

**Industrieller Elektrizitätskonsum und staatliche  
Lenkungsoptionen – Eine Bewertung am Beispiel  
amtlich verfügbarer Firmendaten**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät

der

Universität zu Köln

2013

vorgelegt

von

Dipl.-Vw. Stephan Dobroschke

aus

Paderborn

Referent: Prof. Dr. Felix Bierbrauer

Korreferent: Prof. Dr. Felix Höfler

Tag der Promotion: 11. März 2014

# Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	VI
TABELLENVERZEICHNIS .....	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	IX
1. EINLEITUNG .....	1
1.1. Einordnung der Arbeit .....	1
1.2. Intention und Aufbau der Untersuchung .....	3
1.2.1. Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der betrieblichen Energienachfrage .....	3
1.2.2. Einflussdeterminanten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage .....	4
1.2.3. Empirische Untersuchung der Elektrizitätsnachfrage im Verarbeitenden Gewerbe .....	5
1.2.4. Implikationen für eine kohärente Regulierung der betrieblichen Elektrizitätsnachfrage .....	7
2. GESAMTWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DER BETRIEBLICHEN ENERGIENACHFRAGE .....	9
2.1. Vorbemerkung .....	9
2.2. Was ist „Energieeffizienz“? .....	10
2.3. Zur Problematik politischer Zielfestlegung: Unterschiedliche Definitionen des Energieeffizienzpotentials .....	13
2.4. Zur Bedeutung des Forschungsgegenstandes: Überblick offener Energieeffizienzpotentiale .....	16
2.5. Notwendigkeit staatlicher Marktregulierung der Energienachfrage aus umweltökonomischer Perspektive .....	22
2.6. Zwischenfazit .....	25
3. EINFLUSSDETERMINANTEN BETRIEBLICHER ELEKTRIZITÄTSNACHFRAGE .....	26
3.1. Vorbemerkung .....	26

3.2.	Herleitung charakteristischer Nachfragefunktionen nach Elektrizität .....	29
3.2.1.	Spezifizierung eines einfachen Nachfragemodells nach Elektrizität .....	29
3.2.2.	Ökonometrische Darstellung von Nachfragemodellen .....	30
3.3.	Identifikation von Einflussdeterminanten mit Bezug zu Anpassungsvorgängen .....	32
3.3.1.	Literatursurvey .....	32
3.3.2.	Operationalisierung: Einflussdeterminanten und betriebliche Anpassungsreaktionen .....	38
3.3.2.1.	Spezifizierung der Einflussdeterminanten .....	38
3.3.2.2.	Betriebsspezifische Faktoren .....	41
3.3.2.3.	Branchenspezifische Faktoren .....	44
3.4.	Entwicklung der Strompreise und deren Bestimmungsfaktoren.....	45
3.4.1.	Nominale Strompreisbetrachtung .....	47
3.4.2.	Reale Strompreisbetrachtung .....	48
3.4.3.	Hintergrund und Einflussdeterminanten der Strompreisentwicklung .....	49
3.5.	Ökonometrische Darstellung von Anpassungshemmnissen in Nachfragefunktionen.....	51
3.5.1.	Erste Erweiterung des Grundmodells.....	52
3.5.2.	Zweite Erweiterung des Grundmodells.....	53
3.6.	Kurz- und langfristige Elastizitäten als Funktionsmaße .....	56
3.6.1.	Formale Herleitung .....	56
3.6.2.	Darstellung kurz- und langfristiger Elastizitäten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage.....	58
3.7.	Zwischenfazit .....	59
4.	EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG: ELEKTRIZITÄTSNACHFRAGE IM VERARBEITENDEN GEWERBE.....	61
4.1.	Vorbemerkung .....	61
4.2.	Literaturüberblick .....	62

4.3.	Methodik.....	65
4.3.1.	Grundlagen der mikrodatenbasierten Panelanalyse und besondere statistische Anforderungen .....	65
4.3.2.	Kurzcharakterisierung der unterschiedlichen Auswertungstechniken.....	66
4.4.	Beschreibung und Aufbereitung des verwendeten Datensatzes .....	68
4.4.1.	Das Panel „Amtliche Firmendaten in Deutschland“ des Forschungsdatenzentrums.....	68
4.4.2.	Eingrenzung und Aggregation des Datensatzes .....	73
4.4.3.	Struktur der im Datensatz enthaltenen Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland.....	75
4.4.4.	Anspielung von Strompreisen an den Datensatz .....	78
4.5.	Modellberechnungen dynamischer Nachfragemodelle.....	79
4.5.1.	Berechnung eines grundlegenden Nachfragemodells ohne charakteristische Effekte .....	80
4.5.2.	Dynamische Nachfragemodelle ohne Interaktionseffekte .....	85
4.5.2.1.	Modellspezifikation .....	85
4.5.2.2.	Fixed Effects Modelle im Vergleich .....	85
4.5.2.3.	Generalised-Method-of-Moments Modelle im Vergleich.....	89
4.5.3.	Dynamische Nachfragemodelle mit Interaktionseffekten: Identifikation von Anpassungshemmnissen .....	91
4.5.3.1.	Schätzungen auf Basis dynamischer FE-Modelle .....	91
4.5.3.2.	System GMM-Modelle.....	96
4.5.4.	Dynamische Nachfragemodelle mit Interaktionseffekten und Endogenität der Strompreise .....	98
4.5.4.1.	Modellspezifikation: Two Stage Least Squares Schätzverfahren.....	98
4.5.4.2.	Windstromeinspeisung und Strompreisbildung in Deutschland .....	99

4.5.4.3.	Unterscheidung von Modellberechnungen mit unterstellter Strompreisendogenität sowie Strompreisexogenität.....	100
4.5.4.4.	Schätzergebnisse .....	102
4.5.5.	Ergebnisinterpretation .....	107
4.6.	Abgleich der empirischen Ergebnisse mit Erkenntnissen aus der Hemmnisdebatte.....	110
4.6.1.	Energieintensität .....	112
4.6.2.	Umsatz und Absatzproduktionswert.....	113
4.6.3.	Beschäftigte .....	115
4.6.4.	Investmentquote .....	116
4.6.5.	Branche.....	117
4.7.	Zwischenfazit .....	117
5.	IMPLIKATIONEN FÜR EINE KOHÄRENTE REGULIERUNG DER BETRIEBLICHEN ELEKTRIZITÄTSNACHFRAGE.....	121
5.1.	Vorbemerkung .....	121
5.2.	Konzeptioneller Analyserahmen .....	122
5.2.1.	Ansatz für eine konzeptionelle Einordnung .....	122
5.2.2.	Methodik betrieblicher Kostenfunktionen.....	124
5.3.	Vermeidungskostenabschätzung zur Senkung des betrieblichen Elektrizitätskonsums .....	127
5.4.	Wirkungsabschätzung des derzeitigen politischen Regulierungsrahmens .....	130
5.4.1.	Überblick und Einordnung.....	130
5.4.1.1.	Stromsteuergesetz.....	131
5.4.1.2.	Wechselwirkungen mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz sowie dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz .....	136
5.4.1.3.	Weitere Förderprogramme mit direktem oder indirektem Bezug zu betrieblichem Elektrizitätskonsum .....	139
5.4.2.	Abgleich mit Ergebnissen der empirischen Nachfragemodellierung .....	141
5.4.2.1.	Stromsteuergesetz.....	141

5.4.2.2. Umlagefinanzierung im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes sowie des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes .....	146
5.5. Zwischenfazit .....	147
6. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT.....	151
LITERATUR .....	157
ANHANG ... ..	164

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spezifizierung der übergeordneten Forschungsfrage .....	2
Abbildung 2: Definition der Energieeffizienzlücke .....	14
Abbildung 3: Differenzierung unterschiedlicher Potentiale .....	15
Abbildung 4: Energieverbrauch unterschiedlicher Wirtschaftszweige (2008) .....	42
Abbildung 5: Nominale Strompreisentwicklung in der Industrie (ohne Mehrwertsteuer) .....	47
Abbildung 6: Reale Strompreisentwicklung in € (2011) in der Industrie (ohne Mehrwertsteuer) .....	48
Abbildung 7: Einflussdeterminanten industrieller Strompreise .....	50
Abbildung 8: Vergleich der Industriestrompreise mit und ohne Steuern und Abgaben .....	51
Abbildung 9: Branchenspezifische Häufigkeitsverteilung der Betriebe im Jahr 2007 .....	75
Abbildung 10: Regionale Häufigkeitsverteilung der Betriebe im Jahr 2007 .....	76
Abbildung 11: Stromverbrauch und Stromfremdbezug ausgewählter Branchen im Vergleich .....	77
Abbildung 12: Logik der Steuerlastberechnung gem. StromStG .....	134
Abbildung 13: Ausnahmeregelungen der EEG-Umlage für das Verarbeitende Gewerbe.....	138

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Taxonomie unterschiedlicher Effizienzbegriffe .....	12
Tabelle 2: Überblick über Potentialabschätzungen .....	17
Tabelle 3: Hemmnisstruktur und Einflussdeterminanten .....	37
Tabelle 4: Wirtschaftszweige (D), Energieverbrauch und Umsatz (2008) .....	43
Tabelle 5: Herfindahl-Hirschman-Index .....	45
Tabelle 6: Methodische Erfassung der Hemmnisstruktur .....	55
Tabelle 7: Ausgewählte Studien zur empirischen Energienachfrageschätzung .....	64
Tabelle 8: Verwendete amtliche Statistiken des AFiD-Panels „Industriebetriebe“ .....	70
Tabelle 9: Verwendete amtliche Statistiken des AFiD-Moduls „Energieverwendung“ .....	70
Tabelle 10: Anzahl befragter Betriebe nach teilgenommenen Jahren und typische Teilnahmemuster von Betrieben mit mind. 5 Meldungen .....	71
Tabelle 11: Überblick über im Datensatz enthaltene Variablen .....	72
Tabelle 12: Wirtschaftszweige gem. WZ 2003 .....	73
Tabelle 13: Industriestrompreise in den Jahren 1995 - 2007 .....	79
Tabelle 14: Grundlegende FE- und RE-Modelle im Vergleich .....	84
Tabelle 15: Ausgewählte FE-Modelle im Vergleich .....	86
Tabelle 16: Ausgewählte GMM-Modelle im Vergleich .....	91
Tabelle 17: Einfluss der Energieintensität (Dynamisches FE-Modell) .....	92
Tabelle 18: Einfluss der Umsatzgrößenklasse (Dynamisches FE-Modell) .....	94
Tabelle 19: Dynamische FE-Modelle mit spezifischen Anpassungshemmnissen im Vergleich .....	95
Tabelle 20: Dynamische System GMM-Modelle mit spezifischen Anpassungshemmnissen im Vergleich .....	97
Tabelle 21: Windstromeinspeisung in Deutschland .....	100

Tabelle 22: IV-Regression: Ausgangsmodell.....	102
Tabelle 23: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten: Energieintensität .....	104
Tabelle 24: 2SLS-Modelle mit Instrumentierung des Strompreises im Vergleich.....	105
Tabelle 25: System GMM-Modelle mit Instrumentierung des Strompreises im Vergleich.....	106
Tabelle 26: Überblick über betriebsspezifische Anpassungsunterschiede .....	124
Tabelle 27: Anteilige Stromverbräuche und modellhafte Einsparungen (2007).....	128
Tabelle 28: Vermeidungskostenvergleich unterschiedlicher Elektrizitätseinsparoptionen .....	129

## Abkürzungsverzeichnis

2SLS	Two-Stage-Least-Squares
AFiD	Amtliche Firmendaten in Deutschland
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
bspw.	beispielsweise
CGE	Computable General Equilibrium
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
d. h.	das heißt
DPD	Dynamic-Panel-Data-Analyse
ebd.	ebenda
EBPG	Energiebetriebene-Produkte-Gesetz
EDL-G	Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
et al.	Et alii
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
(f)f.	(fort)folgend
FDZ	Forschungsdatenzentren der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder
FE	Fixed Effects
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GMM	Generalised-Method-of-Moments
HHI	Herfindahl-Hirschman-Index

Hrsg.	Herausgeber
i. H. v.	in Höhe von
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KWh	Kilowattstunde
KWK-G	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
MWh	Megawattstunde
OLS	Ordinary least squares
RE	Random Effects
S.	Seite(n)
StromStG	Stromsteuergesetz
u. a.	unter Anderem
u. U	unter Umständen
vgl.	vergleiche
Vol.	Volumen
VPI	Verbraucherpreisindex
WZ 2003	Wirtschaftszweigklassifikation 2003
WZ 2008	Wirtschaftszweigklassifikation 2008
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

# 1. Einleitung

## 1.1. Einordnung der Arbeit

In der öffentlichen Diskussion zur Verringerung anthropogener Umweltauswirkungen nehmen betriebliche Energieverbräuche einen zunehmenden Stellenwert ein. Auf internationaler Ebene lässt sich dies anhand der regelmäßig erscheinenden Assessment Reports des Intergovernmental Panel on Climate Change ablesen. Dort ist seit dem Jahr 1990 eine stetig ansteigende Bedeutung nachfrageseitiger Energieeffizienz – insbesondere mit Blick auf den industriellen Sektor – zu verzeichnen, welche sich in den nachfolgenden Berichten in den Jahren 1995, 2001 sowie 2007 deutlich widerspiegelt.<sup>1</sup>

Auf europäischer Ebene setzt sich diese Themengewichtung im Energieeffizienzplan 2011 fort, in dem das übergeordnete Ziel einer Senkung des Primärenergieverbrauchs um 20% bis zum Jahr 2020 festgelegt, sowie insbesondere *betriebliche* Energienachfragestrukturen thematisiert werden.<sup>2</sup> Auf nationalstaatlicher Ebene offenbart sich eine solche – in der vergangenen umwelt- bzw. energiewirtschaftlichen Diskussion selten vergleichbar deutliche – Themenverschiebung im Energiekonzept der Bundesregierung vom 28.9.2010 sowie dessen Aktualisierung im Juni 2011.<sup>3</sup>

Mit einer Diskussion über Strukturen betrieblicher Energienachfrage wird ein vielschichtiges Themenspektrum angeschnitten, wovon im Rahmen der vorliegenden Arbeit einige zentrale Aspekte mit signifikantem Forschungsbedarf in den Vordergrund gerückt werden. Hierbei wird das übergeordnete Ziel verfolgt, ein *möglichst umfassendes und kohärentes Bild betrieblicher Energieverbräuche und damit verbundener staatlicher Regulierungsnotwendigkeiten* zu zeichnen. Zunächst steht dazu die grundlegende Frage nach einer hoheitlichen Markteingriffsrechtfertigung zur Regulierung der Energienachfrage, in welcher – bei weitem – bislang kein wissenschaftlicher Konsens erreicht wurde,

---

<sup>1</sup> Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1990), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1995), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007).

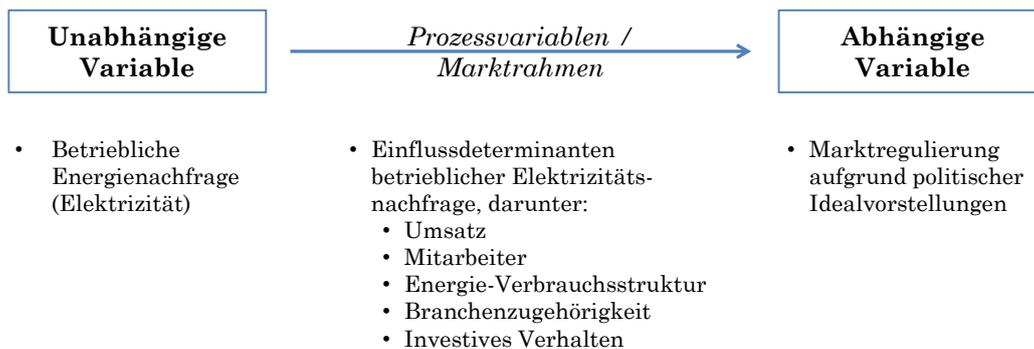
<sup>2</sup> Vgl. Europäische Kommission (2011).

<sup>3</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010) sowie Bundesregierung (2011).

im Vordergrund.<sup>4</sup> Darüber hinaus findet seit einigen Jahren eine verstärkte Berücksichtigung betrieblicher Einflussdeterminanten zur Darstellung von Anpassungsvorgängen bei veränderlichen Energiepreisen statt. Auf Basis von zuletzt deutlich verbesserten Möglichkeiten zur Berechnung unterschiedlicher statistischer Schätzverfahren sowie aufgrund von Erkenntnissen innerbetrieblicher Ablaufprozeduren setzt die Analyse am Beispiel des Elektrizitätsnachfrageverhaltens hier an. Für die vorliegende Untersuchung wurde durch das Forschungsdatenzentrum der Statistischen Landesämter ein umfangreicher und bisher für ähnliche Analysen nicht verwendeter Paneldatensatz amtlicher Firmendaten in Deutschland zur Verfügung gestellt. Schließlich werden die hierdurch gewonnenen Erkenntnisse auf den gegenwärtigen Politikrahmen in Deutschland übertragen und Aussagen zu deren Wirkweise abgeleitet.

Abbildung 1 verdeutlicht den der Untersuchung zugrunde liegenden Grundgedanken. Ausgehend von einer staatlichen Regulierung der betrieblichen Energienachfrage nach bestimmten Idealvorstellungen liegt der Schwerpunkt der Analyse auf einer theoretischen und empirischen Erfassung betrieblicher Nachfragefunktionen nach Elektrizität.

**Abbildung 1: Spezifizierung der übergeordneten Forschungsfrage**



Quelle: Eigene Darstellung

Die aufgeworfenen Fragen werden aus finanzwissenschaftlicher Sicht analysiert und fügen sich theoretisch in den Bereich der Neoklassischen Umweltökonomie ein. Hierbei erfolgt eine Erweiterung der restriktiven Grundannahmen um eine Public-Choice-Perspektive zur Analyse rationaler Entscheidungen sowie transaktionskostenökonomischer Einflussgrößen.

<sup>4</sup> Die im umweltökonomischen Diskurs dargelegten Positionen bewegen sich zwischen einer Ablehnung jedweder Markteingriffe bis hin zur Rechtfertigung umfangreicher Regulierungsmaßnahmen.

## 1.2. Intention und Aufbau der Untersuchung

In der vorliegenden Arbeit wird der bisherige, mehrheitlich umwelt- und energiewirtschaftlich geprägte Diskurs zum betrieblichen Energienachfrageverhalten umfassend aufgearbeitet, am Beispiel des Elektrizitätskonsums im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland empirisch untersucht sowie mit dem derzeitigen politischen Regulierungsrahmen abgeglichen. Im zweiten Kapitel erfolgt eine methodische Einordnung des Untersuchungsgegenstandes sowie eine Aufarbeitung von Fragen zur staatlichen Markteingriffslegitimation. Im dritten Kapitel werden anhand eines metaanalytischen Literatursurveys Einflussdeterminanten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage identifiziert und, auf dieser Basis, Nachfragefunktionen hergeleitet. Im vierten Kapitel wird eine empirische Schätzung dieser Nachfragefunktionen auf der Grundlage amtlich verfügbarer Firmendaten in Deutschland durchgeführt. Diese Ergebnisse werden im fünften Kapitel mit dem derzeitigen politischen Regulierungsrahmen abgeglichen sowie Aussagen über deren Wirksamkeit abgeleitet. Das abschließende sechste Kapitel fasst die zentralen Untersuchungsergebnisse zusammen. Nachfolgend werden die wesentlichen Inhalte der einzelnen Kapitel kurz dargestellt.

### 1.2.1. Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der betrieblichen Energienachfrage

In der politischen Diskussion auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene sowie im wissenschaftlichen Diskurs wird häufig Bezug genommen zu betrieblicher „Energieeffizienz“ bzw. einer Regulierung industrieller Energienachfrage und zu damit verbundenen umweltpolitischen Zielen. Im Grundlagenkapitel stehen daher zunächst Fragen zur begrifflichen Spezifizierung im Vordergrund:

*Was ist unter „Elektrizitätskonsum“ – bzw. allgemein unter „Energiekonsum“ – zu verstehen, wie ist dessen gesamtwirtschaftliche Bedeutung einzuordnen und welche Folgen ergeben sich daraus im Hinblick auf staatliche Markteingriffsnotwendigkeiten?*

Ausgehend von einer Darstellung des theoretischen Analyserahmens wird ferner dargelegt, unter welchen Annahmen staatliche Markteingriffe mit der Intention einer Steigerung der industriellen Energieeffizienz gerechtfertigt und – mit Blick auf bestimmte umweltpolitische Ziele – zielgerichtet sind. Eine solche Einordnung fußt auf einer in

diesem Bereich intensiv – und sehr kontrovers – geführten wissenschaftlichen Diskussion, welche z. T. auch die Existenz einer „Energieeffizienzlücke“ thematisiert.

### 1.2.2. Einflussdeterminanten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage

In einem zweiten Schritt stehen Erklärungsansätze des betrieblichen Elektrizitätsnachfrageverhaltens im Fokus. Ausgehend von der Modellierung einer grundlegenden Elektrizitätsnachfragefunktion werden Einflussgrößen betrieblicher Anpassungsreaktionen zur Verringerung des Elektrizitätsbedarfs betrachtet. Dies erfolgt auf Basis eines metaanalytischen Surveys der gegenwärtig intensiv geführten Diskussion über Ursachen und Wirkungszusammenhänge betrieblicher Anpassungsvorgänge.<sup>5</sup> Die erkenntnisleitende Frage dieses Analyseschrittes lautet:

*Inwiefern können Anpassungshemmnisse dazu führen, dass unterschiedliche Betriebe in unterschiedlichem Ausmaß in der Lage sind, ihre Produktionsstrukturen an veränderte Strompreise anzupassen und in welcher Form ist dies formal in Nachfragefunktionen darstellbar?*

Nach Auswertung der verfügbaren Literatur lassen sich Rückschlüsse auf das Elektrizitätsnachfrageverhalten in Abhängigkeit bestimmter Firmeneigenschaften ziehen. Bisherige Vorarbeiten lassen etwa den Schluss zu, dass die Gruppe der kleinen und mittleren sowie nicht-energieintensiven Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe durch besonders hohe Hemmnisse im Hinblick auf betriebliche Energieeffizienzverbesserung charakterisiert sind und daher über eine eher unelastische Nachfragefunktion nach Elektrizität verfügen dürften. Auf der anderen Seite deuten einige Studien darauf hin, dass in Unternehmen besonders energieintensiver Branchen (bspw. Zement- oder Stahlverarbeitung) aufgrund entsprechend höherer Energiekosten eine erhöhte Kompetenz zur Identifizierung energieeinsparender Maßnahmen bzw. Produktionsanpassungen vorhanden ist. Dies würde auf tendenziell preiselastische Nachfragefunktionen hindeuten.

Als Resultat dieses Literatursurveys wird eine grundlegende Elektrizitätsnachfragefunktion um zuvor identifizierte betriebliche Einflussdeterminanten erweitert. Gleichzeitig ist von unterschiedlichen Preiselastizitäten in der kurzen und langen Frist auszu-

---

<sup>5</sup> In der Literatur wird dieser Diskurs häufig unter dem Begriff der “Hemmnisdiskussion” zusammengefasst.

gehen. Dies gründet auf der Annahme kurzfristig sehr aufwändiger Anpassungsvorgänge zur Energieeinsparung. Zudem folgen (Ersatz-) Investitionen in der Regel natürlichen Abschreibungszyklen. Liegen diese etwa bei 10 – 15 Jahren, so ist in der Zwischenzeit von einem technologischen Fortschritt mit positiven Auswirkungen auf die Energieintensität auszugehen.

Schließlich werden unterschiedliche betriebliche Nachfragefunktionen nach Elektrizität entwickelt, die als Grundlage für eine empirische Bestimmung der Einflussdeterminanten dienen können.

### **1.2.3. Empirische Untersuchung der Elektrizitätsnachfrage im Verarbeitenden Gewerbe**

Auf dieser Basis wird die Untersuchung in einem dritten Schritt anhand von Mikrodaten um eine empirische Paneldatenanalyse zur Abbildung von Nachfragefunktionen erweitert. Anhand betrieblicher Einflussdeterminanten, wie Firmengröße (etwa hinsichtlich der Anzahl der Beschäftigten oder der Umsatzgröße), Branchenzugehörigkeit, Struktur des Energieverbrauchs oder verbrauchsspezifische Energiepreise wird das Energie-Nachfrageverhalten des Verarbeitenden Gewerbes als abhängige Variable analysiert. Durch Kombination betrieblicher Elektrizitätsverbräuche mit Elektrizitätspreisen können Preiselastizitäten mit Bezug zu spezifischen betrieblichen Einflussdeterminanten berechnet werden. Dies ermöglicht im Weiteren Aussagen über Anpassungsreaktionen. Dem Kapitel liegt folgende Frage zugrunde:

*Inwiefern lassen sich die zuvor hergeleiteten betrieblichen Nachfragefunktionen nach Elektrizität in Abhängigkeit der darin enthaltenen Ursachen potentieller Anpassungshemmnisse anhand gegenwärtig verfügbarer Firmendaten für Deutschland empirisch bestimmen?*

Verwendung hierzu findet das *AFiD-Panel* („Amtliche Firmendaten in Deutschland“) des Forschungsdatenzentrums der Statistischen Landesämter. Dieser Datensatz stellt amtliche Einzeldaten der Wirtschafts- und Sozialstatistiken im Längs- und Querschnitt im Rahmen einer Jahrerhebung zur Verfügung. Es sind u. a. Informationen zu Wirtschaftszweigen, Beschäftigtenzahlen, Umsatz, Investitionen, Strombezug, Stromabgabe sowie anderweitiger Energie- und Brennstoffbezug getrennt nach Energieträger vorhan-

den. Dazu werden das AFiD-Panel „Industriebetriebe“ mit dem AFiD-Modul „Energieverwendung“ über die Jahre 1995 bis 2008 kombiniert.<sup>6</sup> Es ergibt sich ein Paneldatensatz, der hinsichtlich Erhebungsbreite (Vollerhebung des industriellen Sektors), Erhebungstiefe (Betriebscharakteristika, Branchenklassifizierung) und Erhebungslänge auch im internationalen Kontext außergewöhnlich ist.

Während, auf der einen Seite, bislang eine Erklärung der Energienachfrage weitgehend auf Grundlage individueller Entscheidungsverhalten stattfindet, ermöglicht eine mikrodatenbasierte Untersuchung einen Abgleich der dort identifizierten Hemmnisse mit empirisch ermittelten Nachfragefunktionen auf Grundlage ermittelter Preiselastizitäten. Auf der anderen Seite grenzt sich die Untersuchung durch Berücksichtigung von Elektrizitätspreisen und Nachfrageverhalten von ebenfalls auf Basis des AFiD-Panels durchgeführten Dekompositionsanalysen ab.<sup>7</sup>

Die Nutzung des AFiD-Mikrodatensatzes bietet die Möglichkeit, anhand einer Vollerhebung über einen langen Zeitraum umfassende Kenntnisse über das betriebliche Nachfrageverhalten nach Elektrizität und deren Einflussdeterminanten zu erlangen. Nicht zuletzt aufgrund der Neuheit dieses Mikrodatensatzes sind derart detaillierte empirische Kenntnisse bisher nicht oder nur in geringem Umfang in die wissenschaftliche Diskussion zur Struktur der gesamtwirtschaftlichen Energienachfrage eingeflossen. Darüber hinaus ließen sich etwa Nachfrageeffekte durch Preisänderungen von Nachfrageeffekten durch veränderte Kapitalintensitäten (etwa gemessen am Umsatz des Unternehmens sowie Kapital-/Arbeitsquoten) differenzieren. Aufgrund der Neuheit dieses Datensatzes ist zunächst zu klären, inwiefern eine vorbereitende Datensatzbereinigung notwendig ist.

Der vorliegende Mikrodatensatz stellt eine Panel-Erhebung dar, deren Analyse spezieller ökonomischer Instrumente bedarf. Im Vergleich zu im Längsschnitt verknüpften Cross-Section-Erhebungen ergeben sich Herausforderungen an die statistische Datenanalyse, da die Observationen nicht unabhängig voneinander sind (wiederholte Befragung derselben Observationen im zeitlichen Verlauf). Im Rahmen der Datenauswertung findet ein Vergleich unterschiedlicher Paneldaten-Schätzmethoden statt, hierzu zählen

---

<sup>6</sup> Vgl. <http://www.forschungsdatenzentrum.de/afid.asp> [abgerufen am 12.8.2012].

<sup>7</sup> Vgl. AFiD-Workshop vom 20. / 21. 5.2010 in Berlin (DIW): Vortrag: Energy Efficiency in the German Industry Sector: Evidence from Micro Data (Petrick/ Rehdanz/ Wagner). Vgl. auch Metcalf (2008).

*Fixed Effects, Random Effects, Generalised-Method-Of-Moments* sowie *Instrumentenvariablen* zur Modellierung von Strompreisendogenitäten. Ein Abgleich unterschiedlicher Analysepfade kann im vorliegenden Fall zur Robustheit der ermittelten Schätzergebnisse beitragen. Darüber hinaus bedarf es für eine robuste Schätzung der Nachfragefunktionen unterschiedlicher Schätzkorrekturen.<sup>8</sup> Abschließend werden die aus den unterschiedlichen Analysepfaden zusammengeführten Schätzergebnisse mit den Erkenntnissen aus der vorangehend analysierten Hemmnisdebatte abgeglichen.

Schließlich lassen sich die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zu einem weiteren Zweck heranziehen: die Resultate erlauben Rückschlüsse, inwiefern bisher vorliegende *amtliche* Firmendaten des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland geeignet sein können, das betriebliche Nachfrageverhalten nach Elektrizität unter Berücksichtigung von Anpassungshemmnissen an veränderliche Elektrizitätspreise darzustellen.

#### **1.2.4. Implikationen für eine kohärente Regulierung der betrieblichen Elektrizitätsnachfrage**

Im abschließenden Untersuchungsschritt erfolgt ein Vergleich der Schätzergebnisse mit gegenwärtig implementierten Regulierungen des betrieblichen Elektrizitätskonsums; dies erlaubt im Weiteren Rückschlüsse über deren tatsächliche Anreizmechanismen und Wirkweisen. Hierzu werden die gegenwärtige Ausgestaltung der Elektrizitätsbesteuerung, Wechselwirkungen mit dem Erneuerbare-Energien- und Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz sowie weitere Förderprogramme mit direktem oder indirektem Bezug zu betrieblichem Elektrizitätskonsum analysiert. Das Vorgehen orientiert sich an der Fragestellung:

*Wie ist die gegenwärtige Politikgestaltung zur Regulierung des betrieblichen Elektrizitätskonsums in Abhängigkeit innerbetrieblicher Anpassungshemmnisse auf Basis der zuvor gewonnenen Erkenntnisse zu beurteilen?*

Die Nutzung empirisch ermittelter Nachfrageelastizitäten im Rahmen einer umweltpolitischen Diskussion zur Wirkweise des gegenwärtigen politischen Regulierungsrahmens erfordert zunächst jedoch eine konzeptionelle Vorarbeit. Hierzu wird gezeigt, dass Nachfrageelastizitäten unter bestimmten Bedingungen als Indikatoren für betriebliche Grenzvermeidungskosten des Elektrizitätsverbrauchs herangezogen werden können. Im

---

<sup>8</sup> Als statistisches Analyseprogramm wird *Stata 12* verwendet.

Weiteren ermöglicht dies insbesondere eine Beantwortung der Frage, inwiefern die gegenwärtig im Rahmen der Elektrizitätsbesteuerung vorgesehenen Ausnahmeregelungen für besonders energieintensive Betriebe gerechtfertigt sind.

## 2. Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der betrieblichen Energienachfrage

### 2.1. Vorbemerkung

In der vorliegenden Arbeit erfolgt eine empirische Analyse von Einflussdeterminanten des industriellen Elektrizitätskonsums und des daraus erwachsenden regulativen Handlungsbedarfs. Im Vorgriff auf diese Untersuchung beschäftigt sich das folgende Kapitel mit der gesamtwirtschaftlichen Bedeutung der betrieblichen Energienachfrage.

Die Diskussion über eine hoheitliche Regulierung betrieblicher Elektrizitätsnachfrage sowie die damit verbundenen Aspekte zur Existenz und zum Ausmaß potentieller Energieeffizienzverbesserungen stehen nicht nur angesichts einer Vielzahl existierender umweltpolitischer Maßnahmen und Verordnungen, sondern auch deren weiterhin wachsender Bedeutung im Zuge der energiepolitischen Diskussion im Fokus wissenschaftlicher Analysen. Auf europäischer Ebene wird eine übergeordnete Strategie zur Erreichung von Klimazielen im aktuellen Energieeffizienzplan<sup>9</sup> beschrieben. Sowohl aufgrund eines hierdurch entstehenden Handlungsdrucks auf nationaler Ebene, als auch durch darüber hinausgehende klimaschutzpolitische Anstrengungen einzelner Länder unterliegen nationalstaatliche Klimaschutzstrategien in diesem Bereich fortlaufenden Änderungen, die schließlich in einem umfangreichen Umbau der deutschen Energiepolitik kulminieren.<sup>10</sup> Dies betrifft nicht nur die Endenergieeffizienz im Verarbeitenden Gewerbe, sondern ebenso unterschiedliche Energieverwendungsmöglichkeiten, wie beispielhaft die Maßnahmen der Öko-Design-Richtlinie in Form des Energiebetriebene-Produkte-Gesetzes (EBPG) oder das Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen (EDL-G) sowie umfangreiche Förderprogramme, darunter der nationale Teil der Klimaschutzinitiative und das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP), zeigen. In all diesen Strategiepapieren und Umsetzungsmaßnahmen liegt ein besonderes Gewicht auf einer „*Steigerung der Energieeffizienz*“.

---

<sup>9</sup> Vgl. Europäische Kommission (2011).

<sup>10</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010): Energiekonzept 2010; Bundesregierung (2011): Eckpunkte Energieeffizienz sowie Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): Strategiepapier zur Energiewende.

Vor diesem Hintergrund sowie im Vorgriff einer Analyse des industriellen Elektrizitätskonsums steht zunächst im Vordergrund, was tatsächlich unter „Elektrizitätskonsum“ – bzw. allgemein unter „Energiekonsum“ – zu verstehen ist, wie dessen gesamtwirtschaftliche Bedeutung einzuordnen ist und welche Folgen sich daraus im Hinblick auf staatliche Markteingriffsnotwendigkeiten ergeben. Eine gesamtwirtschaftliche Einordnung erfordert insbesondere eine theoretische Fundierung, wonach staatliche Markteingriffe mit dem Ziel einer Steigerung der industriellen Energieeffizienz gerechtfertigt sein können.

Höhe und Struktur der Energienachfrage ergeben sich aus neoklassischer Perspektive aus einer Funktion von Angebot und Nachfrage und stellen zunächst natürliche Marktergebnisse dar. Eine Regulierungsaufgabe des Staates kann sich vor dem Hintergrund unterschiedlicher Umweltauswirkungen des Energiekonsums – wie etwa erhöhte Schadstoffemissionen bei der Energieproduktion sowie begrenzte Verfügbarkeiten fossiler Energieträger – ergeben. In der Finanzwissenschaft wird diese Diskussion unter dem Oberbegriff der *Neoklassischen Umweltökonomie* subsumiert.

Auf Grundlage der in diesem Bereich sehr intensiven Forschung soll nachfolgenden Abschnitt zunächst der energieökonomische Hintergrund aufgearbeitet werden. Wie wird „Energieeffizienz“ definiert? Welche Zusammenhänge liegen einer Diskussion vermeintlich offener Energieeffizienz-Verbesserungspotenziale tatsächlich zugrunde?<sup>11</sup>

## 2.2. Was ist „Energieeffizienz“?

Energieeffizienz beschreibt nach Definition der Europäischen Kommission<sup>12</sup> „das Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistungen, Waren oder Energie zu Energieeinsatz“, eine Energieeffizienzverbesserung wird ferner durch eine „Steigerung der Endenergieeffizienz durch technische, wirtschaftliche und/ oder Verhaltensänderungen“ bestimmt. Unter Berücksichtigung des wissenschaftlichen Literaturdiskurses wird jedoch deutlich, dass eine begriffliche Abgrenzung ganz so einfach nicht ist.

---

<sup>11</sup> Dieses Grundlagenkapitel basiert auf Dobroschke (2012).

