 8-5: Trendfehler der CO₂-Emissionsprojektionen für ausgewählte Projektionsdauern im Vergleich zu den Ergebnissen verschiedener Trendextrapolationen



Extrapolation der Treibergrößen: Nutzung des Projektionsmodells wie in Abb. 8-1 beschrieben. Als Projektionen des BIP und der spezifischen Variablen wurde jeweils anstelle der AEO-Projektion der lineare Trend der zuletzt vergangenen 6 Jahre fortgeschrieben.
 Extrapolation CO₂ Gesamt: Es wurde anstelle der AEO Ergebnisse jeweils der lineare Trend der zuletzt vergangenen 6 Jahre der Zeitreihe: ‚Gesamte CO₂-Emissionen‘ fortgeschrieben.

Quelle: eigene Berechnung

Bei dieser Vorgehensweise ergeben sich als Ergebnis die in der Abbildung 8-5 als schwarze Linien gekennzeichneten Projektionen der energiebedingten CO₂-Emissionen. Der mittlere absolute Trendfehler der gesamten CO₂-Emissionen über die hier untersuchten AEOs beträgt in dieser Kontrollrechnung 1,80%, was dem mittleren absoluten Trendfehler der tatsächlichen Projektionen der AEOs (graue Säulen in Abb. 8-5) von 1,75% nahezu identisch ist. Wären die gesamten CO₂-Emissionen dagegen in jedem Jahr schlicht als lineare Trendextrapolation einer einzigen Zeitreihe, der der bisherigen CO₂-Emissionen, ermittelt worden (die roten Balken in Abbildung 8-5), hätte der absolute Trendfehler mit im Durchschnitt 1,98% ebenfalls nur geringfügig höher gelegen, als er sich aus den AEO-Projektionen ergab.

Einen tieferen Einblick in die Genauigkeit der AEO-Projektionen im Vergleich mit linearen Trendextrapolationen gibt der Vergleich der einzelnen Teilprojektionen mit ihren jeweiligen Kontrollprojektionen:

³⁰⁶ Dies sind: BIP, EDL-Intensität, Strom- und Brennstoffintensität für jeden der vier Nachfragesektoren sowie CO₂-Emissionsintensität des Strom- und des Brennstoffeinsatzes (siehe oben, Abbildung 8-1).

- Dabei zeigt sich zunächst, dass die Trendextrapolationen für *Variablen, deren historische Entwicklung überwiegend relativ gleichmäßig verlaufen* ist, wie z.B. die Stromintensitäten der Haushalte und des GHD-Sektors, geringere Fehler aufweisen als die eigentlichen Projektionen der AEOs. Dies gilt mit Einschränkungen auch für das Gesamtergebnis, vor allem, wenn es als Resultat der Trendextrapolationen für alle 15 Teilvariablen gebildet wird (s.o.).
- Umgekehrt schneiden die AEOs bei den Projektionen, die Trendänderungen aufweisen, z.B. für die Pkw und die Industrie, deutlich besser ab als die Trendextrapolation. *In ‚schwierigeren‘ Situationen scheint also die modellgestützte Emissionsprojektion der simplen Trendextrapolation durchaus überlegen zu sein.*

8.2.2 Ergebnisse der Untersuchung der Hypothesen zu zentralen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen

Aufbauend auf der umfassend angelegten quantitativ-deskriptiven Fehleranalyse und der Untersuchung der Hauptkomponenten der Fehler der CO₂-Emissionsprojektionen (in Bezug auf ihre prognostische Funktion) wurden in Kapitel 7 die Hintergründe der festgestellten Fehler der einzelnen Teilprojektionen anhand von Untersuchungshypothesen analysiert, die auf der Basis einer Literaturanalyse (siehe Abschnitt 4.2) identifiziert wurden. Dabei wurden aus 19 identifizierten Einflussfaktoren acht ausgewählt, die sich anhand des hier gewählten Gegenstands untersuchen lassen (siehe Tabelle 8-1).

Dies sind drei Hypothesen zu *(erstellungs-)zeitspezifischen Einflussfaktoren* auf die Genauigkeit von Emissionsprojektionen, drei Hypothesen zu *methoden- bzw. projektionsspezifischen Einflussfaktoren* sowie zwei Hypothesen zu *gegenstandsspezifischen Einflussfaktoren* auf die Genauigkeit der Projektionen.

Bei der Untersuchung anhand jeweils geeigneter Teilprojektionen der CO₂-Emissionsprojektionen zeigt sich, dass alle drei untersuchten (erstellung-)zeitspezifischen Hypothesen, Z1: Übersehen von Trendänderungen (assumption drag), Z2: Erwartungen zum Zeitpunkt der Projektionserstellung (Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen als Trendänderungen) und Z3: Stabilität des Trends (in der Zeit vor der Erstellung der Projektion sowie während der Projektionsdauer) als relevant bestätigt werden können³⁰⁷. Dies bedeutet, dass die aktuellen Entwicklungen kurz vor bzw. während der Erstellung einer Projektion einen hohen Einfluss auf die Inhalte und die Genauigkeit derselben haben, womit die rückblickende Aussage von H. Landsberg, ‚man sei der Gefangene der Erstellungszeit, typischerweise ohne es zu bemerken‘³⁰⁸,

³⁰⁷ Sie müssen aber zum Teil anders definiert werden als dies bisher in der Literatur erfolgte, bzw. gelten wie Hypothese Z1 (Übersehen von Trendänderungen) nicht generell.

³⁰⁸ Eigene Übersetzung nach Koomey et al. (2003, 77). H. Landsberg war Projektleiter einer wichtigen Energieprognose der USA von 1963. Die Aussage stammt von 1984.

klar bestätigt werden kann. Unabhängig von der Teilprojektion und dem verwendeten Projektionsmodell kann gezeigt werden, dass aktuelle Entwicklungen die Projektionsfehler der hier untersuchten Projektionen deutlich beeinflusst haben. Dabei muss die Zeitlücke, d.h. die Zeitverzögerung der Datenverfügbarkeit und der Vorlauf der Projektionserstellung berücksichtigt werden. D.h., aktuelle Entwicklungen können die Projektion nur insoweit – egal in welcher Art – beeinflussen sofern sie zum Zeitpunkt der tatsächlichen Projektionserstellung bereits (in den Daten) erkennbar waren.

Tabelle 8-1: Übersicht über diskutierte und untersuchte Hypothesen zu Fehlerursachen

Kategorie	Bezeichnung des Einflussfaktors	Untersucht als Hypothese
Erstellungszeitspezifisch	1a) Übersehen aktueller Trendänderungen	Z1
	1b) Schwankung der Basisdaten	–
	1c) Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen	Z2
	2) Stabilität des Trends - vor/während der Erstellungszeit - während der Projektionsperiode	Z3a Z3b
Projektionsspezifisch	3) Startjahr der Projektion	–
	4) Wechsel der Methodik	–
	5) Nutzung von Expertenschätzungen	–
	6) Rolle der durchführenden Organisation	–
	7) Zweck der Projektion, mit ihr verfolgte Interessen	–
	8) Länge der Basisperiode	–
	9) Zeithorizont (Länge der Projektionsperiode)	P1
	10) Stabile Fehlerrichtung	P2
	11) Kombination von Projektionen	–
12) Aggregierte Projektionen	P3	
Gegenstandsspezifisch	13) Verhaltensbedingte Variablen	–
	14) Absolute Größe der zu projizierenden Variable	G1
	15) Veränderungsrate der zu projizierenden Variable	G2
	16) Frequenz der zugrunde liegenden Basisdaten	–
	17) Einfluss der Innovation	–

Quelle: eigene Zusammenstellung

Neben den aktuellen Entwicklungen zum Erstellungszeitpunkt haben wichtige *Eigenschaften der Projektion* selbst ebenfalls einen Einfluss auf die Genauigkeit der Projektionen. Die wichtigsten hier als relevant analysierten Eigenschaften sind die Länge der Projektionsperiode (P1), die Stabilität der Fehlerrichtung (P2)³⁰⁹ sowie die Zusammensetzung der Projektion aus wenigen oder vielen Teilprojektionen (P3), deren Fehler sich kumulieren oder kompensieren können. Im Gegensatz zu den erstellungszeitspezifischen Fehlerursachen, können die aus der Literatur übernommenen projektionsspezi-

³⁰⁹ Wobei es sich bei dieser Hypothese eher um ein Ergebnis als um eine von vorneherein bestehende Eigenschaft der Projektion handelt.

fischen Fehlerhypothesen, d.h. zu den Fehlerquellen, die durch die Methodik und Anlage der Projektion selbst determiniert werden, nur zum Teil bestätigt werden. Einen ganz zentralen Einfluss hat der Disaggregationsgrad des Projektionsmodells selbst (Hypothese P4). Je mehr Teilprojektionen vorhanden sind, desto höher ist – bereits rein statistisch – die Fehlerkompensation. Wobei aber nicht belegt werden konnte, dass der resultierende Gesamtfehler zwingend kleiner ist, als es der einer mit einem einfacheren Modell erstellten Projektion gewesen wäre. Dass die Projektionsfehler mit steigender Projektionsdauer größer werden (Hypothese P1), leuchtet ebenfalls ein, lässt sich hier aber nur für Variablen bestätigen, deren Realentwicklung einem relativ linearen Trend folgt. Für solche mit unregelmäßigerer Realentwicklung gilt diese Aussage (hier) nicht. Keine Bestätigung findet sich auch für die Hypothese der stabilen Fehlerrichtung (P2).

Schließlich wurden die beiden Hypothesen zu *gegenstandsspezifischen Einflussfaktoren* untersucht, die nahe legen, dass die absolute Größe (Hypothese G1) sowie die Veränderungsrate der zu prognostizierenden Variablen (G2) die Projektionsfehler positiv (G1) bzw. negativ (G2) beeinflussen. Diese möglichen Fehlereinflüsse, die sich allein aus der Charakteristik des Gegenstands (der Projektionsvariablen) herleiten, lassen sich für die hier untersuchten Energie- und Emissionsprojektionen der Jahre 1983 bis 2004 für die USA nicht bestätigen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass hier nur ein eingeschränkter Datenfundus zur Untersuchung der beiden Hypothesen zur Verfügung steht. Dies betrifft insbesondere die Tatsache, dass nur sektorale Vergleiche, d.h. zwischen verschiedenen Sektoren aber keine regionalen Vergleiche, zwischen verschiedenen Ländern oder Regionen, durchgeführt werden.

Ingesamt zeigt sich bei der Analyse der neun relevanten Fehlerhypothesen, dass für die hier untersuchten Energie- und Emissionsprojektionen (und die dazugehörigen Projektionen des BIP und der sektoralen EDL) und für die hier untersuchten Zeiträume³¹⁰ vor allem die zeitabhängigen Faktoren einen großen Einfluss haben.

- Ein relativ gleichmäßiger (linearer) Trend (Hypothese Z3) ist eine wichtige Voraussetzung für niedrige Projektionsfehler – er bietet allerdings keine Garantie dafür: Auch die Projektionen mit den höchsten Fehlern weisen einen relativ kontinuierlichen historischen Trend auf. Dies hängt auch mit der projektionsabhängigen Hypothese P1, Länge der Projektionsperiode, zusammen, die nur für Variablen mit relativ linearem historischen Trend mit steigenden Fehlern korreliert ist.

³¹⁰ Diese entsprechen vielfach nicht dem gesamten Projektionszeitraum, sondern nur dem bis heute (2004) analysierbaren Teil der Projektionen.

- Trendbrüche und kurzfristige Schwankungen in Basisdaten im Zeitraum kurz vor der Projektionserstellung haben dagegen einen deutlich messbaren Einfluss auf die Veränderungen der Projektionen gegenüber der Vorjahresprojektion, wobei echte Trendbrüche (Hypothese Z1) in den ersten Jahren, obwohl schon in den Daten sichtbar, oft verkannt werden und so zu hohen Projektionsfehlern führen, es sei denn, vor- und nachgelagerte Variablen weisen eher kontinuierliche Trends auf, die den Trendbruch in dieser Variable mit erklären.
- Kurzfristige Schwankungen dagegen werden besonders leicht als Trendänderungen fehlinterpretiert (Hypothese Z2), wenn sie die Erwartungen der Projektionsersteller zu bestätigen scheinen. Widersprechen sie dagegen den Erwartungen, dauert es in der Regel länger, bis Änderungen als Anlass zu einer Projektionsveränderung akzeptiert werden.