<sup>12</sup> Vgl. Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/ EWG des Rates.

Diekmann et al. (1999) fassen grundlegende Studien zusammen und differenzieren zwischen unterschiedlichen Anforderungen an Indikatoren zur Darstellung von Energieverbräuchen.<sup>13</sup> Eine übergreifend gültige Definition von Energieeffizienz existiert nicht. Vielmehr spielen neben technikbezogenen Aspekten Einschätzungen über die Höhe einzelwirtschaftlicher oder gesellschaftlicher Zusatzkosten der Emissionsreduzierung als Folge einer Energieeinsparung eine Rolle. Im technischen Sinne lässt sich unter Energieeffizienz „das Verhältnis von physischem Output eines Gerätes oder einer Anlage bezogen auf den jeweiligen physischen Energieeinsatz“ verstehen, im weiteren Sinne erfolgt eine mehr oder weniger modifizierte Anwendung auf komplexe Systeme oder ganze Energieverbrauchssektoren.<sup>14</sup> Eng damit verbunden sind Begriffe eines spezifischen Energieverbrauchs, eines Einheitsenergieverbrauchs, eines Durchschnittsenergieverbrauchs oder einer Energieintensität. Dagegen erfordert eine ökonomische Sicht der effizienten Energieverwendung neben einem „Mengerüst“ auch ein „Wertgerüst“, wobei jeweilige Opportunitätskosten der eingesetzten Energie zu berücksichtigen sind. „Aus wirtschaftlicher Sicht ist somit nicht ein relativer Energieverbrauch zu minimieren, sondern die relevanten Gesamtkosten.“<sup>15</sup> Schließlich sind auch indirekt betroffene Wirtschaftsbereiche zu berücksichtigen, so dass letztlich kein einzelner und einheitlicher Indikator zur Darstellung der Energieeffizienz definierbar ist.

Folgende Tabelle stellt eine Taxonomie unterschiedlicher Effizienzbegriffe dar. In Abhängigkeit des theoretischen Rahmens lässt sich der Begriff „Energieeffizienz“ durch unterschiedliche Konzeptionen darstellen. Aus Sicht der Mikroökonomik steht auf der einen Seite das Konzept der Pareto-Effizienz der neoklassischen Ökonomie (1), auf der anderen Seite steht das (weitaus einfacher zu operationalisierende) Konzept der Kosteneffizienz aus einzelwirtschaftlicher Sicht (2). Demnach ist eine Situation (energie-) effizient, wenn die interne Verzinsung einer Investition den Kalkulationszins des Investors übersteigt. Aus klassischer Sicht von Energieökonomien wird Energieeffizienz aus makroökonomischer Perspektive als Division des gesamten Energieverbrauchs einer Wirtschaftseinheit durch deren ökonomischen Output (3) berechnet. Unter Einbeziehung

---

<sup>13</sup> Für einen Überblick grundlegender Studien und Konzepte vgl. u. a. International Energy Agency (1997), Morovic (1989), Farla und Blok (1997), Energy Information Administration (EIA) (1995), Jaekel, et al. (1990).

<sup>14</sup> Vgl. Diekmann, et al. (1999), S. 16.

<sup>15</sup> Vgl. ebd., S. 17.

externer Effekte lässt sich das Konzept der mikroökonomischen Pareto-Effizienz (1) um deren Monetarisierung erweitern (5). Werden schließlich moralische und soziale Verteilungsziele unter Beachtung der Kosteneffizienz hinzugezogen, ergibt sich ein (sehr abstraktes und schwer zu operationalisierendes) Konzept der distributionellen Effizienz (6).

**Tabelle 1: Taxonomie unterschiedlicher Effizienzbegriffe**

Typ	Konzept oder Definition	Gruppe oder Disziplin	Anwendungsbereiche
1 Mikroökonomik I: Paretoeffizienz	Es gibt keine möglichen Nutzen-Verteilungen, in denen jeder mindestens nicht schlechter gestellt ist und mindestens eine Person besser gestellt ist als bei der bestehenden Verteilung	Neoklassische Ökonomen	Analyse von öffentlichen Politik-Programmen
2 Mikroökonomik II: Kosteneffizienz	Die interne Verzinsung einer Investition ist höher als der Kalkulationszins des Investors	Geschäftsleute	Analyse von Investitionsmöglichkeiten
3 Makroökonomik Energieeffizienz I	Der gesamte Energieverbrauch einer relevanten Wirtschaftseinheit geteilt durch den ökonomischen Output dieser Einheit	Energiepolitik -analytiker, Energieökonom	Maximierung marktmäßiger ökonomischer Aktivitäten je Einheit des
4 Makroökonomik Energieeffizienz II	Der gesamte Energieverbrauch einer relevanten sozialen Einheit geteilt durch die Höhe der sozialen Wohlfahrt oder des nachhaltigen Einkommens	Bisher nicht verwendet, obwohl von einigen Ökologen vorgeschlagen	Maximierung der sozialen oder ökonomischen Wohlfahrt je Einheit des Energieverbrauchs
5 Pareto-Effizienz einschl. externer Effekte	Mikroökonomische Effizienz (I) ergänzt um Monetarisierung externer Effekte	Aufsichtsbehörden von EVU und einige Energieökonom	Auswahl von Angebotsoptionen für Versorgungsunternehmen
6 Distributionelle Effizienz	"Moralisch und sozial begründete Verteilungsziele; Preissetzung, um Ziele kosteneffizient zu erreichen."	Bisher nicht verwendet, obwohl von einigen Ökonomen und Ökologen vorgeschlagen	Erreichung soziopolitischer Ziele und Förderung des moralischen Diskurs

Quelle: Diekmann et al. (1999), S. 18 (verkürzte Darstellung)

Im weiteren Verlauf erfolgt eine umweltökonomische Betrachtung der Ressourceneinsparung durch rationelle Energieverwendung, entsprechend liegt eine Anwendung des der Neoklassischen Umweltökonomie zugrunde liegenden Prinzips einer *verursachergerechten Internalisierung externer Effekte* nahe. Übertragen auf obige Taxonomie steht damit zunächst eine neoklassische Perspektive unter Berücksichtigung monetär messbarer externer Effekte im Vordergrund (5). Aufgrund der abstrakten Natur wohlfahrtstheoretischer Effizienzformulierungen ist eine Operationalisierung pareto-effizienter Maßstäbe in der Praxis jedoch nicht oder nur unter sehr hohem Aufwand möglich. Vielmehr können bei Analyse konkreter Vorhaben Nutzen-Kosten-Abwägungen erfolgen, wobei spezifische Kostenkurven zugrunde gelegt werden. Im Hinblick auf eine marktorientierte *Hemmnisanalyse* von Energieeffizienzinvestitionen führt dies zur Herausforderung, diese neoklassische Perspektive *gesamtwirtschaftlicher* Effizienz mit dem Konzept der *einzelwirtschaftlichen* Kosteneffizienz (2) kohärent zu ergänzen.

### 2.3. Zur Problematik politischer Zielfestlegung: Unterschiedliche Definitionen des Energieeffizienzpotentials

Offenbar führen unterschiedliche Perspektiven zu sehr unterschiedlichen Verständnissen des Themas „Energieeffizienz“. Insbesondere mit Bezug zu einer z. T. politisch geführten Diskussion führt dies zu grundsätzlich verschiedenen Abschätzungen der Größe der zu erreichenden gesamtwirtschaftlichen Energieeffizienzverbesserung – oder anders ausgedrückt: zu unterschiedlichen Abschätzungen der „Energieeffizienzlücke“ – und damit auch zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen mit Blick auf Regulierungsoptionen der Energienachfrage.

Vereinfacht gesprochen definiert eine Energieeffizienzlücke die Differenz zwischen einem wirtschaftlich erreichbaren Effizienzniveau und einem derzeit existierenden Niveau. Worin liegt jedoch ein solches *wirtschaftlich* erreichbares Niveau? Beschreibt es nur die aus einzelwirtschaftlicher Sicht lohnenswerten Investitionen unter Berücksichtigung eines marktüblichen Kalkulationszinses, oder fließen darüber hinaus auch gesamtgesellschaftlich lohnenswerte Energieeinsparungen unter Berücksichtigung monetär bewerteter vermiedener Emissionen ein? Auf welchem Niveau liegt das gegenwärtige Energieeffizienz-Niveau und durch welche Annahmen lässt sich eine Vergleichbarkeit mit gesamtwirtschaftlich wünschenswerten Effizienz niveaus sicherstellen? Im Folgenden werden diese Aspekte einleitend beleuchtet.

Es bestehen Unterschiede zwischen *theoretisch erreichbaren* Effizienz niveaus bei Realisierung aller Möglichkeiten unter perfekter Information und Voraussicht einzelner Akteure und – nach Maßgabe organisatorisch bedingter, begrenzter Rationalität sowie besonderer Investitionsbeschränkungen – *tatsächlich erreichbaren* Effizienz niveaus.<sup>16</sup> Demgegenüber wird z. T. die These vertreten, das aktuelle Effizienzniveau sei Ergebnis eines natürlichen Marktgleichgewichtes, von dem aus keine pareto-optimalen Verbesserungsmöglichkeiten mehr vorhanden sind.<sup>17</sup> Möglicherweise weichen, mitunter politisch, postulierte Ziele von tatsächlich erreichbaren Effizienz niveaus ab. Diesen theoretischen

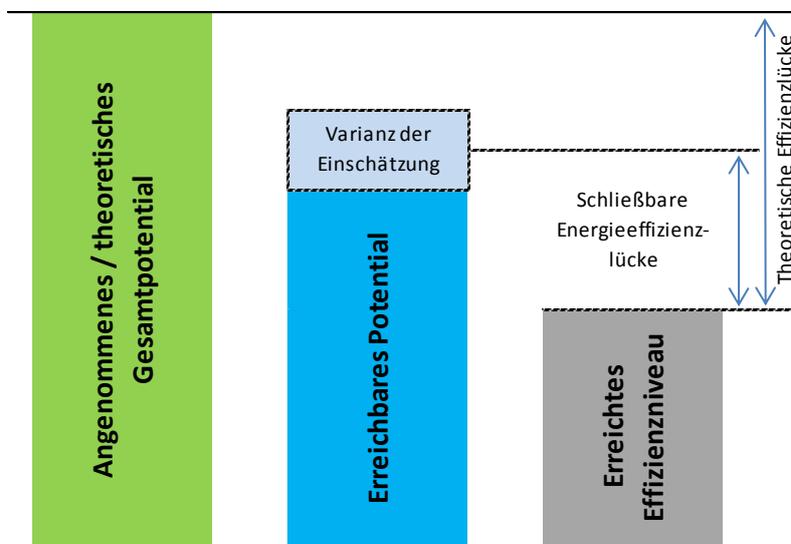
---

<sup>16</sup> Hier wird bewusst der Plural gewählt, da von unterschiedlichen Einflussfaktoren je nach Größe und Art des Unternehmens ausgegangen wird, aus denen ebenfalls unterschiedliche Energieeffizienz niveaus resultieren.

<sup>17</sup> Vgl. Sutherland (1996).

Potenzialen steht das zum gegenwärtigen Zeitpunkt existierende Effizienzniveau gegenüber. Die nachfolgende Abbildung stellt unterschiedlich definierbare Stufen dar.<sup>18</sup>

Abbildung 2: Definition der Energieeffizienzlücke



Quelle: Eigene Darstellung

Das Gesamtpotential einer Verbesserung der Energieeffizienz ergibt sich aus der Differenz zwischen der gegenwärtigen Situation („Erreichtes Effizienzniveau“) und einem unter Abkehr von der Transaktionskostenbedingung und anderweitigen Marktunvollkommenheiten theoretischen Gesamtpotential („Angenommenes Gesamtpotential“) – letzteres basiert auf einer rein prozessspezifischen Perspektive, bei der von darüber hinausgehenden Interaktionen mit anderweitigen Produktionsfaktoren abstrahiert wird.

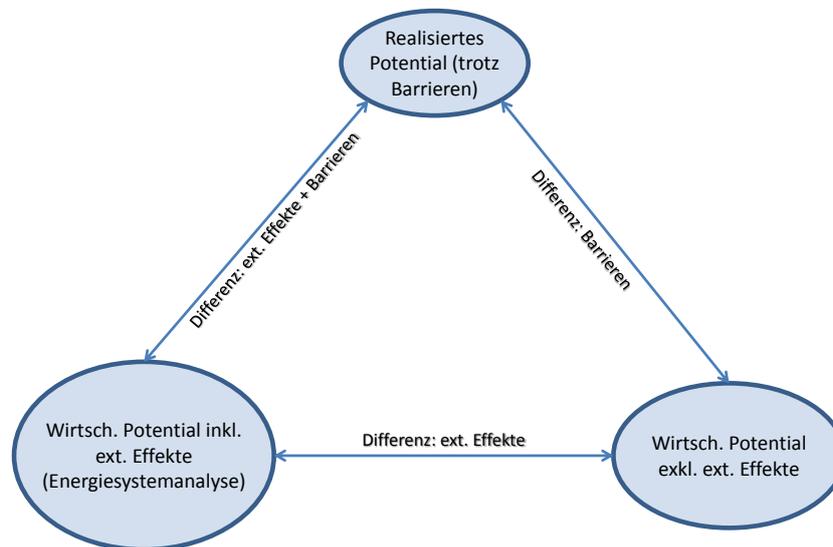
Hinsichtlich der Einordnung der Energieeffizienzlücke – und mithin hinsichtlich der Höhe des in Abbildung 2 dargestellten, *erreichbaren* Energieeffizienzpotentials – existieren unterschiedliche Argumentationslinien. Diese unterscheiden sich tendenziell in der Interpretation, ob ein bestimmtes Verbesserungspotential der Energieeffizienz aufgrund natürlicher Marktbarrieren oder aufgrund Marktunvollkommenheiten besteht. Während natürliche Marktbarrieren nicht zwingend eine staatliche Eingriffslegitimation nach sich ziehen, könnten im Falle einer Marktversagensdiagnose staatliche Eingriffe zur Herstellung eines optimalen Marktgleichgewichtes sehr wohl begründet werden. Vor

<sup>18</sup> Neben der hier vorgenommenen Definition existieren weitere, z. T. engere oder weitere Definitionen der Energieeffizienzlücke, vgl. Jaffe und Stavins (1994), Brown (2001).

diesem Hintergrund divergieren Abschätzungen des erreichbaren Potentials z. T. recht deutlich voneinander – hier dargestellt durch die *Varianz der Einschätzung*.<sup>19</sup>

Abbildung 3 verdeutlicht die Zusammenhänge unterschiedlicher Potentialhöhen aus einer anderen Perspektive. Das „realisierte Potential“ dient als Ausgangspunkt und entspricht dem bereits oben dargestellten, „erreichten Effizienzniveau“.

**Abbildung 3: Differenzierung unterschiedlicher Potentiale**



Quelle: Eigene Darstellung

Eine Berücksichtigung möglicher Markthemmnisse – etwa aufgrund unvollkommener Information – ergibt ein darüber liegendes Potential („Wirtschaftliches Potential exklusive externer Effekte“). Werden nun nicht nur die Kosten aus Endverbrauchersicht, sondern darüber hinaus auch gesamtwirtschaftliche Kosten der Energieproduktion in Form negativer externer Effekte berücksichtigt, so ist von einer weiteren Vergrößerung des wirtschaftlichen Potentials („Wirtschaftliches Potential inklusive externer Effekte / Energiesystemanalyse“) auszugehen. Eine solche Effizienzverbesserung der Energienutzung kann sich aus gesamtwirtschaftlicher Sicht lohnen, sofern deren Kosten kleiner sind als deren Nutzen als Summe aus individuellem Nutzen durch Energieeinsparungen sowie kollektivem Nutzen durch Vermeidung negativer externer Effekte der Energieproduktion.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Eine oben bereits angesprochene, entgegengesetzte Argumentation läuft auf die Nicht-Existenz jedweden Verbesserungspotentials hinaus. Dieser Standpunkt ist in der Abbildung nicht eingezeichnet.

<sup>20</sup> Zur weiteren Diskussion vgl. Sutherland (1996), Jaffe und Stavins (1994), Diekmann, et al. (1999), Ostertag, et al. (2000), Ostertag (2003), Sorrell, et al. (2004), Mennel und Sturm (2008).

## 2.4. Zur Bedeutung des Forschungsgegenstandes: Überblick offener Energieeffizienzpotentiale

Die vorangegangene Darstellung zeigt, dass sich – je nach Definition der Energieeffizienzlücke – sehr unterschiedliche Potenziale ergeben können. Entsprechend vielfältig ist der wissenschaftliche Diskurs. Zum einen wurden in den vergangenen Jahren Potenzialabschätzungen zu Energieeffizienzinvestitionen durchgeführt, die sich u. a. hinsichtlich Sektor und Definition des Energieeffizienzpotenzials unterscheiden. Zum anderen hat sich ein breites Feld anwendungsorientierter Politikberatung im Hinblick auf eine gezielte Energieeffizienzförderung entwickelt. Deren Schwerpunkt liegt in der Regel auf Politikempfehlungen auf Basis umweltökonomischer Instrumentengestaltung, insbesondere auf einer Bewertung von Effektivität (Zielerreichung) und Kosteneffizienz einer umweltpolitischen Maßnahme. Zum Teil geschieht dies unter Rückgriff auf existierende Potenzialabschätzungen, zum Teil beinhalten Studien entsprechende empirische Abschätzungen.

Zur Verdeutlichung der im wissenschaftlichen und politischen Diskurs zunehmende Bedeutung der Energieeffizienz lassen sich die in unterschiedlichen Abständen erscheinenden Assessment Reports des *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* heranziehen. Während im ersten Bericht (1990) die grundsätzliche Wichtigkeit einer Energieeffizienzverbesserung im industriellen Sektor und im Gebäudesektor erwähnt wird,<sup>21</sup> greift der Bericht der zweiten Welle (1995) diese Thematik bereits vergleichsweise umfangreicher erneut auf.<sup>22</sup> Hier werden erstmalig mögliche Politikoptionen diskutiert. In der dritten Welle (2001) erfolgt in Kapitel 3.5 eine detaillierte Betrachtung von Energieeffizienzpotenzialen in der verarbeitenden Industrie.<sup>23</sup> Darüber hinaus erfolgt

---

<sup>21</sup> Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1990), Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger der Arbeitsgruppe 3 (Climate Change: The IPCC Response Strategies), Tabelle 3 und 4, S. xxxvi ff. Untergruppe 3 (Energy and Industry S. 45-73) geht sowohl auf die Bedeutung des industriellen Sektors als auch des Gebäudesektors im Rahmen von Energieeffizienzpotenzialen kurz ein (Kapitel 3.5, S. 62 f.). Auch der Ergänzungsbericht (1992) enthält kurze Verweise darauf (Task B, S. 33-35).

<sup>22</sup> Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1995), Bericht der Arbeitsgruppe II: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses sowie Teil III: Assessment of Mitigation Options, Kapitel 20, S. 649-678 und Kapitel 22, S. 713-744. Insbesondere mit Bezug auf den Industriesektor wird Energieeffizienz explizit behandelt (vgl. Kapitel 20.2.4, S. 664-670).

<sup>23</sup> Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001), Kapitel 3.5, S. 203-222.

eine ausführliche Analyse sektor- und technologiespezifischer Barrieren in Gebäuden und Industrie.<sup>24</sup> In der vierten Welle der IPCC Reports (2007)<sup>25</sup> der Arbeitsgruppe III (Mitigation of Climate Change) wird ebenfalls explizit der Gebäude- und Industriesektor untersucht. Es werden detailliert Trends, Optionen, Potenziale und Barrieren, sowohl privat und kommerziell genutzter Gebäude<sup>26</sup> als auch des industriellen Sektors analysiert.<sup>27</sup>

Über die allgemeinpolitische Analyse der IPCC Reports hinaus erfolgt nachfolgend eine Durchsicht wissenschaftlicher Potentialanalysen zur Beantwortung der Frage, inwiefern grundsätzlich von Spielräumen zur Verbesserung der Energieeffizienz auszugehen ist. Dieser Literatursurvey konzentriert sich auf die industrielle Energieeffizienz und berücksichtigt neben einzelnen deutschen Untersuchungen explizit den internationalen Kontext. Der überproportional große Anteil bezieht sich insbesondere auf den US-amerikanischen Industriesektor. Zum Teil erfolgen Vergleichsstudien mit europäischen oder asiatischen Ländern. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht der Potentialabschätzungen in unterschiedlichen Ländern.

**Tabelle 2: Überblick über Potentialabschätzungen<sup>28</sup>**

<b>Branchenübergreifende Maßnahmen und Techniken</b>		
<b>Motor-Systeme</b>		
De Keulenaer et al. (2004)	EU	Wirtschaftliche Energiekonsumeinsparungen ca. 29% in der EU-25 ( rund 181 TWh /Jahr) durch Energieeffizienzsteigerungen motorbetriebener Systeme.
Xenergy (2000)	USA	Implementierung energieeffizienterer motorbetriebener Systeme oder Wartungsmaßnahmen führen zu Energiekonsumeinsparungen i. H. v. ca. 520 GWh/Jahr (gemessen an 1999) in den USA.
de Almeida et al. (2003)	EU	Beziffern die CO <sub>2</sub> -Minderung durch Elektrizitätseinsparpotenziale bei Einsatz energieeffizienter Motortechnologien (energieeffiziente Motoren, verstellbarer Antrieb und effiziente Endverbrauchergeräte) für die EU auf ca. 45 Mio. Tonnen bis 2015.
<b>Dampferzeugung</b>		
US DOE (2002)	USA	Untersuchung der Dampferzeugung und -verbrauch in der amerikanischen Papier-/ Zellstoffindustrie, der chemischen Industrie sowie der der Petroleumraffinerieindustrie in den USA durch Expertenerhebung. Totales Energieeinsparpotenzial durch Dampfverbesserungen liegt jeweils bei ca. 12% (Daten aus 1994).
IEA 2006	Int.	Energieeinsparungspotenziale bei Dampfsystemen global 10-20%.

<sup>24</sup> Vgl. ebd., Kapitel 5.4, S. 373-575.

<sup>25</sup> Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007).

<sup>26</sup> Vgl. ebd., Kapitel 6, S. 389-437.

<sup>27</sup> Vgl. ebd., Kapitel 7, S. 449-488.

<sup>28</sup> Hierbei wird unterschieden zwischen branchenübergreifenden Maßnahmen und Techniken, Energie-rückgewinnung, intersektoralen Effizienzpotentialen, prozessspezifischen Technologien und Maßnahmen sowie Management und Arbeitsablauf. Während branchenübergreifende Maßnahmen und Techniken einzelne Produktionsbestandteile betreffen, die grundsätzlich in unterschiedlichen Sektoren Verwendung finden, bezieht sich eine intersektorale Effizienzbetrachtung auf alle Elemente einer Wertschöpfungskette.

## Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der betrieblichen Energienachfrage

<b>Unterschiedliche Querschnittstechnologien</b>		
Worrell et al. (2002)	USA	Untersuchung 54 sektorübergreifender und sektorspezifischer Technologien hinsichtlich Energieeffizienz, ökonomischer und ökologischer Performanz im Vergleich zu business-as-usual bis 2015. Sektorübergreifende Technologien (z. B. Motorensysteme, Oberflächenbehandlung) bieten umfangreichste Potenziale. Das Einsparpotenzial, gemessen am gesamten Herstellungsprozess wird für 29 Technologien mit "high", für 17 Technologien mit "medium" sowie für 9 Technologien mit "low" angegeben.
ifeu/ Fraunhofer ISI/ gws/ prognos (2009)	D	Industrie: 11 Querschnittstechnologien für Strom und Wärme erzielen zusätzliche Energieeinsparungen von 212 PJ (ca. 9% des dt. Endenergieverbrauchs in 2007) im Jahr 2020 gegenüber der Referenzentwicklung. Bedeutung systembezogener Ansätze wird hervorgehoben (Energiemanagementsysteme, Contracting, lernende Netzwerke).
Fraunhofer/ FFE (2003)	D	Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistung: Untersuchung von 13 Querschnittstechnologien (Abdeckung ca. 70% des gesamten Endenergiebedarfs). Kumuliertes wirtschaftliches Einsparpotenzial ca. 20%. Technisches Potenzial in überwiegenden Fällen um den Faktor 2 höher. Technisch orientierte bottom-up Analyse.
<b>Energierückgewinnung</b>		
Bailey and Worrell (2005)	USA	Sehr allgemeine Evaluierung des Potenzial von 19 modernen Technologien zur sauberen Energiegewinnung- und rückgewinnung. Technisches Potenzial ca. 742 TWh durch ungenutzte elektrische Kapazität ermöglicht ein Einsparpotenzial von 19% gemessen am momentanen amerikanischen Elektrizitätskonsum
Lemar (2001)	USA	Moderne Policy-Maßnahmen können zu geringen Kosten oder ohne Mehrkosten ein Reduktionspotenzial in der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung von ca. 26 Mio. metr. Tonnen CO2 in den USA aufweisen. Insbesondere eine Beseitigung von Marktbarrieren steht im Fokus.
<b>Intersektorale Effizienzpotenziale, Management und Arbeitsablauf</b>		
Heeres et al. (2004)	EU	Case Study: Öko-Industrieparks (3 USA, 3 NL). Keine allgemeingültig quantifizierbaren Effizienzgewinne, konzeptionelle Aspekte stehen im Fokus: Kooperation zwischen Staat / Industrie, Beteiligung der Unternehmen an Entwicklungskosten, Entwicklungsstufen: allgemeines Know-How zur Konzeptherstellung bis hin zu technologisch spezifischen Einsparungspotenzialen.
CFI (2003)	CAN	Benchmark kanadischer Kalihhersteller: Erhöhtes Arbeitnehmerbewusstsein und Training häufigste Möglichkeit zur Beeinflussung der Energieeffizienz.
<b>Prozeßspezifische Technologien und Maßnahmen</b>		
<b>Eisen- und Stahlindustrie</b>		
Kim und Worrell (2002b)	Versch.	Energieeffizienzbenchmark der Stahlproduktion durch Vergleich mit best-practice performance von 50% der Stahlindustrie (5 Länder). CO2-Verbesserungspotenzial variiert zw. 15% (Japan) und bis zu 40% (China, Indien, und USA). Dekompositionsanalyse der CO2 Emissionentrends in der Eisen- und Stahlindustrie anhand physikalischer Indikatoren für Brasilien, China, Indien (Entwicklungsländer), Mexiko, Südkorea (Schwellenländer) und USA (Industrieland). Außer Korea: Energieeffizienzmaßnahmen der bedeutendste Faktor.
Worrell und Biermans (2005)	USA	Bedeutung elektrischer Lichtbogenöfen in der US-Stahlindustrie. Durchschnittliche jährliche Verbesserung des spezifischen Elektrizitätskonsums zwischen 1990-2002 liegt bei 1,3% /Jahr: 0.7% durch Ausstausch und 0.5% aufgrund der Sanierung von existierenden Elektrolichtbogenöfen.
De Beer et al. (2000)	EU	Sehr detailliert-technische bottom-up Analyse einzelner Industrien in EU. Einsparungspotenzial je Tonne Flüssig- bzw. Rohstahl 0,5-1,4 GJ. Durch technologische Prozessoptimierung werden Energieeinsparungen je Tonne Aluminium von bis zu 2,5 MWh ermittelt. Weitere Schätzungen für Petrochemie, Zement, Zellstoff, Nahrungsmittel.
<b>Petroleumraffinerie</b>		
Ren et al. (2006)	Versch.	Technische bottom-up Effizienzanalyse im Bereich des Dampferackens bei Olefinproduktion (energieintensivster Prozess der Chemieindustrie). Durch Anwendung moderner Crackingtechnologien ergibt sich ein Einsparungspotenzial von bis zu 20% des aktuellen durchschnittlichen Energieverbrauchs.
Worrell and Galitsky (2005)	USA	Kompetitive Benchmarkdaten indizieren wirtschaftliche Energieeffizienzverbesserungsmöglichkeiten von 10-20% in den meisten amerikanischen Petroleumraffinerien. Weitere Effizienzpotenziale, darunter für Energieversorgung (30%), Motorensysteme (10%).
<b>Zement</b>		
Kim und Worrell (2002a)	Versch.	Dekompositionsanalyse anhand physikalischer Trendindikatoren: welche Effekte trugen in der Vergangenheit zu CO2-Minderungen in den Zementindustrien in Brasilien, China, Südkorea, USA bei. Energieeffizienz (technisches Potenzial) wird als zukünftig signifikanter Faktor insbesondere in Brasilien, China, USA identifiziert. Auch aktuell ungebrochenes Effizienzpotenzial in den USA weiterhin durch Worrell und Galitsky (2008) identifiziert.
<b>Unterschiedliche Industrien / Sektoren</b>		
Farla et al. (1997)	OECD	OECD-Länder: Für den Zeitraum 1973 - 1991 wurde ermittelt, dass durch Energieeffizienzverbesserungen der Energieverbrauch in der Papier- und Zellstoffindustrie im Vergleich zum Baselineszenario (Steigerung um 42%) nur um 16% gestiegen ist. Jährliche Effizienzverbesserung betrug 1,6%.
RWI (2010)	D	Entwicklung des Energieeffizienzgrades der energieintensivsten Industrien (Eisen-/Stahl, Papier, Chemie, Zement, Aluminium, Glas) in Deutschland. Bereits weitgehende Ausschöpfung der wirtschaftlichen Potenziale, weitere technische Potenziale nur durch staatliche Eingriffe unter höheren Kosten möglich (kritisch gesehen).
Schröter et al. (2009)	D	Umfrage im verarbeitenden Gewerbe. Einsparpotenzial auf Basis existierender Technologien ca. 15% (ISI-Erhebung Modernisierung der Produktion 2009). Energieintensive Branchen (Papier-, Chemie- und Keramikindustrie) weisen im Vergleich zu weniger intensiven Branchen (Elektroindustrie, Fahrzeug- und Maschinenbau) ein geringeres Potenzial auf. Hinweise auf mangelnde Investitionen durch nicht hinreichende Lebenszykluskosten-Analysen.
Wuppertal Institut (2008)	D	Beziffern die innerhalb von 10 Jahren wirtschaftlich (keine Berücksichtigung von Transaktionskosten) erschließbaren Energieeinsparpotenziale in Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. Davon netto Stromeinsparungen 70 TWh / Jahr, Brennstoffeinsparungen netto 123 TWh / Jahr. Gesonderte Thematisierung von Energie- und Materialeffizienz.
KfW Bankengruppe (2005)	D	Studie auf Umfragebasis, insb. kleine und mittlere Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes sowie Dienstleistungssektor. Energieeffizienz wird zunehmend thematisiert. 39% schätzen ein Einsparpotenzial von unter 10%, 34% sehen kein offenes Potenzial, knapp 11% der Befragten können das Einsparpotenzial nicht abschätzen. Tendenziell schätzen Unternehmen mit speziellem Fachpersonal Einsparpotenziale höher ein.

Quelle: Eigene Darstellung

Es existiert ein breiter Diskurs über Höhe und Entwicklung von Energieeffizienzpotenzialen in ganz unterschiedlichen Industriezweigen.<sup>29</sup> Während einzelne Technologien oder Produktionsprozesse nur sehr vereinzelt untersucht werden – hierzu gehören beispielsweise Lichtbogenöfen, die in der Stahlproduktion eingesetzt werden – treten andere Produktionsbestandteile wiederholt in den Vordergrund. So scheint länderübergreifend Einigkeit über die Signifikanz der Energieeffizienzpotenziale von Motorensystemen zu bestehen. Wenngleich einzelne Motoren im Vergleich zum gesamten Produktionsprozess nur für sehr geringe Anteile des Energieverbrauchs verantwortlich sind, steigt deren Bedeutung allein durch deren vielfältigen Einsatz in ganz unterschiedlichen Produktionsstufen. Ähnliches gilt für die industrielle Dampferzeugung, auch hier ergeben sich aufgrund vielfältiger Anwendungsmöglichkeiten gesamtwirtschaftlich signifikante Effizienzpotenziale.

Weitere Studien fassen diese industriezweigübergreifenden Technologien zusammen und bestimmen in Form allgemeiner Querschnittstechnologien deren Gesamtpotenziale. Eine Potenzialstudie von ifeu et al. (2009) quantifiziert für Deutschland bis 2020 ein Einsparpotenzial i. H. v. 9%. Worell et al. (2002) sehen in der US Industrie für den überwiegenden Teil prozessübergreifender Technologien hohe Einsparpotenziale.

Demgegenüber thematisiert eine geringere Anzahl der Untersuchungen intersektorale Effizienzpotenziale sowie aus einer übergreifenden Managementbetrachtung resultierende Effizienzgewinne. Im Vergleich zur Betrachtung einzelner Elemente einer Prozesskette ergeben sich im Falle einer intersektoralen Betrachtung Effizienzpotenziale aus einer unternehmensübergreifenden Analyse. Konzeptionelle Aspekte können – beispielsweise bei Planung von Öko-Industrieparks in Form verstärkter Kooperationen zwischen Staat und den beteiligten Unternehmen – letztlich ebenfalls zur Hebung von Energieeffizienzpotenzialen führen. Übergreifende Managementbetrachtungen betreffen ganzheitliche Produktionsplanungen, Entscheidungsstrukturen auf Managementebene oder auch allgemeines Energieeffizienzbewusstsein der beteiligten Akteure. All diese Aspekte sind im Vergleich zu prozessspezifischen Maßnahmen oder Technologien unterrepräsentiert. Insbesondere resultieren daraus nur sehr vereinzelt quantifizierte Effizi-

---

<sup>29</sup> Vgl. darüber hinaus einen Literatursurvey von Worell, et al. (2009) sowie Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007).

enzpotenziale, demgegenüber stehen in diesem Kontext Hemmnisstruktur-Analysen im Vordergrund.<sup>30</sup>

Gleichwohl ein Literatursurvey offensichtlich Aussagen über Potenziale – und z. T. auch Ursachen – offener Energieeffizienzpotenziale ermöglicht, treten auf der anderen Seite deutliche Unterschiede hinsichtlich Herangehensweise und Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse hervor. Nicht immer werden die Prämissen ermittelter Effizienzpotenziale deutlich. Insbesondere betrifft dies die Differenzierung zwischen technischen oder wirtschaftlichen Potenzialen (Ren et al. (2006), Bailey und Worell (2005)). Zum Teil ergibt sich deren Bezug implizit aus der Art und Weise der durchgeführten Analyse, eine explizite Definition und Unterscheidung findet jedoch nicht immer statt. Auch verschwimmt eine Differenzierung dieser Perspektiven bei Ableitung umweltökonomischer Instrumente zur Steigerung der Energieeffizienz (ifeu et al. (2009)). Insbesondere letzterer Aspekt entsteht naturgemäß aus einer die gesamte Volkswirtschaft betreffende Nutzen-Kosten-Analyse, eine exakte Differenzierung ist aufgrund bisher unzureichender Kenntnisse über organisationsinterne Einflussfaktoren äußerst schwierig.

Darüber hinaus legen einzelne Studien z. T. sehr technisch fokussierte bottom-up Ansätze zugrunde (de Beer et al. (2001), Ren et al. (2006), Xenergy Inc. (2000)), auf der anderen Seite erfolgen Potenzialabschätzungen nach Maßgabe übergeordneter Kennzahlen unter Berücksichtigung intersektoraler Verflechtungen (u. a. Irrek und Kristof (2008), Heeres et al. (2004)). Selten erfolgen auf Basis ausführlicher technisch orientierter Untersuchungen einerseits Differenzierungen zwischen technischen und wirtschaftlichen Potenzialen sowie andererseits damit einhergehende Auswirkungen auf das hoheitliche umweltpolitische Instrumentarium (Fraunhofer ISI und EfE Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (2003)).

Auch ergeben sich konzeptionell deutliche Unterschiede, da potentielle Energieeffizienzverbesserungen sehr unterschiedliche Ursachen haben, die z. T. erst im Rahmen von Dekompositionsanalysen deutlich werden. Auf der einen Seite beziehen sich Studien auf tatsächlich eingesparte Energiemengen, auf der anderen Seite erfolgt auf Basis verwendeter Energieträger eine darüber hinausgehende Analyse potentiell einzusparender CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zum Teil werden dabei auch Substitutionsbeziehungen unter-

---

<sup>30</sup> Vgl. beispielsweise Schleich (2009) sowie ausführlich den nachfolgenden Abschnitt.

schiedlicher Energieträger einbezogen (vgl. Kim und Worell (2002)) Entsprechend führt dies zu unterschiedlichen Aussagen im Hinblick auf einzel- oder gesamtwirtschaftliche Effekte. Auch sind damit divergierende Schlussfolgerungen in Bezug auf eine staatliche Eingriffsnotwendigkeit verbunden – einzelwirtschaftliche Betrachtungen fokussieren in der Tendenz individuell wirtschaftliche Potenziale, gesamtwirtschaftliche Potenzialanalysen schließen oft auf eine Notwendigkeit hoheitlicher Korrekturmaßnahmen.

Insgesamt entsteht der Eindruck, dass die in energieintensiven Branchen tendenziell in großem Umfang offengelegten Effizienzpotenziale in der Vergangenheit eine überdurchschnittliche Betrachtung erfahren haben, es führten bzw. führen Aktivitäten in diesen Branchen zu einer verstärkten Hebung der Potenziale, so dass in der Tendenz von einer Umkehr dieses Trends zugunsten bisher unterrepräsentierte Bereiche oder Sektoren – etwa weniger energieintensive Sektoren und organisationsinterne Aspekte – ausgegangen werden kann. Aktuelle Studien (Schröter et al. (2009), Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) (2010)) unterstreichen dies.

Entsprechend der unterschiedlich definierbaren Energieeffizienzpotenziale fallen empirische Studien vielfältig aus. Es werden sowohl Effizienzpotenziale anhand von gesamtwirtschaftlichen Fundamentaldaten über alle Sektoren hinweg ermittelt, als auch anhand von Umfragen Potenziale einzelner Industriesektoren berechnet. Dies führt zu einer großen Anzahl hochgerechneter Schätzungen

Insgesamt lassen die Erkenntnisse aus diesem Überblick vorhandener Studien den Schluss zu, *dass grundsätzlich* von einer Existenz offener Einsparpotentiale auszugehen ist. Für die weitere Analyse – insbesondere für die nachfolgend anstehende empirische Untersuchung des betrieblichen Nachfrageverhaltens im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland – wird daher angenommen, dass es für Betriebe Spielräume gibt, etwa auf steigende Elektrizitätspreise durch Anpassung im Produktionsprozess zu reagieren. Darüber hinaus ist festzustellen, dass bisherige Studien nur in sehr unterschiedlichem Ausmaß organisatorische Ablaufstrukturen und betriebswirtschaftliche Einflussfaktoren berücksichtigen – auch hier knüpft die empirische Analyse der vorliegenden Arbeit an.

## 2.5. Notwendigkeit staatlicher Marktregulierung der Energienachfrage aus umweltökonomischer Perspektive

Abschließend werden die grundsätzlichen Tatbestände einer staatlichen Markteingriffsnotwendigkeit zur Regulierung der Energienachfrage beleuchtet. Aus Sicht der umweltökonomischen Theorie liegt genau dann ein „Problem“ vor, sofern von Entscheidungen für oder gegen Energieeffizienzinvestitionen externe Umwelteffekte auf Dritte ausgehen. Basierend auf dem Verursacherprinzip – demnach dem Recht auf eine saubere Umwelt gegenüber dem Recht zur Umweltverschmutzung größeres Gewicht beigemessen wird – ergeben sich Falle einer Existenz externer Effekte Verbesserungspotenziale der gesamtwirtschaftlichen Allokationseffizienz.

Aus Klimaschutzsicht werden bei der Energieproduktion Schadstoffe freigesetzt, deren Schadenswirkungen jedoch nicht in das unternehmerische Kalkül einbezogen werden. Im Rahmen dieser negativen externen Effekte liegen die privaten Grenzkosten der Produktion (mithin: der Nutzung) unterhalb der sozialen Grenzkosten.<sup>31</sup> Auf dieser Argumentationslinie laufen zugleich die klassisch umweltökonomischen Analysen, nach der erst eine gesamtwirtschaftlich effiziente Ressourcenallokation eine Nutzenmaximierung aller Wirtschaftssubjekte ermöglicht.<sup>32</sup>

Hinsichtlich einer darüber hinausgehenden Eingriffslegitimationsgrundlage der *Ressourcenknappheit* rücken insbesondere Argumente einer intergenerativen Verteilung der Ressourcen in den Vordergrund. Im Zuge eines – nicht unmittelbar der Umweltökonomie zuzurechnenden, jedoch mitunter gemeinsam mit den vorgenannten Begründungen vorgebrachten – Arguments der *Versorgungssicherheit* treten schließlich politische Motive in den Vordergrund. Insbesondere werden hier nationalstaatliche Interessen vorgebracht, eine Abhängigkeit von wenigen, möglicherweise politisch instabilen Ländern, zu verhindern.

---

<sup>31</sup> Anders ausgedrückt: Es ist die optimale Menge an „public bads“ erreicht, sofern der Grenznutzen des Verschmutzers der Summe der Grenzkosten aller Geschädigten entspricht. Vgl. Feess (2007), S. 37 ff. Für eine Lehrbuchdarstellung umweltökonomischer Instrumentierung vgl. darüber hinaus Siebert (2008), Michaelis (1996).

<sup>32</sup> Bei Fokussierung auf CO<sub>2</sub>-Vermeidung ergibt sich aufgrund des Emissionshandels jedoch eine Besonderheit: Werden hier Energieeinsparungen bei Anlagen gefördert, die gleichzeitig am Emissionshandel beteiligt sind, können die dadurch nicht mehr benötigten Zertifikate verkauft werden – die absolute Emissionsmenge sinkt also nicht.

In der umweltökonomischen Politikberatung erfolgt eine Regulierung der Energieeffizienz in der Regel auf Basis umweltökonomischer Theorie nach der Maßgabe, dass die privatwirtschaftlich erzeugte Allokation in Form eines bestimmten Effizienzniveaus von dem gesamtwirtschaftlich optimalen Niveau aufgrund von Externalitäten abweicht.<sup>33</sup>

Zur Begründung hoheitlicher Einflussnahmen erfolgen darüber hinaus in unterschiedlichem Ausmaß Aufweichungen einzelner, der Neoklassischen Umweltökonomie zugrunde liegender Annahmen.<sup>34</sup> Diese umfassen in der Regel die Existenz unvollkommener Information der Akteure (Existenz von Transaktionskosten einer Energieeffizienzmaßnahme), asymmetrische Informationsverteilung (adverse Selektion, Prinzipal-Agent-Probleme, Investor-Nutzer-Dilemma) sowie unvollkommene Marktstrukturen (strategisches Handeln bei Marktmacht).<sup>35</sup> Es wird mithin argumentiert, dass Märkte nicht allein in der Lage sind, pareto-effiziente Allokationen herbeizuführen. Daher kann ein Markteingriff des Staates volkswirtschaftlich gerechtfertigt sein.

Weiterhin wurden, insbesondere vor dem Hintergrund betrieblicher Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen, Unternehmen bis vor wenigen Jahren tendenziell als singuläre und rational handelnde Einheit angesehen. Demgegenüber ist ein Trend zu beobachten, nach dem zunehmend auch innerbetriebliche Abläufe und Restriktionen Berücksichtigung finden. Vereinzelt werden auch Organisationsstrukturen in eine Ausgestaltung umweltpolitischer Maßnahmen einbezogen. Die KfW Bankengruppe (2005) etwa analysiert Hemmnisse und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienz in Unternehmen.

---

<sup>33</sup> Dabei erfolgt in der Regel ein Überblick über Ausmaß und Verortung von Energieeffizienzpotentialen. Anschließend werden bereits existierende Maßnahmen identifiziert, die direkt oder indirekt mit dem geplanten Eingriff überlappen; es wird also der realpolitische Rahmen abgesteckt. Ist das Analyseumfeld bekannt, erfolgt eine Beurteilung der instrumentellen Eignung unterschiedlicher Maßnahmenbündel hinsichtlich Effektivität und Effizienz. Im Falle mangelnder Energieeffizienz betrifft dies in der Regel eine ungenügende Widerspiegelung der gesamtwirtschaftlichen Kosten im Energiepreis.

<sup>34</sup> Wie Endres (2007) ausführt, kann zwar die grundlegende umweltökonomische Theorie um einzelne Annahmen, wie etwa Internalisierungsverhandlungen bei asymmetrischer Information, erweitert werden. Und auch Siebert (2008) erweitert Umweltökonomik nach neoklassischem Vorbild um Transaktionskostenaspekte. Jedoch erfüllen Modelle dieser Art nicht den Anspruch, realitätsnahe Gegebenheiten, in der Form komplexer und strategischer Handlungen in Unternehmen widerzuspiegeln. Hierzu gehören neben Such- und Informationskosten oben genannte ungleiche Informationsverteilung und Marktmacht. Darüber hinaus erweitert Feess (2007) die umweltökonomische Grundproblematik um asymmetrische Informationsverteilung, bezieht diese jedoch ebenso wenig auf organisationsinterne Verhaltensweisen.

<sup>35</sup> Zur Diskussion über Gründe offener Energieeffizienzpotentiale vgl. weiterhin Sorrell, et al. (2000), KfW Bankengruppe (2005), Bennear und Stavins (2007), Mennel und Sturm (2008), Schleich (2009), Prognos (2010).

Schleich (2009) untersucht in einer ökonometrischen Analyse unterschiedliche Hemmnisse gesteigerter Energieeffizienz. Insbesondere wird informatorischen Barrieren sowie Investor-Nutzer-Dilemma eine tragende Rolle zugewiesen. Darüber hinaus wächst die Erkenntnis, dass innerhalb des industriellen Sektors hinsichtlich unterschiedlicher Unternehmensarten und Unternehmensgrößen zu unterscheiden ist. In diesem Zusammenhang untersucht Prognos (2010) die Bedeutung von Energieeffizienz und Energiedienstleistungen in Bezug auf unterschiedliche Unternehmensgrößen.<sup>36</sup>

Grundsätzlich liegt die Schlussfolgerung nahe, offene Energieeffizienzpotentiale partiell als Allokationsproblem aufgrund von in individuellen Entscheidungen z. T. unberücksichtigten externen Effekten einzuordnen. Während Energieeffizienzverbesserungen auf der einen Seite durch individuelle Investitionsentscheidungen bestimmt werden, können eingesparte Ressourcen auf der anderen Seite auch allen übrigen Individuen in Form einer besseren Umweltqualität zugutekommen. Diese negativen Auswirkungen des Energiekonsums kommen in erster Linie durch CO<sub>2</sub> - Emissionen zustande. Vorausgesetzt, eine Nutzung fossiler Energieträger weist private Grenzkosten unterhalb sozialer Grenzkosten auf, kann dies zu einem gesamtwirtschaftlich ineffizienten Ergebnis führen – die Wohlfahrt ließe sich steigern, sofern negative externe Effekte den Verursachern eines übermäßigen CO<sub>2</sub> - Ausstoßes angelastet werden. Offensichtlich kann die Frage nach Verbesserungspotenzialen der Energieeffizienz also als umweltökonomische Frage angesehen werden.<sup>37</sup> Durch eine Second-Best-Erweiterung der restriktiven An-

---

<sup>36</sup> Vor dem Hintergrund *organisationsinterner* Handlungsstrukturen ist ein Trend zu verzeichnen, nach dem die Theorie des *Rational Choice*, deren Anwendung im Rahmen des *Public Choice* Ansatzes zunächst auf öffentliche Einrichtungen bezogen war, nunmehr erneut unter dem Oberbegriff des *Public Choice* zur Analyse privatwirtschaftlicher Entscheidungen Anwendung findet – die ihrerseits das Ergebnis von *Kollektiventscheidungen* großer Organisationsformen sind. Während dies im wissenschaftlichen Diskurs etwa von Kirsch (2004) als gemeinhin anerkannte Entwicklung aufgefasst wird, scheint sich diese Erkenntnis auf der anderen Seite erst allmählich in Verbindung mit umweltökonomischen bzw. energiewirtschaftlichen Fragestellungen in der wissenschaftlichen Politikberatung zu verbreiten.

<sup>37</sup> Eine notwendige Reduzierung des Energiekonsums – oder andersherum: eine Steigerung der Endenergieeffizienz – ist bei gegenwärtigem Ausbau regenerativer Energiequellen auch auf europäischer Ebene anerkannt und wird insbesondere durch die Richtlinie 2006/32/EG über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen sowie die Öko-Design-Richtlinie formuliert. Demgemäß müssen Mitgliedsstaaten von 2006 – 2015 einen Richtwert zur Energieeinsparung i. H. v. 9% festlegen.

nahmen der Neoklassischen Umweltökonomie lässt sich zudem ein realitätsnäheres Bild zeichnen, wobei tatsächliche marktliche Gegebenheiten erfasst werden.<sup>38</sup>

## **2.6. Zwischenfazit**

Ziel dieses Grundlagenkapitels war eine Einordnung des in der wissenschaftlichen Literatur unter sehr verschiedenen Voraussetzungen verwendeten Begriffes der *Energieeffizienz*. Offensichtlich existieren hierbei sehr unterschiedliche Definitionen, woraus sich eine vergleichsweise große Spannbreite zur Einschätzung von Energieeffizienzpotenzialen ergibt. Auf Basis eines Literatursurveys lassen die Ergebnisse insgesamt den Schluss zu, dass von einer Existenz offener Energieeffizienzpotentiale auszugehen ist. Für die weitere Analyse wird daher angenommen, dass für Betriebe Spielräume zur Anpassung ihres Energiekonsums bei veränderlichen Energiepreisen vorliegen. Darüber hinaus zeigt eine Durchsicht bisheriger Studien, dass hier – insbesondere mit Blick auf eine empirische Berücksichtigung betrieblicher Einflussfaktoren – jedoch weiterhin signifikanter Forschungsbedarf besteht.

Ferner lässt sich diese Problematik in einen umweltökonomischen Rahmen verorten. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund einer mangelnden Internalisierung externer Effekte grundsätzlich eine staatliche Markteingriffslegitimation zur Regulierung des betrieblichen Energiekonsums vorliegt.

Auf dieser Basis steht im weiteren Verlauf – exemplarisch – der Elektrizitätskonsum im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland im Vordergrund. Im nachfolgenden Kapitel erfolgt hierzu eine Bestimmung von Einflussdeterminanten der betrieblichen Elektrizitätsnachfrage sowie von Möglichkeiten, zuvor dargelegte Anpassungshemmnisse empirisch anhand von amtlich verfügbaren Firmendaten in Deutschland zu erfassen. Im Weiteren erfordert dies eine nähere Betrachtung, in welcher Form bestimmte Endverbrauchergruppen auf Änderungen des Marktrahmens reagieren – oder anders ausgedrückt: durch welche Eigenschaften ihre Nachfragefunktionen nach Energie charakterisiert sind.

---

<sup>38</sup> Eine allgemeine Definition des Second-Best-Problems besagt, dass, sofern gesamtwirtschaftliche Beschränkungen die Erreichung eines Kriteriums für Pareto-Optimalität verhindern, die Erfüllung der anderen Kriterien für Pareto-Optimalität nicht zwangsweise zu einer Wohlfahrtsverbesserung führen. Vgl. Lipsey und Lancaster (1956). Diese Beschränkungen können sich etwa auf politische Rahmenbedingungen oder auch marktliche Unvollkommenheiten beziehen.

### **3. Einflussdeterminanten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage**

#### **3.1. Vorbemerkung**

Im vorangegangenen Kapitel erfolgte eine Aufarbeitung des theoretischen Hintergrundes betrieblicher Energienachfrage sowie des Begriffs der Energieeffizienz. Unter den gegebenen Annahmen ist insgesamt davon auszugehen, dass signifikante Potentiale zur Realisierung von Energieeffizienzpotentialen sektor- und branchenübergreifend sowie insbesondere im Bereich des Elektrizitätskonsums existieren. In begrenztem Maße können unterstützend dazu staatliche Markteingriffe gerechtfertigt sein. Ausgehend von diesem grundlegenden Analyserahmen wird der Fokus der Untersuchung im Folgenden auf Anpassungshemmnisse des industriellen Stromkonsums im Verarbeitenden Gewerbe gerichtet. Die Frage lautet:

*Inwiefern können Anpassungshemmnisse dazu führen, dass unterschiedliche Betriebe in unterschiedlichem Ausmaß in der Lage sind, ihre Produktionsstrukturen an veränderte Strompreise anzupassen und in welcher Form ist dies formal in Nachfragefunktionen darstellbar?*

Es ist zu vermuten, dass sich Betriebe mit besonders niedrigen Hemmnissen bei steigenden Strompreisen tendenziell flexibler – etwa durch Veränderung der Betriebsabläufe und des Maschinenparks – anpassen. Dagegen werden Betriebe, bei denen Hemmnisse sehr ausgeprägt sind, auf steigende Strompreise vergleichsweise weniger flexibel reagieren.

Es existiert ein breites Forschungsfeld zur Frage, inwiefern bestimmte Anpassungshemmnisse unter der Annahme eines konstanten Marktrahmens – d. h. bei konstanten Elektrizitätspreisen – zu adressieren sind. In der konkreten Politikausgestaltung wird diesen Erkenntnissen z. T. bereits gefolgt, etwa durch die Gestaltung informativer Kampagnen zur Offenlegung betrieblicher Einsparpotentiale. Auch existieren in zunehmendem Maße Förderprogramme, die informative Elemente mit einer konkreten finanziellen

Förderung bestimmter Einsparmaßnahmen koppeln.<sup>39</sup> Weit weniger Aufmerksamkeit erhielt bislang eine Analyse betrieblicher Nachfragereaktionen nach Elektrizität bei Veränderung der Strompreise unter expliziter Berücksichtigung von Hemmnisursachen.

Die Art der hier untersuchten Anpassungshemmnisse in Abhängigkeit von Preisveränderungen werden von Chetty (2012) unter dem Begriff „*Optimization Frictions*“ subsumiert. Chetty definiert den Umfang dieser „*Anpassungsfriktionen*“ als den Nutzenverlust (infolge mangelnder Verhaltensanpassungen an veränderte Güterpreise), den ein Wirtschaftssubjekt im Vergleich zu einem theoretisch optimalen Wohlfahrtsoptimum gerade noch akzeptiert. Anders ausgedrückt: vor dem Hintergrund der gegebenen Nutzenfunktionen ist eine Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen aus Sicht des einzelnen Wirtschaftssubjekts nur dann rational, sofern mit dieser Anpassung verbundene Kosten kleiner als der erwartete Zusatznutzen sind. Chetty nennt insbesondere zwei Gründe, die zu suboptimalen Anpassungsentscheidungen führen können: Anpassungskosten und verzerrte Preiswahrnehmungen. Am Beispiel des Arbeitsangebots von Haushalten wird formal gezeigt, dass beobachtete Nachfrageelastizitäten aufgrund dieser Anpassungsfriktionen daher systematisch von theoretisch optimalen Nachfrageelastizitäten abweichen. Zwar argumentiert Chetty nicht auf Grundlage betrieblicher Produktionsfunktionen, sondern am Beispiel von Nutzenfunktionen privater Haushalte, doch lassen sich die Grundmuster auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand übertragen. Auf der Ebene privater Haushalte werden Nutzenpräferenzen durch individuelle Nutzenfunktionen bestimmt; eine Veränderung des Konsumverhaltens als Reaktion auf veränderte Güterpreise spiegelt individuelle Nutzenpräferenzen.

Auf betrieblicher Ebene und im Kontext der damit verbundenen Produktionsfunktionen existieren hingegen keine „Präferenzen“ in diesem Sinne. Vielmehr werden Entscheidungen zum Bezug bestimmter Güter durch Produktionsfunktionen – unter der Annahme vollkommenen Wettbewerbs zur kostenoptimalen Erzeugung eines bestimmten Outputs – determiniert. Im vorangegangenen Kapitel erläuterte Hemmnisstrukturen können zu Friktionen der Produktionsstruktur führen, so dass der kostenoptimale Produktionspfad verlassen wird. Das Ziel einer auf diese Hemmnisse ausgerichteten Analyse sollte also darin liegen, die in empirisch ermittelten Produktionsfunktionen

---

<sup>39</sup> Im Kontext der nationalen Klimaschutzinitiative betrifft dies etwa das Impulsprogramm für Klimaschutzmaßnahmen an gewerblichen Kältemaßnahmen, vgl. [http://www.bmu-klimaschutzinitiative.de/de/projekte\\_nki?p=1&d=335](http://www.bmu-klimaschutzinitiative.de/de/projekte_nki?p=1&d=335) [abgerufen am 15.9.2012].

enthaltenen Anpassungsfriktionen von allen übrigen Einflussdeterminanten der Produktion zu trennen und möglichst genau zu isolieren.

Ziel dieses Kapitels ist die theoretische Bestimmung betrieblicher Produktionsfunktionen nach Elektrizität, die im Weiteren als Grundlage für eine empirische Nachfrageschätzung dienen. Die besondere Herausforderung besteht nun darin, einen in der Literatur gewöhnlich verwendeten neoklassischen Zusammenhang um Anpassungsfriktionen zu erweitern. Erst hierdurch lassen sich Anpassungsfriktionen von anderweitigen betrieblichen Einflussfaktoren trennen.

In einem ersten Schritt wird zunächst eine grundlegende betriebliche Nachfragefunktion nach Elektrizität hergeleitet. Im zweiten Schritt werden Einflussdeterminanten betrieblicher Energienachfrage mit möglichen Bezügen zu Anpassungshemmnissen identifiziert. Dies ist notwendig, um tatsächlich beurteilen zu können, um welche Einflussfaktoren eine Nachfragefunktion zu erweitern ist. Diese Analyse folgt einem metaanalytischen Schema mit dem Ziel, vergleichbare Gruppen hinsichtlich Existenz und Ausmaß von Anpassungshemmnissen zu identifizieren. Ziel ist es, einheitliche Kriterien herzuleiten und eine Klassifizierung zu ermöglichen; die Grundlage dazu bildet ein breites, jedoch hinsichtlich individuell getroffener Annahmen und berücksichtigter Branchen sehr heterogenes Forschungsfeld.

Durch Erweiterung der betrieblichen Nachfragefunktion wird in einem dritten Schritt eine Schätzgleichung definiert, deren empirische Berechnung anhand des vorliegenden Datensatzes amtlicher Firmendaten des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland konkrete Aussagen über betriebliche Anpassungsreaktionen an veränderte Strompreise verspricht. Der erkenntnisleitende Gedanke dieses Kapitels besteht mithin in einer Ermittlung betrieblicher Nachfragefunktionen nach Elektrizität, die durch Erfassung<sup>40</sup> möglichst vieler und mit Blick auf Anpassungshemmnisse wichtiger Einflussdeterminanten Auskunft über Anpassungsreaktionen bei Strompreisveränderungen geben.

---

<sup>40</sup> Dies ist unter der ökonometrischen Bezeichnung einer „Kontrollierung“ wichtiger Einflussdeterminanten zu verstehen.

## **3.2. Herleitung charakteristischer Nachfragefunktionen nach Elektrizität**

Zunächst wird ein einfaches Nachfragemodell nach Elektrizität auf Basis grundlegender produktionsfunktionaler Zusammenhänge hergeleitet.<sup>41</sup> Es folgt eine sukzessive Erweiterung um betriebliche Einflussgrößen.

### **3.2.1. Spezifizierung eines einfachen Nachfragemodells nach Elektrizität**

Elektrizität stellt einen Input in den Produktionsprozess eines Betriebes dar. Unter der Annahme, dass Preise für Elektrizität sowie für alle weiteren Inputfaktoren exogen vorgegeben sind und ein Betrieb zur Minimierung der Produktionskosten bestrebt ist, lässt sich die Nachfrage nach Elektrizität als Funktion der Faktorpreise sowie der Produktionshöhe darstellen.<sup>42</sup> Als Ausgangspunkt einer Darstellung des Zusammenhangs der Elektrizitätsnachfrage wird das Vorgehen von Labandeira et al. (2012) zugrunde gelegt.<sup>43</sup>

In der kurzen Frist ist der Betrieb zur Minimierung der Produktionskosten, bedingt durch Elektrizitätspreise ( $p^e$ ), weitere Inputpreise ( $p^o$ ) sowie Fixkosten in Abhängigkeit der zugrunde liegenden Produktionstechnologie bestrebt. Die Fixkosten werden durch einen kurzfristig nicht variablen Kapitalstock  $k$  dargestellt.

$$\text{Min } p^e e + p^o o + FC$$

u. d. N.

$$l = l(e, o, \bar{k})$$

Eine Lösung dieses Minimierungsproblems führt zur betrieblichen Kostenfunktion, wobei zwischen variablen Kosten VC und Fixkosten FC unterschieden wird.

$$c = c(p^e, p^o, l, \bar{k}) = FC(\bar{k}) + VC(p^e, p^o, l)$$

---

<sup>41</sup> Vgl. für eine Lehrbuchdarstellung z. B. Wied-Nebbeling (2009).

<sup>42</sup> Vgl. Bjorner, et al. (2001).

<sup>43</sup> Vgl. für energieökonomische Grundlagen zudem Erdmann und Zweifel (2008).

Unter Anwendung von Shephards Lemma<sup>44</sup> führt eine partielle Ableitung der Kostenfunktion nach dem Inputpreis für Elektrizität zu

$$e = \frac{\partial c(p^e, p^o, l, \bar{k})}{\partial p^e} = \frac{\partial VC(p^e, p^o, l)}{\partial p^e} = q(p^e, p^o, l).$$

Wird nun angenommen, dass der Elektrizitätseinsatz unabhängig von anderweitigen Inputfaktoren ist und damit die Nachfrage nach Elektrizität nicht von sonstigen Inputpreisen abhängt, lassen sich diese übrigen Preisvektoren aus der Nachfragegleichung herauskürzen. Wird darüber hinaus ein konstanter Outputpreis zugrunde gelegt und der Annahme gefolgt, dass Elektrizität zumindest in der kurzen Frist durch die Produktionshöhe bestimmt wird, ergibt sich ein funktionaler Zusammenhang zwischen Elektrizitätsbezug, Bruttoproduktionswert und Elektrizitätspreisen.

Während in der *kurzen Frist* lediglich betriebliche Reaktionsmöglichkeiten in Form einer Outputvariation und damit einhergehende Veränderungen der Inputfaktoren existieren, eröffnen sich in der *langen Frist* strukturelle Anpassungsmöglichkeiten. Langfristig bestehen für Betriebe Möglichkeiten, durch Anpassungen des Maschinenparks bzw. der Produktionsprozesse auf veränderte Rahmenbedingungen zu reagieren – in obiger Darstellungsweise bedeutet dies nunmehr auch Variationsmöglichkeiten des Kapitalstocks  $k$ .

### 3.2.2. Ökonometrische Darstellung von Nachfragemodellen

Unter der Annahme konstanter Produktionsfunktionen erfordert eine empirische Darstellung betrieblicher Nachfragefunktionen nach Elektrizität bei kurzfristiger Betrachtung mindestens Kenntnisse über Produktionsoutputs und Strompreise. Die Erweiterung dieses Nachfragemodells um langfristige Anpassungsreaktionen erfordert darüber hinaus Einflussdeterminanten, die Auskunft über Umfang und Geschwindigkeit dieser Anpassungsreaktionen geben. Darüber hinaus lassen sich weitere betriebspezifische Charakteristika durch Integration weiterer bekannter Modellgrößen ebenfalls kontrollieren. Letztlich können hierdurch Nachfragefunktionen für Betriebsgruppen mit jeweils homogenen Produktionsstrukturen formuliert werden.

---

<sup>44</sup> Vgl. Shephard (1953).

Nachfolgend wird zunächst ein grundlegender Analyserahmen ökonometrischer Regressionsmodelle dargestellt. Die abhängige Variable  $y$  wird erklärt durch einen Vektor unabhängiger Regressoren  $x'_{it}$ . Die unbeobachtete Heterogenität  $u_i$  beschreibt individuelle und zeitkonstante Effekte (etwa feste Betriebsabläufe oder Organisationsstrukturen). Der Fehlerterm  $\varepsilon_{it}$  umfasst alle unbeobachteten Faktoren, die sich im Zeitverlauf ändern.<sup>45</sup>

$$y_{i,t} = x'_{i,t}\beta + u_i + \varepsilon_{i,t}$$

Wie Griffin und Schulman (2005) anführen, lassen sich langfristige betriebliche Anpassungsreaktionen modellieren, indem zusätzlich eine dynamische Modellkomponente in Form vergangener Strombezüge zur Nachfragefunktion hinzugefügt wird. Lags des Stromkonsums werden herangezogen, da sich strukturelle Anpassungsgeschwindigkeiten zu einem Teil durch Unterschiede zwischen vergangenen und gegenwärtigen Ausprägungen des Stromkonsums ergeben.

Aus ökonometrischer Sicht ergibt sich die Nachfrage nach Elektrizität daher zunächst als abhängige Variable des Strompreises ( $p_t$ ), eines Vektors unterschiedlicher Betriebscharakteristika ( $z_{i,t}$ ), eines Lags des Stromkonsums, einer Konstante ( $\alpha$ ) sowie eines Störterms (bestehend aus einem zeitinvarianten und einem zeitvariantem Element). Griffin und Schulman (2005) zeigen, dass sich Nachfrageeffekte aufgrund technischer Anpassungen auffangen lassen, indem saisonale Jahresdummies in die Schätzgleichung integriert werden. Aufgrund der dortigen Ergebnisse wird davon ausgegangen, dass nicht beobachtbare Einflussfaktoren durch Einfügung einer technischen Komponente in Form von Jahresdummies ( $T_t$ ) kontrolliert werden können. In ökonometrischer Schreibweise ergibt sich der folgende Zusammenhang:

$$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_i z_{i,t} + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$$

Die nun hergeleitete dynamische Nachfragefunktion bietet eine methodische Grundlage zur empirischen Analyse des betrieblichen Nachfrageverhaltens nach Elektrizität im Verarbeitenden Gewerbe. Insbesondere wird auf dieser Basis eine Differenzierung zwischen *kurz-* und *langfristigen* Anpassungsreaktionen ermöglicht. Noch nicht geklärt ist hingegen, inwiefern sich Einflüsse betriebsspezifischer Einflussdeterminanten innerhalb dieser Nachfragereaktion tatsächlich isolieren lassen. Dazu werden nachfolgend

---

<sup>45</sup> Vgl. Greene (2012), S. 384 ff.

Zusammenhänge zwischen strukturellen betrieblichen Faktoren und Anpassungsvorgängen an veränderliche Marktbedingungen untersucht.

### **3.3. Identifikation von Einflussdeterminanten mit Bezug zu Anpassungsvorgängen**

Im folgenden Schritt werden strukturelle Einflussdeterminanten auf betrieblicher Ebene identifiziert, anhand derer Rückschlüsse auf Anpassungsvorgänge zur Energieeinsparung möglich sind. Im Kontext der nachfolgenden Nachfrageschätzung ist dies notwendig, damit Einflussfaktoren zielgenau kontrolliert werden können. Da bisher keine einheitlichen Definitionen zur genauen Wirkweise vorliegen, werden vorhandene Studien mit einem Forschungsbezug hierzu herangezogen und nach metaanalytischer Vorgehensweise strukturiert.<sup>46</sup> Schließlich soll eine Identifikation *vergleichbarer* Gruppen hinsichtlich Existenz und Ausmaß von Anpassungsvorgängen ermöglicht werden. Letztlich sollen diese Ergebnisse dazu dienen, die zuvor hergeleitete Nachfragefunktion um entsprechende Elemente zu erweitern.

#### **3.3.1. Literatursurvey**

In der näheren Vergangenheit bildeten Einflussdeterminanten des betrieblichen Nachfrageverhaltens nach Elektrizität sowie Hemmnisse steigender Energieeffizienz Untersuchungsschwerpunkte sehr unterschiedlicher Studien. Die Untersuchungen lassen sich auf unterschiedliche Sektoren einerseits sowie unterschiedliche Länder andererseits differenzieren. Mit Blick auf die zugrunde liegende Forschungsfrage – betriebliches Elektrizitätsnachfrageverhalten in Deutschland – werden insbesondere Studien mit einem Fokus auf westliche Länder betrachtet. Darüber hinaus fließen keine Studien

---

<sup>46</sup> Vgl. Schnell, et al. (2008), S. 467 f. sowie Cooper und Hedges (1994). Formal werden im Rahmen einer Metaanalyse Ergebnisse bisheriger Studien verwendet, wobei anhand einer Standardisierung von Merkmalen, wie Stichprobengröße oder Art und Weise der Verwendung erklärender Variablen, eine Vergleichbarkeit der Studien untereinander hergestellt wird. Ein striktes Folgen der Vorgehensweise würde darüber hinaus eine Codierung der Studien sowie die Generierung eines neuen Datensatzes bedeuten, so dass das jeweils hergeleitete „Effekt-Stärkemaß“ untereinander vergleichbar ist. Ein solches Vorgehen ist im vorliegenden Fall nicht möglich, es erfolgt vielmehr eine Durchsicht vorhandener Studien nach metaanalytischem Vorbild, so dass übereinstimmende Einflussfaktoren identifiziert werden können.

mit einem expliziten Schwerpunkt auf die übrigen volkswirtschaftlichen Sektoren (öffentlicher Sektor, private Haushalte, GHD) ein.<sup>47</sup>

In Bezug auf industrielles Energienachfrageverhalten und deren Hemmnisse in Deutschland wurde durch die KfW Bankengruppe (2005) eine Umfrage unter 521 Unternehmen mit einem maximalen Jahresumsatz von 50 Mio. € durchgeführt. Im Einzelnen erfolgte eine Differenzierung der betrachteten Branchen in Verarbeitendes Gewerbe, Bau, Einzelhandel, Groß- und Außenhandel und Dienstleistungen. Befragungsschwerpunkte lagen auf den Bereichen des Stellenwertes des Themas Energieeffizienz, Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen, Hemmnisse für Energieeffizienz, Erfolgsfaktoren für Energieeffizienz sowie Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz. Auf der einen Seite werden Korrelationen zwischen Energiekostenanteilen und Relevanz des innerbetrieblichen Themas Energieeffizienz nachgewiesen, zum anderen steigt die Aktualität dieses Themas mit zunehmender Unternehmensgröße (Umsatz). Weiterhin steigt der Anteil des speziell zu Fragen zur Senkung des Energieverbrauchs geschulten Personals deutlich mit steigender Unternehmensgröße (Umsatz). Tatsächlich durchgeführte Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung stehen schließlich in einem kausalen Zusammenhang, insbesondere wird eine sehr deutliche Zunahme ab einer Umsatzgrößenordnung von 25 Mio. € betont. Ebenfalls hervorgehoben wird eine deutliche Zunahme von Anpassungsmaßnahmen in Abhängigkeit steigender Energiekostenanteile, gemessen am Umsatz.

Hinsichtlich Art und Weise der Energieeinsparungen zeichnen die Ergebnisse in Bezug auf jeweils betrachtete Branchen unterschiedliche Bilder. Während etwa im Dienstleistungssektor Investitionen zur Verbesserung der energetischen Gebäudetechnik dominieren, stehen im Verarbeitenden Gewerbe Produktionsprozesse im Vordergrund. Ferner wird konstatiert, dass durchweg vornehmlich eigene Mittel zur Finanzierung verwendet werden sowie dass eine Steigerung der Energieeffizienz in erster Linie zur Senkung der Energiekosten sowie als Reaktion auf zukünftig erwartete Energiepreisanstiege durchgeführt wird.

Prognos (2010) führte im Auftrag der KfW eine Aktualisierung dieser Studie durch, wobei sich die Zielgruppe der betrachteten Branchen nicht signifikant veränderte. Der

---

<sup>47</sup> Per Annahme unterliegen andere volkswirtschaftliche Sektoren anderen Anreizstrukturen, eine Übertragbarkeit auf das Verarbeitende Gewerbe ist daher nicht gegeben.

Schwerpunkt lag auf kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Generell werden hierbei die vormals ermittelten Ergebnisse insbesondere zur innerbetrieblichen Aktualität des Themas Energieeffizienz bestätigt. Ebenfalls sind Unternehmen mit zunehmender Größe und Energieintensivität überdurchschnittlich häufig zur Gruppe der „aktiven“ Unternehmen mit relativ flexibleren Reaktionen zur Senkung energiebedingter Kosten durch Realisierung von Energieeffizienzmaßnahmen zuzuweisen. Vereinzelt erfolgten darüber hinaus umfragebasierte Studien durch regionale Industrie- und Handelskammern.<sup>48</sup> Insgesamt bestätigen diese Umfragen zuvor identifizierte Zusammenhänge.