Weiterhin kommt es bei kombinierten Projektionen, mit der Zahl der Teilprojektionen steigend, sowohl stochastisch erwartbar als auch aus inhaltlichen Gründen (Korrektur fehlerhafter Erwartungen einer grundlegenden Projektion (z.B. BIP) durch eine eigenständige Projektion einer nachfolgenden Größe (z.B. EDL im GHD-Sektor)) zu sehr signifikanten Kompensationen entgegengerichteter Fehler untereinander³¹¹ (Hypothese P3).

Andere auf der Basis der Literaturanalyse erwartete mögliche Fehlerursachen (Hypothesen G1 und G2 sowie P2 und P1 zum Teil), konnten dagegen im Rahmen dieser Untersuchung nicht bestätigt werden. D.h., im Vergleich der Variablen untereinander findet sich weder ein Beleg dafür, dass die absolute Größe oder die Höhe der Änderungsrate einen Einfluss auf die Fehlerhöhe hätten, noch dass die Fehlerrichtung einer Projektion typischerweise konstant bleibt (dies ist nur bei Projektionen mit überdurchschnittlich hohen Fehlern wahrscheinlich) oder dass der Fehler bei allen Projektionen mit der Länge der Projektionsperiode ansteigt (dies gilt nur für Variablen mit sehr gleichmäßigem historischen Trend).

8.2.3 Ergebnisse im Hinblick auf die Methodik der ex-post Evaluierung

Im Fokus der hier durchgeführten Analyse steht die Untersuchung der Fehler der AEOs, wobei kein simpler Vergleich der Projektionsergebnisse mit den tatsächlich eingetretenen Ergebnissen durchgeführt wurde. Vielmehr wurde, eine Fehlerdekomposition nach Fehlertypen (vgl. Abb. 8-2) sowie Teilprojektionen (vgl. Abb. 8-1) vorgenommen, um den direkt sichtbaren Fehler in ein geeignetes Maß zur Beurteilung der Projektionsgenauigkeit umzuwandeln³¹². Die in der Anwendung dieser Methodik ge-

³¹¹ In diesem Fall wird der Fehler der BIP-Projektion aufgrund einer unabhängigen Einschätzung der EDL-Projektion durch die entsprechende Projektion der EDL-Intensität – inhaltlich begründet, nicht zufällig – kompensiert.

³¹² In Anlehnung an die Vorgehensweise von O’Niell und Desai (2003 und 2005); vgl. auch Abschnitt 4.1 sowie Craig u.a. (2002) und Koomey u.a. (2003).

wonnenen Erkenntnisse aus den hier durchgeführten Analysen werden kurz zusammengefasst, um Hinweise auch für die Weiterentwicklung der Methode der retrospektiven Analyse von Projektionen geben zu können. Die wichtigsten unten dargestellten Ergebnisse betreffen:

- a) Die Notwendigkeit der Basisjahrkorrektur sowie die Bedeutung konsistenter Zeitreihen.
- b) Die Schwachpunkte der Variabilitätskorrektur.
- c) Die Erfahrungen aus der sehr detaillierten Analyse auf der EDL-Ebene sowie die dafür ggf. erforderlichen zusätzlichen Daten.

a) Basisjahrkorrektur und historische Zeitreihen

Der erste Schritt der hier, wie auch in anderen ex-post-Analysen von Projektionen durchgeführten Fehlerdekomposition besteht in der Analyse (und Kompensation) des *Basisjahrfehlers*. Basisjahrfehler treten – so die bisherige Annahme in der Literatur³¹³ häufig auf, weil aktuelle Statistiken z.T. noch mit Fehlern behaftet sind. Vor allem, weil die verwendeten Projektionsmodelle häufig auf das Startjahr kalibriert werden, kann sich ein entsprechend fehlerhafter Wert durch die gesamte Projektion durchziehen. Vor diesem Hintergrund wird dieser Fehler – durch die Umrechnung der Projektionsergebnisse anhand der ex-post vorhandenen korrekten Daten des Startjahres – korrigiert.

Im Rahmen dieser Analyse zeigt sich, dass tatsächlich viele der hier analysierten Detailprojektionen – vor allem die des BIP und der EDL – signifikante Abweichungen der Startjahrwerte von den historischen Daten aufweisen (vgl. Abschnitt 6.3). Das Problem ist also für die Analyse der Energie- und Emissionsprojektionen von Bedeutung.

- Hintergrund hierfür sind allerdings weniger statistische Probleme oder vorläufige Daten, wie dies z.B. von O’Niell und Desai angenommen wird (2005, 992), sondern Revisionen der historischen Zeitreihen (BIP), Umstellungen der Systematik (Industrie) sowie nur periodisch durchgeführte Erhebungen mit jeweils leicht abweichenden Definitionen (GHD). D.h., nicht die ungenauen Basisjahrwerte zum Zeitpunkt der Projektionserstellung sind das Problem, sondern die Tatsache, dass die damalige Definition der fraglichen Größe aus verschiedenen Gründen nicht mehr der heutigen, den Daten der historischen Zeitreihe zugrunde gelegten Definition entspricht.
- Die Korrektur des Basisjahrfehlers ist also für die meisten Teilprojektionen vor allem deshalb wichtig, um die Projektionen an einer geeigneten, d.h. mit der

³¹³ Keilmann 1990, 1998 sowie O’Niell und Desai 2005.

Projektion tatsächlich vergleichbaren Datenbasis zu testen, die in ihrer Definition den jeweiligen Projektionswerten entspricht³¹⁴.

Aus diesem Resultat ergibt sich die auch von Koomey et al. (2003, 87) unterstrichene Forderung, für eine sinnvolle Evaluierung der Projektionen *geeignete und möglichst in sich konsistent definierte historische Zeitreihen* bereitzustellen, um so ex-post Evaluierungen zu ermöglichen bzw. zu vereinfachen und die Notwendigkeit der Basisjahrkorrektur zu reduzieren. Diese sollten auch dann zu Evaluierungszwecken zusätzlich weitergeführt werden, wenn die aktuellen Definitionen verändert werden.

b) Variabilitätskorrektur und ihre Schwachpunkte

Die zweite Fehlerkomponente ist der *Variabilitätsfehler*. Er soll kurzfristige, z.B. temperatur-, krisen- oder konjunkturbedingte Schwankungen der historischen Zeitreihe herausfiltern, da – für die hier interessierenden nationalen Emissionsprojektionen durchaus zutreffend – angenommen wird, dass die zu evaluierende Projektion einen längerfristigen Trend projizieren wollte, nicht aber den Zeitpunkt oder das Ausmaß eventueller kurzfristiger Abweichungen von diesem Trend³¹⁵.

Allerdings birgt die genaue Definition des Variabilitätsfehlers offene Fragen bzw. Entscheidungsprobleme für die Gestaltung der ex-post Analyse:

- Zunächst muss entschieden werden, über welchen historischen Zeitraum der Trend gebildet werden soll, da der – eigentliche nahe liegende – Zeitraum, nämlich der, den die Projektion abdeckt (ggf. plus eines gewissen Zeitraums vor dem Projektionsstart), häufig noch nicht vollständig zur Verfügung steht. Der (lineare) Trend über die bislang der Analyse zur Verfügung stehende Periode (z.B. 1994 bis 2004) kann aber durchaus vom (noch nicht bekannten) Trend über die gesamte Projektionsperiode (z.B. 1995 bis 2015) abweichen. Je nach Zeitpunkt der Evaluierung kann der Trend, an dem die Genauigkeit der Projektion gemessen wird also ein anderer sein³¹⁶. Daher beeinflusst die Wahl des Zeitraums für die Trendbildung – ggf. signifikant – die Ergebnisse der Evaluierung.
- Darüber hinaus ist auch unklar welche Trendfunktion zum Ausgleich der kurzfristigen Variabilität angemessen wäre. Pragmatisch wird eine lineare Funktion gewählt, die sicher der Intention vieler Projektionen nahe kommt. Allerdings

³¹⁴ Dabei muss allerdings beachtet werden, dass die Basisjahrkorrektur lediglich die prozentuale Abweichung im Basisjahr auf die Projektion überträgt. Sie ist damit nicht in der Lage, identische Definitionen der Projektions- und Ist-Werte zu erzeugen, sondern korrigiert diese – als „second best Lösung“ – lediglich um die prozentuale Abweichung beider Werte im Basisjahr, in der Annahme, dass die prozentuale Abweichung der beiden unterschiedlich definierten Zeitreihen im Zeitverlauf annähernd konstant ist.

³¹⁵ Vgl. z.B. die entsprechende Aussage der EIA in Wade (2007, 4).

³¹⁶ Vgl. de Jouvenel (2000, 44). Dies gilt erst recht, wenn wie hier oder auch bei O’Niell und Desai (2005) Projektionen verschiedene Jahrgänge verglichen werden und dann auf einen einzigen linearen Trend bezogen werden.

werden die Projektionen ebenfalls häufig in Teilperioden mit dann unterschiedlichen linearen Trends aufgeteilt. Z.T. werden in Projektionen aber auch konstante prozentuale Zuwachsraten, d.h. Exponentialfunktionen projiziert³¹⁷. Auch die Wahl der Trendfunktion kann also durchaus die Intention der ursprünglichen Projektion verfehlen.

Vor diesem Hintergrund ist also kritisch zu fragen, ob die Isolierung des Variabilitätsfehlers für die Energie- und Emissionsprojektionen wirklich sinnvoll ist. Die vorstehende Argumentation macht deutlich, dass die Chancen, die Intention der untersuchten Projektion zu verfehlen, eher größer sind als sie zu treffen. Damit besteht die Gefahr, dass die Nachteile der Variabilitätskorrektur der Ist-Daten, die eher Fehler verdeckt oder nicht vorhandene Fehler künstlich erzeugt, die Vorteile überwiegen. Dies gilt insbesondere, wenn die erzeugten Fehlermaße – wie hier geschehen – über mehrere Jahre einer Projektionsperiode gemittelt werden³¹⁸, denn in diesem Fall werden kurzfristige Schwankungen der Ist-Daten ohnehin durch die Mittelwertbildung bei der Fehlerberechnung ausgeglichen.

Hier wird vor diesem Hintergrund und angesichts der Tatsache, dass der Variabilitätsfehler in den meisten Fällen ohnehin wenig signifikant ist (vgl. Abschnitt 6.5), vorgeschlagen bei künftigen ex-post Analysen nationaler Energie- und Emissionsprojektionen auf die Variabilitätskorrektur zu verzichten und statt des Trendfehlers, wo sinnvoll, einen basisjahrkorrigierten Fehler in das Zentrum der Fehleranalyse zu stellen. Sofern Fehlermaße für mehrere Jahre gemittelt werden hätte dies nur geringe Nachteile gegenüber der Verwendung des Trendfehlers, hätte aber den Vorteil, möglicherweise verfälschende Effekte der Variabilitätsfehlerkorrektur zum Teil zu vermeiden.

c) Detaillierungsgrad der ex-post Analyse und Identifikation von Einflussgrößen auf der EDL- und Effizienzebene

Das dritte methodenbezogene Ergebnis betrifft den Detaillierungsgrad der Analyse. Diese Arbeit zeigt im Vergleich mit den bisherigen Arbeiten, die erheblich weniger differenziert vorgingen, dass die Einbeziehung der einzelnen Nachfragesektoren und der EDL-Ebene einen deutlichen Erkenntniszugewinn erbracht hat. Insbesondere die Effekte der vielfältigen Fehlerkompensationen können erst dadurch gezeigt und analysiert werden. Aber auch die Hypothesen zu zentralen Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Projektionen lassen sich erst anhand der im Detail vorhandenen Beispiele untersuchen. Trotzdem zeigt sich, dass z.B. der Einfluss der Effizienzsteigerung auch hier erst ansatzweise gezeigt werden konnte. Denn das hier aufgrund der Datenrestrik-

³¹⁷ Da diese meist Exponenten nahe 1 haben, ist die Abweichung vom linearen Trend häufig sehr klein.

³¹⁸ Hier wird z.B. in der Regel als Fehler einer Projektion über 7 Jahre nicht die Abweichung der Projektion vom Ist-Wert nach 7 Jahren angegeben, sondern der Mittelwert der Abweichungen über die 7 Jahre der Projektionsperiode.

tionen gewählte Maß einer einzigen EDL pro Sektor ist meist noch zu grob, um die gewünschten Aussagen ableiten zu können.

Um diese Fragestellung noch präziser analysieren zu können, wäre es wichtig, geeignete Detaildaten zur Verfügung zu stellen. Diese sind in den Projektionen vielfach vorhanden³¹⁹, als statistische Daten bzw. Modellergebnisse tatsächlicher Entwicklungen fehlen sie dagegen noch häufig. Hier ist zu empfehlen, einen Datenkanon aus dem Datenbestand der Projektionsmodelle zur detaillierten ex-post Analyse zu definieren und diese Daten dann standardmäßig mit den jährlichen Projektionen zur Verfügung zu stellen. Ebenso müssten die vergleichbaren Ist-Daten jährlich entweder erhoben oder ggf. modelliert werden³²⁰.

8.3 Gesamtergebnis und Schlussfolgerungen

Die untersuchte Periode wies – im hier betrachteten Energiesektor – relativ kontinuierliche, z.T. sogar lineare Entwicklungen sowie relativ geringe Abweichungen vom Trend und nur sehr wenige echte Trendänderungen auf. Dies ergibt sich aus beiden Analyseansätzen, sowohl der umfassenden Fehleranalyse als auch der Analyse von Hypothesen zu Einflussfaktoren auf die Qualität von Projektionen. Sie war von daher im Sinne Reschers (1998, 74) eine eher ‚prognosefreundliche‘ Phase. Vor diesem Hintergrund ist zu verstehen, dass auch die – rein numerische – Projektion durch eine lineare Trendextrapolation ähnlich exakte Ergebnisse geliefert hätte, wie sie die hier untersuchten Emissionsprojektionen der AEOs ergeben haben (s.o.).

Der *prozentuale Trendfehler stellt das adäquate Fehlermaß dar*, um die Energie- und CO₂-Emissionsprojektionen der AEOs ex-post auf ihre Exaktheit und – im Zusammenspiel mit ihrer Detailliertheit – auf ihre Genauigkeit hin beurteilen zu können. Er ist der um Basisjahrabweichungen der Projektionswerte von den genutzten historischen Vergleichswerten sowie kurzfristige, nicht von den Projektionen abzubildende Varianzen der historischen Werte bereinigte Fehler. Es zeigt sich, dass die energiebedingten CO₂-Emissionen in den hier detailliert untersuchten AEOs 92 bis 04 mit einem *mittleren absoluten Trendfehler*³²¹ von 1,75% relativ exakt projiziert wurden. Dabei traten sowohl Über- als auch Unterschätzungen in einer Bandbreite von -3,2% bis +2,7% auf.

³¹⁹ Wie z.B. die ergänzenden Detailangaben in Unruh (2002) und Wade (2002) zeigen.

³²⁰ Eine erste Basis eines standardisierten Kanons bilden z.B. die Energiebilanzen der IEA und die Treibhausgasinventare der UNFCCC. Allerdings ist die EDL-Ebene in diesen Statistiken so gut wie nicht abgedeckt. Für die Erhebung EDL-relevanter Größen ist ein einheitlicher Standard noch weit entfernt. Erste Ansätze bieten z.B. die Arbeiten zu Energieintensitätsindikatoren, die neue website der EIA (<http://energyintensityindicators.pnl.gov/>) sowie die Odyssee-Datenbank für die EU (vgl. dazu die Übersicht in IEA 2007, 155ff.).

³²¹ Mittelwert der Absolutwerte aller Trendfehler der AEOs 92 bis 04 für die Jahre 1992 bis 2004.

Dieses zunächst günstig erscheinende Ergebnis muss allerdings mit Blick auf die Detailergebnisse relativiert werden:

- Zum einen ist es im Mittel *nur geringfügig besser, als wenn* – auf der Basis des hier verwendeten Emissionsmodells – die treibenden Variablen³²² jährlich als *Trend der jeweils vergangenen 6 Jahre* extrapoliert worden wären. In diesem Fall hätte sich ein mittlerer absoluter Trendfehler von 1,80% ergeben. Eine einfache kontinuierliche Extrapolation energiebedingter CO₂-Emissionen hätte mit einem mittleren absoluten Trendfehler von 1,89% allerdings auch nicht wesentlich schlechter abgeschnitten (s.o. Abbildung 8-3).
- Zum anderen *stehen dem ‚relativ‘ guten Gesamtergebnis signifikante Fehlprojektionen im Detail entgegen*, die sich insgesamt – bei dem hier gewählten Fehlermodell – im Durchschnitt zu mehr als vier Fünftel gegenseitig kompensieren, wobei bereits einzelne Teilprojektionen den Gesamtfehler der CO₂-Emissionsprojektion zu mehr als 60% allein erklären könnten.

Werden die Genauigkeit und die Fehlerursachen der Projektionen für die untersuchte Periode genauer analysiert, dann zeigt sich, dass im hier untersuchten Beispiel *zeit-spezifische Faktoren die größten Einflüsse auf die Projektionsqualität* haben.

- Die *Trendänderungen* im Pkw-Verkehr sowie der Industrie konnten – soweit sie in der Zukunft lagen – *kaum richtig projiziert* werden und auch nach ihrem Eintreten benötigten die Ersteller der Projektionen relativ lange, um sie zu erkennen und in die Projektionen zu integrieren (Hypothese Z3). Trotzdem zeigt sich, dass für diese Sektoren die Projektionen der AEOs der linearen Trendextrapolation im Durchschnitt immer noch überlegen waren.
- *Kurzfristige Schwankungen* im Zeitraum der Projektionserstellung wurden dagegen – insbesondere wenn sie den Erwartungen der Prognostiker entgegenkamen – tendenziell als Trendänderungen *fehlinterpretiert* und führten so zu einer Vergrößerung der Fehler (Hypothese Z2). Aus diesem Grund sind vor allem im Bereich des Stromeinsatzes des GHD-Sektors und der Haushalte die Projektionen der AEOs im Durchschnitt ungenauer als es eine reine Trendextrapolation gewesen wäre.

Tatsächlich wurden die wesentlichen emissionssteigernden Entwicklungen der vergangenen zwei Jahrzehnte in den AEOs – soweit sie bereits evaluiert werden können – nur teilweise vorhergesehen, und soweit sie projiziert wurden war dies z.T. auch ein Ergebnis der Kompensation von Fehlern. Dabei lassen sich relevante Anteile der Fehler auf die in den Hypothesen Z1 (Übersehen von Trendänderungen), Z2 (Überinterpretation kurzfristiger Schwankungen) und Z3 (Stabilität des Trends) gezeigten (erstellung-)zeitbezogenen Einflussfaktoren zurückführen:

³²² Siehe Abbildung 8-1.

- Wichtigster bzw. drittichtigste Treiber des Emissionszuwachses waren die rasch steigenden Emissionen des Stromeinsatzes des GHD- und des Haushaltssektors. Die hierfür entscheidenden Zuwächse des Stromeinsatzes wurden in den Projektionen durchgängig unterschätzt, im GHD-Sektor um etwa ein Viertel bzw. im Bereich der Haushalte um 10 bis 20%. Dabei wurde der Stromeinsatz pro Einheit der EDL in beiden Sektoren durchgängig zu niedrig projiziert. Und dies trotz eines nahezu linearen realen Wachstumstrends in beiden Sektoren³²³. Hier wurden offenbar vor allem die verbrauchssteigernden Effekte der zunehmenden Ausstattung mit I&K-Technik sowie Klimaanlage durchgängig unterschätzt. Ein verstärkender Effekt war in den AEOs 92, 93 und 94 die Überinterpretation des – überwiegend rezessionsbedingten – kurzfristigen Verbrauchseinbruchs des Jahres 1992 als (die erwartete) Trendänderung (Hypothese Z2), die in den genannten AEOs zu besonders hohen Fehlern der Stromintensitätsprojektionen führte. Insbesondere im Bereich des Stromeinsatzes hätte daher die reine Trendextrapolation deutlich geringere Fehler produziert als die AEOs.
- Die Zuwachsrate des Kraftstoffeinsatzes der Pkw als zweitichtigste Treibergröße des Emissionszuwachses zwischen 1983 und 2004 – wird in den Projektionen um rund ein Drittel unterschätzt. Ursache ist in den AEOs 92 bis 95 eine massive Überschätzung der Effizienzsteigerung der Pkw, was sich auf das Übersehen einer Trendänderung (Hypothese Z1) zurückführen lässt. In den AEOs ab 1996 ist dagegen eine kontinuierliche Unterschätzung der Fahrleistung der Hauptgrund. Dabei werden beide Fehler weitgehend durch jeweils entgegengesetzte Fehler – zunächst der Projektion der EDL-Intensität (ebenfalls in Folge einer nicht erkannten Trendänderung), dann der Kraftstoffeinsätze pro 100 km – kompensiert³²⁴.

Diesen Unterschätzungen der Zuwachstrends stand in der Regel eine Überschätzung des Endenergieeinsatzes sowohl der Industrie als auch des übrigen Verkehrs gegenüber, die zusammen zu dem genannten Ergebnis der recht genauen Projektionen des Zuwachstrends der CO₂-Emissionen geführt hat.

- In der Industrie kam es in den AEOs 92 bis 98 überwiegend zu einer Kumulation der Fehler, da sowohl die Zuwachsrate der EDL-Intensität signifikant – und mit steigender Projektionsdauer zunehmend – als auch die Brennstoff- und Stromintensität überschätzt wurde. Dabei wurden die Fehler für die EDL- und die Brennstoffintensität durch eine Überinterpretation von Trendänderungen in den AEOs 96 und 97 bzw. 93 und 94 verstärkt. Danach wurde die EDL-

³²³ Was Hypothese Z3 dahingehend bestätigt, dass lineare historische Trends keine Gewähr für genaue Projektionen bieten.

³²⁴ Ohne diese Kompensation hätten die Fehler dieser beiden Größen in den AEOs bis 1995 allein dazu ausgereicht, den Gesamtfehler der Emissionsprojektionen zu erklären.

Intensität unterschätzt, was die fortgesetzte Überschätzung der Brennstoff- und Stromintensität teilweise kompensierte. Im Bereich der Industrie kommt zusätzlich noch eine Trendänderung etwa ab 1996 hinzu, die zu einer Stagnation bzw. sogar zu einem Rückgang der CO₂-Emissionen führte. Diese Trendänderung während des Projektionszeitraums (Hypothese Z3b) verstärkt die Fehler der älteren Projektionen zusätzlich.

- Während für den übrigen Verkehr die Zuwächse im Mittel doppelt so hoch projiziert wurden, wie sie tatsächlich eintraten, waren die Projektionen für den stagnierenden Brennstoffeinsatz des GHD- und des Haushaltssektors relativ genau, wobei der Klimawandel vor allem im Haushaltsbereich eine Unterschätzung teilweise maskierte.

Mit den hier untersuchten Projektionen *nicht bestätigen lassen sich dagegen die z.T. in der Literatur vermuteten gegenstandsspezifischen Einflüsse* auf die Projektionsgenauigkeit³²⁵. Es konnte weder belegt werden, dass die absolute Größe noch, dass die Wachstumsrate einen Einfluss auf die Projektionsgenauigkeit hat. Allerdings bestätigen die Gesamtergebnisse ähnliche Analysen in anderen Themenfeldern, die zeigen, dass höher aggregierte Größen, wie z.B. die gesamten CO₂-Emissionen eines Landes tendenziell mit höherer Genauigkeit projiziert werden können als im Mittel z.B. für die Emissionen eines einzelnen Sektors³²⁶.

Ein weiteres übereinstimmendes Ergebnis beider Analyseteile ist der **hohe Kompensationsgrad der Fehler zwischen den einzelnen Teilprojektionen**, die sich letztlich zur Projektion der energiebedingten CO₂-Emissionen zusammenfügen. Damit bestätigen sich sehr deutlich bisherige Befunde aus der Literatur³²⁷, die allerdings meist nur von einfachen aggregierten Projektionen aus zwei sich zum Teil kompensierenden Teilprojektionen ausgegangen sind.

In dieser Untersuchung wird gezeigt, dass es sich dabei nicht nur um einen einmaligen Effekt einzelner Projektionen handelt, sondern dass dies *durchgängig in allen hier untersuchten Projektionen der Fall* ist – auch, wenn statt der Detailprojektionen lineare Trendextrapolationen benutzt werden. Damit wird klar, dass die Fehlerkompensation, wenn ein differenziertes Projektionsmodell untersucht wird, eine sehr signifikante Größenordnung hat. Beide hier durchgeführten Analysen zeigen, dass es – je nach gewähltem Fehlermaß – bei der CO₂-Emissionsprojektion zu einer *Fehlerkompensation von über 80%* kommt. D.h. der effektive (tatsächliche) Fehler der Emissionsprojektionen liegt im Mittel bei weniger als 20% des Fehlers, der sich ergeben hätte, wenn alle Fehler aller Teilprojektionen in die gleiche Richtung gezeigt hätten. Die Teilprojekti-

³²⁵ Vgl. Abschnitt 4.2.3.