Weitere umfragebasierte Studien in Bezug auf Deutschland erfolgten durch Schleich und Gruber (2008) sowie Schleich (2009). Schleich (2009) untersucht auf Umfragebasis Barrieren und Einflussfaktoren betrieblicher Energieeffizienz, wobei ein Cross Section Datensatz mit knapp 3.000 Unternehmen zugrunde gelegt wird. Im Vergleich zu vorangehend erläuterten Studien verwendet diese Untersuchung eine breite und repräsentative Erhebung, es werden unter Zugrundelegung logistischer Regressionsmodelle Wahrscheinlichkeiten ermittelt, dass Unternehmen im Hinblick auf Energieeffizienz-Anpassungen „aktive“ oder „inaktive“ Positionen einnehmen. Dabei dienen verschiedene Unternehmenscharakteristika, wie Beschäftigtenanzahl, Informationsbedarf, Zeitmangel, anteilige Energiekosten oder der Umfang der verwendeten Büroflächen als erklärende Variablen. Im Querschnitt über alle Branchen werden statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen zunehmender Unternehmensgröße (Beschäftigte und Umsatz) und einem veränderten Nachfrageverhalten nach Elektrizität infolge steigender Aktivitäten zur Steigerung der Energieeffizienz beobachtet.

Eine zusätzliche Differenzierung nach einzelnen Branchen führt zu einem ausführlicheren Bild; demnach unterscheidet sich die Signifikanz der Hemmnisse – die letztlich eine Veränderung der Elektrizitätsnachfrage bestimmen – z. T. deutlich *zwischen* einzelnen Branchen. Unterschiede ergeben sich etwa bei einem Vergleich informatorischer Hemmnisse oder Zeitmangel zwischen unterschiedlichen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes.<sup>49</sup> Von besonderem Interesse ist hier die Schlussfolgerung einer vom betrach-

---

<sup>48</sup> Hierzu zählen die Industrie- und Handelskammern Bonn/Rhein-Sieg, Rheinland-Pfalz sowie Schleswig-Holstein.

<sup>49</sup> Schleich und Gruber (2008) konzentrieren eine ähnlich aufgebaute Analyse auf Basis desselben Datensatzes auf einen Vergleich von Einflussdeterminanten von Energieeffizienz-Hemmnissen unterschiedlicher Sub-Sektoren bzw. zugrunde liegender Branchen des GHD-Sektors.

teten Sektor unabhängigen Relevanz der Unternehmensgröße. Mit Blick auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand ist dies als Indiz zu werten, dass Eigenpreiselastizitäten der Nachfrage nach Elektrizität mit unterschiedlichen Größenklassen der betrachteten Betriebe in einem positiven Zusammenhang stehen – dass mithin steigende Betriebsgrößen mit zunehmenden Elastizitäten einhergehen.

In diesem Zusammenhang ist weiterhin eine Studie von Schröter et al. (2009) hervorzuheben. Dort werden ebenfalls Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen betrieblichen Größenklassen (in Bezug auf Beschäftigte) und Anpassungsbereitschaften zur Energieeinsparung thematisiert. Während dortige Schlussfolgerungen auf der einen Seite die bisher dargestellten Zusammenhänge bestätigen, wird auf der anderen Seite konstatiert, dass das Ausmaß der Energieeinsparpotentiale grundsätzlich *unabhängig* von der Betriebsgröße zu sein scheint. *Sofern* Einsparpotentiale also identifiziert werden, sind – unabhängig von der Betriebsgröße – dieselben Diffusionsgeschwindigkeiten zur Hebung dieser Potentiale und zur Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen zu beobachten. Diese Beobachtung unterstreicht, dass Anpassungsmöglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz tatsächlich signifikant von Hemmnissen abhängen und weniger Unterschiede betriebsspezifischer Potentialhöhen ausschlaggebend sind.

Während die vorangehend dargestellten Untersuchungsergebnisse Kausalzusammenhänge insbesondere zwischen Betriebsgröße und Energieintensität betreffen, rückt in einer Analyse durch de Groot et al. (2001) am Beispiel der Niederlande die Signifikanz weiterer Betriebscharakteristika mit Bezug auf Anpassungshemmnisse des betrieblichen Elektrizitätskonsums bei zunehmender Belastung durch steigende Energiepreise in den Vordergrund. Zu den betrachteten Einflussgrößen zählen dabei insbesondere anteilige Energiekosten am Umsatz, Investmentquote am Umsatz, Gewinn- / Umsatzverhältnis, Beschäftigtenanzahl, wahrgenommene Konkurrenz sowie Internationalitätsgrad der Konkurrenz.<sup>50</sup> Eine Berücksichtigung unterschiedlicher Branchen des Verarbeitenden Gewerbes (chemische Industrie, Metallverarbeitung, Maschinenbau, Nahrungsmittel, Papier, Garten- /Gewächshausanbau, Baustoffe sowie die Textilindustrie) erfolgt durch Eingliederung von Dummy-Variablen in Regressionsgleichungen. Die Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass branchenspezifische Wettbewerbsintensitäten mit Anpassungshemmnissen (insbesondere Informationsbedarf zur Identifi-

---

<sup>50</sup> Gemessen als Anteil der Konkurrenz mit Sitz in den Niederlanden oder in anderen Ländern.

zierung von Einsparpotentialen) negativ korrelieren. Folglich sind Anpassungsreaktionen in Bezug auf eine schnellere Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen ausgeprägter, je konkurrenzintensiver jeweils betrachtete Branchen sind. Darüber hinaus steigt dieser Anpassungsdruck mit einer zunehmend internationalen Unternehmensausrichtung. Schließlich sinkt die Bereitschaft, zusätzliche steuerliche Belastungen in den Energiepreisen auf nachgelagerte Wirtschaftssubjekte zu überwälzen, je internationaler ein Betrieb ausgerichtet ist.

Eine tendenziell niedrigere Anpassungsbereitschaft im Bereich kleiner und mittlerer Industrie- und Gewerbebetriebe aufgrund unterschiedlicher Anpassungshemmnisse wird schließlich auch durch Schmid et al. (2003) betont. Es wird angenommen, dass mit zunehmender Betriebsgröße Hemmnisse aufgrund von Informations- und Motivationsmängeln zunehmen. Es wird in diesem Zusammenhang von einer Eignung der Variable „Betriebsgröße“ als Stellvertreter für ein Ausmaß vorliegender Anpassungshemmnisse ausgegangen. Auch wird die Bedeutung finanzieller Restriktionen betont, *sofern* Anpassungsmöglichkeiten tatsächlich identifiziert wurden. Letztere beruhen auf besonders hohen Anforderungen an eine Investition in Energieeffizienztechnologien aufgrund sehr kurzer geforderter Amortisationszeiten von ein bis zwei Jahren sowie auf Vorbehalten gegen Investitionen, da diese im Bereich der Energieeffizienz oft Querschnittstechnologien betreffen, so dass sich letztlich Beeinträchtigungen eines reibungslosen Betriebsablaufes ergeben können.

Anhand eines umfragebasierten Datensatzes griechischer Industriebetriebe identifiziert Sardanou (2008) Anpassungsrigiditäten in unterschiedlichen Branchen sowie in Abhängigkeit unterschiedlicher Betriebscharakteristika. Neben dem Energiekostenanteil an betrieblichen Gesamtkosten wurden statistisch signifikante Zusammenhänge im Hinblick auf Energieeinsparmaßnahmen für Investitionsausgaben und die Anzahl der Beschäftigten identifiziert.<sup>51</sup>

Prognos (2007) identifizieren und bewerten unterschiedliche technische Energieeinsparmöglichkeiten sowie deren Durchführungshemmnisse. Insbesondere wird darin die Bedeutung des Energiekostenanteils am Bruttoproduktionswert unterschiedlicher Bran-

---

<sup>51</sup> Ein struktureller Vergleich zwischen der griechischen Industrie mit dem Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland ist möglicherweise nur eingeschränkt durchführbar. Insgesamt stehen diese Erkenntnisse jedoch mit bisher identifizierten Zusammenhängen im Einklang

chen („Energiekostensensitivität“) und Auswirkungen steigender Energiepreise auf die Energienachfrage sowie Energieeinsparmaßnahmen thematisiert. Die Spannweite dieser Energiekostensensitivität liegt zwischen einem Minimum von 0,8% für den Maschinenbau und einem Maximum von 17,5% für die Zementindustrie. Steigende Energiepreise führen demnach zu einer Verkürzung des Amortisationszeitraums von Energieeffizienzinvestitionen. Hierdurch steigt deren Attraktivität im Vergleich zu konkurrierenden innerbetrieblichen Investitionsmaßnahmen, so dass diese eher realisiert werden. Allerdings ist zu beachten, dass steigende Energiepreise zudem zu einer forcierten Entwicklung technologischer Energieeinsparmöglichkeiten beitragen und sich daher langfristig eine Erhöhung der aus Betriebssicht wirtschaftlichen Prozesssubstitutionen ergeben kann. Die nachfolgende Tabelle fasst die in den einzelnen Studien ermittelten Einflussfaktoren zusammen.

**Tabelle 3: Hemmnisstruktur und Einflussdeterminanten**

Autor	Land	Studie	Einflussdeterminanten
de Groot (2001)	NL	Umfragebasierte Studie, Hemmnisse und Einflussdeterminanten	Energiekostenanteile Investmentquote Profitabilität Beschäftigte Wettbewerbsintensität Internationale Ausrichtung
KfW (2005) + Prognos (2010)	DE	Umfrage, KMU	Energiekostenanteile Umsatz Beschäftigte
Prognos (2007)	DE	Technische / Bottom-Up Analyse in Verbindung mit branchenspezifischen Makrokennziffern	Energiekostenanteile Bruttoproduktionswerte
Sardianou (2008)	GR	Umfragebasierte Studie, Hemmnisse und Anpassungsrigiditäten	Energiekostenanteile Investmentquote Beschäftigte
Schleich (2009)	DE	Hemmnisse und Einflussdeterminanten	Energiekostenanteile Umsatz Beschäftigte
Schmidt et. al. (2003)	DE	Potenzial- und Hemmnisanalyse im Bereich Industrie und Kleinverbrauch	Umsatz Beschäftigte
Schröter et. al. (2009)	DE	Energieeffizienz in der Produktion	Beschäftigte

Quelle: Eigene Darstellung

### **3.3.2. Operationalisierung: Einflussdeterminanten und betriebliche Anpassungsreaktionen**

Obwohl in den vorangehend beschriebenen Studien z. T. unterschiedliche Branchen, unterschiedliche Länder oder unterschiedliche Annahmen zugrunde gelegt werden, ergeben sich deutliche Überschneidungen und klare Muster hinsichtlich der identifizierten Wirkungszusammenhänge. Insbesondere werden Zusammenhänge zwischen der Größe eines Betriebes und damit einhergehenden Anpassungsmöglichkeiten an veränderte Energiepreise in fast allen Untersuchungen thematisiert. Erfolgt eine Definition der Betriebsgröße über die Mitarbeiterzahl, werden mit steigender Beschäftigtenanzahl zunehmende Anpassungsmöglichkeiten durch einen innerbetrieblich ausgeprägten und flexiblen Fundus an Fachwissen ermöglicht. Hemmnissen aufgrund mangelnder Informationsverarbeitung und hohen Transaktionskosten lassen sich leichter begegnen. de Groot et al. (2001) betonen dies nach Auswertung ihres Datensatzes niederländischer Betriebe explizit. Nicht nur können isolierte Effekte nachgewiesen werden, wonach große Informationshemmnisse bei kleinen Betrieben existieren, darüber hinaus lassen sich auch statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen Hemmnissen und Wettbewerbsintensitäten sowie einer betrieblichen Investmentquote konstatieren. Im Falle steigender Betriebsgröße aufgrund eines höheren Umsatzes fallen Kapitalbeschränkungen weniger ins Gewicht. Die Erkenntnisse der unterschiedlichen Studien lassen ebenfalls den Schluss zu, dass zwischen der Energieintensität eines Betriebes, gemessen an Energiekostenanteilen, und Anpassungshemmnissen ein signifikanter Zusammenhang besteht.

#### **3.3.2.1. Spezifizierung der Einflussdeterminanten**

Anhand der in den betrachteten Studien identifizierten Wirkungszusammenhänge erfolgt eine Operationalisierung der genannten Einflussdeterminanten mit Blick auf betriebliche Anpassungsreaktionen.

Grundsätzlich lassen sich Einflussdeterminanten in zwei Ebenen differenzieren: zum einen deuten die identifizierten Wirkungszusammenhänge darauf hin, dass betriebliche Anpassungsreaktionen des Elektrizitätskonsums von individuell-betrieblichen Faktoren abhängen; zum anderen scheinen Anpassungsreaktionen branchenspezifisch zu divergieren. Individuell-betriebliche Einflussdeterminanten umfassen die Anzahl der Beschäftigten, der Umsatz oder etwa die Investmentquote. Branchenspezifisch können sich

unterschiedliche Auswirkungen auf Anpassungsreaktionen etwa durch eine branchenübliche Wettbewerbsintensität ergeben. Darüber hinaus ist denkbar, dass einzelne individuell-betrieblichen Einflussdeterminanten in bestimmten Fällen gleichzeitig einer spezifischen Branche zugeschrieben werden können. Dies ist insbesondere im Falle besonders hoher oder niedriger Energieintensitäten möglich: Während etwa die Zementproduktion oder die Stahlmformung allgemein als hochenergieintensiv einzustufen ist, wird diese im Falle des Ernährungsgewerbes auf einem deutlich niedrigeren Niveau liegen. Entsprechend der Erkenntnisse der im vorangegangenen Survey berücksichtigten Studien werden nachfolgend unterschiedlichen Einflussdeterminanten betriebliche Wirkungszusammenhänge zugewiesen.

#### *Beschäftigte*

Mit zunehmender Betriebsgröße, gemessen an der Beschäftigtenanzahl, sinken Hemmnisse einer Anpassung der Produktionsstruktur zur Energieeinsparung. Hierdurch sind Betriebe zunehmender Größe *ceteris paribus* in der Lage, flexibler auf eine Änderung des Marktrahmens durch steigende oder sinkende Energiepreise zu reagieren. Mit zunehmender Mitarbeiterzahl steigt die Wahrscheinlichkeit, dass spezifisches Humankapital zur Optimierung der Energieeffizienz vorhanden ist.

#### *Umsatz / Absatzproduktionswert*

Mit zunehmender Unternehmensgröße, gemessen am Umsatz oder Absatzproduktionswert, sinken ebenfalls Hemmnisse einer Anpassung der Produktionsstruktur zur Energieeinsparung, womit eine flexiblere Reaktion auf steigende Energiepreise verbunden ist. Mit steigender Kapitalverfügbarkeit in einem Betrieb nehmen Hemmnisse insbesondere durch Cash-Flow-Beschränkungen bei Investitionen in neue energieeinsparende Technologien ab. Es ist daher von einem umgekehrt proportionalen Zusammenhang zwischen Umsatz und Anpassungsrigiditäten an steigende Strompreise auszugehen.

#### *Energieintensität*

Mit zunehmender Energieintensität steigt deren innerbetrieblich bewusst wahrgenommene Bedeutung. Es resultiert eine größere Bereitschaft, auf Änderungen des Marktrahmens durch betriebliche Anpassungen zu reagieren. Dies kann sich durch besonders geschulte Mitarbeiter im Betrieb oder auch in einer besonders großen innerbetrieblichen Sensibilität für das Thema Energiekosten spiegeln. Energieintensitäten

lassen sich dabei durch unterschiedliche Relationen darstellen. Häufig erfolgen dabei Relationen von Energiekosten insgesamt oder Stromkosten im Speziellen zu Umsatz, Gesamtkosten oder Produktionswerten.

#### *Investmentquote*

Eine hohe betriebliche Investmentquote wird mit einer erhöhten Bereitschaft innerbetrieblicher Entwicklungs- und Optimierungsmöglichkeiten in Verbindung gebracht. Daraus resultiert eine grundsätzlich erhöhte Anpassungsbereitschaft an veränderte Markt- und Rahmenbedingungen. Dies ist insbesondere der Fall, sofern sich durch steigende Strompreise Einsparmöglichkeiten durch Anpassung des Maschinenparks ergeben.

#### *Wettbewerbsintensität*

Mit zunehmender Wettbewerbsintensität eines Betriebes oder der betreffenden Branche erhöht sich der Preisdruck und Gewinnmargen werden verringert. Preissteigerungen von Inputfaktoren können nicht oder nur partiell auf nachgelagerte Abnehmer oder Konsumenten überwältigt werden. Dies erhöht einen Anpassungsdruck innerhalb eines Betriebes, einen möglichst großen Teil der Kostensenkungspotentiale zu heben. Folglich erhöht sich die Bereitschaft, bei Veränderungen von Strompreisen flexibler durch Produktionsvariation oder Investitionen in energieeffizientere Technologien zu reagieren.

#### *Internationale Ausrichtung*

Mit steigender internationaler Ausrichtung eines Betriebes ändert sich das Verhalten gegenüber steigenden Strompreisen. Für einen auf ausländischen Märkten aktiven Betrieb lassen sich Zusatzkosten durch gestiegene Strompreise schwieriger auf Endkunden übertragen. Hierdurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass gestiegene Strompreise Ersatzinvestitionen in erhöhte innerbetriebliche Energieeffizienz induzieren. Dieses Argumentationsmuster überschneidet sich jedoch deutlich mit zuvor dargelegten Wirkungszusammenhängen zwischen der Wettbewerbsintensität und Anpassungshemmnissen.

#### *Gewinn-Umsatz-Verhältnis*

Mit steigender Profitabilität eines Betriebes sinkt die Bereitschaft, steigende Strompreise durch Produktionsanpassungen auszugleichen. Betriebliche Anpassungen beinhalten stets eine Gefahr von Unterbrechungen der Produktion und damit einherge-

henden Umsatzeinbußen und stellen bei ausreichender Produktivität tendenziell nachrangige Maßnahmen in der Prioritätenliste dar.

Inwiefern dieser Einflussdeterminanten *betriebsspezifisch* oder *branchenspezifisch* wirken, wird nachfolgend dargelegt. Eine solche Differenzierung ist wichtig, da in der anstehenden empirischen Schätzung jeweils für unterschiedliche Branchen des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland unterschiedliche Aussagen getroffen werden sollen. Nachfragefunktionen sind jeweils für homogene Betriebsgruppen zu schätzen. Sofern sich unterschiedliche Hemmnisstrukturen jeweils auf Betriebs- oder Branchenebene ergeben, erfordert dies aus methodischer Perspektive ebenso unterschiedliche Vorgehensweisen zu deren Berücksichtigung. Andernfalls lassen sich die letztlich identifizierten Nachfragereaktionen nicht *zwischen* Branchen differenzieren – die Nachfragemodellierung liefert ungenaue und möglicherweise nicht repräsentative Ergebnisse.<sup>52</sup>

### **3.3.2.2. Betriebsspezifische Faktoren**

Zu einem großen Teil spiegeln die zuvor identifizierten Einflussdeterminanten Anpassungshemmnisse aufgrund betriebsspezifischer Faktoren wider. Zunächst gilt dies für die betrieblichen Charakteristika

- Beschäftigte,
- Umsatz / Absatzproduktionswert,
- Investmentquote sowie
- Gewinn-Umsatz-Verhältnis.

Darüber hinaus können sich in einigen Fällen Überschneidungen mit branchenspezifischen Gegebenheiten ergeben. So wäre etwa eine Berücksichtigung von Energieintensitäten auf Branchenebene denkbar: Während in der Zementindustrie sehr hohe Energieinputs zur Outputerzeugung notwendig sind, liegen Energieintensitäten etwa im Falle des Maschinenbaus deutlich darunter, wie in Abbildung 4 am Beispiel ausgewählter Wirtschaftszweige veranschaulicht.

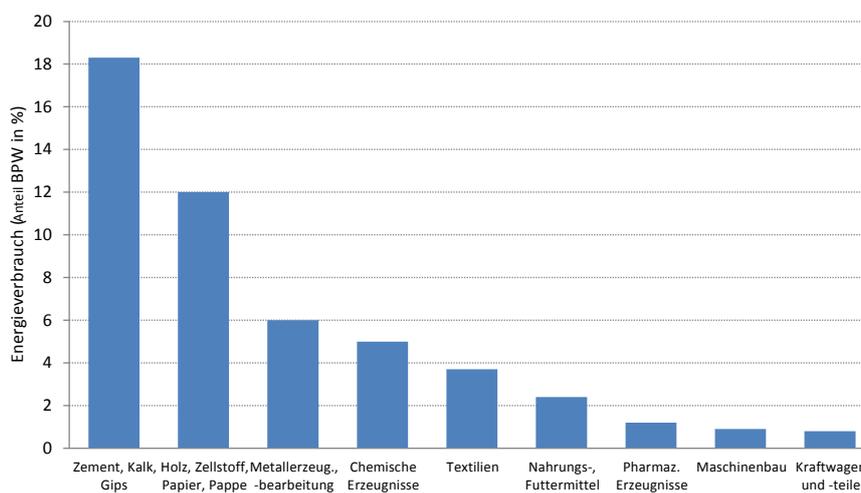
Zu den energieintensivsten Branchen zählen insbesondere die Zement-, Kalk-, und Gipsherstellung sowie die Papier und Zellstoffindustrie. Ebenfalls vergleichsweise ener-

---

<sup>52</sup> Aus ökonometrischer Sicht ist hiermit insbesondere eine Unterscheidung gemeint, ob bestimmte Einflussdeterminanten direkt durch Koeffizienten oder indirekt durch Interaktionsterme in eine Nachfragegleichung integriert werden.

gieintensiv sind die Metallherzeugung (Erzeugung der Rohprodukte) und die chemische Industrie. Demgegenüber ist davon auszugehen, dass auch *innerhalb* aggregierter Branchen deutliche Unterschiede hinsichtlich einer betrieblichen Energieintensität auftreten. Daher wird auch die Einflussdeterminante der Energieintensität – soweit im Rahmen der nachfolgend erläuterten verfügbaren Firmendaten abbildbar – als betriebspezifischer Faktor eingeordnet.

**Abbildung 4: Energieverbrauch unterschiedlicher Wirtschaftszweige (2008)**



Quelle: Statistisches Bundesamt (2011)

Dass dieses Vorgehen in jedem Fall zu einer genaueren Kontrollierung von Einflussdeterminanten führt, lässt sich anhand der Energieverbrauchsstatistik des Verarbeitenden Gewerbes veranschaulichen. Tabelle 4 enthält eine im Vergleich zu Abbildung 4 etwas differenziertere Übersicht über Wirtschaftszweige, anteiligen Energieverbrauch am Bruttoproduktionswert sowie Gesamtumsatz. Zusätzlich wurden besonders energieintensive Untergruppen aufgenommen.

Während der übergeordnete Wirtschaftszweig der chemischen Erzeugnisse durch einen Energieverbrauch (anteilig am Bruttoproduktionswert) im mittleren Bereich charakterisiert ist, weist der darin enthaltene Bereich der Herstellung von Industriegasen einen sehr hohen anteiligen Energieverbrauch i. H. v. 22% auf. Dies zeigt, dass eine Gruppierung nach (übergeordneten) Branchen für eine Erfassung homogener Produktionsstrukturen nicht ausreicht. Vielmehr variieren – wie auch im Falle der Zement-Kalk- und Gipsindustrie mit einem prozentualen Anteil der Energiekosten i. H. v. 18,3% im Vergleich zum übergeordneten Wirtschaftszweigdurchschnitt von 7,2% offenbart – auch innerhalb übergeordneter Wirtschaftszweige z. T. recht deutlich. Eine betriebspe-

zifische Zuweisung ist im Vergleich zu einer jeweils branchenweiten Gruppierung besser geeignet, diese Struktur widerzuspiegeln.

**Tabelle 4: Wirtschaftszweige (D), Energieverbrauch und Umsatz (2008)**

Wirtschaftszweig	Energieverbrauch (Anteil in % am BPW)	Umsatz in Tsd €
Glas-,waren,Keramik,Verarb. v.Steinen u.Erden	7,2	28.002.862
Herstellung von Zement, Kalk und gebranntem Gips	18,3	3.361.313
Papier, Pappe und Waren daraus	7,1	36.408.631
H.v. Holz- u. Zellstoff, Papier, Karton u. Pappe	12,0	16.139.774
Metallerzeugung und -bearbeitung	6,0	107.844.134
Chemische Erzeugnisse	5,0	123.174.811
Herstellung von Industriegasen	22,0	754.113
H.v.sonst.anorganischen Grundstoffen u.Chemikalien	11,3	5.574.321
Textilien	3,7	9.752.042
Holz-, Flecht-, Korb-u.Korkwaren (ohne Möbel)	3,4	14.317.454
Getränkeherstellung	2,8	17.642.021
Gummi- und Kunststoffwaren	2,6	61.378.328
Nahrungs- und Futtermittel	2,4	120.489.059
Druckerz., Vervielf.v.Ton-,Bild-,Datenträgern	2,4	15.011.405
Metallerzeugnisse	1,9	88.753.457
Möbel	1,3	17.407.537
pharmazeutische Erzeugnisse	1,2	38.297.358
Leder, Lederwaren und Schuhe	1,0	2.780.272
sonstige Waren	1,0	18.570.938
elektrische Ausrüstungen	0,9	79.343.664
Maschinenbau	0,9	210.543.300
DV-Geräten, elektron. u. opt. Erzeugnisse	0,8	73.482.611
Kraftwagen und Kraftwagenteile	0,8	330.881.240
Reparatur u.Installation von Masch.u.Ausrüstungen	0,7	31.398.009
Bekleidung	0,6	7.402.813
Kokerei und Mineralölverarbeitung	0,6	93.521.235
Tabakverarbeitung	0,3	12.276.978

Quelle: Statistisches Bundesamt (2011)

Offensichtlich werden auch weitere Einflussfaktoren, wie etwa Investitionsquoten oder Gewinn-Umsatz-Verhältnisse in gewissem Ausmaß mit einer Branchenzugehörigkeit korrelieren. Allerdings dürfte es auch hier letztlich zu einer ungenauen Erfassung kommen, sofern lediglich Branchenzugehörigkeiten in eine Nachfragemodellierung aufgenommen werden. Daher wird im Sinne einer konsistenten Handhabung für die weitere Betrachtung definiert, dass alle genannten Einflussdeterminanten *möglichst betriebspezifisch* erfasst werden. Inwiefern dies in der empirischen Untersuchung umsetzbar ist, wird von der vorliegenden und im nachfolgenden Kapitel dargelegten Firmenstatistik abhängen.<sup>53</sup>

<sup>53</sup> Eine solche Unterscheidung wird ebenfalls von de Groot, et al. (2001) vorgenommen. Analog ordnen die Autoren Zusammenhänge zwischen Investmentquote und Energiekostenanteilen betriebspezifisch, also unabhängig von einer Branchenzugehörigkeit ein.

### **3.3.2.3. Branchenspezifische Faktoren**

Trotz Berücksichtigung bereits eines großen Teils potentieller Einflussdeterminanten auf betriebspezifischer Ebene lassen sich die Wirkungszusammenhänge einiger Einflussdeterminanten für Anpassungshemmnisse möglicherweise nicht oder nur eingeschränkt auf individueller Ebene berücksichtigen. Für die anstehende schrittweise Nachfragemodellierung wäre etwa die Arbeitshypothese denkbar, dass in Branchen mit relativ hoher Wettbewerbsintensität veränderte Rahmenbedingungen – hier durch Erhöhung des Strompreises – aufgrund eines höheren Anpassungsdrucks schneller berücksichtigt werden und daher letztlich elastischere Nachfragefunktionen aufweisen.

Dass den einzelnen Branchen sehr unterschiedliche Wettbewerbsintensitäten zugrunde liegen, lässt sich anhand des Herfindahl-Hirschman-Index (HHI), verdeutlichen.<sup>54</sup> Der HHI basiert grundsätzlich auf quadrierten Marktanteilen einzelner Firmen und zeigt auf einer Skala von 0 – 10.000 Punkten relative Konzentrationsmaße an.<sup>55</sup> Tabelle 5 weist übergeordneten Branchen entsprechend der Wirtschaftszweig-Klassifikation 2003 durch die Monopolkommission (2008) ermittelte HHI-Werte zu. Demnach ist insbesondere die Branche der Kokereien und Mineralölverarbeitung durch eine hohe Marktkonzentration gekennzeichnet. Es folgen der Fahrzeugbau, das Ledergerbergewerbe sowie die Herstellung von Büromaschinen und Datenverarbeitungsgeräten. Offensichtlich weisen unterschiedliche Branchen deutlich voneinander verschiedene Konzentrationsmaße auf.

Analog zur Wettbewerbsintensität sowie zugrunde liegenden Wirkungszusammenhängen zwischen Wettbewerbsintensität und betrieblichen Anpassungsreaktionen sind viele weitere branchenspezifische Einflussdeterminanten denkbar. Beispielsweise könnte auch ein Internationalisierungsgrad einzelner Branchen – erkennbar etwa an Import- oder Exportanteilen – unterschiedliche Anpassungsbereitschaften an veränderte Marktbedingungen erklären.

---

<sup>54</sup> Dieser Indikator wird auch von der Monopolkommission zur Einschätzung der wettbewerblichen Situation in einzelnen Branchen verwendet. Vgl. Monopolkommission (2008).

<sup>55</sup> Vgl. Anhang 1 zu ebd. Zwar können verhaltensbasierte Indikatoren (etwa der Lerner-Index zur Darstellung von Zusammenhängen zwischen Preisen und Grenzkosten) im Vergleich zum HHI genauere Informationen zur Wettbewerbsintensität liefern, doch scheitert deren breite Ermittlung in der Realität an mangelnden Informationsgrundlagen. Vgl. Monopolkommission (2008) S. 73.

**Tabelle 5: Herfindahl-Hirschman-Index**

Nr.	WZ-Kode 2003	Wirtschaftszweig / Branche	HHI
1	15, 16	Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	76,38
2	17, 18	Textil- und Bekleidungs-gewerbe	44,80
3	19	Ledergewerbe	435,70
4	20	Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	52,95
5	21, 22	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	39,28
6	23	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	2656,83
7	24	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	275,44
8	25	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	73,71
9	26	Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	66,83
10	27, 28	Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	83,28
11	29	Maschinenbau	34,36
12	30 - 33	Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	296,53
13	34, 35	Fahrzeugbau	899,19
14	36, 37	Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen; Recycling	59,28

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Monopolkommission (2008)

Eine Lösung zur Erfassung dieser möglichen Einflussdeterminanten besteht – mit Blick auf die anstehende empirische Nachfragemodellierung – darin, Branchendifferenzierungen des Verarbeitenden Gewerbes anhand von Dummyvariablen oder Interaktionstermen zu berücksichtigen. Statistische Effekte, die möglicherweise auf branchenspezifischen Gegebenheiten beruhen, würden durch diese Schätzkoeffizienten aufgefangen und in einer Schätzvariable gebündelt. Über welchen Erklärungsgehalt diese Schätzvariable – zusätzlich zu betriebsspezifischen Einflussfaktoren – letztlich verfügt, wird sich in einer statistischen Signifikanz im Rahmen der empirischen Nachfragemodellierung offenbaren.

### **3.4. Entwicklung der Strompreise und deren Bestimmungsfaktoren**

In den vorangegangenen Abschnitten erfolgte eine sukzessive Herleitung betriebsspezifischer Einflussdeterminanten. Dieses Bild wird nun ergänzt durch eine Charakterisierung des industriellen Strompreises sowie seiner zugrunde liegenden Bestimmungsfaktoren.

Nach der Liberalisierung des Strommarktes im Jahr 1998 konnte die Industrie in Deutschland von deutlich sinkenden Strompreisen profitieren. Diese Entwicklung wurde durch den in diesem Zeitraum zunehmend einsetzenden Wettbewerb unterstützt, so dass sinkende Preise auch tatsächlich an Industriekunden weitergegeben wurden. Demgegenüber ist seit dem Jahr 2000 ein konstanter Strompreisanstieg zu verzeichnen, wobei der Anstieg zwischen den Jahren 2000 und 2002 moderat verlief und anschließend deutlich zunahm.

Je nach Struktur der strombeziehenden Industriekunden ergeben sich unterschiedliche Preise. Für einen besseren Überblick wird der vergangene Strompreisverlauf anhand drei exemplarischer Referenzkunden verdeutlicht. Die Preise werden der Eurostat-Datenbank entnommen und stellen jeweils Industriestrompreise ohne Mehrwertsteuer dar. Für die anstehende Nachfragemodellierung wird angenommen, dass Industriekunden die Mehrwertsteuer auf die nachgelagerte Weiterverarbeitung oder an Endverbraucher weiterwälzen und daher für etwaige Investitionen in Energieeffizienz nicht entscheidungsrelevant sind.<sup>56</sup>

- Mit „*kleine Industrie*“ wird nach alter Methodik ein Kunde mit einem durchschnittlichen Jahresverbrauch von 2.000 MWh, nach neuer Methodik mit einem mittleren Jahresverbrauch zwischen 500 und 20.000 MWh definiert;<sup>57</sup>
- mit „*mittlere Industrie*“ wird nach alter Methodik ein Kunde mit einem durchschnittlichen Jahresverbrauch von 24.000 MWh, nach neuer Methodik mit einem Jahresverbrauch zwischen 20.000 und 70.000 MWh definiert;
- mit „*große Industrie*“ wird nach alter Methodik ein Kunde mit einem durchschnittlichen Jahresverbrauch von 70.000 KWh, nach neuer Methodik mit einem Jahresverbrauch zwischen 70.000 und 150.000 MWh definiert.

---

<sup>56</sup> Es ist zu beachten, dass ab dem Jahr 2008 eine neue Methodik zur Aufzeichnung durchschnittlicher Strompreise eingeführt wurde. Es fand ein Übergang von durchschnittlichen Jahresverbräuchen eines Referenzabnehmers zur Anwendung von Stromverbrauchsbandbreiten statt. Dieser Zeitreihenbruch erschwert sowohl die Darstellung des Strompreisverlaufs, als auch die anstehende Nachfragemodellierung.

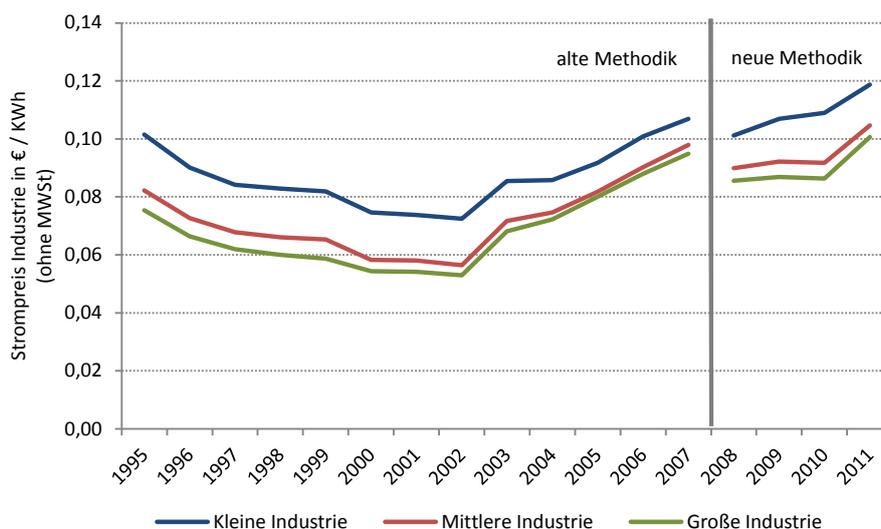
<sup>57</sup> Die Eurostat-Methodik sieht jeweils zwei Bandbreiten vor: jeweils zwischen 500 und 2.000 MWh sowie zwischen 2.000 und 20.000 MWh. Für die vorliegende Darstellung wurde ein Mittelwert dieser beiden Größen herangezogen. Zudem unterscheidet die Methodik zwischen Höchstlast und jährlichen Benutzungsstunden. Zudem erfolgte jeweils bei allen Referenzkunden eine Durchschnittsbetrachtung der jeweils für Halbjahre aufgezeichneten Strompreise.