³²⁶ Vgl. z.B. die Untersuchungen von Linderoth (2002), der Energieprognosen der IEA für die OECD-Länder untersucht hat.

³²⁷ Siehe z.B. Landsberg (1985), Smil (2000), Linderoth (2002), Koomey et al. (2003). O’Niell und Desai (2005) berichten diesen Effekt auch für die hier im Fokus stehenden Energieprojektionen der USA.

nen mit den größten Anteilen am kumulierten Gesamtfehler (die Projektion des BIP sowie die Projektionen von Fahrleistung und spezifischem Kraftstoffverbrauch der Pkw) erklären jeweils mehr als 60% des Gesamtfehlers der gesamten CO₂-Emissionsprojektion.

Zusätzlich zur Identifizierung und Quantifizierung dieser Kompensationen wurde im Rahmen der Analyse der Hypothese P3 (Fehlerkompensation von Teilprojektionen) mit Hilfe einer Monte-Carlo Analyse gezeigt,

- dass es auf der einen Seite bereits rein stochastisch zu signifikanten Fehlerkompensationen zwischen unabhängigen Teilprojektionen³²⁸ kommt, wobei die Anzahl der kombinierten Projektionen, die Ähnlichkeit ihrer Fehler sowie die Art der Kombination der Teilprojektionen (additiv bzw. multiplikativ) das statistisch zu erwartende Ausmaß der Fehlerkompensation bestimmen³²⁹, und
- dass auch inhaltliche Erkenntnisse im Sinne von Gegenchecks unterschiedlicher Projektionsansätze Fehlerkompensationen bewirken. Dies ergibt sich aus dem Ergebnis, dass vielfach die tatsächliche Fehlerkompensation größer ist, als das rein stochastisch zu erwarten gewesen wäre. Dieser Effekt zeigt sich vor allem bei Summen- bzw. Produktprojektionen, wenn diese sich nicht rein als Ergebnis von Teilprojektionen ergeben, sondern selbst unabhängig an Ist-Daten überprüft und projiziert werden können. Dies ist z.B. im Haushaltssektor der Fall. Hier ist die EDL-Projektion nicht rein das Produkt aus BIP-Projektion und EDL-Intensität, sondern kann auch direkt prognostiziert werden. So werden eventuelle Fehler der BIP-Projektion ggf. unabhängig ‚korrigiert bzw. kompensiert‘.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend zeigt sich, dass eine Reihe von Einflüssen auf die Genauigkeit, die bereits für andere Projektionen beschrieben wurden, hier klar bestätigt werden. Durch den hohen Detaillierungsgrad der hier durchgeführten ex-post Analyse der US Emissionsprojektionen werden aber bisherige Ergebnisse früherer Arbeiten zum Teil auch relativiert.

- Bestätigt wurde zunächst die Erkenntnis, dass die *beachtliche Exaktheit der Gesamtergebnisse*, die zum Teil auf die Prognosefreundlichkeit der hier untersuchten Periode zurück zu führen sind, auf einer *sehr signifikanten Fehlerkompensation der oft weniger exakten Detailprojektionen* beruht. D.h. die Genauigkeit ist effektiv geringer, als es die Projektion des Gesamtergebnisses vermuten lässt. Dabei bestätigte sich auch, dass ein kontinuierlicher Trend zwar eine

³²⁸ Die Teilprojektionen sind hier allerdings überwiegend nicht voneinander unabhängig.

³²⁹ Die Untersuchung der linearen Trendextrapolationen der Treibervariablen des Projektionsmodells zeigt für das hier gewählte Emissionsmodell, dass sich ein entsprechendes Ausmaß der Fehlerkompensation auch in diesem Fall ergeben hätte.

Voraussetzung für die Genauigkeit von Projektionen ist, aber im Umkehrschluss keine Gewähr dafür bietet.

- Die Fehler gehen, wie dies auch für andere Projektionen bemerkt wurde, vor allem auf die *Erwartungen* zurück, die zum *Erstellungszeitpunkt herrschten*. So gelang es häufig nicht, Trendänderungen rasch, d.h. unter Berücksichtigung der Zeitlücke zwischen Datenverfügbarkeit und Projektionsvorlauf, als solche zu identifizieren und adäquat in die Projektionen einzubeziehen. Umgekehrt wurden kurzfristige Schwankungen vor allem dann als Trendänderungen fehlinterpretiert, wenn sie den herrschenden Erwartungen entsprachen.
- Eine zentrale Schwierigkeit stellt zudem die Projektion von Trendänderungen dar, die noch in der Zukunft liegen.
- Für die US-Emissionsprojektionen konnte weder belegt werden, dass die absolute Größe einer Variable oder die Höhe ihrer Änderungsrate einen Einfluss auf die Fehlerhöhe hatten, noch dass die Fehlerrichtung einer Projektion in der Regel konstant bleibt. Letzteres stellte sich ausschließlich für Projektionen mit überdurchschnittlich hohen Fehlern sowie bevorzugt bei einer weitgehend linearen Realentwicklung als überwiegend richtig heraus. Die Hypothese, dass der Fehler bei allen Projektionen mit der Länge der Projektionsperiode ansteigt gilt hier nur für Variablen mit sehr gleichmäßigem historischen Trend.
- Vermutet wurde schließlich, dass die gesamtwirtschaftliche Energieintensität in den Projektionen regelmäßig unterschätzt wurde. Hierfür wurde vor allem eine Kombination der drei folgenden Faktoren verantwortlich gemacht: Eine Überschätzung der technischen Effizienzsteigerung, eine Überschätzung der Preiselastizität (im Zusammenspiel mit überschätzten Preisen) und eine Unterschätzung der Einkommenselastizität der Energienachfrage. Vor dem Hintergrund der hier durchgeführten sektorspezifischen und EDL-orientierten Analyse zeigt sich, dass die Vermutung in dieser Allgemeinheit nicht zutrifft. Es finden sich in den einzelnen Sektoren sowohl Bestätigungen als auch Gegenargumente dafür.
- Als wesentlich für eine geeignete ex-post Analyse der Genauigkeit von Projektionen hat sich eine geeignete Datenaufbereitung herausgestellt, da ansonsten leicht die Gefahr besteht, Projektionsergebnisse anhand nicht vergleichbarer historischer Daten zu evaluieren oder sie anhand von Entwicklungen zu untersuchen, deren Projektion nicht intendiert war.

Insgesamt zeigt sich, dass auch mit Blick auf die derzeit wohl am besten institutionalisierte und aufwändigste nationale Emissionsprojektion Bedarf für weitere Verbesserungen besteht. So sind die Gesamtergebnisse der AEOs (erstaunlich) exakt. Werden jedoch mit Blick auf die Genauigkeit der Projektionen die Detailergebnisse mit einbezogen, so zeigt sich, dass prognosetypische Einflussfaktoren, allen voran die Erwar-

tungen zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung, im Detail einen großen Einfluss ausüben und zu signifikanten Fehlprojektionen führen. Diese kompensieren sich allerdings in hohem Maße gegenseitig. Mit Blick auf die zunehmende Relevanz der Projektionen sowie auf die nicht leichter zu prognostizierende Zukunft werden dazu im letzten Abschnitt einige praktische Vorschläge abgeleitet.

8.4 Empfehlungen und Ausblick

Für nationale Treibhausgasemissionsprojektionen und für die Erstellung von Projektionen und Szenarien sowie für eine zielorientierte Nachhaltigkeitspolitik allgemein lassen sich einige relevante Schlussfolgerungen und Ausblicke ziehen.

Es ist zu erwarten, dass die Entwicklung des Energiesystems und der in ihm entstehenden Treibhausgasemissionen durch zunehmende Einflüsse der Klimaproblematik und der Klimapolitik wie auch durch die sich andeutenden Veränderungen im Ölmarkt nicht mehr so kontinuierlich und überwiegend geradlinig verlaufen wird wie in der hier untersuchten Periode³³⁰. Deshalb werden Projektionen des Energiesystems vor größere Herausforderungen gestellt werden, die insbesondere die hier festgestellten Schwachpunkte der Projektionen betreffen.

Dessen ungeachtet wird in der Zukunft die Bedeutung von Zukunftsanalysen und Projektionen zunehmen. Wie bereits die aktuelle Entwicklung zeigt, wird der Bedarf, politische Zielsetzungen und Umsetzungskonzepte sowie deren Evaluierung an Projektionen des Energiesystems und der Emissionen zu koppeln, künftig steigen.

Um diesen Herausforderungen gerecht werden zu können, ist die Qualität der mittel- und langfristigen Energie- und Emissionsprojektionen – neben anderen Projektionen z.B. des Weltklimas, der technologischen Entwicklung und der Wirtschaft – nach Möglichkeit zu sichern und zu verbessern. Das erfordert sowohl die Veränderung der Methode hin zu einer größeren Bedeutung der Untersuchung von alternativen Pfaden und Szenarioanalysen als auch organisatorische Verbesserungen.

Dazu lassen sich aus den hier angestellten Untersuchungen eine Reihe von Vorschlägen bzw. Empfehlungen ableiten. Sie beziehen sich im Folgenden auf eine weitere Verbesserung der *Datenebene* (Abschnitt 8.4.1), d.h. Basisdaten für die Projektionen, eine weitgehendere Übereinstimmung von Ist- und Projektionsdaten zur Erleichterung ihrer ex-post Analyse, auf den *Umgang mit Trendabweichungen zum Zeitpunkt der Projektionserstellung* (Abschnitt 8.4.2) und auf den problematischsten Aspekt von Projektionen, die *Antizipation von Trendänderungen in der Zukunft* (Abschnitt 8.4.3). Zusätzlich werden erste *institutionelle Vorschläge* zur Realisierung dieser angesprochenen Verbesserungen gemacht (Abschnitt 8.4.4). Abschließend werden auf der

³³⁰ Vergleiche zu den zu erwartenden Veränderungen und ggf. Verwerfungen am Ölmarkt z. B. Hennicke u. Supersberger 2007.

Basis der hier gewonnenen Ergebnisse einige Ansatzpunkte zum *weiteren Forschungsbedarf* zur ex-post Analyse von Emissionsprojektionen dargestellt (Abschnitt 8.4.5).

8.4.1 Verbesserung der Daten für die ex-post Analyse von Projektionen

Die Qualität der Projektionen, insbesondere wenn sie die Ursachen des Energieeinsatzes und der Emissionen detaillierter, d.h. auf der Ebene der Endnachfragesektoren und Energiedienstleistungen abbilden sollen, leidet unter signifikanten **Datenproblemen**. Sie beeinträchtigen sowohl die Genauigkeit und generell die Nutzbarkeit der Projektionen und erschweren die retrospektive bzw. ex-post Analyse von Projektionen deutlich.

- Die Datenprobleme resultieren zum einen aus dem Mangel an detaillierten EDL-bezogenen Ist-Daten bzw., wenn sie vorhanden sind, aus geringen Untersuchungsfrequenzen, teilweise gekoppelt mit Veränderungen in methodischer Hinsicht oder veränderten Abgrenzungen von Daten im Zeitverlauf.
- Zum anderen beeinträchtigen Umstellungen sowie methodische Veränderungen in regelmäßig geführten Statistiken, – sowie teilweise auch die veränderte Ausweisung von Projektionsergebnissen – die Verfügbarkeit einheitlicher und zwischen historischen Daten und Projektionen vergleichbarer Zeitreihen.

Lösungsmöglichkeiten liegen hierbei,

- zum einen in der qualitativen und quantitativen Ausweitung der statistischen Grundlagen,
- und zum anderen in einer stärkeren inhaltlichen Verzahnung der Statistiken und der Projektionen.

Ziel dieser Verzahnung sollte dabei sein, dass von Seiten der Statistik die für die Projektionen benötigten Basisdaten möglichst zeitnah und ohne methodische Brüche kontinuierlich bereitgestellt werden. Von Seiten der Projektionen sollten die Modelle möglichst passgenau auf die Datenbasis abgestimmt werden und (unter anderem) Projektionszeitreihen erstellen, die in der Definition den statistisch verfügbaren historischen Zeitreihen entsprechen, so dass sie sowohl für Entscheidungszwecke als auch für die ex-post Analyse zur Verfügung stehen.

Eine gute, wenn auch mit Blick auf die EDL-Ebene noch verbesserungsfähige Basis hierfür bieten die im Rahmen der UNFCCC von allen Vertragsstaaten nach einheitlicher Methodik zu führenden Treibhausgasinventare, deren Daten jährlich zu aktualisieren sind. Damit steht ein international recht gut vergleichbarer Datenkanon zur Verfügung, der eine kontinuierliche verfügbare Datenbasis für die Erstellung und die ex-post

Analyse der Projektionen bereitstellt³³¹. Zur Umsetzung dieses Vorschlages sollte eine Koppelung der Inventare und der Projektionen für die UNFCCC in den jeweiligen Regelwerken implementiert werden.

8.4.2 Umgang mit Trendabweichungen zum Zeitpunkt der Projektionserstellung

Einen wichtigen und in Zukunft vermutlich zunehmenden Einfluss auf die Projektionsqualität haben die **erstellungsspezifischen Einflussfaktoren**. Hier ist es wichtig, eine raschere Identifizierung von Trendänderungen und von kurzfristigen Schwankungen zu erreichen, um zumindest zum Zeitpunkt der Projektionserstellung bereits sichtbare Veränderungen richtig berücksichtigen zu können. Als Möglichkeiten dazu konnten hier die regelmäßige, z.B. jährliche, Erstellung der Projektionen³³², die Verkürzung der Zeitlücke zwischen der Datenbereitstellung und der Projektionsveröffentlichung sowie eine – soweit möglich – objektivere Beurteilung aktueller Datenänderungen identifiziert werden.

- Die Zeitlücke kann dabei von der Datengewinnungsseite durch eine bessere und aktuellere Statistik sowie ggf. in kritischen Teilsegmenten und bei Variablen, für die sich eine aktuelle Trendabweichung zeigt, durch die Nutzung von Vorab-Informationen und die Nutzung weiterer zusätzlicher Informationsquellen verbessert werden. Auf der Projektionserstellungsseite könnte generell die Produktionszeit verkürzt werden sowie die Analyse kritischer Variablen im zeitlichen Ablauf möglichst weit nach hinten verschoben werden, um so auf möglichst aktuelle Daten zurückgreifen zu können.
- Eine ‚objektivere‘ Beurteilung der jüngsten Trends zur Vermeidung von Fehlinterpretationen ist ebenfalls vor allem für ‚kritische‘ Variablen sinnvoll. Hier könnten z.B. einfache expertenbasierte Methoden³³³ genutzt werden.

8.4.3 Antizipation von Trendänderungen in der Zukunft

Noch schwerer scheint eine Verbesserung der Projektionen mit Blick auf **zukünftige Trendänderungen**, die sich zum Zeitpunkt der Projektionserstellung noch nicht in den Daten abzeichnen, bzw. die – da extern bedingt – kaum oder gar nicht prognostizierbar sind (vgl. Rescher 1998, 196).

- Ein erster Ansatzpunkt dazu wäre die Erstellung detaillierterer Projektionen, da die Erfahrung dieser Analyse zeigt, dass Trendänderungen besser erkannt werden können, wenn unabhängige Projektionen vor- bzw. nachgelagerter Va-

³³¹ Natürlich haben auch diese Daten noch Schwachpunkte. Diese sind z.B. die fehlende Erfassung des internationalen Flugverkehrs und sehr geringe bzw. meist nicht vorhandene Abdeckung der EDL-Ebene in den Daten. Die Zeitreihen werden dagegen immer in sich konsistent dargestellt, allerdings kommt es dadurch – zumindest bisher – regelmäßig zu nachträglichen Anpassungen der Daten, was wiederum die ex-post Analyse erschwert.

³³² Für die hier untersuchten USA ist dies bereits seit langem realisiert.

³³³ Zur kontroversen Diskussion um die Objektivität dieser Methoden siehe Kapitel 2 und 4.

riablen existieren und diese nicht zeitgleich auch Trendänderungen aufweisen und sich Fehler – wie ebenfalls aufgetreten – z.T. kompensieren.

- Ein zweiter Ansatzpunkt wäre, die Projektionen durch Sensitivitätsanalysen und durch eine verstärkte Nutzung von Szenarien, d.h. der Beschreibung alternativer Zukünfte, zu ergänzen. Dabei kann auch die systematische Analyse – heute noch für unwahrscheinlich gehalten – möglicher zukünftiger Extremereignisse mitberücksichtigt werden³³⁴.
- Drittens kann durch die Darstellung mehrerer Szenarien die – von Koomey (2002) als „big mistake“ gekennzeichnete – Problematik verringert werden, dass bei der alleinigen Erstellung einer einzigen ‚wahrscheinlichsten‘ Prognose alternative Entwicklungspfade tendenziell ignoriert werden – müssen. Im Rahmen der damit einhergehenden Modellausrichtung erscheint dann diese Lösung als die ökonomisch effizienteste und alternative Pfade erscheinen darum als unrealistisch oder zu teuer. Diesem Anschein könnte entgegengesetzt werden, dass mit der Abbildung mehrerer Szenarien ggf. attraktive Alternativen ebenfalls in den Möglichkeitsraum der politischen Gestaltung aufgenommen werden können. Hierdurch wird dann im Ergebnis ein zwar breiterer, aber ggf. realistischerer bzw. nützlicherer Projektionsraum aufgespannt³³⁵, der mögliche Trendbrüche zwar nicht exakt prognostiziert, jedoch ihre Konsequenzen denkbar und damit ggf. besser plan- und handhabbar macht³³⁶.

8.4.4 Ansatzpunkte für verbesserte Transparenz und ex-post Analyse der nationalen Emissionsprojektionen

Vor dem Hintergrund ihrer steigenden Bedeutung bei gleichzeitig zu erwartenden größeren Problemen der Projektionserstellung soll hier unterstrichen werden, dass eine hohe Transparenz bezüglich der Annahmen, Daten und Ergebnisse der Projektionen eine wichtige Voraussetzung für ihre weitere Entwicklung und die Verbesserung ihrer Qualität, d.h. vor allem ihrer Genauigkeit und Nützlichkeit, ist. Neben einer transparenten Gestaltung und Dokumentation der Projektionen selbst sind ex-post Analysen ein wichtiges Instrument hierfür, wobei die institutionelle Verankerung der Projektionserstellung und -evaluierung eine zentrale Rolle spielt³³⁷:

³³⁴ Solche Ansätze wurden in den 90er Jahren als Analyse von ‚Wild Cards‘ (Joker oder Ereigniskarten beim Monopoly) als Konzept für die Zukunftsanalyse eingeführt (vgl. Steinmüller 2003, 55ff).

³³⁵ Singuläre Prognosen ohne Bandbreiten machen vor dem Hintergrund dieser Untersuchung und der zu erwartenden stärkeren Schwankungen der Entwicklungen im Energiesystem dagegen immer weniger Sinn, da die Wahrscheinlichkeit von Trendänderungen vermutlich steigen wird und es – wie diese und andere Analysen zeigen – sehr schwer ist, solche Änderungen wirklich gut zu prognostizieren.

³³⁶ Dieser Aspekt, der sich sehr deutlich an den Arbeiten von Wack für Shell im Vorfeld der Ölpreiskrisen der 1970er Jahre gezeigt hat (Wack 1985a,b sowie Schwartz 1991), lieferte auch eines der entscheidenden Argumente für die weitere Verbreitung der Szenariotechnik. Nähere Diskussionen zur Szenariotechnik finden sich in Kapitel 2. Diese sollen hier nicht im Detail aufgegriffen werden.

³³⁷ Vergleiche dazu auch die entsprechende Forderung von Koomey et al. (2003).

- Eine verbesserte Transparenz und ex-post Evaluierungen eröffnen zum einen die Möglichkeit, aus bisherigen Fehlern zu lernen und dadurch ggf. die Qualität zukünftiger Projektionen zu verbessern, wobei dieser Entwicklung, zumindest was die Verbesserung der Genauigkeit angeht, wohl enge Grenzen gesetzt sind.
- Dies gestattet zweitens eine genauere Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen der Projektionen. Eine auf dieser Basis realistischere Einschätzung der Projektionsergebnisse steigert zumindest die Nützlichkeit der Projektionen. Die Nutzer können auf dieser Basis besser entscheiden, welche Schlüsse aus den Projektionen sinnvollerweise gezogen werden können bzw. welche Schlüsse auch nicht gezogen werden dürfen und mit welchen Unsicherheiten gerechnet werden muss.
- Höhere Transparenz und vor allem ex-post Evaluierungen ermöglichen drittens die Erstellung einer ‚Erfolgsbilanz‘ einzelner Projektionsersteller, die nach Rescher (1998, 131) neben der Beurteilung der Projektion selbst ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Beurteilung der Glaubwürdigkeit einer Projektion ist.

Um hierfür geeignete ex-post Analysen regelmäßig zur Verfügung stellen zu können, ist zu empfehlen, nationale Treibhausgasemissionsprojektionen nicht nur analog der oben genannten Vorschläge basierend auf den Daten der Treibhausgasinventare zu erstellen und transparent zu dokumentieren, sondern auch ihre regelmäßige und systematische Evaluierung sowohl auf der jeweiligen nationalen Ebene als auch international zu institutionalisieren. Ihr Inhalt und methodischer Anspruch sollten dabei über den überwiegend lediglich berichtenden Ansatz der US-EIA hinausgehen.

Als Vorbilder können z.B. die Modellvergleiche des Energy Modelling Forum oder die in Deutschland in der Vergangenheit durchgeführten Modellexperimente dienen. Ähnlich wie dies für die Nationalen Treibhausgasinventare vorgesehen ist, könnten die berichtenden Staaten zur Einrichtung eines ‚Nationalen Systems Emissionsprojektionen‘ verpflichtet werden, dessen Zweck es sein sollte, den gesamten nationalen Sachverstand zum Thema zu bündeln³³⁸.

8.4.5 Weiterer Forschungsbedarf zu nationalen Emissionsprojektionen

Aus der hier vorgelegten Untersuchung ergibt sich weiterer Forschungsbedarf zu verschiedenen Themen. So kann a) die hier durchgeführte ex-post Analyse der nationalen Emissionsprojektionen der USA auf die Projektionen anderer Staaten ausgedehnt werden. Dabei können die hier herausgearbeiteten Ergebnisse anhand einer international vergleichenden Analyse weiter verbessert werden und zusätzliche, hier nicht analysierbare Fragestellungen in den Blick genommen werden. Des Weiteren

³³⁸ Zur Bedeutung eines adäquaten Dialogs zwischen wissenschaftlichen Projektionserstellern und den Nutzern der Projektionen siehe Kristof (1998).

könnte versucht werden, b) die hier gewonnenen Ergebnisse der ex-post Analyse der Fehler der Projektionen auf die Zukunft zu übertragen und z.B. erwartbare Fehlerbandbreiten für aktuelle Projektionen bzw. für Projektionen, deren Projektionshorizont erst zum Teil abgelaufen ist, abzuschätzen.

a) International vergleichende Analyse der Genauigkeit

Diese Untersuchung fokussierte auf die US-Energie- und Emissionsprojektionen, da sie den breitesten Untersuchungsgegenstand darstellen. Allerdings nimmt die Zahl der international verfügbaren nationalen Projektionen kontinuierlich zu. Die Industrieländer (die Annex I-Staaten) haben im Rahmen des vierten Nationalberichts zur Klimarahmenkonvention inzwischen auch ihre vierte nationale Emissionsprojektion eingereicht. In der EU sind die Mitgliedstaaten zusätzlich seit 2005 verpflichtet, alle zwei Jahre nationale Projektionen zu erstellen und diese in einem einheitlichen Format einzureichen, so dass der Datenfundus für ex-post Analysen vor allem der Industrieländer kontinuierlich anwächst. Diese weiteren Daten und die hier vorliegende Untersuchung machen es möglich, in Zukunft weitere international vergleichende Analysen anzustellen, um die folgenden Untersuchungsfragen zu klären:

- Die hier gewonnenen Ergebnisse können anhand nationaler Projektionen anderer Staaten überprüft werden.
- Die Hypothesen G1 und G2 zum Einfluss der absoluten Größe sowie der Veränderungsrate einer Variablen, die hier nur beschränkt analysierbar waren, können im Vergleich verschiedener Projektionen unterschiedlicher Staaten untersucht werden – so können die hier gewonnenen Ergebnisse erweitert werden.
- Relevant sind ebenfalls die hier aufgrund fehlender Beispiele nicht analysierten Einflussfaktoren 6) ‚Rolle der durchführenden Organisation‘ und 7) ‚Zweck der Projektion sowie mit ihrer Veröffentlichung verbundene Interessen‘. Zu ihrer Untersuchung können verschiedene institutionelle Settings für die Erstellung nationaler Energie- und Emissionsprojektionen international vergleichend untersucht werden: Staaten, die – wie die hier untersuchten USA, – eine eigene Behörde zur Projektionserstellung eingerichtet haben bzw. deren Projektionen von mehreren Behörden in Kooperation erstellt werden, gegenüber Staaten, die die Erstellung der Projektionen an Externe (Consultants oder Forschungsinstitute) vergeben. Besonders aufschlussreich könnte unter diesem Aspekt die deutsche Situation sein, da die nationalen Emissionsprojektionen für das UBA bzw. BMU durch externe Forschungsinstitute erstellt werden, die energiebedingten Emissionen aber auch im Auftrag des BMWi im Rahmen der Energiereports von anderen Instituten bzw. Consultants projiziert werden.