### 3.4.1. Nominale Strompreisbetrachtung

Grundsätzlich können die eingangs angedeuteten Strompreisverläufe bei allen Referenzkunden beobachtet werden. Offensichtlich unterscheiden sich die Verläufe lediglich hinsichtlich des absoluten jährlichen Preisniveaus, das jeweils bei Großverbrauchern am niedrigsten sowie bei Kleinverbrauchern am höchsten ist, wie in Abbildung 5 ersichtlich ist. Diese Unterschiede dürften insbesondere an mit größeren Mengen und konstanteren Lastgrößen einhergehenden geringeren Bezugsgrößen sowie geringeren Netzentgelten liegen. Während die Strompreise im Jahr 1995 für die betrachteten Referenzkunden zwischen 7,5 und 10,2 Cent / KWh lagen, betragen sie im Jahr 2011 zwischen 10,1 und 11,9 Cent / KWh. Zwischenzeitlich bestand ein Tiefpunkt im Jahr 2002 mit Preisen zwischen 5,3 und 7,2 Cent / KWh.

Die deutliche Sprungstelle zwischen den Jahren 2007 und 2008 liegt an der veränderten Methodik. Aufgrund dessen ist es nicht möglich, für beide Perioden gänzlich vergleichbare Referenzkunden zu definieren. Im vorliegenden Fall setzen sich die Strompreise für jede der drei Beispiele etwas nach unten ab, da die Industrieabnehmer mit größeren Strommengen in der neuen Methodik relativ höher gewichtet werden.

Abbildung 5: Nominale Strompreisentwicklung in der Industrie (ohne Mehrwertsteuer)<sup>58</sup>



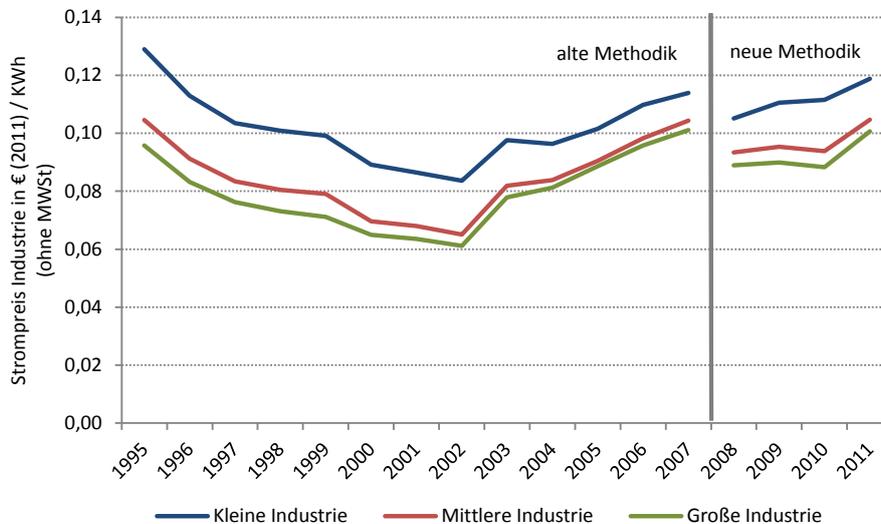
Quelle: Eigene Darstellung nach Eurostat (2012).

<sup>58</sup> Mit dem Jahreswechsel 2007 / 2008 wurde eine neue Methodik eingeführt. Damit änderten sich die Verbrauchsklassen und die jeweils aufgezeichneten Industriestrompreise.

### 3.4.2. Reale Strompreisbetrachtung

Bisher erfolgte eine Betrachtung nominaler Größen, noch unberücksichtigt ist der allgemeine Preisanstieg in Deutschland, damit auch reale (inflationsbereinigte) Preise dargestellt werden können. Aus einzelwirtschaftlicher Sicht sind letztlich reale Preisentwicklungen entscheidungsrelevant. Das Statistische Bundesamt ermittelt in regelmäßigen Abständen den Verbraucherpreisindex (VPI). Dieser misst die mittlere Preisentwicklung von Waren und Dienstleistungen in Deutschland und stellt damit Informationen zur Beurteilung der Geldentwertung bereit. Im Allgemeinen wird dieser VPI zur Deflationierung herangezogen, zur Ermittlung der realen Strompreisentwicklung wird auch an dieser Stelle analog vorgegangen.

Abbildung 6: Reale Strompreisentwicklung in € (2011) in der Industrie (ohne Mehrwertsteuer)<sup>59</sup>



Quelle: Eigene Berechnung nach Eurostat (2012) und Statistisches Bundesamt (2012).

Abbildung 6 zeigt die Strompreisverläufe zu den drei oben beschriebenen Referenzkunden, wobei die Strompreise auf das reale Preisniveau des Jahres 2011 normiert werden. Offensichtlich ergibt sich aus dieser Perspektive ein etwas anderes Bild. Real sind die Industriestrompreise zwischen den Jahren 1995 und 2002 des Betrachtungszeitraums kontinuierlich von einer Preisspanne zwischen 9,6 und 12,9 Cent / KWh bis auf eine Spanne zwischen 6,1 bis 8,4 Cent / KWh gefallen. Trotz des kontinuierlichen und deutlichen Preisanstiegs zwischen dem Jahr 2002 und dem aktuellen Rand wird –

<sup>59</sup> Mit dem Jahreswechsel 2007 / 2008 wurde eine neue Methodik eingeführt. Damit änderten sich die Verbrauchsklassen und die jeweils aufgezeichneten Industriestrompreise.

aus realer Sicht – in etwa das ursprüngliche Preisniveau des Jahres 1995 erreicht (Preisspanne zwischen 10,1 und 11,9 Cent / kWh).

### **3.4.3. Hintergrund und Einflussdeterminanten der Strompreisentwicklung**

Der vergangenen Strompreisentwicklung unterliegen mehrere Bestimmungsfaktoren, die sich in Brennstoffkosten, unterschiedlichen Steuern und Abgaben, Netzentgelten sowie umweltpolitisch motivierten Maßnahmen (CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel) unterscheiden lassen. Insgesamt können diese Wirkungszusammenhänge drei übergeordneten Kategorien zugeordnet werden.<sup>60</sup>

Zum ersten sind steigende Strompreise auf den im gleichen Zeitraum deutlichen Anstieg der Brennstoffkosten (insb. Kohle und Erdgas) sowie den im Jahr 2005 eingeführten Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten.<sup>61</sup> Die bis zum Jahr 2000 zu verzeichnenden Preisrückgänge gehen z. T. auf Überkapazitäten im deutschen Kraftwerkspark zurück, wobei seit dieser Zeit ein steigender Zubaubedarf mit einhergehend steigenden Strompreisen verbunden ist.

Zum zweiten haben Steuern und Abgaben seit dem Jahr 1998 zugenommen, wobei zuvorderst die Stromsteuer, zusätzliche Abgaben des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) stehen.<sup>62</sup> Insbesondere aufgrund unterschiedlicher Ausnahmegenehmigungen betreffen diese Preisanstiege im Vergleich zur Industrie stärker private Haushalte.

Aktuell werden Ausnahmen durch § 9 Stromsteuergesetz (StromStG) geregelt.<sup>63</sup> Im Jahr 1999 wurde der ermäßigte Stromsteuersatz für Industriekunden auf 0,205 Cent / kWh festgelegt, im Jahr 2002 betrug dieser nunmehr 0,36 Cent / kWh. Im darauffolgenden Jahr erfolgte eine deutliche Anhebung des vergünstigten Stromsteuersatzes auf 1,23 Cent / kWh, aktuell liegt der ermäßigte Satz für Unternehmen des Ver-

---

<sup>60</sup> Vgl. Frontier Economics und EWI (2010).

<sup>61</sup> Für eine Aufarbeitung der Problematik der Preisüberwälzung von CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreisen in Strompreise vgl. Bertensath (2008).

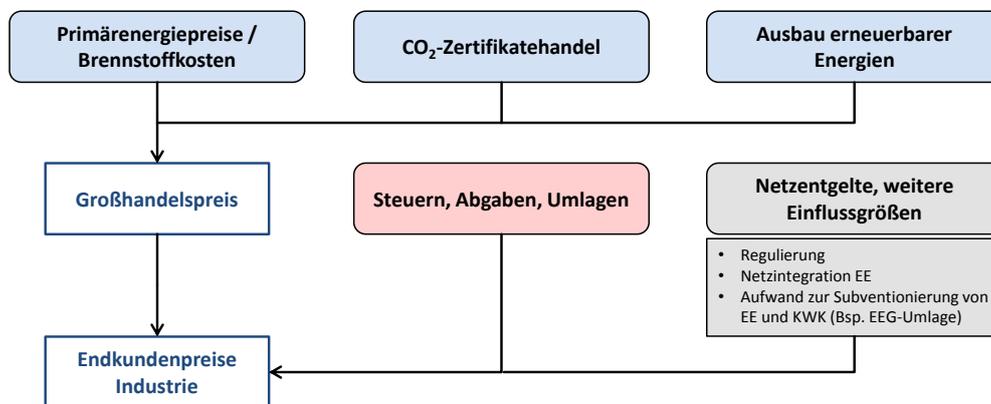
<sup>62</sup> Zudem erfolgten in den Jahren 1999 und 2007 zwei Anstiege der Mehrwertsteuer, diese sind in der folgenden Abbildung nicht berücksichtigt.

<sup>63</sup> Darüber hinaus existieren Stromsteuerbefreiungen für besonders energieintensive Unternehmen gem. § 10 StromStG. Im Einzelnen werden die Wirkungen der Stromsteuer in Kapitel 5 analysiert.

arbeitenden Gewerbes bei 1,537 Cent / kWh. Frontier Economics und EWI (2010) taxieren die gesamte Steuer- und Abgabenbelastung für Industriekunden<sup>64</sup> zwischen den Jahren 2003 und 2009 auf 1,44 Cent / kWh. Je nach Stromintensität eines Unternehmens des Verarbeitenden Gewerbes wird die EEG-Umlage auf bis zu 0,05 Cent / kWh begrenzt. Der KWK-Aufschlag ist ebenfalls nach der Stromintensität gestaffelt und wird bei Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes mit einem Stromverbrauch über 100 MWh pro Jahr auf 0,05 Cent / kWh begrenzt.<sup>65</sup>

Als dritte Komponente werden Netzentgelte und weitere Einflussgrößen identifiziert. Hier liegen jedoch keine eindeutigen Entwicklungen ohne etwaige Ausgleichstendenzen der steigenden Strompreise vor. Abbildung 7 fasst einzelne Einflussdeterminanten des Strompreises schematisch zusammen.

Abbildung 7: Einflussdeterminanten industrieller Strompreise



Quelle: Eigene Darstellung nach Frontier Economics und EWI (2010).

In Abbildung 8 werden exemplarisch Strompreise vor Steuern und Abgaben mit Strompreisen exkl. Mehrwertsteuer jeweils für einen kleinen und großen Industriekunden gegenübergestellt. Gut zu erkennen sind die Differenzkostenblöcke, die ab dem Jahr 2002 deutlich größer werden und insbesondere eine sukzessiv gestiegene Belastung durch die in 1999 eingeführte Strombesteuerung („Ökosteu-er-Reform“) widerspiegeln.

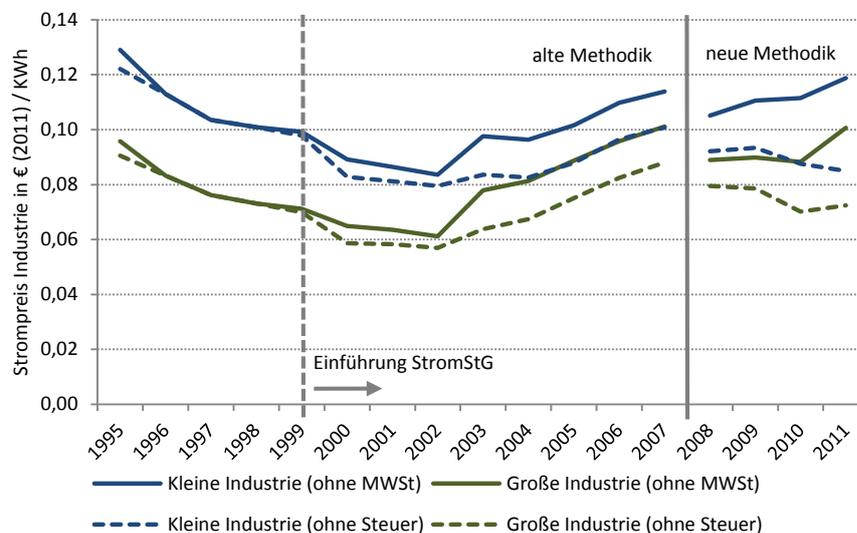
Nach Einführung der Steuer fanden jeweils in den Jahren 2000 bis 2003 Erhöhungen der Steuersätze für das Verarbeitende Gewerbe statt. In der Grafik gut zu erkennen ist

<sup>64</sup> Verarbeitendes Gewerbe ohne Ausnahmen für besonders energieintensive Unternehmen. Enthalten sind Konzessionsabgaben, Stromsteuer, EEG-Umlage und KWK-Umlage.

<sup>65</sup> Bei besonders stromintensiven Unternehmen (Jahresverbrauch mind. 100 MWh / Jahr sowie Stromkosten im vergangenen Kalenderjahr mind. 4 % des Umsatzes) wird dieser Satz noch einmal halbiert.

ein anschließend konstant bleibender Differenzkostenblock. Während die inflationsbereinigten Strompreise vor Steuern und Abgaben zum Ende des Betrachtungszeitraums leicht abfielen, führte die Steuer- und Abgabenbelastung aus Sicht der Industriekunden zu einer effektiven Preiserhöhung.<sup>66</sup>

Abbildung 8: Vergleich der Industriestrompreise mit und ohne Steuern und Abgaben



Quelle: Eurostat (2012) und Statistisches Bundesamt (2012), eigene Berechnungen

### 3.5. Ökonometrische Darstellung von Anpassungshemmnissen in Nachfragefunktionen

Im Rahmen einer Anwendung der in Abschnitt 3.2.2 hergeleiteten, grundlegenden Nachfragefunktion lassen sich noch keine unmittelbaren Einflüsse der Anpassungshemmnisse identifizieren. Zunächst wird nur dargestellt, aufgrund welcher grundlegenden betrieblichen Produktionsstrukturen eine bestimmte Elektrizitätsmenge benötigt wird. Eine empirische Schätzung eines solchen Modells wäre aus methodischer Perspektive zwar korrekt,<sup>67</sup> jedoch nicht den Kern der vorliegenden Untersuchungsfrage treffen. Sämtliche Einflussdeterminanten mit Bezug zu *Anpassungshemmnissen* würden im ökonometrischen Störterm der Schätzgleichung aufgefangen – die Effekte würden ver-

<sup>66</sup> Die Netzentgelte und anderweitige Kosten zur Strombereitstellung sind bereits im Basispreis vor Steuern und Abgaben enthalten, lassen sich in dieser Abbildung also nicht identifizieren.

<sup>67</sup> und grundsätzlich zur wissenschaftlichen Diskussion über Nachfrageelastizitäts-Schätzungen beitragen.

mischt und könnten nicht interpretiert werden. Daher ist bei Modellierung einer Nachfragefunktion nach Elektrizität von grundlegender Bedeutung, dass sich in einer Nachfragegleichung vorhandene Anpassungshemmnisse widerspiegeln und eine möglichst große Anzahl weiterer Einflussfaktoren *kontrolliert* wird. Eine Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren auf betrieblicher Ebene führt unter diesen Voraussetzungen zu einer Bestimmung jeweils *isolierter Nachfragereaktionen* bei Veränderungen des Strompreises.

### 3.5.1. Erste Erweiterung des Grundmodells

Aus diesem Grund ist eine Erweiterung des Nachfragemodells erforderlich. Nachfolgend wird der vorangehend hergeleitete Zusammenhang aufgegriffen. Demnach besteht eine dynamische Nachfragegleichung mit kurz- und langfristigen Effekten aus folgenden Einflussdeterminanten:

$$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_i z_{i,t} + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$$

Mit Blick auf die identifizierten Einflussdeterminanten betrieblicher Anpassungshemmnisse sind in dieser Schätzgleichung bisher im Vektor  $(z_{i,t})$  aggregierte Betriebscharakteristika zu spezifizieren und erklärende Einflussgrößen aus dem Störterm herausziehen. Eine doppelt-logarithmierte Schätzgleichung erleichtert eine spätere Interpretation der Schätzkoeffizienten.<sup>68</sup>

Es erfolgt nun eine Erweiterung der Schätzgleichung um Beschäftigte ( $b_{i,t}$ ), Absatzproduktionswert ( $apw_{i,t}$ ), Umsatz ( $um_{i,t}$ ), Energieintensität ( $ei_{i,t}$ ), Investmentquote ( $q_{i,t}$ ), Gewinn-Umsatz-Verhältnisse ( $guv_{i,t}$ ) sowie branchenspezifische Einflüsse ( $BR_{i,t}$ ). Dies führt zu folgender Schätzgleichung:

$$\begin{aligned} \log(e_{i,t}) = & \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 apw_{i,t} + \delta_3 um_{i,t} + \delta_4 ei_{i,t} + \delta_5 q_{i,t} \\ & + \delta_6 guv_{i,t} + \vartheta_i BR_{i,t} + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i \end{aligned}$$

Zu welchen Erkenntnissen würde nun eine Interpretation der Ergebnisse führen? Diese Schätzgleichung würde zunächst Auskunft darüber geben, wie elastisch Betriebe im *Durchschnitt* und unter Berücksichtigung der genannten betrieblichen Einflussdeterminanten – *also ceteris paribus* – auf eine Veränderung des Strompreises reagieren. Alle identifizierten Einflussfaktoren betrieblicher Anpassungshemmnisse werden kon-

---

<sup>68</sup> Vgl. nachfolgende Abschnitte.

trolliert, der „Hemmniseffekt“ ist jedoch nur im Durchschnitt über alle Betriebe im Koeffizienten der Preisvariable enthalten.

### 3.5.2. Zweite Erweiterung des Grundmodells

Zur Verknüpfung von Anpassungshemmnissen und damit einhergehenden Auswirkungen auf die Nachfrage in Abhängigkeit des Preises wird auf ein grundlegendes Prinzip im Design von Regressionsgleichungen zurückgegriffen: der Verwendung von *Interaktionsvariablen* zwischen bestimmten erklärenden Einflussfaktoren.<sup>69</sup> Im vorliegenden Fall erfolgt eine Schätzung der Interaktionseffekte zwischen der Preisvariable und den einzelnen Einflussdeterminanten, wobei die Hemmnisseinflüsse jeweils in eine diskrete Form umgewandelt werden. Die nachfolgende Gleichung greift dies, exemplarisch anhand der Betriebsgröße gemessen am Absatzproduktionswert, auf: zur Darstellung der Betriebsgröße werden nun diskrete Größenklassen verwendet.<sup>70</sup>

$$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 um_{i,t} + \delta_3 ei_{i,t} + \delta_4 q_{i,t} + \delta_5 guv_{i,t} + \delta_6 BR_{i,t} + \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times apw_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$$

Der Interaktionsterm  $\sum_1^n \mu_i \log(p_{i,t} \times apw_{i,t})$  gibt Auskunft über die auf Betriebsgrößen zurückzuführenden Anpassungshemmnisse.<sup>71</sup> Im Kontext dieser Nachfragegleichung gestattet eine empirische Schätzung der Koeffizienten Aussagen darüber, inwiefern eine Veränderung der Betriebsgröße Auswirkungen auf Nachfragereaktionen hat, wobei gleichzeitig relevante Hemmnisdeterminanten kontrolliert werden.<sup>72</sup> Wie in Abschnitt 3.3.2 dargelegt, wird ein großer Teil betrieblicher Unterschiede zwischen Branchen bereits durch individuelle Einflussdeterminanten aufgefangen. Daher wird eine solche

---

<sup>69</sup> Vgl. Wooldridge (2009), S. 238 ff.

<sup>70</sup> Eine Verwendung diskreter Größenklassen anstelle kontinuierlicher Volumina erleichtert eine Interpretation der Schätzgleichung deutlich. Vgl. nachfolgendes Kapitel.

<sup>71</sup> Ökonometrisch lassen sich Elastizitäten anhand einer doppelt-logarithmierten Darstellung ausdrücken. Durch logarithmierte Darstellungen der Stromnachfrage als abhängige Variable sowie der erklärenden Variablen ergeben sich Nachfrageelastizitäten nach Elektrizität in Abhängigkeit von Preisveränderungen jeweils für homogene Betriebsgruppen. Ceteris paribus geben diese Elastizitäten dann Auskunft über individuell-betriebliche Anpassungsfriktionen bei Veränderungen der Strompreise. Eine Anpassung dieses Nachfragemodells an ökonometrische Schätzverfahren (insb. eine FE-Schätzung oder eine Dynamic-Panel-Data-Analyse (DPD)) ist Gegenstand von Abschnitt 4.5.

<sup>72</sup> Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Effekte der unterschiedlichen Größenklassen in den Branchen im Durchschnitt gleich sind.

Nachfragemodellierung bereits – im Durchschnitt – zu repräsentativen Aussagen führen.

Auf der Grundlage zuvor identifizierter Wirkungszusammenhänge lautet die Arbeitshypothese nun für die anstehende empirische Nachfrageschätzung, dass der Schätzkoeffizient des Interaktionsterms – sofern ein kleiner Betrieb als Referenzfall ausgewählt wurde – ein negatives Vorzeichen aufweist.<sup>73</sup> Folglich lässt sich der Schätzkoeffizient des Interaktionsterms als Ausprägung der ausschließlich auf Betriebsgrößen basierenden Anpassungshemmnisse interpretieren. Nach analoger Vorgehensweise können für alle der oben dargelegten Einflussdeterminanten betrieblicher Anpassungshemmnisse isolierte Nachfrageeffekte bestimmt werden.

Darüber hinaus besteht nun die Möglichkeit, diese Nachfragegleichung durch Berücksichtigung des Interaktionsterms zwischen Strompreisen und Branchenunterscheidung in der Form  $\sum_1^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t})$  weiter zu konkretisieren und so auch alle auf Branchen zurückzuführenden Unterschiede in den Anpassungshemmnissen herauszufiltern. Es ergibt sich die Schätzgleichung der Form:

$$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 um_{i,t} + \delta_3 ei_{i,t} + \delta_4 q_{i,t} + \delta_5 guv_{i,t} \\ + \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times apw_{i,t}) + \sum_{i=1}^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$$

Mit Blick auf die in Abschnitt 3.3.2 hergeleitete Hemmnisheuristik ergeben sich nun unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten, die in Tabelle 6 definiert werden. Das grundlegende Prinzip dieser Analytik besteht schließlich darin, jeweils ein Hemmnis isoliert sowie unter Berücksichtigung branchenspezifischer Einflussfaktoren zu betrachten. Dies wird erreicht, indem gleichzeitig jeweils übrige potentielle Hemmnisfaktoren „kontrolliert“ – d. h. konstant gehalten – werden.

Ein zweiter Effekt steigender oder sinkender Strompreise bezieht sich jedoch auch auf die *Größe* des betrieblichen Einsparpotentials, da sich die Wirtschaftlichkeit einer Einsparmaßnahme – gemessen an der Rentabilitätsdauer einer Investition – umgekehrt proportional zu steigenden Strompreisen verhält.<sup>74</sup> Im Rahmen der hergeleiteten Me-

---

<sup>73</sup> Wird von der größten Betriebsgruppe als Referenzfall ausgegangen, kehrt sich die Argumentation um und es wird sich ein positives Vorzeichen ergeben.

<sup>74</sup> Vgl. Prognos (2007), S. 115ff.

thodik ist *kein* eindeutiges Urteil über das *tatsächliche* Ausmaß einer Erschließung neuer Einsparpotentiale möglich.<sup>75</sup> Demgegenüber lassen sich Hemmniswirkungen durch Einfügen von Interaktionsvariablen in eine Nachfragegleichung isolieren und interpretieren.

**Tabelle 6: Methodische Erfassung der Hemmnisstruktur**

Hemmnis	Methodische Erfassung
Absatzproduktionswert	$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 um_{i,t} + \delta_3 ei_{i,t} + \delta_4 q_{i,t} + \delta_5 guv_{i,t}$ $+ \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times apw_{i,t}) + \sum_{i=1}^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$
Umsatz	$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 apw_{i,t} + \delta_3 ei_{i,t} + \delta_4 q_{i,t} + \delta_5 guv_{i,t}$ $+ \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times um_{i,t}) + \sum_{i=1}^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$
Beschäftigte	$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 apw_{i,t} + \delta_2 um_{i,t} + \delta_3 ei_{i,t} + \delta_4 q_{i,t} + \delta_5 guv_{i,t}$ $+ \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times b_{i,t}) + \sum_{i=1}^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$
Energieintensität	$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 apw_{i,t} + \delta_3 um_{i,t} + \delta_4 q_{i,t} + \delta_5 guv_{i,t}$ $+ \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times ei_{i,t}) + \sum_{i=1}^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$
Investmentquote	$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 apw_{i,t} + \delta_3 um_{i,t} + \delta_4 ei_{i,t} + \delta_5 guv_{i,t}$ $+ \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times q_{i,t}) + \sum_{i=1}^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$
Gewinn-Umsatz-Verhältnis	$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 apw_{i,t} + \delta_3 um_{i,t} + \delta_4 q_{i,t} + \delta_5 ei_{i,t}$ $+ \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times guv_{i,t}) + \sum_{i=1}^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i$

Quelle: Eigene Darstellung

<sup>75</sup> Langfristig könnten sich etwa neue Produkte mit weniger Energiebedarf in der Produktion gegenüber alten Produkten durchsetzen – und damit gleichzeitig neu hinzutretende produktionsbedingte Einsparpotentiale verringern.

### 3.6. Kurz- und langfristige Elastizitäten als Funktionsmaße

Bisher wurde nicht berücksichtigt, dass sich aus betrieblicher Sicht unterschiedliche Anpassungsmöglichkeiten in der kurzen und langen Frist ergeben. Diese vereinfachende Annahme wird nun zugunsten einer Differenzierung zwischen kur- und langfristigen Nachfrageelastizitäten aufgegeben. Hierzu erfolgt zunächst eine methodische Herleitung einer möglichen Darstellung von Elastizitäten.

#### 3.6.1. Formale Herleitung

Allgemein beschreiben Elastizitäten, „wie stark sich eine Größe  $y$  ändert, wenn sich eine andere Größe  $x$  ändert“.<sup>76</sup> Grundsätzlich stellen Elastizitäten ein Hilfsmittel dar, um bestimmte (Markt-) Reaktionen zu beschreiben. Mit Bezug auf die Nachfrage nach bestimmten Gütern wird durch eine Elastizität beschrieben, wie stark die Reaktion eines Konsumenten auf Änderungen des Preises ausfallen. Eine Darstellung dieses Zusammenhangs nimmt üblicherweise die folgende Form an:

$$\varepsilon_{X,P} = \frac{dX}{dP} \frac{P}{X}$$

Die Interpretation der Elastizität  $\varepsilon$  lautet, um wie viel Prozent sich die Nachfrage nach einem Gut  $X$  bei Änderung des Preises  $P$  um ein Prozent ändert. Diese Reaktion ist bei *normalen* Gütern negativ – die Nachfrage nach einem Gut nimmt also mit steigenden Preisen ab.<sup>77</sup> Wie im vorangegangenen Literaturüberblick dargestellt, bildet die betriebliche Nachfrage nach Elektrizität hier keine Ausnahme, nach ökonomischer Definition ist Elektrizität als *normales* Gut zu bezeichnen.

Mit Bezug auf Nachfragefunktionen zur Darstellung betrieblicher Energienachfrage reicht diese Darstellung grundlegender Zusammenhänge jedoch nicht aus. Die Nachfragerreaktion eines Betriebes hängt nicht nur von Energiepreisänderungen ab, sondern auch von der Produktion des Betriebes in vergangenen Perioden. Stark steigende Energiepreise werden kurzfristig negative Auswirkungen auf die Nachfrage haben, jedoch werden Abweichungen vom vergangenen Produktionsumfang und die Möglichkeit des Betriebes zur flexiblen Technologieanpassung auf die gestiegenen Energiepreise eben-

---

<sup>76</sup> Vgl. Endres und Martienssen (2007), S. 315.

<sup>77</sup> Vgl. ebd., S. 133.

falls eine Rolle spielen. Dabei ist anzunehmen, dass die Anpassungsflexibilität mit größerem Zeithorizont zunimmt. Ökonometrisch handelt es sich dabei um *Finite Distributed Lag Models*.<sup>78</sup> Im Falle einer Modellierung betrieblicher Energienachfrage bedeutet dies, dass zu den abhängigen Variablen nicht nur Energiepreise und unterschiedliche Betriebscharakteristika, sondern auch vergangene Ausprägungen der abhängigen Variable – also der Energienachfrage – sowie des vergangenen Produktionsoutputs zählen müssen.

Ausgangspunkt einer einfachen ökonometrischen Darstellung des Unterschieds zwischen kurz- und langfristigen Elastizitäten ist eine dynamische Nachfragefunktion der Form<sup>79</sup>

$$y_t = \alpha + \beta p_t + \gamma y_{t-1}.$$

Hierbei sei  $y$  die Nachfrage nach Strom in Periode  $t$ . Diese wird bestimmt durch den Strompreis  $p$  in Periode  $t$ , durch eine Konstante  $\alpha$  und zudem durch die Ausprägung der Energienachfrage in der Periode  $t - 1$ .

Eine Ableitung der Stromnachfrage nach dem gegenwärtigen Strompreis in Periode  $t$  führt zur kurzfristigen Nachfrageelastizität  $\varepsilon_k$ . Sie wird dargestellt durch den Schätzkoeffizienten des Strompreises:

$$\frac{\partial y_t}{\partial p_t} = \beta = \varepsilon_k$$

Unter der Annahme ab Zeitpunkt  $t$  langfristig konstanter Inputvariablen sowie bei  $|\gamma| < 1$  wird sich ein langfristiges Gleichgewicht ergeben, in dem  $y_s = y_{s-1} = \bar{y}$  gilt. Damit gilt für die Nachfrage

$$\bar{y} = \alpha + \beta \bar{p} + \gamma \bar{y}$$

bzw.

$$\bar{y} = \frac{(\alpha + \beta \bar{p})}{(1 - \gamma)}.$$

Der Weg zu diesem langfristigen Gleichgewicht wird durch die Anpassungsfunktion

$$y_s - \bar{y} = (y_t - \bar{y})\gamma^{s-t}, s \geq t$$

---

<sup>78</sup> Vgl. Wooldridge (2009), 342 ff.

<sup>79</sup> Als Grundlage dieser Darstellung dient Greene (2012), S. 461 ff.

beschrieben. Ausgehend von diesem Gleichgewicht ist der Effekt einer nun einsetzenden Preisänderung zu bestimmen, indem  $\bar{y}$  nach dem Preis abgeleitet wird. Damit ergibt sich der Zusammenhang

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial \bar{p}} = \frac{\beta}{(1 - \gamma)} = \varepsilon_l$$

Der rechte Term der Gleichung definiert die langfristige Nachfrageelastizität nach Energie. Im Vergleich zur kurzfristigen Elastizität ist zudem der Einfluss des vergangenen Nachfrageverhaltens zu berücksichtigen. Dieser Zusammenhang lässt sich direkt auf betriebliche Zusammenhänge übertragen: bei längeren Zeithorizonten werden Betriebe im Vergleich zur kurzen Frist über mehr Möglichkeiten verfügen, ihre Energienachfrage durch strukturelle Veränderungen und technische Substitutionsmöglichkeiten zu beeinflussen. Im Allgemeinen wird daher von langfristig flexiblen Nachfragereaktionen auf Energiepreisänderungen ausgegangen, wohingegen in der kurzen Frist häufig eine unelastische Nachfrage angenommen wird.

### 3.6.2. Darstellung kurz- und langfristiger Elastizitäten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage

Mit Bezug auf die zuvor hergeleiteten Zusammenhänge betrieblicher Elektrizitätsnachfrage lässt sich die Darstellung um kurz- und langfristige Nachfrageeffekte erweitern. Ausgehend von obigem Beispiel der betrieblichen Nachfragefunktion nach Elektrizität

$$\begin{aligned} \log(e_{i,t}) = & \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_1 b_{i,t} + \delta_2 um_{i,t} + \delta_3 ei_{i,t} + \delta_4 q_{i,t} + \delta_5 guv_{i,t} \\ & + \sum_{i=1}^n \mu_i \log(p_{i,t} \times apw_{i,t}) + \sum_{i=1}^n \tau_i \log(p_{i,t} \times BR_{i,t}) + \theta T_t + \varepsilon_{i,t} + u_i \end{aligned}$$

werden Anpassungshemmnisse in Abhängigkeit der *Betriebsgröße* sowie der *Branche* durch die Koeffizienten  $\mu_i$  und  $\tau_i$  determiniert. Eine diskrete Unterteilung jeweils unterschiedlicher Betriebsgrößen und unterschiedlicher Branchenzugehörigkeiten anhand von Dummyvariablen ( $apw_{i,t}, BR_{i,t}$ ) führt zunächst zur Identifikation kurzfristiger Nachfrageelastizitäten. Diese ergeben sich durch:

$$\varepsilon_k = \gamma + \mu_i + \tau_i$$

Darüber hinaus führt eine Erweiterung dieses Zusammenhangs um eine langfristige Anpassungskomponente  $(1 - \beta)$  zur langfristigen Nachfrageelastizität:

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma + \mu_i + \tau_i}{(1 - \beta)}$$

Hierbei bestimmen die Koeffizienten  $\mu_i$  jeweils Auswirkungen unterschiedlicher Betriebsgrößen auf Anpassungsmöglichkeiten, die Koeffizienten  $\tau_i$  geben darüber hinaus den Einfluss unterschiedlicher Branchenzugehörigkeit an.

Bisher erfolgte eine Herleitung kurz- und langfristiger Anpassungsvorgänge am Beispiel der Betriebsgröße, gemessen am Umsatz. Nach analoger Vorgehensweise lassen sich nun Nachfrageelastizitäten sowie jeweils Anpassungshemmnisse aufgrund aller weiteren der oben dargestellten Hemmnisdeterminanten bestimmen.

### **3.7. Zwischenfazit**

Nachdem im zweiten Kapitel methodische Grundlagen dargelegt wurden, unter welchen marktlichen Bedingungen von Anpassungshemmnissen der Energienachfrage auszugehen ist, erfolgte im vorliegenden Kapitel eine Konzentration auf Einflussdeterminanten des industriellen Elektrizitätskonsums. Das Ziel bestand in der Modellierung einer industriellen Nachfragefunktion nach Elektrizität, welche auf Basis eines metaanalytischen Literatursurveys um betriebsspezifische Einflussdeterminanten für Anpassungsfriktionen an veränderliche Strompreise ergänzt wurde.

In einem *ersten Schritt* wurden hierzu betriebliche Einflussfaktoren, wie etwa Betriebsgröße oder Energieintensität, identifiziert, die in direktem Zusammenhang mit der Bereitschaft und Möglichkeit eines Betriebes einer Anpassung des Elektrizitätskonsums an veränderte Rahmenbedingungen stehen. In einem *zweiten Schritt* wurde eine betriebliche Nachfragefunktion nach Elektrizität hergeleitet. Auf dieser Grundlage sowie durch Kenntnis betrieblicher Einflussdeterminanten mit Bezug zu Hemmnissen ließen sich sukzessive detaillierte Nachfragefunktionen modellieren, in denen sich – *ceteris paribus* – Anpassungshemmnisse spiegeln. Schließlich erfolgte eine methodische Differenzierung zwischen kurz- und langfristigen Anpassungsfunktionen – im Kontext von Nachfrageelastizitäten lässt sich dies durch eine Dynamisierung der Nachfragefunktion durch Berücksichtigung eines Lags der Elektrizitätsnachfrage. Darüber hinaus wurden Einflussdeterminanten des industriellen Strompreises dargelegt.

Als zentrales Ergebnis dieses Kapitels ist festzuhalten, dass eine Identifikation branchen- und betriebsspezifischer Anpassungshemmnisse – zunächst *theoretisch* – grund-

sätzlich möglich ist und es letztlich von Datengrundlagen und Modellierungstechniken abhängt, inwiefern dies auch *empirisch* umgesetzt werden kann.