Im Rahmen weiterer nationaler Energie- und Emissionsprojektionen sollten sich auch geeignete Beispiele finden, die die Analyse der eher methodischen Einflussfaktoren 4) ‚Wechsel der Methodik‘ und 5) ‚Nutzung von Expertenschätzungen‘, erlauben.

b) Nutzung der Ergebnisse für ex-ante Analysen

Die hier durchgeführte ex-post Analyse ergibt zunächst relevante Ergebnisse zur Charakterisierung der Genauigkeit bereits ganz oder teilweise abgelaufener Projektionen. Daran schließt sich direkt die Frage an, ob diese Ergebnisse auch für quantitative ex-ante Einschätzungen der Genauigkeit nutzbar sind³³⁹.

Hier ist es denkbar zu untersuchen, ob es möglich und sinnvoll ist, die hier aufgezeigten Fehlerkomponenten zur Konstruktion von empirisch abgeleiteten Konfidenzintervallen für einzelne Detailprojektionen sowie für die Gesamtprojektion zu nutzen.

Dabei wäre insbesondere zu untersuchen, wie die hier gefundene hohe Fehlerkompensation zwischen den Detailprojektionen auf die Zukunft übertragen und entsprechend genutzt werden könnte.

Außerdem könnten Projektionen die bereits älter sind und damit bereits zum Teil anhand historischer Daten geprüft werden können und aktuelle Projektion, deren Prognoseperiode vollständig in der Zukunft liegt vergleichend analysiert werden. Die Frage wäre, ob sich Unterschiede zwischen ihnen bezüglich der Machbarkeit bzw. Zuverlässigkeit der ex-ante Definition von Konfidenz- bzw. Vertrauensbereichen ergeben.

Allerdings muss sich die Konstruktion von Konfidenzintervallen auf der Basis der bisherigen Erfolgsbilanz von Projektionen auch mit der wahrscheinlichen Tatsache auseinandersetzen, dass die Erstellung genauer Energie- und Emissionsprognosen in der Zukunft eher schwerer als leichter werden wird und die Wahrscheinlichkeit signifikanter Prognosefehler aufgrund unerwarteter Trendbrüche tendenziell deutlich zunehmen wird. Vor diesem Problemhintergrund wurde in Abschnitt 8.4.3 eine verstärkte Nutzung z.B. von Szenarien empfohlen. Es wäre daher ggf. auch denkbar, die Analyse der Unsicherheiten der Modelle auch für die Konstruktion von Konfidenzintervallen für Szenarien zu nutzen.

³³⁹ Neben den Erkenntnissen, die bereits die ex-post Analyse z.B. zum ‚track record‘ der Ersteller von Prognosen und damit auch zur Berteilung ihrer Glaubwürdigkeit beiträgt.

9 Literaturverzeichnis

- AEO (1983 – 2004): Annual Energy Outlook, IEA/DOE, Washington DC
- AER (2003): Annual Energy Review 2003, IEA/DOE, 2004, Washington DC
- Ahlburg, D.A.; Lutz, W. (1998): Introduction. The need to rethink approaches to population forecasts. In: Lutz, W.; Vaupel J.W.; Ahlburg D.A. (Hg.). S. 1-14.
- Albert, B., Burmeister, K.; Canzler, W.; Flessner, B.; Steinmüller, K. (2001): Die Top 100 der Zukunftsliteratur. Utopien, Visionen und Fiktionen von der Antike bis heute, Z_paper 02 / 2001. Essen.
- Amara, R. (1991): Views on futures research methodology. In: futures July/August 1991. S. 645-649.
- Apel, H. u.a. (1998): Wege zur Zukunftsfähigkeit – ein Methodenhandbuch. Stiftung Mitarbeit (Hg.). Arbeitshilfen für Selbsthilfe und Bürgerinitiativen Nr. 19. Bonn.
- Ascher, W. (1978): Forecasting: An Appraisal for Policy Makers and Planners, Baltimore.
- Auffhammer, M. (2005): The Rationality of EIA Forecasts under Symmetric and Asymmetric Loss, CUDARE Working Papers (University of California, Berkeley), Year 2005, Paper 1009.
- BEA (1991): Gross Domestic Product as a Measure of U.S. Production, Survey of Current Business, August 1991, p8, Washington
- BEA (2004): GDP and Other Major NIPA Series, 1929–2003, Survey of Current Business, February 2004, p152 - 176, Washington
- BEA (2005): 1947-97 NAICS-Based GDP-by-Industry Data, Excel Datentabellen, http://www.bea.gov/industry/gdpbyind_data.htm
- BEA (2007a): Gross-Domestic-Product-by-Industry Accounts, Guide to the Interactive GDP-by-Industry Accounts Tables, Last updated: Thursday, August 23, 2007, <http://www.bea.gov/industry/gpotables/Guide.cfm?anon=51913>
- BEA (2007b): GDPbyInd_VA_NAICS, Excel Datentabellen, http://www.bea.gov/industry/gdpbyind_data.htm
- BMU (2007): Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung, Dezember 2007, Berlin
- BMW (1996): Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa – Perspektiven bis zum Jahr 2020 – Kurzfassung, BMWi Dokumentation Nr. 387
- Boedecker, E. (1998): Model Documentation Report 1998: Commercial Sector Demand Module of the National Energy Modeling System, EIA, Washington
- Boedecker, E. (2001): Model Documentation Report 2001: Commercial Sector Demand Module of the National Energy Modeling System, EIA, Washington
- Bundesregierung (2002): 3. Nationalbericht zur Klimarahmenkonvention. Berlin.
- Burmeister, K.; Neef, A.; Beyers, B. (2004): Corporate Foresight. Unternehmen gestalten Zukunft, Hamburg.
- Cames, M. et al (2001): Analysis and comparison of national and EU-wide projections of greenhouse gas emissions. Topic Report X/2001. European Topic Centre on Air and Climate Change. Berlin, Kopenhagen.

-
- Cohen, B.; Peabody, G.; Rodekoher, M.; Shaw, S. (1995): A History of Midterm Energy Projections: A Review of the Annual Energy Outlook Projections. Unveröffentlichtes Arbeitspapier. Washington D.C. (zitiert nach O'Neill, Desai 2003).
- Corn, J.; Horrigan, B. (1996): Yesterday's Tomorrows. Past Visions of the American Future. Baltimore (zitiert nach Myers, Kitsuse 2000).
- Craig, P.P.; Gadgil, A.; Koomey, J.G. (2002): What can history teach us? A retrospective examination of long-term energy forecasts for the United States. In: Annual Review of Energy and the Environment 27. S. 83-118.
- Cuhls, K. (1998): Technikvorausschau in Japan. Ein Rückblick auf 30 Jahre Delphi-Expertenbefragungen. Heidelberg.
- Cullen, A.C., Frey, H.C. (1999) Probabilistic Techniques in Exposure and Risk Assessment: A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs, New York.
- Diefenbacher, H.; Johnson, J. (1987): Energy Forecasting in West Germany: Confrontation and Convergence. In: Baumgartner, T.; Midttun, A. (1987): The Politics of Energy Forecasting. A Comparative Study of Energy Forecasting in Western Europe and North America. Oxford. S. 61–84.
- Dimitropoulos, J. (2007): Energy productivity improvements and the rebound effect: An overview of the state of knowledge, Energy Policy 35/12, 5965 - 6558
- Dowd, J. (2001): U.S. National Communication: Projections and effects of policies and measures. UNFCCC Workshop on 3rd NC's. Bonn.
- EC (European Commission) (2001a): Draft proposal for CO₂ and other greenhouse gas indicators. Prepared for the Committee under the Monitoring Mechanism of Community CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions Working Group II. Council Decision 99/296.
- EC (European Commission) (2001b): Second Annual Report under Council Decision 99/296/EC amending Decision 93/389/EEC for a monitoring mechanism of Community greenhouse gas emissions. Brussels.
- EC (European Commission) (2001c): Guidelines. Under the Council Decision 1999/296/EC for a Monitoring Mechanism of Community CO₂ and other greenhouse gas emissions. Part 1: Guidelines for Member States and EC annual Inventors; Part 2: Methodology for the Evaluation of Progress and for the contents of national Programs. Brüssel.
- EC (European Commission) (2004): Entscheidung Nr. 280/2004/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Februar 2004 über ein System zur Überwachung der Treibhausgasemissionen in der Gemeinschaft und zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls. Amtsblatt der Europäischen Union vom 19.2.2004, L 49/1, Brüssel.
- EC (European Commission) (2005a): Entscheidung der Kommission vom 10. Februar 2005 zur Festlegung von Durchführungsbestimmungen für die Entscheidung 280/2004/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über ein System zur Überwachung der Treibhausgasemissionen in der Gemeinschaft und zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls. Brüssel,
- EC (European Commission) (2005b): Winning the Battle Against Global Climate Change. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament etc. Brussels.
- Edenhofer, O. Bauer, N., Kriegler, E. (2005): The impact of technological change on climate protection and welfare: Insights from the model MIND. Ecological Economics 54 (2005) 277– 292
-

-
- EEA (2000): The EU reporting obligations under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the monitoring mechanism, Technical report No 46, Copenhagen
- EEA (European Environment Agency) (2001a): Air Pollution Outlooks - An Evaluation. Integrated assessment methodologies and tools applied to air pollution and greenhouse gases ('ShAIR'), Copenhagen
- EEA (European Environment Agency) (2001b): EC and MS greenhouse gas emission trends 1990-1999. Topic Report 10, Copenhagen
- EEA (European Environment Agency) (2002a): Analysis and comparison of national and EU-wide projections of greenhouse gas emissions. EEA Topic report 1/2002, Copenhagen
- EEA (European Environment Agency) (2002b): Greenhouse gas emission trends and projections in Europe Are the EU and the candidate countries on track to achieve the Kyoto Protocol targets?. Environmental Issue Report 33, Copenhagen
- EEA (European Environment Agency) (2004): Analysis of greenhouse gas emissions trends and projections in Europe 2004. EEA Technical Report No.7/2004.
- EERE (2007): US Energy Intensity Indicators, Datentabellen, Hg.: DOE Energy Efficiency and Renewable Energy Program, Washington
(http://intensityindicators.pnl.gov/trend_data.stm)
- EIA (1996): The National Energy Modelling System: An Overview, Washington DC
- EIA (1998): The National Energy Modelling System: An Overview 1998, Washington DC
- EIA (1998a): The National Energy Modelling System: An Overview 1998, Washington
- EIA (1998b): A Look at Commercial Buildings in 1995: Characteristics, Energy Consumption, and Energy Expenditures, Washington
- EIA (2003): The National Energy Modelling System: An Overview 2003, Washington DC
- Ellersdorfer, I., Fahl, U. (2007): Allgemeiner Teil, in: Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hg.) Energiemodelle zu Innovation und moderner Energietechnik. Analyse exogenen und endogenen technischen Fortschritts in der Energiewirtschaft, Berlin, S. 9 – 36.
- EPA (1997): Guiding Principles for Monte Carlo Analysis, EPA/630/R-97/001, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, March 1997. (Available on World Wide Web at: <http://www.epa.gov/ncea/mcpolicy.htm>).
- EPA (2007): The US Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks: Fast Facts, Washington DC
- EPA (2007b): U.S. Climate action report 2006. Fourth national communication of the United States of America under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Washington DC
- ETC/ACC (2002a): Assumptions, Methods and Definitions of Greenhouse Gas Emission Projections. Background paper by European Environment Agency, European Topic Centre on Air and Climate Change, Workshop on Energy-related National and EU-wide Projections of Greenhouse Gas Emissions, Brussels Working Group II (National Programmes and Projections) of the EU GHG Monitoring Mechanism Committee. Brüssel.