In Deutschland existieren in großem Umfang Datenbanken über alle Arten von Betriebsdaten, die im Rahmen der amtlich geführten Statistiken kontinuierlich auf dem aktuellen Stand gehalten werden.<sup>80</sup> Worin bestehen nun Möglichkeiten, diesen Datenbestand für eine differenzierte Politikgestaltung zu nutzen? Hier setzt das nachfolgende Kapitel an. Gegenstand dessen ist nun eine empirische Berechnung dieser hergeleiteten Nachfragefunktionen anhand Daten aus der Vollerhebung des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Aus einem Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den bislang weitgehend theoretischen Überlegungen wird sich zeigen, bis zu welchem Maße vorhandene amtliche Firmendaten herangezogen werden können. Letztlich ermöglicht dies Aussagen zur Beurteilung der gegenwärtigen Energiepolitik zur Erreichung bestimmter Umweltschutzziele. Lassen sich zuverlässig Nachfrageelastizitäten mit direktem Bezug zu Anpassungshemmnissen einer Energieeinsparung berechnen, sind Aussagen darüber möglich, wie bestimmte Betriebsgruppen auf eine bestimmte steuerliche Belastung des Inputfaktors Elektrizität reagieren.<sup>81</sup>

---

<sup>80</sup> Im nachfolgenden Kapitel wird der vorhandene Datenbestand näher dargestellt.

<sup>81</sup> Wie nachfolgend dargelegt wird, sieht die bisherige Besteuerung zwar verschiedene Differenzierungen, u. a. zwischen energieintensiven und energieextensiven Steuerschuldnern vor, die dieser Ausgestaltung zugrunde liegende Erklärung begründet sich jedoch nicht nur auf umweltpolitischen, sondern ebenso wettbewerblichen sowie z. T. beschäftigungspolitischen Aspekten.

## 4. Empirische Untersuchung: Elektrizitätsnachfrage im Verarbeitenden Gewerbe

### 4.1. Vorbemerkung

Gegenstand dieses Kapitels ist eine empirische Untersuchung des Elektrizitätsnachfrageverhaltens im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland. Hierbei setzt das Vorgehen an einer im vorangegangenen Kapitel durchgeführten Identifizierung betrieblicher Einflussdeterminanten an. Die vorangehend entwickelten betrieblichen Nachfragefunktionen nach Elektrizität sowie eine methodisch hergeleitete Erfassung betrieblicher Hemmnisstrukturen zur Anpassung des Elektrizitätsnachfrageverhaltens bilden die Grundlage. Die erkenntnisleitende Frage dieses Kapitels lautet:

*Inwiefern lassen sich die zuvor hergeleiteten betrieblichen Nachfragefunktionen nach Elektrizität in Abhängigkeit der darin enthaltenen Ursachen potentieller Anpassungshemmnisse anhand gegenwärtig verfügbarer Firmendaten für Deutschland empirisch bestimmen?*

Sofern die verfügbaren Firmendaten hierfür über eine hinreichend genaue Differenzierung verfügen, werden Aussagen ermöglicht, zu welchem Ausmaß sich betriebliche Nachfragereagibilitäten nach Elektrizität in Abhängigkeit etwa der Firmengröße, betriebsspezifischer Energieintensitäten oder Investitionsquoten unterscheiden.

Eingangs erfolgt ein Literaturüberblick über vergangene und gegenwärtige empirische Arbeiten zur Darstellung betrieblicher Nachfragefunktionen nach Elektrizität. Diese Arbeiten fokussieren bisher nur partiell den Aspekt betrieblicher Anpassungsflexibilitäten in Abhängigkeit unterschiedlicher Firmencharakteristika. Im Anschluss wird das verwendete Firmendatenpanel „Amtliche Firmendaten in Deutschland“ (AFiD) vorgestellt und dargelegt, inwiefern eine Anpassung dieser Paneldaten für die vorliegende Untersuchung notwendig ist. Dieses AFiD-Panel ist gegenwärtig die mit Abstand umfangreichste Datenbank über strukturelle Firmendaten und Energieverbräuche und wurde bisher nicht für eine ähnliche Nachfragemodellierung nach Elektrizität herangezogen.<sup>82</sup> Allein vor diesem Hintergrund sind die Vorteile einer Datennutzung zwar einerseits offenkundig, andererseits sind damit jedoch besondere Anforderungen an eine

---

<sup>82</sup> Nach bestem Wissen des Autors erfolgten bisher keine vergleichbaren Schätzungen.

vorangehende Datenanalyse verbunden. Aufgrund der Neuheit dieses Datensatzes ist zunächst zu klären inwiefern eine vorbereitende Datensatzbereinigung erforderlich ist.

Die folgenden empirischen Auswertungen folgen mehreren parallelen Analysepfaden, die sich mit Blick auf unterschiedliche methodische Schätzverfahren unterscheiden. Zunächst erfolgt eine grundlegende Schätzung durch Anwendung von Fixed Effects (FE) sowie Random Effects (RE) Schätzungen. Anschließend werden Schätzungen auf Basis von Generalised-Method-Of-Moments-Modellen (GMM) modelliert. Zudem werden in einer getrennten Untersuchung Strompreisendogenitäten zugrunde gelegt und den übrigen Schätzmethoden gegenübergestellt. Abschließend werden die aus den unterschiedlichen Analysepfaden zusammengeführten Schätzergebnisse mit den Erkenntnissen aus der vorangehenden Hemmnisdebatte abgeglichen.

## **4.2. Literaturüberblick**

Viele der frühen Arbeiten über Energienachfrage folgen einem von Berndt und Wood (1975) eingeschlagenen Weg zur Darstellung der Faktoreinsatzsubstitutionalität mit Blick auf die eingesetzten Energieformen. Mit steigender Leistungsfähigkeit der eingesetzten Statistiksoftware wurden die zugrunde liegenden Nachfragemodelle umfassender, insbesondere im Verlauf der neunziger Jahre ist eine stark steigende Zahl an Studien in diesem Bereich zu verzeichnen (vgl. Jones (1996), Casler (1997), Dahl und Erdogan (2000)). Die verwendete Grundform setzt sich in der Regel aus einer double-log functional Form zusammen, wobei – je nach vorhandener Datenbasis – entweder die Energienachfrage auf aggregierte Energiepreise und einer Einkommensvariable regressiert werden, oder darüber hinausgehende Variablen zur Darstellung weiterer Unternehmenscharakteristika Berücksichtigung finden.<sup>83</sup>

Im Vergleich zu großen Unterschieden der zugrunde gelegten funktionalen Form der Nachfragefunktion variieren ebenfalls die verwendeten statistischen Techniken deutlich – wobei nicht zwingend im Zeitverlauf mehr und mehr fortgeschrittene Methoden zum Einsatz kamen. Während auf der einen Seite z. B. Bjorner und Jensen (2002) Nachfrageelastizitäten dänischer Industrieunternehmen anhand eines vergleichsweise einfachen

---

<sup>83</sup> Vgl. für einen Überblick vorhandener Verfahren zur Nachfragemodellierung z. B. Greening, et al. (2007).

FE-Modells ohne dynamische Wechselwirkungen mit vergangenen Perioden schätzen (und nicht zwischen kurz- oder langfristigen Nachfrageänderungen differenzieren), verwenden Medlock III und Soligo (2001) eine Two-Stage-Least-Squares (2SLS) Methodik, um potentiell endogene erklärende Variablen durch Instrumentenvariablen zu ersetzen. Als Instruments werden dabei jeweils Lags der potentiell endogenen Variable verwendet. Insbesondere die Verwendung von Instrumentenvariablen zur Lösung von Endogenitätsproblemen auf Grundlage einer dynamischen Paneldatenanalyse wird im weiteren Zeitverlauf vereinzelt verwendet. Zusätzlich werden zugrunde liegende nicht-lineare Trends auf Basis von autoregressiven dynamischen lag Modellen durch Hunt et al. (2003) und Dimitropoulos et al. (2004) berücksichtigt. Die Autoren schätzen jeweils Nachfrageelastizitäten für unterschiedliche Sektoren in Großbritannien, jeweils anhand vierteljährlicher bzw. jährlicher Daten. Chang und Martinez-Chombo (2003) schätzen Nachfrageelastizitäten unterschiedlicher Sektoren in Mexiko und ermöglichen darüber hinaus verändernde Elastizitäten im Zeitverlauf auf Basis eines time varying coefficient (TVC) cointegration Modells. Implizit wird dabei angenommen, dass Anstöße zur technischen Weiterentwicklung durch Preisveränderungen induziert werden. Kamerschen und Porter (2004) untersuchen Elektrizitätsnachfrage im wohnungswirtschaftlichen und industriellen Sektor sowie als Aggregat in den USA auf Grundlage einer dynamischen Paneldatenanalyse. Die Autoren verwenden einen Anpassungsfaktor, um Einflüsse erwarteter zukünftiger Preise abzubilden.

Agnolucci (2009) setzt an den aktuellen Methodikentwicklungen an und schätzt Nachfrageelastizitäten unterschiedlicher Sektoren in Großbritannien und Deutschland. Hierbei werden aggregierte Daten der International Energy Agency (IEA) um einzelne nationale Statistiken ergänzt. Für Deutschland wurden Angaben zur sektorspezifischen Bruttowertschöpfung von Destatis bezogen. Labandeira et al. (2012) schätzen Nachfragefunktionen für Elektrizität im wohnungswirtschaftlichen sowie industriellen Bereich in Spanien. Die Autoren verwenden hierzu ein vergleichsweise einfaches RE-Modell ohne dynamische Interdependenzen mit vergangener Nachfrage, vielmehr steht eine Schätzung trotz begrenzt verfügbarer Informationen im Bereich des Stromangebots im Vordergrund.

Die nachfolgende Tabelle fasst ausgewählte Studien zur empirischen Energienachfrage-schätzung zusammen.<sup>84</sup> Es werden jeweils untersuchte Länder, Energietyp, Zeitraum der verwendeten Daten und geschätzte Preiselastizität angegeben. Zudem erfolgt eine kurze methodische Charakterisierung des Modells.<sup>85</sup>

**Tabelle 7: Ausgewählte Studien zur empirischen Energienachfrageschätzung**

Studie	Land	Energietyp	Modell	Zeitraum	Elastizitäten (LR: Longrun SR: Shortrun)
Jones (1996)	G-7 Länder	Energieträger im Vgl.	Lineares Logitmodell	Jährl. Daten, 1960-1991	LR PE: -0,34 bis -2,23
Casler (1997)	USA	Aggregierter Energieverbrauch	Unterschiedl. Produktionsfunktionen im Vergleich	Jährl. Daten, 1947 - 1971	LR PE: -0,54 bis -0,77
Dahl und Erdogan (2000)	Türkei	Aggregierter Energieverbrauch	Translog-Produktionsfunktion	Jährl. Daten, 1963 - 1992	SR PE: -0,2 bis -0,42
Medlock und Soligo (2001)	28 Länder	Aggregierter Energieverbrauch	Two-stage-least-squares	Jährl. Daten, 1978 - 1995	LR PE: -0,27
Bjorner et. al. (2002)	DK	Elektrizität	Fixed effects panel double log function	Jährl. Paneldaten, 1983 - 1996	-0,44
Hunt et. al. (2003)	UK	Aggregierter Energieverbrauch	Structural time series model; Autoregressive distributed lag model	Quartalsdaten, 1971 - 1997	LR PE: -0,202 LR EE: 0,717
Chang und Martinez-Chombo (2003)	Mexiko	Elektrizität	Time varying coefficients, double log functional form	Monatliche Daten, 1/1985 - 5/2000	LR PE: -0,05 LR EE: 2,3 - 2,7
Kamerschen und Porter (2004)	USA	Elektrizität	Simultaneous equation model, Three-stage-least-squares	Jährliche Daten, 1973 - 1998	LR PE: -0,35 bis -0,55
Dimitropoulos et. al. (2004)	UK	Aggregierter Energieverbrauch	Autoregressive distributed lag model	Jährliche Daten, 1967 - 1999	LR PE: -0,16 LR EE: 0,7
Agnolucci (2009)	UK und D	Aggregierter Energieverbrauch	Static pooled estimators	Jährliche Daten, 1978 - 2004 bzw. 1991 - 2004	LR PE: -0,64
Labandeira et. al. (2011)	Spanien	Elektrizität	Double log functional form	Monatliche Daten, 9/2005 - 8/2007	SR PE: -0,031

Quelle: Eigene Darstellung

Nicht immer wird zwischen kurz- und langfristigen Elastizitäten differenziert, auch ergeben sich z. T. große Unterschiede zwischen den geschätzten Elastizitäten. Kurzfristige Elastizitäten bewegen sich je nach betrachtetem Land zwischen -0,03 und -0,2, die langfristigen Nachfrageelastizitäten liegen im Intervall zwischen -0,05 und -2,23. In einzelnen Fällen wurden positive Nachfrageelastizitäten bestimmt. Darüber hinaus fällt auf, dass trotz Verwendung aktueller Schätzverfahren nicht immer statistisch signifikante Schätzer ermittelt werden konnten. Zum Teil schien dies an einer, auch bei aktuellen Studien und für Industrieländer, nicht immer ausreichend breiter Datenbasis zu

<sup>84</sup> Vgl. zudem Lijesen ebd.

<sup>85</sup> vgl. hierzu auch nachfolgende Abschnitte.

liegen.<sup>86</sup> In einigen der untersuchten Studien wurden darüber hinaus Einkommenselastizitäten berechnet. Langfristige Einkommenselastizitäten liegen, je nach betrachtetem Land und vorhandener Datenbasis, zwischen 0,7 und 2,7.

Ein signifikanter Unterschied zu diesen Studien besteht im an die vorliegende Arbeit gestellten Anspruch, betriebliche Anpassungshemmnisse an veränderte Strompreise empirisch trennscharf darzustellen und dabei gleichzeitig methodologischen Anforderungen zur Auswertung aller in Deutschland verfügbaren amtlichen Datenbanken gerecht zu werden.

### 4.3. Methodik

#### 4.3.1. Grundlagen der mikrodatenbasierten Panelanalyse und besondere statistische Anforderungen

Eine mikrodatenbasierte Panelanalyse erlaubt detaillierte Rückschlüsse auf das Verhalten beobachteter Objekte, wobei der Erklärungsgehalt aus wiederholten Aufzeichnungen derselben Variablen der Untersuchungsobjekte im Zeitverlauf genutzt wird. Auf diese Weise liegen bestimmte Firmendaten, wie etwa Umsatz, Produktionsinputs, Produktionsort oder Mitarbeiteranzahl, jeweils derselben Firma für einen bestimmten Zeithorizont vor.<sup>87</sup> Im Gegensatz zu Querschnittsdaten – welche eine Bestandsaufnahme für jeweils einen bestimmten Zeitpunkt umfassen – kommt eine zeitliche Dimension hinzu. Im Vergleich zu gepoolten Querschnittsdaten mit Kombinationen jeweils voneinander unabhängiger Erhebungen zu bestimmten Zeitpunkten werden hier *dieselben* Untersuchungsobjekte mehrfach beobachtet. Wenngleich dies einen größeren Aufwand zur Datengenerierung bedeutet, gehen hiermit jedoch unterschiedliche Vorteile bei der Datenauswertung einher.<sup>88</sup>

Grundlegend für diese Schätzverfahren ist die Methode der kleinsten Quadrate („ordinary least squares“, OLS), wonach für eine vorhandene Datenpunktwolke eine spezifische Funktion gesucht wird, bei der die Abstände zu den Datenpunkten minimiert wer-

---

<sup>86</sup> Auch vor diesem Hintergrund erscheint die nachfolgende Auswertung des AFiD-Datensatzes des Forschungsdatenzentrums vielversprechend zu sein.

<sup>87</sup> Vgl. Wooldridge (2009), S. 10f.

<sup>88</sup> Vgl. ebd., Kapitel 13; Greene (2012), Kapitel 11.

den. Letztlich sollen Aussagen über die Verteilung der Grundgesamtheit ermöglicht werden, indem die (in ihrer tatsächlichen Ausprägung unbekannt) Verteilungsparameter geschätzt werden. Oftmals reicht dieses grundlegende Schätzverfahren jedoch nicht aus, alle in einem Datensatz vorhandenen Informationen zu extrahieren und effiziente – also möglichst genaue – Schätzer zu berechnen. Im vorliegenden Falle etwa werden nicht alle Firmencharakteristika im Paneldatensatz enthalten sein, die ihrerseits Auswirkungen auf eine betriebliche Stromnachfrage haben. Beispielsweise existieren keine Informationen über konkrete Betriebsabläufe eines Energiemanagements oder auch bestimmte feste Organisationsstrukturen. Genau hier liegt ein signifikanter Vorteil von Paneldaten: da in der Realität nahezu keine Fälle existieren, in denen alle möglichen Informationen in einem Datensatz vorliegen, können mathematische Verfahren verwendet werden, mit denen die Effekte zeitkonstanter unbeobachteter Informationen (unbeobachtete Heterogenität) zwar nicht empirisch gemessen, jedoch kontrolliert werden können. Es lassen sich auch dann konsistente Schätzer berechnen, wenn diese unbeobachteten Firmencharakteristika mit anderen erklärenden Variablen korrelieren – bspw. könnten bestimmte feste betriebliche Organisationsstrukturen auch mit dem wertmäßigen Produktionsoutput korrelieren, der in der anstehenden Nachfrageschätzung als erklärende Variable dienen soll. Darüber hinaus können auch bei Vorliegen serieller Korrelation der Errorterme – in denen nicht als erklärende Variablen berücksichtigte Elemente aufgefangen werden – konsistente Schätzer ermittelt werden. Insgesamt kann eine bessere Untersuchung von Kausalzusammenhängen ermöglicht werden.

#### **4.3.2. Kurzcharakterisierung der unterschiedlichen Auswertungstechniken**

Eine Möglichkeit dazu bieten *FE-Modelle*: Hierbei erfolgt eine Bestimmung der Schätzgleichung durch vergangene Veränderungen *innerhalb* der beobachteten Betriebe. Die Effekte zwischen den unterschiedlichen aufgezeichneten Betrieben werden dagegen ignoriert. Durch Transformation der Schätzgleichung, indem jeweils betriebspezifische Durchschnitte über die Zeitperioden subtrahiert werden, lässt sich die (betriebspezifische) Heterogenität herauskürzen. *RE-Modelle* berücksichtigen in einer etwas abweichenden Transformation der Schätzgleichung auch Effekte zwischen unterschiedlichen

Betrieben, allerdings darf hierbei keine Korrelation zwischen unbeobachteter Heterogenität und erklärenden Variablen vorliegen.<sup>89</sup>

Durch Verwendung zeitlicher Lags einzelner Variablen können darüber hinaus Aussagen über Anpassungsreaktionen der beobachteten Objekte getroffen werden. Gerade mit Bezug auf Nachfrageänderungen bei unterschiedlichen Energiepreisen kann dies wertvolle Zusatzinformationen liefern – wie später gezeigt wird, lässt sich hierdurch zwischen Nachfrageelastizitäten in der kurzen und langen Frist differenzieren. Darüber hinaus können Schätzmodelle durch das Einfügen von Lags der abhängigen Variable als zusätzliche erklärende Variable erweitert werden. In einem solchen dynamischen Nachfragemodell kann etwa berücksichtigt werden, dass die betriebliche Nachfrage nach Strom z. T. auch vom vergangenen Stromkonsum abhängt. Dies folgt der Annahme, dass betriebliche Ablaufstrukturen bis zu einem gewissen Grad starr sind, sich etwa neue Technologien zur energieeffizienteren Produktion erst längerfristig durchsetzen. Da die Schätzkoeffizienten dieser Lags jedoch mit dem Errorterm korrelieren, können sich aus dieser Endogenität inkonsistente Schätzern ergeben, die gegebenenfalls durch Anpassung der Schätzmethode korrigiert werden müssen. Unter anderem kann dies durch den Einsatz von Instrumentenvariablen anstelle endogener Lag-Variablen im Rahmen der *GMM-Methode* erfolgen.<sup>90</sup> Zusätzlich zu FE- und RE-Modellen wird diese Berechnungsmethode im Rahmen der nachfolgenden Modellberechnungen erläutert und den Ergebnissen den vorangehend dargestellten Schätzmethoden gegenüber gestellt.

Darüber hinaus kann sich aus einer simultanen Betrachtung aller Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie nach Energieverbrauchsklassen gestaffelter Strompreise die Problematik ergeben, dass die Strompreise einerseits den industriellen Stromkonsum bestimmen, andererseits jedoch auch von möglichen Einflüssen des Stromkonsums auf den Strompreis auszugehen ist. Es liegt die Schlussfolgerung nahe, dass der Stromkonsum einzelner Branchen einen genügend großen Umfang besitzt, dass etwa in Zeiten besonders hoher Lastspitzen oder sehr niedriger Strombedarfe auch Strompreise Schwankungen aufweisen werden. Diese *Endogenitätsproblematik* kann zu besonderen Anforderungen an empirische Schätzmodelle führen und Schätzfehler, die sich aus Rückkopplungen des Stromkonsums – als modellendogene Variable – auf den Strom-

---

<sup>89</sup> Vgl. Wooldridge (2009), Kapitel 14 oder Greene (2012), Kapitel 11.

<sup>90</sup> Vgl. Greene (2012), S. 434 ff.

preis – als modellexogene Variable – ergeben, zu korrigieren. Hierzu wird im Kontext der anstehenden empirischen Berechnungen auf eine Verwendung von Instrumentenvariablen für den Strompreis zurückgegriffen. Grundlegendes Prinzip einer solchen *2SLS-Schätzung* besteht in der Verwendung einer Instrumentenvariable, die eine signifikante Korrelation mit dem Strompreis aufweist, jedoch *nicht* mit der modellendogenen Variable – im vorliegenden Falle des Stromkonsums – korreliert. In Abschnitt 4.5.4 wird diese Problematik näher untersucht.

Den Nutzungsvorteilen von Paneldaten steht ein Zusatzaufwand zur Generierung einer konsistenten langfristigen Datenaufzeichnung gegenüber. Die Zusammensetzung des Panels kann sich durch Fluktuation bei den Untersuchungsobjekten im Zeitverlauf graduell ändern, so dass – gerade bei Panels mit langen Zeithorizonten – letztlich die letzte Periode u. U. nur eingeschränkt mit der ersten Periode vergleichbar ist. Auch können sich Aufzeichnungsfehler vor einer Korrektur bei der Datenerhebung über mehrere Perioden hinziehen. Schließlich sind auch Aspekte der seriellen Korrelation zu berücksichtigen.<sup>91</sup>

## **4.4. Beschreibung und Aufbereitung des verwendeten Datensatzes**

### **4.4.1. Das Panel „Amtliche Firmendaten in Deutschland“ des Forschungsdatenzentrums**

Bevor eine empirische Schätzung der dargelegten Nachfragefunktionen durchgeführt werden kann, ist eine Analyse des vorliegenden AFiD-Panels notwendig. Es handelt sich um einen vergleichsweise neu verfügbaren Datensatz, welcher bislang nur wenig genutzt wurde.<sup>92</sup> Es ist daher zunächst zu untersuchen, welche Informationen im Panel tatsächlich enthalten sind, in welcher Form diese Informationen im Zeitverlauf verfügbar sind und inwiefern eine inhaltliche Konsistenz die Berechnung valider Ergebnisse verspricht.

---

<sup>91</sup> Vgl. Hunt, et al. (2003).

<sup>92</sup> Nach bestem Wissen des Autors beschränkte sich die bisherige Nutzung darüber hinaus vorrangig auf gezielte deskriptive Auswertungen einzelner Panelbestandteile.

Das AFiD-Panel basiert auf Einzeldaten der amtlichen Wirtschafts- und Sozialstatistiken und wird im Rahmen eines neuen Projekts des Forschungsdatenzentrums der Statistischen Landesämter (FDZ) erstellt.<sup>93</sup> Bislang nur im Querschnitt und unvollständig vorliegende Daten einzelner Statistiken werden anhand des Unternehmensregisters im Längs- und Querschnitt kombiniert. Auf diese Weise wird das wissenschaftliche Analysepotential deutlich erhöht, da nunmehr Informationen aus den unterschiedlichen amtlichen Statistiken für einzelne Unternehmen oder Betriebe gleichzeitig verwendet werden können. Der hier verwendete Paneldatensatz ist erst seit wenigen Jahren verfügbar; vergleichbare Datensätze mit ähnlicher Genauigkeit und Datenumfang waren für eine wissenschaftliche Auswertung bislang nicht vorhanden – dies unterstreicht dessen Bedeutung für eine differenzierte Abschätzung des betrieblichen Nachfrageverhaltens nach Energie im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland.

Im Rahmen des AFiD-Projekts bestehen Nutzungsmöglichkeiten unterschiedlicher Panel.<sup>94</sup> Das im vorliegenden Fall verwendete Panel „Industriebetriebe“ setzt sich aus Jahresergebnissen amtlicher Statistiken des Verarbeitenden Gewerbes zusammen und deckt die Erhebungsjahre 1995 – 2009 ab. Anhand von Informationen des Unternehmensregisters erfolgte eine betriebsspezifische Verknüpfung dieser Daten. Im Einzelnen wurden Erhebungsdaten entsprechend der in Tabelle 8 dargestellten Statistiken verknüpft.

Im vorliegenden AFiD-Panel sind jeweils Betriebsdatensätze enthalten. Als Betrieb gilt *„jede örtlich abgegrenzte Produktionseinheit einschließlich der in ihrer unmittelbaren Umgebung liegenden und von ihr abhängigen Einheiten“*.<sup>95</sup> Erfasst werden alle im Inland befindlichen Betriebe mit überwiegender oder ausschließlicher Tätigkeit im Verarbeitenden Gewerbe, des Bergbaus oder der Gewinnung von Steinen und Erden.<sup>96</sup> Es handelt sich bei den Statistiken um Totalerhebungen mit Auskunftspflicht und Ab-

---

<sup>93</sup> FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011).

<sup>94</sup> Vgl. [www.forschungsdatenzentrum.de/afid.asp](http://www.forschungsdatenzentrum.de/afid.asp). Unter anderem bestehen Nutzungsmöglichkeiten der Panel Agrarstruktur, Industriebetriebe, Handel, Gastgewerbe oder Dienstleistungen [abgerufen am 3.10.2011].

<sup>95</sup> Vgl. FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011). Im Unterschied dazu können Unternehmen jeweils mehrere Betriebe umfassen. Aufgrund der vorliegenden Fragestellung erscheint eine Analyse von Betrieben als räumlich abgegrenzte Produktionseinheiten sinnvoll.

<sup>96</sup> Die Betriebseinheiten werden jeweils entsprechend ihres wirtschaftlichen Schwerpunktes zugeordnet.

schneidegrenze (20 Beschäftigte).<sup>97</sup> Für insgesamt 13.058 Betriebe sind für jeweils alle Jahre und in allen drei Erhebungen Daten vorhanden.

**Tabelle 8: Verwendete amtliche Statistiken des AFiD-Panels „Industriebetriebe“**

Datenmaterial	Berichtsjahre
Monatsbericht für Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (es werden jeweils kumulierte Jahresergebnisse verwendet)	1995 – 2009
Jährliche Investitionserhebung bei Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden	1995 – 2009
Vierteljährliche Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe (es werden jeweils kumulierte Jahresergebnisse verwendet)	1995 – 2009

Quelle: Eigene Darstellung nach FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2010)

Dieses Betriebspanel wird mit Informationen des ebenfalls im Rahmen des AFiD-Projekts vorhandenen Moduls „Energieverwendung“ kombiniert. Analog zur vorangehend dargestellten Vorgehensweise der Datenverknüpfung wurden amtliche Firmendaten der Statistiken des Monatsberichts für Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden und der Jahresherhebung zur Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes verwendet, wie in nachfolgender Tabelle dargestellt.

**Tabelle 9: Verwendete amtliche Statistiken des AFiD-Moduls „Energieverwendung“**

Datenmaterial	Berichtsjahre
Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden	1995 – 2002
Jahresherhebung zur Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes	2003 – 2009

Quelle: Eigene Darstellung nach FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011)

Insgesamt sind in diesem Modul Angaben über 82.712 Betriebe enthalten, hiervon liegen zu 23.682 Betrieben Informationen in allen Erhebungsjahren vor. Ferner sind zu

<sup>97</sup> In einzelnen Fällen kleinbetrieblich strukturierter Wirtschaftszweige liegt die Abschneidegrenze darunter.

58.078 Betrieben Angaben zur Energieverwendung in mindestens fünf Jahren verfügbar. Die linke Hälfte der Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die Anzahl der befragten Betriebe nach teilgenommenen Jahren, in der rechten Hälfte zeigt typische Teilnahmemuster exemplarisch zur Gruppe der Betriebe mit mindestens fünf aufgezeichneten Jahreswerten.

**Tabelle 10: Anzahl befragter Betriebe nach teilgenommenen Jahren und typische Teilnahmemuster von Betrieben mit mind. 5 Meldungen**

Gesamtübersicht		Teilnahmemuster Betriebe mit $\geq 5$ Jahren	
Anzahl Jahre	1995 bis 2009	Teilnahmemuster 1995 - 2009	Anzahl der Betriebe
15	23.682	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	23.682
14	2.203	1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0	3.178
13	3.698	0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1.959
12	2.269	0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1	1.887
11	3.036	1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1.551
10	2.396	1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0	1.477
9	3.053	1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1.408
8	5.790	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0	1.348
7	3.715	1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0	1.347
6	3.980	0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1.334
5	4.256	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	1.188
4	4.403	0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1	1.181
3	5.595	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1	1.155
2	6.916		
1	7.720		
<b>Gesamt</b>	<b>82.712</b>		
<b>davon <math>\geq 5</math> Jahre</b>	<b>58.078</b>		

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), S. 8

Aus einer Kombination des Industriebetriebspanels mit Daten zur Energieverwendung ergibt sich ein Paneldatensatz mit insgesamt 84.531 Betrieben, im Zeitverlauf ergibt dies 741.354 Beobachtungen. Der Datensatz wurde, auf Basis oben dargestellter statistischer Bestandteile, durch das FDZ bereitgestellt, wobei die enthaltenen Variablen auf die hier im Vordergrund stehende Forschungsfrage abgestimmt wurden.<sup>98</sup> Der Datensatz liegt im Long Format vor, die Verknüpfung des Industriebetriebspanels mit dem Modul „Energieverwendung“ wurde ebenfalls durch das FDZ vorgenommen.

Eine Auswertung der Daten erfolgt im Rahmen der „Kontrollierten Datenfernverarbeitung“. Dies bedeutet, dass die Do-Files des Statistik-Analyseprogramms Stata jeweils anhand eines Datenstrukturfiles programmiert werden. Der auf das Forschungsprojekt

<sup>98</sup> Die Lizenz zur Datennutzung wurde vom FDZ erworben, die Betreuung des Projektes auf Seiten des FDZ ist das Landesamt für Statistik Berlin-Brandenburg, einzelne Aspekte (insb. Datenprogrammierung) werden durch das Statistische Landesamt Bremen durchgeführt.

zugeschnittene Projektdatensatz umfasst eine Vollerhebung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Aufgrund damit einhergehender Identifikationsmöglichkeiten einzelner regionaler Betriebe bzw. deren Firmendaten enthält dieser Datenstrukturfile keine verwertbaren „echten“ Informationen. Der Datensatz mit tatsächlichen Werten wird anschließend anhand des zugesendeten Programmcodes durch das FDZ ausgewertet, eine Einsicht durch den Datennutzer ist nicht möglich. Nach Überprüfung des Analyseoutputs auf etwaige Geheimhaltungsvorschriften wird dieser zugesendet.<sup>99</sup>

Im Detail enthält der der Paneldatensatz betriebliche Angaben zur geografischen Verteilung, des zugehörigen Wirtschaftszweiges, Umsätze, Investitionen, tätige Personen und Energiekonsum. Tabelle 11 gibt einen Überblick über enthaltene Informationen sowie deren Datenbasis.

**Tabelle 11: Überblick über im Datensatz enthaltene Variablen**

Variablen	Datenbasis
Geografische Verteilung der Betriebe (Bundeslandebene)	
Wirtschaftszweig: bis auf Ebene der Viersteller der	
Wirtschaftszweigklassifikation 2003	In allen Statistiken enthalten
Hauptgruppe: Vorleistungsgüter- / Investitionsgüter- / Gebrauchsgüter- / Verbrauchsgüterproduzent	
Tätige Personen insgesamt / Beschäftigtengrößenklasse	
Inlandsumsatz in €	
Auslandsumsatz in €	Monatsbericht der Betriebe des VG
Umsatz insgesamt in €	
Bruttolohn- und -gehaltssumme des Betriebes in €	
Absatzproduktionswert in €	Produktionserhebung im Bereich des VG
Bruttoanlageinvestitionen in € (darunter Maschinen und maschinelle Anlagen)	
Wert der neu gemieteten oder gepachteten Sachanlagen in € (darunter Maschinen und maschinelle Anlagen)	Investitionserhebung im Bereich des VG
Bezugs- und Verbrauchsdaten über Energieträger, darunter Strom, Erdgas, Heizöl, Fernwärme, Kohle	Monatsbericht der Betriebe des VG (1995 - 2002) Jahreserhebung zur Energieverwendung der Betriebe des VG (2003 - 2008)

Quelle: Eigene Darstellung nach FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011)

Im Gegensatz zu den im vorangegangenen Kapitel identifizierten betrieblichen Einflussdeterminanten enthält der Datensatz keine Informationen über betriebliche Gewinne. Aus diesem Grund lassen sich Nachfrageeffekte aufgrund von betrieblichen Ge-

<sup>99</sup> Dieses Vorgehen stellt hohe Ansprüche an eine saubere Datenprogrammierung. Da die zeitliche Dauer jeweils zwischen Zusendung der Do-Files und Rücksendung der Analyseoutputs zudem recht lang ist, ist dieses Vorgehen sehr zeitaufwändig. Aufgrund der Einzigartigkeit des Datensatzes hinsichtlich Umfang und Detailfülle erscheint der Aufwand dennoch gerechtfertigt.

winn-Umsatz-Verhältnissen im Rahmen der anstehenden empirischen Schätzung nicht kontrollieren. Demgegenüber sind für alle übrigen identifizierten Einflussdeterminanten entsprechende Aufzeichnungen im Datensatz enthalten.

#### 4.4.2. Eingrenzung und Aggregation des Datensatzes

Die im Paneldatensatz enthaltenen Betriebe sind jeweils Unterkategorien der Wirtschaftszweige gemäß der Wirtschaftszweigklassifikation 2003 (WZ 2003) zugeordnet. Für eine praktikable Handhabung der Daten werden die Betriebe jeweils zu übergeordneten Branchen des Verarbeitenden Gewerbes („2-Steller“) aggregiert, wie in Tabelle 12 dargestellt wird.<sup>100</sup>

Tabelle 12: Wirtschaftszweige gem. WZ 2003

Nr.	WZ-Kode 2003	Wirtschaftszweig / Branche
1	15, 16	Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung
2	17, 18	Textil- und Bekleidungsgewerbe
3	19	Ledergewerbe
4	20	Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)
5	21, 22	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe
6	23	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen
7	24	Herstellung von chemischen Erzeugnissen
8	25	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
9	26	Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
10	27, 28	Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen
11	29	Maschinenbau
12	30 - 33	Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik
13	34, 35	Fahrzeugbau
14	36, 37	Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen; Recycling

Quelle: Eigene Darstellung

Auf diese Weise wird im Rahmen der nachfolgenden ökonometrischen Datenauswertung jeweils eine Bestimmung branchenspezifischer Nachfragefunktionen ermöglicht und den im vorangegangenen Kapitel hergeleiteten Voraussetzungen für eine Identifikation branchenspezifischer Anpassungshemmnisse Rechnung getragen.

<sup>100</sup> Eine Zusammenfassung einzelner „2-Steller“ erfolgt analog zur Brancheneinteilung gemäß der WZ 2003, vgl. Statistisches Bundesamt (2006).

Im vorliegenden Fall handelt es sich um ein *unausgeglichenes* Panel.<sup>101</sup> Dies bedeutet, dass nicht alle Betriebe jeweils in allen Zeitperioden verfügbare Daten aufweisen. Wobei hierfür grundsätzlich sehr unterschiedliche Gründe vorliegen können, dürften die häufigsten Ursachen darin liegen, dass Betriebe entweder im Zeitverlauf aus dem Markt ausscheiden, nach Beginn der Datenaufzeichnungen hinzukommen oder sich mit anderen Betrieben zusammenschließen.<sup>102</sup> Damit geht jedoch die Gefahr einher, dass etwa sehr große Betriebe mit nur vereinzelt verfügbaren Daten („*Ausreißer*“) deutliche Verzerrungen der Gesamtschätzung verursachen.

Es ist zudem anzunehmen, dass Betriebe mit besonders hohen Stromverbräuchen individuelle Lieferverträge mit Energieversorgern eingehen und keine einheitlichen Strompreise zahlen. Darüber hinaus unterliegen diese Vereinbarungen in der Regel betrieblichen Vertraulichkeitsbestimmungen, so dass keine öffentlich verfügbaren Preisinformationen existieren. Letztlich sind auch aus diesem Grund bei Eurostat keine Industriestrompreise bei jährlichen *Durchschnittsverbräuchen* von mehr als 60.000 MWh verfügbar. Vor diesem Hintergrund werden im Datensatz alle Betriebe mit jährlichen Stromverbräuchen von mehr als 100.000 MWh herausgenommen. Eine genaue Durchsicht der Daten deutet ferner auf z. T. nicht plausible Angaben zu Absatzproduktionswert und Umsatz hin.<sup>103</sup> Im Folgenden werden keine Observationen berücksichtigt, für die Absatzproduktionswerte oder Umsätze von weniger als 100.000 Euro gemeldet wurden; analog wird mit Betrieben verfahren, für die keine Stromverbräuche gemeldet wurden. Schließlich können keine Aufzeichnungen der Jahre 2008 und 2009 verwendet werden, da eine einheitliche Zuweisung der Betriebe zu 2-Stellern gemäß WZ 2003 in diesen Jahren aufgrund einer Umstellung auf die neue amtliche Wirtschaftszweignklassifikation 2008 nicht möglich ist.<sup>104</sup>

---

<sup>101</sup> Vgl. Wooldridge (2009), S. 488 ff.

<sup>102</sup> Darüber hinaus könnten sich Betriebe im Zeitverlauf etwa zu mehreren Betrieben aufspalten. Ebenfalls könnten Betriebe zunächst aus dem Markt ausscheiden und in späteren Perioden wieder hinzukommen. Schließlich sind auch Datenlücken aufgrund fehlerhafter Erhebungen nicht vollständig auszuschließen.

<sup>103</sup> Ähnlich gehen auch Petrick, et al. (2011), vor die anhand des vorliegenden Datensatzes erste deskriptive Analysen unternehmen.

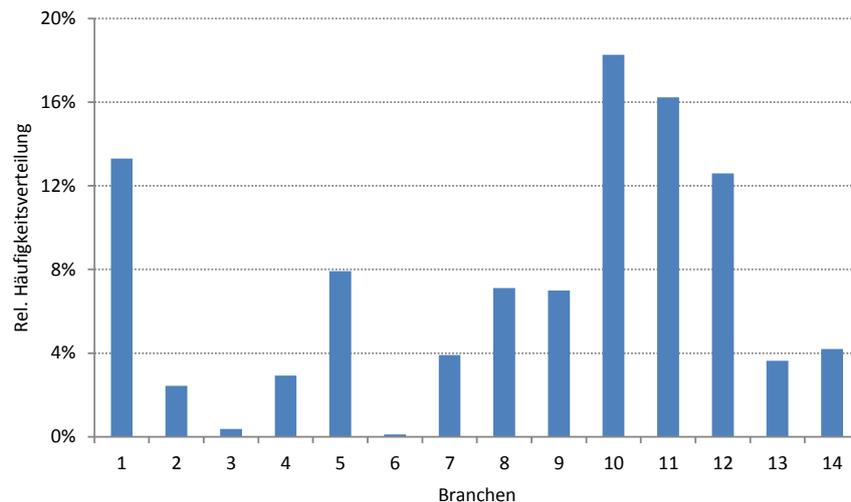
<sup>104</sup> Darüber hinaus verhindert auch eine Umstellung der Aufzeichnungssystematik der Strompreise in der Eurostat-Datenbank ab 2008 eine Verwendung der letzten beiden Jahre.

Durch diese Eingrenzung sowie aufgrund der Einschränkung des Datensatzes auf die Jahre 1995 bis 2007 reduziert sich die Anzahl der im Datensatz enthaltenen Betriebe von 84.531 auf nunmehr 81.240; dies entspricht insgesamt 646.845 Beobachtungen. Eine weitere Kürzung in Abhängigkeit sehr niedriger Absatzproduktionswerte bzw. Umsätze, bei Jahreselektrizitätsverbräuchen von mehr als 100.000 MWh sowie bei nicht plausiblen Angaben zu Stromverbräuchen führt schließlich zu einem bereinigten Datensatz mit 70.751 Betrieben bzw. 563.166 Beobachtungen im Zeitverlauf.

#### 4.4.3. Struktur der im Datensatz enthaltenen Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland

Mit Bezug auf zuvor definierte Branchen entfällt der größte Anteil der im Datensatz enthaltenen Aufzeichnungen<sup>105</sup> auf die Metallerzeugung, Metallbearbeitung und Erzeugnisse daraus (17,3 %), gefolgt vom Maschinenbau (15 %) und der Herstellung von Maschinen im Datenverarbeitungs- und Elektrizitätsbereich sowie in der Nachrichtentechnik. Nur sehr geringe Anteile entfallen auf die Branchen Kokereien und Mineralölverarbeitung sowie Recycling (relative Anteile an der Gesamtbeobachtung jeweils unter 1 %).

Abbildung 9: Branchenspezifische Häufigkeitsverteilung der Betriebe im Jahr 2007<sup>106</sup>



Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnung

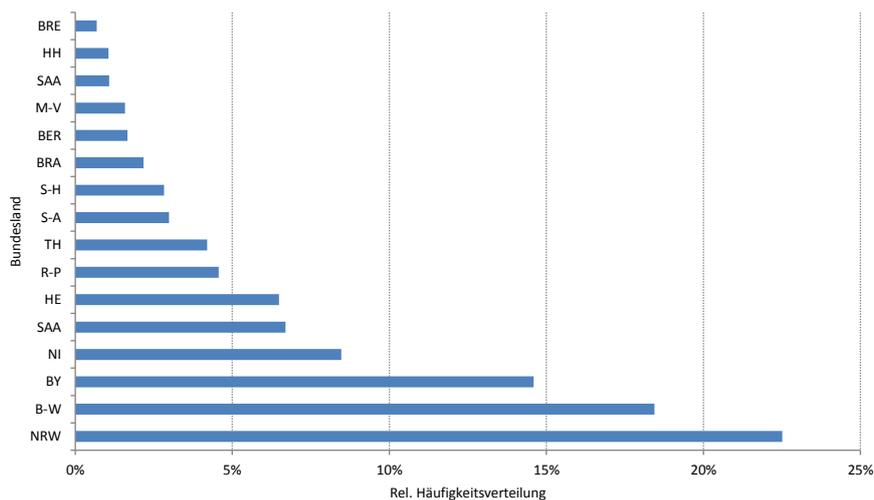
<sup>105</sup> Hiermit sind alle Aufzeichnungen über den gesamten Beobachtungszeitraum gemeint.

<sup>106</sup> Vgl. Tabelle 12 für die Aufschlüsselung der den Nummern zugeordneten Branchen.

Diese Anteile sind nicht gleichzusetzen mit Marktanteilen – aufgrund einer oligopolistischen Marktstruktur im Bereich der Mineralölverarbeitung dürfte dies vielmehr an einer hohen Marktkonzentration durch sehr wenige Betriebe liegen. Abbildung 9 zeigt eine Momentaufnahme der Verteilung der Betriebe auf die unterschiedlichen Wirtschaftszweige im Jahr 2007 – dem aktuellen Rand der für die nachfolgende empirische Modellierung verwendeten Periode. Diese Verteilung entspricht recht genau der Verteilung im Durchschnitt über den gesamten Betrachtungszeitraum.<sup>107</sup>

Mit Blick auf die geografische Verteilung der insgesamt im Datensatz enthaltenen Aufzeichnungen zeigt sich eine deutliche Konzentration auf die industriell traditionell starken Bundesländer Nordrhein-Westfalen (NRW), Baden-Württemberg und Bayern. Für sich genommen vereinen diese Bundesländer 56,2 % aller Betriebsaufzeichnungen.<sup>108</sup> Dazu wird in Abbildung 10 eine Momentaufnahme der regionalen Verteilung im Jahr 2007 dargestellt. Von im Jahr 2007 insgesamt im Datensatz enthaltenen 41.206 Betrieben sind 55,6 % den drei genannten industriestarken Bundesländern zuzuordnen.

**Abbildung 10: Regionale Häufigkeitsverteilung der Betriebe im Jahr 2007**



Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

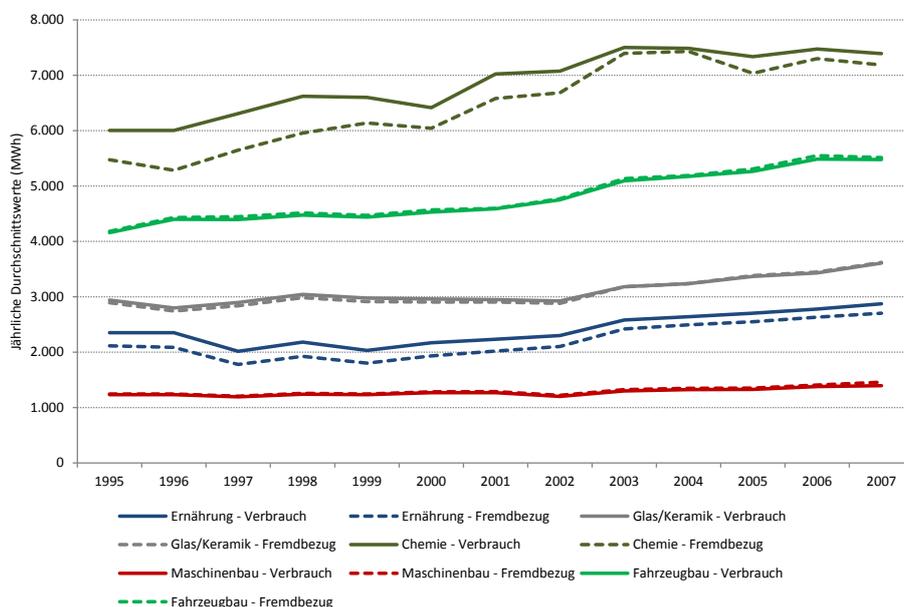
Abbildung 11 stellt durchschnittliche jährliche Stromverbräuche ausgewählter Wirtschaftszweige jeweils durchschnittlichen jährlichen Stromfremdbezügen gegenüber. Im Bereich der chemischen Industrie verlaufen durchschnittliche Verbräuche zwischen

<sup>107</sup> Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich hierbei um ein Panel mit Abschneidegrenze handelt, wodurch kleine Betriebe mit weniger als 20 Mitarbeitern nicht erfasst werden.

<sup>108</sup> Diese Bestandsaufnahme entspricht recht genau der tatsächlichen Verteilung im Jahr 2008.

6.000 MWh im Jahr 1995 sowie etwa 7.300 MWh im Jahr 2007.<sup>109</sup> Demgegenüber verläuft der Durchschnittsverbrauch im Maschinenbaugewerbe jeweils zwischen etwa 1.200 MWh und knapp 1.400 MWh. In allen Branchen ist im Zeitverlauf ein leicht ansteigender Trend zu beobachten.

Abbildung 11: Stromverbrauch und Stromfremdbezug ausgewählter Branchen im Vergleich



Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Die Grafik zeigt deutlich, dass z. T. Unterschiede zwischen dem durchschnittlichen Stromkonsum sowie dem durchschnittlichen Stromfremdbezug existieren.<sup>110</sup> Es wird jedoch ebenfalls deutlich, dass diese Differenzen – mit Bezug zum Gesamtverbrauch – stets einen relativ geringen Anteil ausmachen. Diese Erkenntnis ist wichtig für die anstehende empirische Nachfragemodellierung – eine der Annahmen dazu lautet, dass die öffentlich verfügbaren Strompreisinformationen aus der Eurostat-Datenbank stellvertretend für den gesamten Stromkonsum, also auch für möglicherweise privat verhandelte Lieferverträge, herangezogen werden.

<sup>109</sup> Im Bereich der Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen ist mit durchschnittlichen jährlichen Verbräuchen zwischen knapp über 9.000 MWh im Jahr 1995 und knapp 12.000 MWh im Jahr 2007 der höchste Elektrizitätskonsum zu verzeichnen. Die niedrigsten Durchschnittsverbräuche lassen sich mit durchweg unter 1.000 MWh pro Jahr dem Ledergewerbe zuordnen. Dies ist in der Abbildung nicht enthalten.

<sup>110</sup> Der Stromfremdbezug wird hier definiert als Strombezug aus dem öffentlichen Netz, Strombezug von anderen Betrieben sowie Stromdirektbezug aus dem Ausland.

Darüber hinaus verdeutlicht diese Grafik Auswertungsprobleme, die aus einer Zusammenführung unterschiedlicher Statistiken im Übergang der Jahre 2002 und 2003 resultieren. In allen betrachteten Branchen ist ein leichter Anstieg des Stromkonsums sowie des Stromfremdbezugs erkennbar. Dies liegt an veränderten Aufzeichnungspflichten der amtlichen Energiestatistiken. Dieser methodische Bruch setzt sich auch bei anderen Aufzeichnungsmerkmalen fort, so dass für die anstehende Nachfragemodellierung nur jeweils getrennte Berechnungen der Perioden 1995 – 2002 sowie 2003 – 2007 durchgeführt werden können.<sup>111</sup>

#### **4.4.4. Anspielung von Strompreisen an den Datensatz**

Der AFiD-Paneldatensatz enthält keine Strompreisinformationen, zur Darstellung der betrieblichen Stromnachfrage und darin enthaltener Nachfrageelastizitäten müssen diese Informationen nachträglich angespielt werden. Dies geschieht auf Grundlage der länderübergreifenden Eurostat-Datenbank.<sup>112</sup> Aufgrund der vorangehend dargelegten Veränderung in der Methodik zur Strompreisaufzeichnung ergeben sich jedoch Probleme bei Anspielung der Strompreise an den Datensatz. Durch den Übergang zu neuen Strompreisklassen im Jahr 2008 ergeben sich im Vergleich zu den Klassen in den vorangegangenen Jahren Überlappungen, so dass kein konsistenter Vergleich im Zeitverlauf möglich ist. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Jahre 2008 und 2009 von einer Paneldatenanalyse ausgenommen. In Abhängigkeit betrieblicher Stromverbräuche werden den Betrieben nun jeweils neun verbrauchsspezifische Strompreise zugewiesen. Für den Zeitraum der Jahre 1995 bis 2007 ergibt dies insgesamt 108 spezifische Preisinformationen.

Im Folgenden ermöglicht dieses Vorgehen eine weitaus detailliertere Bestimmung der Nachfragefunktionen im Vergleich zu vorangegangenen Studien, in denen zumeist aggregierten Verbrauchsdaten jeweils nur aggregierte Durchschnittsstrompreis gegenüber gestellt werden. Die Industriestrompreise werden ohne Mehrwertsteuer, jedoch mit anderweitigen Steuern und Abgaben (insb. Stromsteuerbelastungen) verwendet. Im

---

<sup>111</sup> Diese Thematik war Gegenstand mehrerer Gespräche mit dem FDZ. Die Unterschiede zwischen beiden Aufzeichnungsmethoden sind signifikant, so dass – zum gegenwärtigen Zeitpunkt – keine Lösungsmöglichkeiten zur Vermeidung einer Zweiteilung des Datensatzes existieren.

<sup>112</sup> Vgl. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/>. Es werden jeweils durchschnittliche jährliche Strompreise verwendet [abgerufen am 23.11.2011].

Kontext der weiteren Analyse wird davon ausgegangen, dass die Mehrwertsteuer auf nachgelagerte Verbraucher der Produktionskette bzw. auf Endverbraucher voll überwälzt wird. Demgegenüber beziehen die Betriebe anderweitige Stromsteuerbelastungen in ihr Entscheidungskalkül mit ein.<sup>113</sup>

**Tabelle 13: Industriestrompreise in den Jahren 1995 - 2007**

Verbrauchs- klassen in MWh / Jahr	≤ 40	40 - 105	105 - 705	705 - 1.625	1.625 - 6.000	6.000 - 17.000	17.000 - 37.000	37.000 - 60.000	≥ 60.000
1995	0,270	0,251	0,200	0,155	0,129	0,125	0,105	0,109	0,096
1996	0,227	0,225	0,176	0,137	0,113	0,110	0,091	0,096	0,083
1997	0,209	0,207	0,158	0,125	0,103	0,101	0,083	0,088	0,076
1998	0,203	0,201	0,154	0,121	0,101	0,098	0,081	0,086	0,073
1999	0,204	0,203	0,154	0,122	0,099	0,097	0,079	0,084	0,071
2000	0,171	0,168	0,135	0,106	0,089	0,084	0,070	0,074	0,065
2001	0,165	0,161	0,133	0,104	0,086	0,081	0,068	0,072	0,063
2002	0,152	0,148	0,127	0,100	0,084	0,078	0,065	0,069	0,061
2003	0,168	0,160	0,139	0,112	0,098	0,092	0,082	0,084	0,078
2004	0,190	0,177	0,139	0,110	0,096	0,093	0,084	0,087	0,081
2005	0,199	0,183	0,146	0,115	0,102	0,100	0,090	0,095	0,089
2006	0,206	0,191	0,155	0,125	0,110	0,108	0,098	0,104	0,096
2007	0,190	0,181	0,153	0,128	0,114	0,112	0,104	0,107	0,101

Preise in € (2011) / KWh, ohne Mehrwertsteuer

Quelle: Eurostat (2012), eigene Berechnungen

## 4.5. Modellberechnungen dynamischer Nachfragemodelle

Die vorangegangene Anpassung des AFiD-Datensatzes ermöglicht nun empirische Auswertungen zur Schätzung von Nachfragefunktionen. Der vorliegende Untersuchungsschwerpunkt liegt auf einer Identifikation unterschiedlicher Anpassungshemmnisse des Nachfrageverhaltens nach Elektrizität in Abhängigkeit veränderlicher Strompreise. Für eine solche Analyse sind bislang – auch vor dem Hintergrund eines für Deutschland erst seit wenigen Jahren existierenden Datensatzes – jedoch nicht viele grundlegende Studien vorhanden. Es ergibt sich daraus die Notwendigkeit, einer Berechnung charakteristischer Nachfragemodelle ausreichend Raum zu geben und eine Annäherung an dieses Thema in mehrere Schritte zu gliedern. Hierbei sind unterschiedliche *Schätzverfahren*

<sup>113</sup> Es ist nicht auszuschließen, dass in der Realität zumindest auch Teile anderweitiger Stromsteuerbelastungen überwälzt werden. Die vorliegende Analyse folgt der Annahme, dass eine vereinfachte – dafür jedoch ökonomisch praktikable – Darstellung.

sowie unterschiedliche mögliche *Modellierungen* von Nachfragefunktionen zu berücksichtigen.

In einem *ersten Schritt* wird zunächst ein grundlegendes Nachfragemodell geschätzt, wobei noch keine charakteristischen betrieblichen Einflussfaktoren – wie etwa Investitionsquoten oder Energieintensitäten – berücksichtigt werden. Auf dieser Basis erfolgt im *zweiten Schritt* eine Erweiterung des Modells um charakteristische Einflüsse sowie um eine dynamische Komponente zur Abbildung auch langfristiger Anpassungsreaktionen. Hierbei werden unterschiedliche Schätzverfahren in einen Vergleich zueinander gestellt und dezidierte Einflüsse einzelner Hemmnisdeterminanten isoliert betrachtet. Schließlich erfolgt in einem *dritten Schritt* die Simulation eines Modells, in dem auch eine potentielle Strompreisendogenität berücksichtigt wird – dies erfordert in einem vorbereitenden Arbeitsschritt die Identifikation modellexogener Instrumentenvariablen.

Bevor die eigentlichen Berechnungen unternommen werden können, ist zunächst die Eignung unterschiedlicher Schätzverfahren zu klären. Dazu werden die klassischen Paneldaten-Modelle auf Basis von FE- und RE-Verfahren sowie im Weiteren aktuelle Weiterentwicklungen im Rahmen von GMM-Modellen sowie 2SLS erläutert.<sup>114</sup> Insbesondere GMM-Modelle werden in der aktuellen Forschung vermehrt verwendet – gleichzeitig jedoch sind zunehmend kritische Fragen nach der Aussagekraft dieser Modelle zu verzeichnen. Hauptkritikpunkt ist ein „Blackbox-Charakter“ der mathematischen Berechnungen, so dass Schätzergebnisse letztlich sehr deutlich in Abhängigkeit von Modellannahmen variieren können.<sup>115</sup> Gerade aus diesem Grund werden sich die vorliegenden Berechnungen nicht auf eine Methode allein konzentrieren, vielmehr werden Ergebnisse unterschiedlicher Schätzverfahren miteinander verglichen und schließlich deren Eignung hinsichtlich des AFiD-Datensatzes betrachtet.

#### **4.5.1. Berechnung eines grundlegenden Nachfragemodells ohne charakteristische Effekte**

Mit Bezug auf die in Abschnitt 3.2.2 dargelegten Annahmen erfolgt zunächst eine Berechnung eines grundlegenden Nachfragemodells ohne charakteristische Effekte. Dieses Modell spezifiziert den Elektrizitätsbezug in Abhängigkeit von einer stellvertretenden

---

<sup>114</sup> Vgl. Greene (2012), Kapitel 11.

<sup>115</sup> Vgl. Roodman (2009), S. 87.

Größe der Betriebsgröße (Bruttoproduktionswerte), Elektrizitätspreisen sowie im Durchschnitt über alle Branchen:

$$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(p_{i,t}) + \gamma \log(bpw_{i,t}) + \delta_i BR_{i,t} + u_i + \varepsilon_{it}$$

Zur Darstellung von Elastizitäten erfolgt eine logarithmische Darstellung der resultierenden Stromnachfrage, des Strompreises sowie der Absatzproduktionswerte (doppelt-logarithmische funktionale Form).<sup>116</sup> Zur Berechnung dieser Schätzgleichung werden zunächst ein RE- sowie ein FE-Modell herangezogen. Welches dieser beiden Modelle letztlich robuste und konsistente Ergebnisse erzielt, hängt insbesondere von einer Korrelation zwischen der unbeobachteten Heterogenität – also den nicht beobachtbaren bzw. nicht im Datensatz enthaltenen und zeitkonstanten Firmencharakteristika, wie bspw. ein Vorliegen bestimmter Managementnormen mit Bezug auf Energieeffizienzverbesserungen – und den erklärenden Variablen ab.

Sofern der Erwartungswert der unbeobachteten Heterogenität  $u_i$  über den Bereich der erklärenden Variablen  $x'_i$  konstant ist und keine Korrelation mit den Regressoren vorliegt sowie für den idiosynkratischen Fehlerterm  $\varepsilon_{it}$  Varianzhomogenität der Form  $Var(\varepsilon_{it} | x'_i, u_i) = Var(\varepsilon_{it}) = \sigma_u^2$  angenommen werden kann, lassen sich die Schätzer mit hin durch ein RE-Modell bestimmen.<sup>117</sup>

Falls diese Voraussetzungen nicht erfüllt sind, also im Falle vorliegender Korrelation zwischen unbeobachteten zeitkonstanten Aspekten  $u_i$  und im Modell enthaltenen Variablen  $x'_{it}$ , werden die Schätzer aufgrund nicht berücksichtigter Einflussvariablen verzerrt und inkonsistent sein – sie weisen dann einen Heterogeneity Bias auf. Im Rahmen der FE-Methode besteht eine Lösung darin, die unbeobachtete Heterogenität durch Transformation der Gleichung heraus zu kürzen.<sup>118</sup> Grundlegend geschieht dies durch Differenzierungen obiger Gleichung jeweils für alle Perioden entweder durch die erste beobachtete Periode oder durch die Mittelwerte der jeweiligen Variablen über alle Jahre. Anschließend können die Koeffizienten im Rahmen der klassischen OLS-Methode be-

---

<sup>116</sup> Vgl. Greene (2012), S. 200 ff., Wooldridge (2009), S. 189 ff.

<sup>117</sup> Von einer formalen Herleitung der Schätzmethoden wird abgesehen, vgl. dazu Greene (2012) S. 384 ff. oder Wooldridge (2009), S. 481 ff sowie S. 503 ff.

<sup>118</sup> In dieser Möglichkeit besteht ein signifikanter Vorteil einer Nutzung von Paneldaten – im Vergleich dazu würde eine Verwendung etwa von Cross Section Daten keine Möglichkeit bieten, unbeobachtbare Einflussfaktoren zu kontrollieren. Eine Transformation kann durch first-differencing oder durch time-demeaning (within transformation) erfolgen, vgl. Wooldridge (2009), Kapitel 13.

stimmt werden. Der Nachteil dieser Vorgehensweisen liegt im Vergleich zu RE-Modellen darin, dass zusammen mit der unbeobachteten Heterogenität auch alle zeitkonstanten Regressoren aus der Gleichung herausdifferenziert werden und deren Effekte folglich zwar kontrolliert, die zugehörigen Koeffizienten allerdings nicht berechnet werden können.<sup>119</sup> Diese Einschränkung ist im vorliegenden Fall jedoch von nachgeordneter Bedeutung, da keine zeitkonstanten Koeffizienten in die Nachfragegleichung aufgenommen werden.<sup>120</sup>

Insgesamt lassen sich, bei konstanter Länge  $T$  des Panels sowie bei großer Beobachtungsanzahl ( $N \rightarrow \infty$ ), unter folgenden Bedingungen konsistente und unverzerrte Schätzer ermitteln:<sup>121</sup>

- Das Modell fügt sich aus einem linear-additiven Zusammenhang der Schätzparameter sowie eines idiosynkratischen und eines zeitinvarianten (unobserved Heterogeneity) Errorterms zusammen;
- Es liegt eine Zufallsstichprobe vor;
- Jede erklärende Variable variiert im Zeitverlauf und es existiert kein perfekt linearer Zusammenhang zwischen den erklärenden Variablen;
- Zu jedem Zeitpunkt ist der Erwartungswert des idiosynkratischen Fehlerterms  $E(\varepsilon_{it}|x'_i, u_i) = 0$ . Er korreliert nicht mit den erklärenden Variablen sowie dem zeitinvarianten Fehlerterm;
- Varianzhomogenität  $Var(\varepsilon_{it}|x'_i, u_i) = Var(\varepsilon_{it}) = \sigma_u^2$  gilt, d. h. die Varianz des idiosynkratischen Fehlerterms ist homogen;
- Die idiosynkratischen Fehlerterme sind unkorreliert ( $Cov(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{is}|x'_i, u_i) = 0, t \neq s$ ).

Mit Bezug auf den vorliegenden konkreten Anwendungsfall bestehen mögliche Beeinträchtigungen des Schätzergebnisses aufgrund der sechsten Prämisse. Der idiosynkratische Fehlerterm enthält nicht beobachtete und im Zeitverlauf schwankende Firmencharakteristika; im AFiD-Datensatz sind jedoch nicht alle vorstellbaren betrieblichen Ein-

---

<sup>119</sup> Für eine formale Herleitung der FE- und RE-Modelle vgl. Wooldridge (2010), Kapitel 10.

<sup>120</sup> Eine spätere Zuweisung von Anpassungshemmnissen zu branchenspezifischen Besonderheiten geschieht durch Interaktionsterme mit dem Strompreis – diese fallen aufgrund von Strompreisvariationen nicht aus der Gleichung heraus.

<sup>121</sup> Vgl. Wooldridge (2009), S. 503 ff.

flussfaktoren enthalten. Entsprechend lässt sich lediglich *annehmen*, dass etwaige Einflussdeterminanten (bspw. Budgetzuteilungen für Abteilungen, die sich mit Optimierungsmöglichkeiten in der Produktion befassen) auch keine serielle Korrelation aufweisen. Hingegen führt eine möglicherweise vorliegende Korrelation auch nicht dazu, dass FE-Schätzergebnisse *grundsätzlich* falsche Resultate zeigen. Ein Vergleich der Robustheit der Schätzergebnisse mit nachfolgend durchgeführten Schätzmethoden wird hierzu weitere Klarheit bringen.<sup>122</sup>

Im vorliegenden Fall liegt weiterhin ein Heterogeneity Bias vor, denn nicht beobachtbare und zeitkonstante Firmencharakteristika, wie etwa bestimmte Betriebsabläufe, die Unternehmenskultur oder Abhängigkeiten von bestimmten Technologien, werden ihrerseits Auswirkungen auf das Produktionsergebnis haben. Letzteres ist zugleich jedoch als erklärende Variable in obiger Schätzgleichung enthalten. Die Anwendung des Hausman-Tests unterlegt diese Vermutung empirisch. Der Grundgedanke dieses Tests liegt in einer Überprüfung, inwiefern statistisch signifikante Unterschiede der Koeffizienten der zeitveränderlichen erklärenden Variablen des Schätzmodells bei FE- im Vergleich zu RE-Schätzungen existieren.<sup>123</sup> Für den vorliegenden Fall kann der Test nicht abgelehnt werden, d. h. ein FE-Modell ist unter den hier getroffenen Annahmen vorzuziehen.

Nachfolgende Tabelle fasst Schätzergebnisse unterschiedlicher grundlegender Modelle zusammen, wobei zur Vollständigkeit auch Ergebnisse eines RE-Modells beschrieben werden.<sup>124</sup> Für die Zeitperiode 1995 – 2002 wird eine Nachfrageelastizität nach Elektrizität von etwa -0,76 berechnet. Eine Erhöhung des Strompreises um einen Prozent würde in der kurzen Frist folglich zu einer Nachfragereduktion nach Elektrizität um etwa 0,76% führen. Die mit einer Veränderung der Absatzproduktionswerte einhergehende Nachfrageänderung liegt bei etwa 0,38. Demnach induziert eine Ausweitung der Produktionswerte um ein Prozent Nachfrageänderungen i. H. v. 0,38%.

---

<sup>122</sup> Vgl. ebd., S. 481 ff.

<sup>123</sup> Vgl. Greene (2012), S. 419f.

<sup>124</sup> Mit dem Jahreswechsel von 2002 auf 2003 haben sich einige Veränderungen bei der Erhebung amtlicher Firmendaten ergeben, dies betrifft insbesondere meldepflichtige Angaben zur Energieverwendung. Ab 2003 werden Energieverbrauchsangaben differenzierter erfasst, damit geht jedoch eine eingeschränkte Vergleichbarkeit mit den Aufzeichnungen bis zum Jahr 2002 einher. Nach Auswertung erster Ergebnisse rufen diese Veränderungen derart deutliche Verzerrungen bei Regressionsanalysen über den gesamten Zeitraum hervor, dass in die vorliegende Arbeit lediglich getrennte Auswertungen der Zeiträume 1995 – 2002 sowie 2003 – 2007 einfließen können.

Tabelle 14: Grundlegende FE- und RE-Modelle im Vergleich

	1995 - 2002		2003 - 2007
	FE-Modell	RE-Modell	FE-Modell
<i>Geschätzte Parameter</i>			
log (Elektr. Pr.)	-0,7564781 [0,0131689]	-0,9759632 [0,0123708]	-1,533648 [0,0206683]
log (APW)	0,3837315 [0,0058642]	0,5164715 [0,0048325]	0,4181267 [0,006021]
<i>Observationen</i>	354.271	354.271	563.116
<i>Cluster</i>	62.857	62.857	70.751
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,1673	-	0,1405

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Der Schätzkoeffizient des Strompreises weist, unter der Annahme normaler Marktreaktionen, grundsätzlich das zu erwartende Vorzeichen auf. Weiterhin nimmt das Vorzeichen des Schätzkoeffizienten zum Absatzproduktionswert eine positive Form an. Auch dieses Ergebnis entspricht der unmittelbaren Intuition – entsprechend der grundlegenden mikroökonomischen Theorie<sup>125</sup> wird allgemein von einem *positiven* Einkommenseffekt ausgegangen, d. h. die Nachfrage nach einem Gut nimmt mit steigendem Einkommen zu. In diesem einfachen Ausgangsmodell werden viele betriebliche Einflussvariablen jedoch noch nicht berücksichtigt, dies spiegelt sich in einem niedrigen R<sup>2</sup>-Wert wider.

Zum Vergleich erfolgt eine Nachfrageschätzung für die Periode 2003 – 2007 auf Grundlage der nun veränderten amtlichen Aufzeichnungsmethodik. Während sich die Schätzwerte des Absatzproduktionswertes nur leicht verändern, ist – absolut gesehen – eine deutliche Zunahme der Nachfrageelastizität nach Elektrizität zu verzeichnen. Die hier berechneten Nachfrageelastizitäten stellen kurzfristige Elastizitäten jeweils als Durchschnitt des betrachteten Zeitraums dar. Grundsätzlich ist es möglich, dass eine Nachfragereagibilität im Zeitverlauf zunimmt – dies könnte letztlich in der Vergangenheit deutlich zunehmende politische Aktivitäten zur Offenlegung von Energieeffizienzpotentialen sowie Fördermaßnahmen widerspiegeln. Dennoch erscheint der hier gemessene Unterschied sehr groß, so dass mögliche Problemursachen – etwa aufgrund von Inkonsistenzen der Datengrundlage – nicht ausgeschlossen werden können. In nachfolgenden Modellerweiterungen wird dies näher untersucht.

<sup>125</sup> Vgl. Varian (2007).

## 4.5.2. Dynamische Nachfragemodelle ohne Interaktionseffekte

### 4.5.2.1. Modellspezifikation

Im Gegensatz zu bisherigen Modellannahmen wird nun davon auszugehen, dass der betriebliche Stromkonsum nicht nur durch den gegenwärtigen Strompreis, den Absatzproduktionswert sowie durchschnittliche Branchenunterschiede bestimmt wird. Darüber hinaus unterliegen Betriebe unterschiedlichen Produktionsstrukturen, die nicht unmittelbar verändert werden können. Folglich wird der gegenwärtige Stromkonsum zu einem Teil auch vom Stromkonsum in vergangenen Perioden abhängen. Diese Überlegung trägt zugleich einer Betrachtung langfristiger Anpassungsreaktionen Rechnung, wonach bei konstantem Produktionsoutput erst in der langen Frist grundlegende technologische Änderungen herbeigeführt werden können. Es ergibt sich das Schätzmodell der Form:

$$\log(e_{i,t}) = \alpha + \beta \log(e_{i,t-1}) + \gamma \log(p_{i,t}) + \delta_i z_{i,t} + \theta T_t + u_i + \varepsilon_{i,t}$$

Auf dieser Basis wird getestet, inwiefern das Nachfragemodell durch weitere betriebliche Komponenten sukzessive verbessert werden kann. Ferner ist zu untersuchen, inwiefern Nachfrageeffekte infolge der Einführung der Stromsteuer im Jahr 1999 ökonomisch kontrolliert werden können.

### 4.5.2.2. Fixed Effects Modelle im Vergleich

Welche statistischen Methoden zur Berechnung der Nachfragemodelle zu bevorzugen sind, hängt von unterschiedlichen Voraussetzungen ab; eindeutige Vorgehensweisen existieren nicht, vielmehr offenbart eine Durchsicht der Literatur zur empirischen Paneldatenanalyse Handlungsempfehlungen. Wie Agnolucci (2009) anführt, können FE-Modelle – neben den oben dargestellten Voraussetzungen – etwa bei einem über einen längeren Zeitraum vorliegenden Datensatz valide Ergebnisse erzeugen.<sup>126</sup>

Eine Durchsicht des einleitend zu diesem Kapitel aufgeführten Literaturüberblicks lässt die Schlussfolgerung zu, dass vorliegend grundsätzlich eine Anwendung von FE-Modellen erfolgen kann. Wenngleich die Verwendung zusätzlicher Lags der abhängigen

---

<sup>126</sup> Vgl. zudem Nickell (1981). Hingegen führt Roodman (2009) im Vergleich dazu an, dass GMM-Modelle insbesondere für Fälle mit kurzen Zeithorizonten in Verbindung mit umfangreichen Observationen je Periode geeignet sein können. Gleichwohl existiert keine eindeutige Definition über die Grenze zwischen *kurzen* und *langen* Zeiträumen.