- ETC/ACC (2002b): Evaluating and Reporting Policies and Measures for Greenhouse Gas Emissions Reductions. Background paper by European Environment Agency, European Topic Centre on Air and Climate Change, Workshop on Energy-related National and EU-wide Projections of Greenhouse Gas Emissions, Brussels Working Group II (National Programmes and Projections) of the EU GHG Monitoring Mechanism Committee. Brüssel.
- EURENDEL (2004): Technology and Social Visions for Europe's Energy Future - A Europe-wide Delphi Study. Berlin. Erhältlich unter: <http://www.izt.eurendel>
- EWI, Prognos (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Energiewirtschaftliche Referenzprognose, Köln, Basel
- FCCC/CP/1996/12: Review of the implementation of the Convention and of decisions and Add.1 and 2 of the first session of the conference of the Parties. Commitments in Article 4. Second compilation and synthesis of first national communications from Annex I Parties, Executive summary by the secretariat, Bonn.
- FCCC/CP/1998/11: Review of the implementation of commitments and of other provisions of the Convention. National communications from Parties included in Annex I to the Convention. Second compilation and synthesis of second national communications, Summary, Bonn
- FCCC/CP/1999/7: Review of the implementation of commitments and of other provisions of the Convention, UNFCCC guidelines on reporting and review, Bonn
- FCCC/SBI/2000/3: National communications from Parties included in Annex I to the Convention. Experience with the review of second national communications, Note by the secretariat, Bonn
- FCCC/SBI/2003/7/Add.3: National communications from Parties included in Annex I to the Convention. Compilation and synthesis of third national communications, Compilation and synthesis report on third national communications, Addendum, Projections, Bonn
- FCCC/SBI/2007/INF.6/Add.1: Compilation and synthesis of fourth national communications, Note by the secretariat, Addendum, Policies, measures, past and projected future greenhouse gas emission trends of Parties included in Annex I to the Convention, Bonn
- FCCCC/CP (1997): Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention. Part II. UNFCCC reporting guidelines on national communications. in FCCC/CP/1999/7. Bonn.
- FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1: Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005, Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol at its first session, Bonn
- Fichtner, FfE, ISI (1989): Veränderungen der Struktur des Energieeinsatzes in Industrieanlagen und deren Auswirkungen auf rationelle Energieverwendung/Umweltentlastung, im Auftrag des BMWi, Stuttgart, München, Karlsruhe.
- Fixler, D. (2004): Revisions to GDP Estimates in the US, Presentation to OECD Workshop on Revisions ,7 October 2004, US Bureau of Economic Analysis, Washington
- Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hg.) (2007): Energiemodelle zu Innovation und moderner Energietechnik. Analyse exogenen und endogenen technischen Fortschritts in der Energiewirtschaft, Berlin
- Fowles, J. (Hg.) (1978): Handbook of Futures Research. Westport, London.

- Futures Group (1994): Scenarios. In: Glenn. Ch. 8.
- Gablers Wirtschaftslexikon (¹⁶2004): 16., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage September 2004, Wiesbaden
- Garnreiter, F., Jochem, E., Schön, M. (1986): Produktstrukturwandel und technischer Fortschritt als Bestimmungsgrößen des spezifischen Energieverbrauchs in vier energieintensiven Industriezweigen, in ZfE 4/1986, S. 271 – 283.
- Gausemeier, J. (1995): Die Szenario-Technik: Werkzeug für den Umgang mit einer multiplen Zukunft. Paderborn.
- Geller, H., Attali, S. (2005): The Experience with Energy efficiency Policies and Programmes in IEA Countries, Learning from the Critics, IEA Information Paper, Paris
- Ghanadan, R. & Koomey J. G. (2005): Using Energy Scenarios to Explore Alternative Energy Pathways in California. Energy Policy. vol. 33, no. 9. June. pp. 1117-1142.
- Glenn, J. C. (1994): The futures Research Methodology Series, UN Millennium Project. New-York.
- Godet, M. (1986): Introduction to la prospective. In: futures. April 1986. S. 134-157.
- Godet, M. (1993): From Anticipation to Action. A Handbook of Strategic Prospective. Paris.
- Goy u.a. (1990): Systematische Analyse der Komponenten zur Energieintensität und –effizienz in der Bundesrepublik Deutschland 1970 bis 1987, DIW, ENERWA, ISI, im Auftrag des BMFT, Berlin, Köln, Karlsruhe.
- Hauff, V. (Hg.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, Greven.
- Helmer, O. (1983): Looking Forward. A Guide to Futures Research. Beverly Hills.
- Helmer, O.; Rescher, N. (1959): On the Epistemology of Inexact Sciences. In: Management Science 5 (1959). S. 25-52 (nachgedruckt in Helmer, O. 1983).
- Hennicke (1999): Wa(h)re Energiedienstleistung. Ein Wettbewerbskonzept für die Energieeffizienz und Solarwirtschaft, Wuppertal Texte, Berlin, Basel, Boston
- Hennicke, P. (2004): Scenarios for a robust policy mix: the final report of the German Study Commission on Sustainable Energy Supply. In: Energy policy, 32 (2004), 15, S. 1673-1678.
- Hennicke, P. (2005): Long term scenarios and options for sustainable energy systems and for climate protection: a short overview. In: International journal of environmental science and technology, 2 (2005), 2, S. 181-191.
- Hennicke, P., Fishedick, M. (2006): Towards sustainable energy systems: the related role of hydrogen. In: Energy policy, 34 (2006), 11, S. 1260-1270.
- Hodges, J. S.; Dewar J. A. (1992). Is it you or your model talking? A framework for model validation. Santa Monica, CA: RAND. ISBN 0-8330-1223-1.
- Hohlstein M. et al. (²2002) Beck-Wirtschaftsberater, Lexikon der Volkswirtschaft, 2., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, München
- Hohmeyer, O. (2005): Die Abschätzung der Kosten des anthropogenen Treibhauseffekts – Dominieren normative Setzungen die Ergebnisse? DIW, Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung 74, 2, S. 164 - 168

- Hohmeyer, O. (2006): Gesamt- und einzelwirtschaftliche Wirkungen unter besonderer Berücksichtigung der Nettoarbeitsplatzeffekte, in: Irrek u. Thomas (2006): Der EnergieSparFonds für Deutschland, edition der Hans Böckler Stiftung 169, Düsseldorf, S. 95 - 118
- Hünemörder, K.F. (2004): Die Heidelberger Studiengruppe für Systemforschung und der Aufstieg der Zukunftsforschung in den 1960er Jahren. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 1/2004. S. 8–15.
- Huntington, H.G. (1994): Oil price forecasting in the 1980s: What went wrong? In: The Energy Journal 15(2). S. 1-22.
- IEA (International Energy Agency) (2007): Energy Use in the New Millennium: Trends in IEA Countries, OECD, Paris
- IEA / International Energy Agency (2004): Oil Crises & Climate Challenges. 30years of Energy Use in IEA Countries, Paris.
- IEO (2006): International Energy Outlook, Energy Information Administration, U.S.Department of Energy, Washington.
- ILS (Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hg.) (1989): Szenarien in der Stadtentwicklung. Dortmund.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Reference Manual IEA/OECD. Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000a): Emissions Scenarios - Special Report on Emissions Scenarios (SRES). Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000b): IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007a): Climate change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Herausgegeben von S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen,
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007b): Climate change 2007. Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Herausgegeben von Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R. Meyer, L.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007c): Climate change 2007. Synthesis Report, Summary for Policymakers, Herausgegeben von Bernstein, L. et al.
- Irrek, W. u. Thomas, S. (2006): Der EnergieSparFonds für Deutschland, edition der Hans Böckler Stiftung 169, Düsseldorf, S. 95 - 118
- Jochem, E. Bradtke, H., Petrik, J. (1992): Rationelle Energienutzung und Strukturwandel in der deutschen Industrie, BWK 1992 H.3, S. 79 – 83.
- Jouvenel, de H. (2000): A Brief Methodological Guide to Scenario Building. Technological forecasting & social change. Vol. 65. no. 1. S. 37-48.
- Jungk R., Müllert, N. R. (1987): Zukunftswerkstätten. München.
- Kahn, H.; Wiener, A.J. (1967): Ihr werdet es erleben. Voraussagen der Wissenschaft bis zum Jahre 2000 (The Year 2000). Wien.

- Keilmann, N. (1990): *Uncertainty in National Population Forecasting. Issues, Backgrounds, Analyses, Recommendations.* Amsterdam.
- Keilmann, N. (1998): How accurate are the United Nations world population forecasts?, S. 15-41 in: Lutz, W., J.W. Vaupel, and D.A. Ahlburg (Hg.) (1998)
- Khan, A.H.T. (2003): *A Comparative Analysis of the Accuracy of the United Nations' Population Projections for Six Southeast Asian Countries.* Interim Report IR-03-015. Laxenburg.
- Kmenta, J. (1990): *Elements of Econometrics, Second Edition,* New York
- Koomey, J. G. (2002): From My Perspective: Avoiding "The Big Mistake, in Forecasting Technology Adoption". *Technological Forecasting and Social Change.* vol. 69, no. 5. June. pp. 511-518.
- Koomey, J. G. (2005): Book review of Stephen J. DeCanio's book 'Economic models of climate change: A critique', *Ecological Economics.* vol. 55, no. 1. October 5. pp. 131-132.
- Koomey, J. G. (2007): *Avoiding Common Pitfalls in the Use of Energy Forecasting Models for Scenario Analysis,* Presentation at the Conference on Interrogating the Practice and Politics of Scenarios, Brown University, Providence, RI, March 23-24, 2007
- Koomey, J. G., Craig, P., Gadgil, A. & Lorenzetti, D. (2003): Improving long-range energy modeling: A plea for historical retrospectives, *The Energy Journal.* vol. 24, no. 4. October. pp. 75-92.
- Kötter, R. (1995): Voraussicht und Vorsicht. Zu Möglichkeiten und Grenzen der Prognostik. *Aufklärung in Kritik* 2/1995. S. 90–104.
- Krackeler, T.; Schipper, L.; Sezgen, O. (1998): Carbon Dioxide Emissions in OECD Service Sectors: the Critical Role of Electricity Use. *Energy Policy.* 26(15):1137-52, 1998.
- Kreibich, R.; Schlaffer, A.; Trapp, C. (2002): *Zukunftsforschung in Unternehmen. Eine Studie zur Organisation von Zukunftswissen und Zukunftsgestaltung in deutschen Unternehmen.* SFZ Werkstattbericht 33. Berlin.
- Kristof, K. (1998): Umgang mit divergierenden (Modell-)Ergebnissen beim Policy Making; Beitrag zum Workshop „Energiesparen - Klimaschutz, der sich rechnet“; 8./9.10.1998, ISI, DIW, UBA
- Kydes, A. S., Wade, S. H. (1998): Modeling Technological Change and Diffusion in the Buildings Sector, *Issues in Midterm Analysis, EIA* (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/archive/issues98/modtech.html>)
- Laitner, J. A. (2003): Information Technology and U.S. Energy Consumption Energy Hog, Productivity Tool, or Both?, *Journal of Industrial Ecology,* Vol. 6 No. 2, S. 13 - 24
- Laitner, J.A.; DeCanio, S.J.; Koomey, J.G.; Sanstad, A.H. (2003): Room for improvement. Increasing the value of energy modeling for policy analysis. In: *Utilities Policy* 11. S. 87-94.
- Landefeld, J. S. et al. (2003): Chained-Dollar Indexes, Issues, Tips on Their Use, and Upcoming Changes, *Survey of Current Business,* November 2003, p8 - 16, BEA, Washington
- Landsberg, H. H. (1985): Energy in Transition: A View from 1960. *The Energy Journal* 6(2), S. 1-18.
- Landsberg, H. H., Fischman, L.L., Fisher J. L. (1963). *Resources in America's Future: Patterns of Requirements and Availabilities 1960-2000.* Baltimore.

- Lechtenböhrer, S. (1993): Entwicklung eines integrierten Energiekonzepts: Erfassung des Emissions-Reduktions-Potentials klimawirksamer Spurengase im Bereich rationeller Energienutzung für die alten Bundesländer, Sektor Industrie, Anhangsband II, im Auftrag des BMFT und des MWMT, Münster.
- Lechtenböhrer, S. (1996): Vergleich der Stromverbrauchsprognosen der Prognos AG für die alten Bundesländer im Zeitverlauf. Folie, Konfliktmittlung Horno, 7. Runder Tisch 18.11.2006, Cottbus
- Lechtenböhrer, S. et al. (2006): Security of Energy Supply – The Potential and Reserves of Various Energy Sources, Technologies Furthering Self Reliance and the Impact of Policy Decisions, Study on behalf of the European Parliament IP/A/ITRE/ST/2005-70, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy / Government Institute for Economic Research – VATT, Ed.: DG Internal Policies of the Union, European Parliament, Brussels.
- Lechtenböhrer, S., Hanke, T. (2005): Treibhausgasemissionen des russischen Erdgas-Exportpipeline-Systems, Bericht 8: Beschreibung des Monte-Carlo Modells zur Unsicherheitsanalyse, Wuppertal, Mainz
- Linderoth, H. (2002): Forecast errors in IEA-countries' energy consumption. In: Energy Policy 30. S. 53-61.
- Loske, R. et al. (1996):: Zukunftsfähiges Deutschland. Hg. BUND/MISEREOR Basel 1996
- Loske R. (1997): Innovationen im Bereich Dienstleistungen – Eine zukunftsfähige Wirtschaft braucht eine bessere Infrastruktur, in: Rennings u. Hohmeyer 1997, 261 - 296
- Lutz, W.; Vaupel, J.W.; Ahlburg, D.A. (Hg.) (1998): Frontiers of Population Forecasting, In: A supplement to Population and Development Review. Vol.24. New York.
- Macdonald, M. J. (2004): Commercial Sector and Energy Use, Encyclopedia of Energy, Volume 1, pp 605–616
- Maddala, G.S. (1977): Econometrics. McGraw-Hill. Auckland.
- Meadows, D.L.; Meadows D. (1972): Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart.
- Meinshausen, M., Hare, B. (2007): Discussion Note Benchmark concentration scenarios to span the full range of plausible concentration profiles, Potsdam
- Minx E. (2000): Heute über die Chancen von morgen entscheiden oder: Vom Navigieren in unbekanntem Gewässern. In: Steinmüller, K.; Kreibich, R.; Zöpel, Z. (Hg.). Zukunftsforschung in Europa. Ergebnisse und Perspektiven. Baden-Baden.
- Moyer, B. C., Planting, M. A., Fahim-Nader, M., Lum, S. K. S. (2004): Preview of the Comprehensive Revision of the Annual Industry Accounts: Integrating the Annual Input-Output Accounts and the Gross-Domestic-Product-by-Industry Accounts, Survey of Current Business 84 (March 2004): 50–51. <http://www.bea.gov/bea/pub/0304cont.htm>
- Murphy F. H., Conti, J. J., Shaw, S. H., Sanders, R. (1988): Modelling and Forecasting Energy Markets with the Intermediate Future Forecasting System, Operations Research, Vol. 36, No. 3, S. 406 - 420
- Murphy, F. H. (1983): An Overview of the Intermediate Future Forecasting System, in: Kydes et al. (Hg.): Energy Modelling and Simulation, Amsterdam, New York, Oxford
- Myers, D.; Kitsuse, A. (2000): Constructing the Future in Planning. A Survey of Theories and Tools. Journal of Planning Education and Research 29. S. 221-231.

- Nakicenovic, N. et al. (2000): Special report on emissions scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.
- National Research Council (1992): The National Energy Modeling System , Committee on the National Energy Modeling System, Energy Engineering Board, Commission on Engineering and Technical Systems, Committee on National Statistics, Social Sciences and Education, National Research Council, Washington DC
- O'Neill, B.C.; Desai, M. (2003): The Accuracy of Past Projections of U.S. Energy Consumption. Interim Report IR-03-053. Laxenburg.
- O'Neill, B.C.; Desai, M. (2005): Accuracy of Past Projections of U.S. Energy Consumption. Energy Policy 33 (2005) S. 979–993
- OECD (1998): Greenhouse Gas Emission Projections and Estimates of the Effects of Measures: Moving Towards Good Practice. OECD Information Paper. Paris.
- Parker, R., P. et al. (1995): Preview of the Comprehensive Revision of the National Income and Product Accounts: Recognition of Government Investment and Incorporation of a New Methodology for Calculating Depreciation, Survey of Current Business, September 1995, p33 - 41, BEA, Washington
- Popper, K. R. (1959): Prediction and Prophecy in the Social Sciences in: Gardiner, P. (Hg.): Theories of History, New York, S. 276 – 285.
- Popper, K. R. (1974): Das Elend des Historizismus, 4. Auflage, Tübingen
- Popper, K.R. (1997): Vermutungen und Widerlegungen. Teilband II Widerlegungen. (deutsche Übersetzung von „Conjectures and Refutations“) Tübingen.
- Prognos (1984) : Energieprognose / Die Entwicklung des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland u. seine Deckung bis zum Jahr 2000. - Abschlußbericht i. Auftr. d. Bundesministers f. Wirtschaft ausgearb. v. d. PROGNO AG, Basel. - Bearb. u. Red.: P(eter) Hofer, K. Masuhr. Basel
- Prognos (1987): Rationelle Energieverwendung und –erzeugung ohne Kernenergienutzung: Möglichkeiten sowie energetische, ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen, im auftrag des MWMT NRW, Basel, Köln
- Prognos (1992): Energiereport 2010. Die energiewirtschaftliche Entwicklung in Deutschland. Basel, Stuttgart
- Prognos (1995): Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa – Perspektiven bis zum Jahr 2020. Basel, Stuttgart
- Prognos, EWI (1999): Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Basel.
- Pulver, S., VanDeveer, S. (2007): Global Environment Futures – Interrogating the Practice and Politics of Scenarios, Background Paper, Brown University – Watson Institute for International Studies, March 23-24, 2007, Washington D.C.
- Reibnitz, v. U. (1992): Szenario-Technik. Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung. 2. Auflage. Wiesbaden.
- Rennings, D., Hohmeyer, O. (Hg.) (1997): Nachhaltigkeit, ZEW-Wirtschaftsanalysen Bd. 8, Baden-Baden.
- Rescher, N. (1998): Predicting the Future. An Introduction to the Theory of Forecasting. New York.

- Richter, N., Benstem, A., Lechtenböhrer, A., Lechtenböhrer, S., Nanning, S. (1999): Energieeinsparung in Schulen in NRW. Band 1: Organisation und Didaktik, Düsseldorf.
- Salmon, W. C. (1981): Rational Prediction, *British Journal of Philosophical Sciences*, 32(1981), S. 115-125.
- Schlomann B. et al. (2000): Erarbeitung kostengünstiger Erhebungsformen zur Erfassung des effektiven Energieverbrauchs im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher, im Auftrag des BMWT, Fhg-ISI, DIW, TUM, Berlin, Karlsruhe, München
- Schoemaker, P.J.H. (1990): The use of scenarios in strategic management (unpublished paper). zitiert nach Wiedemann 1991.
- Scholten, Anja, Stefan Lechtenböhrer, Dirk Mitze, Stefan Thomas (2007): Toothless tiger? Is the EU action plan on energy efficiency sufficient to reach its target? paper 2,205, ECEEE 2007 Summer Study, Energy efficiency: Just do it, Bd. 1, S. 317-326
- Schwartz, P. (1991): *The Art of the Long View*. New York.
- Schwartz, P.; Randall, D. (2003): *An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security*.
- Shaw, S. H., Murphy F. H. (1983): *Intermediate Future Forecasting System, Executive Summary*, EIA Washington DC
- Shlyakhter, A.I.; Kammen, D.M.; Broido, C.L.; Wilson, R. (1994): Quantifying the credibility of energy projections from trends in past data. In: *Energy Policy* 2. S. 119-130
- Sitzer, S. B. (1996): *Annual Energy Outlook Forecast Evaluation*, EIA, *Issues in Midterm Analysis and Forecasting 1996*, Washington
- Slaughter, R.A. (1995): *The Foresight Principle. Cultural Recovery in the 21st Century*. Westport/Connecticut.
- Slaughter, R.A. (1996, Hg.): *The Knowledge Basis of Future Studies*. 3 Bände. Hawethorne, Australien.
- Slaughter, R.A. (2002): *Professional Standards in Futures Work*. Arbeitspapier. Ursprünglich veröffentlicht in: *Futures*, 31, 8, 1999, S. 835-852.
- Smil, V. (2000): Perils of long-range energy forecasting. Reflections on looking far ahead. In: *Technological Forecasting and Social Change* 65. S. 251-264.
- Smith, W. (1983): *Energy/Economy Modelling: Science or Heuristic?* in: Kydes et al. (Hg.): *Energy Modelling and Simulation*, Amsterdam, New York, Oxford
- Statistik der Kohlewirtschaft (2002): *Der Kohlenbergbau in der Energiewirtschaft der Bundesrepublik Deutschland*, Essen
- Steinmüller, K. (1997): *Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung. Szenarien, Delphi, Technikvorausschau*. Werkstattbericht 21. Gelsenkirchen.
- Steinmüller, K. (2003a): *Methoden der Zukunftsforschung. Überblick und Praxis*. Essen.
- Steinmüller, K. (2003b): *Szenarien. Instrumente für Innovation und Strategiebildung*. Essen.
- Stoto, M.A. (1983): The accuracy of population projections. In: *Journal of the American Statistical Association* 78. S. 13-20.
- Sue Wing, I., Eckaus, R. S. (2007): The implications of the historical decline in US energy-intensity for long-run CO₂ emission projections, *Energy policy*

-
- Swart, R.J.; Raskin, P.; Robinson, J. (2002): The Problem of the Future: Sustainability Science and Scenario Analysis.
- Tichy, G. (1988): Prognose, in: Albers, W. (Hg.) Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft, Bd. 6, Stuttgart u.a., S. 334 - 341
- UN (1992): Rahmenabkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, New York; http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/2853.php
- UN (1998): Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, New York; http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- UNFCCC (United Nation Framework Convention on Climate Change) (2005): Key GHG Data. Greenhouse Gas Emissions Data for 1990 – 2003 submitted to UNFCCC. Bonn.
- Unruh, B. (2002): Delivered Energy Consumption Projections by Industry in the Annual Energy Outlook 2002, Hg. EIA, Washington
- Wack P. (1985a): The gentle art of re-perceiving-scenarios. 1. Uncharted waters ahead. Harvard Business Review 63(5), S. 73–89
- Wack P. (1985b): The gentle art of re-perceiving- scenarios. II. Shooting the rapids. Harvard Business Review 63(6):2–14
- Wade, S. H. (2002): Measuring Changes in Energy Efficiency for the Annual Energy Outlook 2002, EIA, Washington
- Wade, S.H. (2007): Annual Energy Outlook Retrospective Review: Evaluation of Projections in Past Editions (1982-2006), EIA, Washington
- Wagner, O.; Lechtenböhrer, S.; Thomas, S. (2005): Energy efficiency - political targets and reality : Case study on EE in the residential sector in the German Climate Change Programme. In: Energy savings: What works & who delivers. ECEEE 2005 Summer Study Proceedings. Volume 2. European Council for an Energy-Efficient Economy. Stockholm. S. 1137-1142.
- Weber, K. (1990): Wirtschaftsprognostik. München.
- Wiedemann, P.M. (1991): Ungewißheit besser verstehen - Szenariotechnik und Sozialverträglichkeit. In: Technische Rundschau 27/1991, 28 - 34.
- Wilson, D., Swisher, J. (1993): Exploring the gap. Top-down versus bottom-up analyses of the cost of mitigating global warming, Energy Policy March 1993, S. 249-263.
- Yuskavage, R. E., Fahim-Nader, M. (2005): Gross Domestic Product by Industry for 1947-86: New Estimates Based on the North American Industry Classification System, Survey of Current Business 85 (December 2005): 77. <http://www.bea.gov/beatpub/1205cont.htm>
- Zalkind, J. H. (1983): Strategy for Demand Analysis Modelling, in: Kydes et al. (Hg.): Energy Modelling and Simulation, Amsterdam, New York, Oxford

Versicherung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe, die benutzten Hilfsmittel vollständig angegeben und sämtliche dem Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Schriften übernommenen Stellen unter genauer Quellenangabe als solche kenntlich gemacht habe.