Variable mit der Gefahr einer Verletzung der in Abschnitt 4.5.1 dargelegten Exogenitätsbedingung einhergeht, lässt dies keine definitiven Aussagen *gegen* die Eignung von FE-Modellen zu.<sup>127</sup> Um weitere Kenntnisse über die Robustheit der Schätzergebnisse zu erlangen, werden die Ergebnisse der in diesem Abschnitt berechneten Nachfragemodelle im weiteren Verlauf daher mit unterschiedlichen alternativen Schätzverfahren abgeglichen.<sup>128</sup>

Tabelle 15: Ausgewählte FE-Modelle im Vergleich<sup>129</sup>

	1995 - 2002				
	1. Modell	2. Modell	3. Modell	4. Modell	5. Modell
<i>Geschätzte Parameter</i>					
log (Stromkonsum t-1)	0,473213 [0,0105119]	0,4444077 [0,0109644]	0,4376252 [0,0109298]	0,4379274 [0,0116409]	0,3989121 [0,0112564]
log (Elektr. Pr.)	-0,5477493 [0,0139663]	-0,5175011 [0,0135608]	-0,6269482 [0,015774]	-0,6207181 [0,0167805]	-2,294519 [0,0504645]
Tätige Personen	-	0,0000482 [0,0000043]	0,0000318 [0,0000038]	0,0000354 [0,00000336]	0,0000234 [0,00000267]
log (APW)	-	0,2888871 [0,0056987]	0,1251207 [0,0081249]	0,0813432 [0,0090087]	0,0489485 [0,0083448]
log(Umsatz)	-	-	0,2525517 [0,0087675]	0,1618464 [0,0090096]	0,112489 [0,0082721]
Investitionsquote	-	-	-	0,0538082 [0,0118167]	0,0224222 [0,0091781]
Energieintensität	-	-	-	0,00000335 [0,00000191]	0,00000263 [0,00000148]
Produktionsintensität	-	-	-0,0054665 [0,0002333]	-0,0045438 [0,0002406]	-0,000051 [0,0001836]
<i>Jahresdummies</i>	-	-	-	-	Ja
<i>WZ-Durchschnitte (BL-Dummies)</i>	-	-	Ja	Ja	Ja
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,3054	0,362	0,3779	0,3511	0,4239
<i>Observationen</i>	288.609	288.609	288.609	262.059	262.059
<i>Cluster</i>	55.127	55.127	55.127	51.022	51.022

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

In Tabelle 15 werden Berechnungsergebnisse ausgewählter dynamischer FE-Modelle für den Zeitraum 1995 – 2002 gegenüber gestellt. Ausgehend von einem Basismodell unter Berücksichtigung lediglich des vergangenen Stromkonsums sowie des Strompreises erfolgt eine sukzessive Ausweitung, so dass schließlich alle im vorangegangenen Kapitel identifizierten Modellparameter verwendet werden, bei denen von einem unmittelbaren Effekt auf die betriebliche Elektrizitätsnachfrage auszugehen ist. Darüber

<sup>127</sup> In jede Fall verspricht eine FE-Schätzung in diesem Fall geringere Verzerrungen als etwa eine First-Difference-Schätzung, vgl. Wooldridge (2009), S. 488.

<sup>128</sup> Vgl. Wooldridge (2010), S. 345 ff., Wooldridge (2009), S. 481 ff.

<sup>129</sup> Es werden autokorrelationsrobuste Standardfehler ausgewiesen.

hinaus wurde getestet, inwiefern eine Variable zur Berücksichtigung von Konjunkturlagen einen Erklärungsgehalt beinhaltet – hierbei konnte jedoch keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass zwischen dem gegenwärtigen und dem vergangenen Stromkonsum ein deutlicher und statistisch signifikanter Zusammenhang besteht. Dies beinhaltet Aussagen zur Anpassungsgeschwindigkeit der Betriebe an neue Rahmenbedingungen in der gegenwärtigen Periode. Für die Schätzkoeffizienten aller betrieblichen Einflussdeterminanten weisen die Modelle ferner eine statistische Signifikanz auf. Die *Richtungen* der Wirkungszusammenhänge nehmen intuitiv naheliegende Formen an: mit steigenden Absatzproduktionswerten oder Umsätzen gehen steigende Strombezüge einher, darüber hinaus induzieren steigende Strompreise einen sinkenden Stromkonsum. Die Investitionsquote bezeichnet ein Verhältnis zwischen Investitionen und Betriebsumsatz. Der Schätzkoeffizient weist ein positives Vorzeichen auf, demnach geht mit steigender Investitionsquote ein zunehmender Stromkonsum einher. Auch ist ein positiver – wenn auch sehr schwacher – positiver Zusammenhang zwischen der Energieintensität und Elektrizitätskonsum intuitiv.

Die Variable „Produktionsintensität“ wurde zusätzlich an den AFiD-Datensatz angehängt; sie enthält jährliche sowie jeweils auf den Zweisteller der WZ 2003 bezogene Informationen zur Leistung des Produzierenden Gewerbes und ermöglicht im vorliegenden Zusammenhang, etwaige konjunkturelle Einflüsse herauszufiltern.<sup>130</sup> In allen betrachteten Modellen liegen statistisch signifikante Zusammenhänge vor, die Schätzkoeffizienten weisen jedoch nur geringe Ausprägungen auf. Das Vorzeichen des Koeffizienten ist negativ – demnach gehen mit einer steigenden Produktionsintensität leicht negative Auswirkungen auf den betrieblichen Elektrizitätskonsum einher.

Im fünften Modell werden Jahresdummies zur Schätzgleichung hinzugefügt. Durch Berücksichtigung dieser Variablen lassen sich weitere äußere Einflussfaktoren auffangen, die nicht bereits durch anderweitige Variablen berücksichtigt werden. Hierzu zählt

---

<sup>130</sup> Die Datenbank des Statistischen Bundesamtes umfasst Aufzeichnungen in WZ2008-Aufschlüsselung; im vorliegenden Fall wird jedoch eine WZ2003-Aufschlüsselung benötigt. Diese Werte wurden am 29.11.2012 direkt durch die Abteilung „Index der Produktion und der Arbeitsproduktivität“ (Frau Dr. Christiane Bald-Herbel) zur Verfügung gestellt. Zur Methodik der Produktionsintensität vgl. zudem Fachserie 4 Reihe 2.1 des Statistischen Bundesamtes (im vorliegenden Fall werden „Originalwerte“ verwendet).

insbesondere die Einführung der Stromsteuer im Jahr 1999.<sup>131</sup> Diese Modellerweiterung führt zu einer deutlichen Veränderung der Nachfrageelastizitätsschätzungen. In der kurzen Frist ist nunmehr eine Elastizität i. H. v. -2,29 zu beobachten. Bei Anwendung dieses Modells steigt die erklärte Varianz innerhalb der beobachteten Cluster ( $R^2$ ) auf 0,4239 – im Vergleich zu den vorangegangenen Modellen ist dies ein relativ hoher Wert.

Eine Berechnung derselben Modelle für die Jahre 2003 bis 2007 – die Ergebnisse werden hier nicht im Einzelnen dargestellt – ergibt ein anderes Bild insbesondere zur Schätzung der Nachfrageelastizitäten nach Elektrizität.<sup>132</sup> Im Falle des ersten Modells liegt diese Elastizität bei -2,98 und steigt im Rahmen der übrigen Modellberechnungen weiter an. Ein solch deutlicher Anstieg der durchschnittlichen Nachfragerreaktion in der kurzen Frist erscheint, selbst bei einer zwischenzeitlich veränderten Marktsituation, hoch. Auch unterlag die betrachtete Periode der Jahre 1995 – 2007 keinen fundamentalen Änderungen des Marktrahmens. Im Kontext der vorliegenden Untersuchung ergeben sich daraus unterschiedliche Schlussfolgerungen: entweder könnte die hergeleitete Methodik nur mit Einschränkungen zur Nachfragemodellierung geeignet sein, oder die statischen Aufzeichnungen zum Elektrizitätskonsum sowie Elektrizitätsfremdbezug weisen möglicherweise Inkonsistenzen auf. Ein Abgleich der vorliegenden Nachfragefunktion mit einem in Abschnitt 4.2 durchgeführten Literatursurvey deutet zunächst nicht auf offenkundige Fehlerursachen hinsichtlich der vorgenommenen Nachfragemodellierung hin. Inwiefern tatsächlich eine teilweise inkonsistente Datenbasis vorliegt, kann aufgrund einer komplizierten Nutzung des AFiD-Panels im Rahmen der Datenfernverarbeitung nicht abschließend beantwortet werden – die grundsätzliche Möglichkeit dazu besteht jedoch.<sup>133</sup> Im weiteren Verlauf erfolgt eine Konzentration auf die erste Periode von 1995 – 2002. Dieses Vorgehen erscheint zielgerichtet, da letztlich empirische Identifikationsmöglichkeiten betrieblicher Hemmnisdeterminanten in Nachfragefunktionen im Vordergrund stehen.<sup>134</sup>

---

<sup>131</sup> Der konkrete Effekt der Stromsteuerreform spiegelt sich empirisch deutlich in der Schätzkoeffizienten der Jahresdummies; dieser Effekt ist in der Tabelle nicht dargestellt.

<sup>132</sup> Vgl. Anhang.

<sup>133</sup> Mögliche Ursachen können, neben Aufzeichnungsfehlern, auch in einer statistischen Zusammenführung der unterschiedlichen Datenbestände für die zu diesem Dissertationszweck beantragte Nutzung liegen – eine eindeutiges Urteil ist an dieser Stelle jedoch nicht möglich.

<sup>134</sup> Im Zwischenfazit dieses Kapitels – nach Durchführung aller weiteren Schätzverfahren – wird diese Problematik noch einmal betrachtet.

#### 4.5.2.3. Generalised-Method-of-Moments Modelle im Vergleich

Zur Lösung von Problemen, die sich aus der Verwendung eines Lags der zu erklärenden Variable als exogene Einflussdeterminanten ergeben können, lässt sich die GMM-Schätzmethode heranziehen.<sup>135</sup> Aus ökonometrischer Sicht erfolgt durch Anwendung von FE-Modellen eine Bestimmung der Schätzkoeffizienten durch Variationen *innerhalb* der beobachteten Betriebe („*within-groups variation*“). Wie zuvor dargelegt, kann jedoch eine Korrelation zwischen dem Lag  $\log(d)_{t-1}$  sowie der unbeobachteten Heterogenität zu einer dynamischen Verzerrung der Schätzer („*dynamic panel bias*“) führen.<sup>136</sup> Durch FE-Schätzung erfolgt eine Transformation der zu erklärenden Variable:  $\log(d)_{i,t-1}^* = \log(d)_{i,t-1} - [1/(T-1)](\log(d)_{i2} + \dots + \log(d)_{iT})$ . Zugleich wird der Errorterm zu  $\varepsilon_{it}^* = \varepsilon_{it} - [1/(T-1)](\varepsilon_{i2} + \dots + \varepsilon_{iT})$  transformiert. Da nun jedoch  $\log(d)_{i,t-1}$  mit dem Term  $-[1/(T-1)]\varepsilon_{it-1}$  korreliert, kann sich diese Verzerrung der Koeffizienten ergeben.

Aus diesem Grund wird nun das GMM-Schätzverfahren implementiert; zudem lassen sich aus einem Vergleich zwischen FE- und GMM-Modellen weitere Aussagen über die Robustheit der Schätzergebnisse gewinnen.<sup>137</sup> Zur Vermeidung der Korrelation und damit einhergehender Verzerrungen der Schätzergebnisse werden weiter in der Vergangenheit liegende Informationen zum betrieblichen Stromkonsum als Instrumentenvariable (IV) für den Lag des Stromkonsums (in diesem Fall t-1) gewählt. Dieses Vorgehen wurde maßgeblich durch einen von Arellano und Bover (1995) sowie Blundell und Bond (1998) entwickelten Schätzer („*Arellano-Bover / Blundell-Bond dynamic panel estimator*“) geprägt<sup>138</sup> und ist für Fälle geeignet, bei denen<sup>139</sup>

- das zugrunde liegende Panel tendenziell einen geringen Zeithorizont und viele Observationen umfasst;
- ein linear-funktionaler Zusammenhang besteht,
- die abhängige Variable nicht nur von unabhängigen erklärenden Variablen, sondern darüber hinaus auch dynamisch von eigenen vergangenen Ausprägungen abhängt;

---

<sup>135</sup> Vgl. Greene (2012), Kapitel 13.

<sup>136</sup> Vgl. Roodman (2009), Nickell (1981), Bond (2002).

<sup>137</sup> Hierbei wird insbesondere dem Vorgehen von Roodman (2009) gefolgt.

<sup>138</sup> Vgl. zudem Arellano und Bond (1991), auf deren Arbeiten dieser Schätzer maßgeblich beruht.

<sup>139</sup> Vgl. Roodman (2009).

- unabhängige Variablen nicht strikt exogen sind, sondern auch mit vergangenen und zukünftigen Ausprägungen des Errorterms korrelieren;
- der idiosyncratische Errorterm innerhalb von Betrieben muss nicht konstant sein (Heteroskedastizität) und darf eine Autokorrelation aufweisen.

Insbesondere mit Bezug auf die fünfte Annahme sind besondere Anforderungen an die Modellberechnungen verbunden. Auch bei korrekt berechneten Schätzkoeffizienten können nicht um Cluster-Effekte korrigierte Standardfehler fehlerhafte Signifikanzen nahelegen – aus diesem Grund werden im vorliegenden Fall autokorrelationsrobuste Standardfehler ausgewiesen.<sup>140</sup>

Dieses Schätzmodell folgt dem Prinzip, dass nicht nur der vergangene Stromkonsum in t-2, t-3 oder weiter zurückliegenden Perioden als Instrument des Stromkonsum-Lags in t-1 verwendet werden kann, sondern darüber hinaus, dass absolute Werte der erklärenden Variablen durch *Veränderungen* dieser Variablen in vergangenen Perioden instrumentiert werden können („*System GMM*“).<sup>141</sup> Im vorliegenden Kontext wird dieses Schätzverfahren den konzeptionell ähnlichen „*First Difference GMM Schätzern*“ aufgrund struktureller Schwächen im Falle unausgeglichener Paneldaten vorgezogen.<sup>142</sup> Der zur Verfügung stehende Paneldatensatz weist nicht für alle Betriebe jeweils Beobachtungen in allen Perioden auf und ist daher unausgeglichen („unbalanced“).

Tabelle 16 fasst die Ergebnisse unterschiedlicher Modellberechnungen zusammen, wobei die Modellauswahl auf Grundlage der vorgenannten FE-Schätzungen erfolgt. Demnach führt eine System GMM-Modellierung im Fall der Modelle 1 – 4 zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen.

Die Vorzeichen der geschätzten Nachfrageelastizitäten nehmen positive Werte an – dies widerspricht ökonomischen Wirkungszusammenhängen und deutet auf eine möglicherweise fehlerhafte Modellspezifikation hin. Auch die Wirkungsrichtungen weiterer Schätzparameter, wie etwa der Anzahl der Beschäftigten, des Absatzproduktionswertes, des Umsatzes sowie der Produktionsintensität kehren sich um. Sofern Jahresdummies hinzugezogen werden (vgl. 5. Modell), ergeben sich im Vergleich zur FE-Schätzung ähn-

---

<sup>140</sup> Vgl. ebd., S. 95. Dieses Problem gilt nicht nur für eine System-GMM-Schätzung, auch im Falle von FE-Schätzungen ist ein gleichgelagertes Vorgehen notwendig.

<sup>141</sup> Vgl. ebd. sowie für eine grundlegende Darstellung Greene (2012), S. 440ff.

<sup>142</sup> Vgl. Roodman (2009), S. 104.

liche Koeffizienten. Dies legt die Schlussfolgerung nahe, dass für eine korrekte Nachfragemodellierung Jahresdummies grundsätzlich zu berücksichtigen sind.<sup>143</sup>

**Tabelle 16: Ausgewählte GMM-Modelle im Vergleich<sup>144</sup>**

	1995 - 2002				
	1. Modell	2. Modell	3. Modell	4. Modell	5. Modell
<i>Geschätzte Parameter</i>					
log (Stromkonsum t-1)	1,103549 [0,0018923]	1,113479 [0,0021114]	1,153787 [0,0034478]	1,100648 [0,0029761]	0,676016 [0,0158832]
log (Elektr. Pr.)	0,4015764 [0,0089985]	0,4062478 [0,0091376]	0,5948625 [0,0129915]	0,3079418 [0,010633]	-2,1406030 [0,089482]
Tätige Personen	-	-0,0000124 [0,000000727]	-0,0000132 [0,000000943]	-0,0000066 [0,000000514]	0,0000012 [0,000000415]
log (APW)	-	-	0,0027231 [0,0046987]	-0,0127783 [0,0044537]	0,0234112 [0,0041181]
log(Umsatz)	-	-	-0,0249658 [0,0047486]	-0,0288374 [0,0043856]	0,0248735 [0,0045138]
Investitionsquote	-	-	-	0,0169296 [0,0121388]	0,0689688 [0,0129365]
Energieintensität	-	-	-	-0,0000011 [0,000000465]	0,0000019 [0,000000242]
Produktionsintensität	-	-	0,0070114 [0,000249]	0,004421 [0,0002252]	-0,0001648 [0,0001716]
<i>Jahresdummies</i>	-	-	-	-	Ja
<i>WZ-Durchschnitte (BL-Dummies)</i>	-	Ja	Ja	Ja	Ja
<i>Observationen</i>	288.609	288.609	288.609	262.059	262.059
<i>Cluster</i>	55.127	55.127	55.127	51.022	51.022

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Ein Abgleich dieser fünf Schätzmodelle mit den Ergebnissen auf Basis einer FE-Modellierung legt nun Schlussfolgerung zur Kalibrierung der nachfolgend durchgeführten Modellberechnungen dynamischer Nachfragemodelle mit Interaktionseffekten nahe. Die Einflussdeterminanten des fünften Modells nehmen ökonomisch – sowie vor dem Hintergrund der einleitenden Literaturdurchsicht – intuitive Wirkungsrichtungen an. Schließlich weisen diese Schätzkoeffizienten auch über die unterschiedlichen Schätzverfahren hinweg die geringsten Abweichungen auf.

### 4.5.3. Dynamische Nachfragemodelle mit Interaktionseffekten: Identifikation von Anpassungshemmnissen

#### 4.5.3.1. Schätzungen auf Basis dynamischer FE-Modelle

Bislang erfolgte eine Schätzung statischer und dynamischer Nachfragemodelle unter Berücksichtigung von Einflussdeterminanten betrieblicher Anpassungshemmnisse *im*

<sup>143</sup> Ein Arellano-Bond-Test für Autokorrelation unterstreicht diese Schlussfolgerung.

<sup>144</sup> Es werden autokorrelationsrobuste Standardfehler ausgewiesen.

*Durchschnitt* über alle im Panel enthaltenen Betriebe. Auf Basis der in Abschnitt 3.5.2 hergeleiteten Systematik zur Integration von Interaktionstermen in eine Schätzgleichung wird getestet, inwiefern sich anhand der vorliegenden amtlichen Firmendaten *spezifische Anpassungshemmnisse* identifizieren lassen. Damit rückt die Arbeit zu einem zentralen Aspekt vor: lassen sich spezifische Anpassungshemmnisse in empirischen Elektrizitätsnachfrageschätzungen tatsächlich auffangen und inwiefern ist dies auf der Basis amtlicher Firmendaten in Deutschland möglich?

Tabelle 17 fasst die Berechnungsergebnisse eines dynamischen FE-Modells zusammen, wobei in dieser Modellvariation Anpassungshemmnisse aufgrund *unterschiedlicher Energieintensitäten* im Vordergrund stehen.

**Tabelle 17: Einfluss der Energieintensität (Dynamisches FE-Modell)**

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,3842605	0,0113104
Tätige Personen	0,0000218	0,00000251
log (APW)	0,1273116	0,0089795
log(Umsatz)	0,1072725	0,0082242
Produktionsindex	-0,000016	0,0002146
Investitionsquote	0,028367	0,0091244
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-2,132501</b>	<b>0,0602082</b>
Textil- und Bekleidungs-gewerbe	0,142166	0,039495
Ledergewerbe	0,0953992	0,0554961
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1025468	0,0407987
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,1377747	0,0414008
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,095865	0,0438262
Chemischen Erzeugnissen	0,065698	0,0374074
Gummi- und Kunststoffwaren	0,0802826	0,0399591
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	0,1339278	0,0420497
Metalle, Metallerzeugnisse	0,0861101	0,0382004
Maschinenbau	0,0735338	0,0386945
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0676573	0,040071
Fahrzeugbau	0,0724026	0,0417124
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	0,1099123	0,0383431
<i>Energieintensität</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	-0,1030001	0,0034335
Hoch	-0,15936	0,0047325
Sehr hoch	-0,2045538	0,0058708
<i>Jahresdummies</i>		
	Ja	
<i>Observationen</i>		262.059
<i>Cluster</i>		51.022
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>		0,4403

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Anpassungshemmnisse in Abhängigkeit betrieblicher Energieintensitäten werden durch Bildung von Quartilen klassifiziert; ausgehend vom jeweils kleinsten Quartil erfolgt eine Berechnung branchenspezifischer Nachfrageelastizitäten. Die ausgewiesene Nachfrageelastizität des Ernährungsgewerbes und der Tabakverarbeitung gilt also

zunächst für das kleinste Energieintensitätsquartil. Eine Addition der Werte der weiteren Branchen ergibt die branchenspezifischen Nachfrageelastizitäten. Eine weitere Addition der Werte jeweils mit den Koeffizienten der Quartile der weiteren Energieintensitäten ermöglicht eine Bestimmung spezifischer Anpassungsreaktionen.<sup>145</sup> Im Falle des Ernährungsgewerbes und der Tabakverarbeitung liefern die Berechnungen eine kurzfristige Nachfrageelastizität i. H. v. -2,133 für das Quartil der niedrigsten Energieintensität. Mit zunehmender Energieintensität sinkt die Nachfrageelastizität – im Falle der Gruppe mit der höchsten Energieintensität um -0,205 auf -2,338 ab – absolut gesehen ist mit steigender Energieintensität eine Vergrößerung der Reaktionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Preises verbunden.

Tabelle 18 wertet die vorliegende Datenbasis anhand derselben Methodik aus, wobei spezifische Hemmnisse nun anhand unterschiedlicher Umsatzgrößenklassen berechnet werden. Im Falle der kleinsten Umsatzgrößenklasse liegt die Nachfragemusterelastizität im base case des Ernährungsgewerbes und der Tabakverarbeitung bei -2,407 und steigt im Falle des Textil- und Bekleidungs gewerbes auf -2,21.

Mit Bezug zur Branchenunterteilung sind in beiden Berechnungsmodellen einheitliche Nachfragemuster erkennbar. Demnach weisen die Wirtschaftszweige „Herstellung von Büromaschinen“, „Chemische Industrie“, „Maschinenbau“ sowie „Fahrzeugbau“ vergleichsweise flexible Anpassungsmuster in Abhängigkeit des Strompreises auf. Dies stimmt mit der Annahme überein, wonach energieintensive Wirtschaftszweige flexibel auf Strompreisveränderungen reagieren. Demgegenüber weist der Wirtschaftszweig des Textil- und Bekleidungs gewerbes tendenziell geringere Nachfrageelastizitäten auf – angesichts tendenziell arbeitsintensiver und weniger energieintensiver Produktionsstrukturen erscheint auch dieses Ergebnis intuitiv. Entgegen der Erwartungen sind die Elastizitäten des Glas- und Keramikgewerbes sowie der Verarbeitung von Steinen und Erden jedoch nicht in die Gruppe der – relativ – flexiblen Branchen einzuordnen. Dies könnte durch eine weite Definition dieses Wirtschaftszweiges hervorgerufen werden, wobei die energieintensive Glas- und Keramikverarbeitung möglicherweise mengenmäßig einen geringeren Anteil einnehmen. Zudem liegt die Vermutung nahe, dass in Bran-

---

<sup>145</sup> Dem liegt die Annahme zugrunde, dass sich unterschiedliche Elastizitäten etwa aufgrund unterschiedlicher Energieintensitäten im Durchschnitt über alle Branchen ergeben.

chen mit ausgeprägter Energieintensität möglicherweise langfristige Lieferverträge bestehen, so dass die vorliegende Methodik nicht alle realen Gegebenheiten erfasst.

Tabelle 18: Einfluss der Umsatzgrößenklasse (Dynamisches FE-Modell)

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,3994928	0,0112194
Tätige Personen	0,0000306	0,00000284
log (APW)	0,0926212	0,0068142
Produktionsindex	-0,0001033	0,0002182
Energieintensität	0,00000276	0,00000156
Investitionsquote	0,0069079	0,008411
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-2,406752</b>	<b>0,0633261</b>
Textil- und Bekleidungs-gewerbe	0,1970858	0,0399662
Ledergewerbe	0,1548256	0,0551772
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1541273	0,041302
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,1962079	0,041961
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,1392504	0,0465767
Chemischen Erzeugnissen	0,1130645	0,0379875
Gummi- und Kunststoffwaren	0,128509	0,0404019
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	0,1882483	0,0424246
Metalle, Metallerzeugnisse	0,1393066	0,0386645
Maschinenbau	0,1406944	0,0391047
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,1403504	0,0404623
Fahrzeugbau	0,1323175	0,0422109
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	0,1644676	0,0388636
<i>Größenklasse Umsatz</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	-0,0301504	0,0026652
Hoch	-0,0491566	0,0038151
Sehr hoch	-0,0681512	0,0049762
<i>Jahresdummies</i>		
	Ja	
<i>Observationen</i>		262.059
<i>Cluster</i>		51.022
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>		0,4232

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Schließlich weisen die Vorzeichen der Schätzkoeffizienten – d. h. die *Anpassungsrichtung* etwa bei steigenden Strompreisen – eine negative Form an. Damit folgen die Berechnungsergebnisse der intuitiven Schlussfolgerung, dass bei normalen Gütern ein negativer Zusammenhang zwischen Preis und Nachfrage besteht. Weiterhin scheinen die Schätzergebnisse in Tabelle 17 die Annahme zu bestätigen, dass mit steigender betrieblicher Energieintensität Anpassungshemmnisse an veränderte Strompreise abnehmen: deutlich erkennbar – und mit statistischer Signifikanz – gehen mit zunehmender Energieintensität steigende Anpassungsreakibilitäten einher. Auch der im vorangehenden Kapitel dargelegte Wirkungszusammenhang zwischen Unternehmensgröße in Form des jährlichen Umsatzes und Anpassungshemmnissen werden durch die in Tabelle 18 zusammengefassten Schätzergebnisse bestätigt: die Anpassungsreakibilität an eine Strompreisveränderung nimmt mit steigendem Absatzproduktionswert zu.

Eine Berechnung dieses Modells auch für die Interaktionseffekte zwischen Strompreisen und Investitionsquoten, Beschäftigten und Absatzproduktionswert führt zu ähnlich stabilen Schätzergebnissen.<sup>146</sup> In der nachfolgenden Tabelle werden die zentralen Ergebnisse aller möglichen Interaktionskombinationen zusammenfassend gegenübergestellt. Ausgehend vom base case jeweils sehr niedriger „Hemmnisausprägungen“ werden branchenspezifische kurzfristige (KF) und langfristige (LF) Nachfrageelastizitäten dargestellt.

**Tabelle 19: Dynamische FE-Modelle mit spezifischen Anpassungshemmnissen im Vergleich**

<i>Dynamisches FE-Modell (1995 - 2002)</i>										
	Umsatz		APW		Beschäftigte		Energieintensität		Investitionsquote	
	KF	LF	KF	LF	KF	LF	KF	LF	KF	LF
<i>Wirtschaftszweige</i>										
Ernährung, Tabak	-2,407	-4,008	-2,413	-4,011	-2,383	-3,952	-2,133	-3,463	-2,426	-4,034
Textil- und Bekleidungs-gewerbe	-2,210	-3,680	-2,209	-3,672	-2,178	-3,613	-1,990	-3,232	-2,223	-3,697
Ledergewerbe	-2,252	-3,750	-2,249	-3,739	-2,222	-3,685	-2,037	-3,308	-2,264	-3,766
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,253	-3,751	-2,257	-3,752	-2,230	-3,698	-2,030	-3,297	-2,269	-3,774
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-2,211	-3,681	-2,213	-3,679	-2,182	-3,619	-1,995	-3,240	-2,227	-3,703
Kokerei, Mineralölv., Spalt- und Brutst.	-2,268	-3,776	-2,263	-3,762	-2,238	-3,711	-2,037	-3,308	-2,279	-3,790
Chemische Erzeugnissen	-2,294	-3,820	-2,297	-3,819	-2,267	-3,760	-2,067	-3,357	-2,311	-3,843
Gummi- und Kunststoffwaren	-2,278	-3,794	-2,280	-3,790	-2,249	-3,730	-2,052	-3,333	-2,294	-3,815
Glasg, Keramik, Steine und Erden	-2,219	-3,694	-2,227	-3,702	-2,200	-3,649	-1,999	-3,246	-2,239	-3,724
Metalle, Metallzeugnisse	-2,267	-3,776	-2,270	-3,774	-2,241	-3,717	-2,046	-3,323	-2,283	-3,797
Maschinenbau	-2,266	-3,774	-2,269	-3,772	-2,239	-3,713	-2,059	-3,344	-2,282	-3,795
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,266	-3,774	-2,269	-3,772	-2,241	-3,717	-2,065	-3,353	-2,282	-3,796
Fahrzeugbau	-2,274	-3,788	-2,276	-3,784	-2,249	-3,729	-2,060	-3,346	-2,289	-3,807
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,242	-3,734	-2,246	-3,734	-2,218	-3,677	-2,023	-3,285	-2,259	-3,757
<i>Spezifische Hemmnisausprägung</i>										
Sehr niedrig (base case)										
Niedrig	-0,030	-0,050	-0,019	-0,032	-0,027	-0,045	-0,103	-0,167	-0,005	-0,008
Hoch	-0,049	-0,082	-0,032	-0,032	-0,057	-0,094	-0,159	-0,259	-0,007	-0,012
Sehr hoch	-0,068	-0,113	-0,043	-0,049	-0,085	-0,141	-0,205	-0,332	-0,012	-0,019

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Zur Ermittlung der langfristigen Elastizität ist die kurzfristige Elastizität um natürliche betriebliche Anpassungsreaktionen in Abhängigkeit des vergangenen Stromkonsums zu korrigieren. Unter Berücksichtigung des in Abschnitt 3.6 hergeleiteten mathematischen Zusammenhangs werden hierzu die Schätzkoeffizienten jeweils der Lags des Stromkonsums in der vergangenen Periode herangezogen. Am Beispiel der Modellvariation mit Interaktionstermen zwischen Strompreisen und jährlichen Absatzproduktionswerten lässt sich die Methodik darlegen: die kurzfristige Nachfrageelastizität in der Branche „Chemische Erzeugnisse“ liegt für Betriebe der Gruppe sehr niedriger Absatzproduktionswerte bei -2,297. Zur Gruppe mit sehr hohen Absatzproduktionswerten zugehörige Betriebe weisen in der kurzen Frist im Durchschnitt eine um -0,043 niedri-

<sup>146</sup> Vgl. Anhang.

gere Nachfrageelastizität auf – absolut gesehen steigt also die Reaktionsgeschwindigkeit.

Es zeigt sich, dass Anpassungsreaktionen an veränderte Strompreise mit zunehmender Betriebsgröße stets zunehmen – wobei es letztlich untergeordneter Natur ist, ob die Betriebsgröße durch Beschäftigte, den Absatzproduktionswert oder den Umsatz definiert wird. Darüber hinaus deuten die Berechnungsergebnisse darauf hin, dass – im Vergleich zu allen anderen Anpassungshemmnissen – mit steigender Energieintensität die Anpassungsflexibilität am deutlichsten zunimmt. Schließlich ergeben die Berechnungsergebnisse einen deutlichen und statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Investitionsquote – gemessen am Quotienten zwischen jährlichen Investitionen zuzüglich dem Wert neu gemieteter, gepachteter oder geleaster Maschinen und maschineller Ausstattungen und jährlichem Umsatz. In diesem Fall hängt die erwartete Reaktionsgeschwindigkeit bei veränderlichen Strompreisen negativ von der Investitionsquote ab.

#### **4.5.3.2. System GMM-Modelle**

Mit Bezug auf die oben dargelegten Gefahren verzerrter Schätzergebnisse im Rahmen von FE-Modellen, wonach sich Verzerrungen aufgrund einer Korrelation zwischen diesem Lag und der unbeobachteten Heterogenität (des Fehlerterms) ergeben können, erfolgt für den Fall dynamischer Nachfragemodelle mit Interaktionseffekten zusätzlich eine Schätzung auf Grundlage eines System GMM-Modells. Tabelle 20 fasst die Schätzergebnisse der fünf Modellvariationen zusammen, wobei jeweils unterschiedliche Interaktionen zwischen Strompreisen und potentiellen Hemmnisdeterminanten gerechnet werden.<sup>147</sup>

Im Vergleich zur FE-Nachfragemodellierung lassen sich im Falle kurzfristiger Nachfrageelastizitäten nun geringere Reaktionsgeschwindigkeiten beobachten. Auch Änderungen in den Nachfragereaktionen aufgrund unterschiedlich starker Hemmnisausprägungen sind nun deutlich geringer. Auf der anderen Seite liegen die Werte der Schätzkoeffizienten der Lags des Stromkonsums im vorliegenden Fall deutlich höher.<sup>148</sup> Dies würde bedeuten, dass die Abhängigkeit des heutigen betrieblichen Elektrizitätskonsums

---

<sup>147</sup> Die ausführlichen Einzelberechnungen können dem Anhang entnommen werden.

<sup>148</sup> Dieser Effekt wird in der Übersicht nicht separat dargestellt, die Werte können dem Anhang entnommen werden.

vom vergangenen Elektrizitätskonsum bislang *unterschätzt* wurde. Gleichzeitig führt dies nun zu deutlicher ausgeprägten Nachfrageelastizitäten in der *langen Frist*.

**Tabelle 20: Dynamische System GMM-Modelle mit spezifischen Anpassungshemmnissen im Vergleich**

Wirtschaftszweige	Dynamisches System GMM-Modell (1995 - 2002)									
	Umsatz		Absatzproduktionswert		Beschäftigte		Energieintensität		Investitionsquote	
	KF	LF	KF	LF	KF	LF	KF	LF	KF	LF
Ernährung, Tabak	-2,134	-6,724	-2,158	-6,704	-2,158	-6,677	-2,137	-5,646	-2,108	-6,691
Textil- und Bekleidungsgewerbe	-2,119	-6,675	-2,139	-6,645	-2,142	-6,626	-2,129	-5,625	-2,094	-6,645
Ledergewerbe	-2,104	-6,628	-2,123	-6,595	-2,126	-6,577	-2,121	-5,605	-2,078	-6,596
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,125	-6,694	-2,149	-6,677	-2,152	-6,658	-2,166	-5,723	-2,103	-6,675
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-2,111	-6,651	-2,137	-6,640	-2,138	-6,616	-2,137	-5,648	-2,089	-6,629
Kokerei, Mineralölv., Spalt- und Brutst.	-2,134	-6,722	-2,158	-6,706	-2,154	-6,666	-2,138	-5,649	-2,106	-6,683
Chemische Erzeugnissen	-2,129	-6,707	-2,152	-6,686	-2,153	-6,661	-2,142	-5,661	-2,102	-6,673
Gummi- und Kunststoffwaren	-2,122	-6,685	-2,147	-6,672	-2,150	-6,651	-2,146	-5,669	-2,099	-6,663
Glasg., Keramik, Steine und Erden	-2,124	-6,692	-2,149	-6,676	-2,155	-6,667	-2,150	-5,682	-2,102	-6,673
Metalle, Metallerzeugnisse	-2,117	-6,671	-2,143	-6,658	-2,145	-6,636	-2,136	-5,645	-2,095	-6,648
Maschinenbau	-2,101	-6,618	-2,125	-6,604	-2,127	-6,582	-2,123	-5,609	-2,077	-6,593
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,094	-6,596	-2,117	-6,578	-2,119	-6,556	-2,123	-5,609	-2,068	-6,563
Fahrzeugbau	-2,123	-6,689	-2,148	-6,674	-2,151	-6,656	-2,142	-5,661	-2,100	-6,664
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,114	-6,661	-2,139	-6,645	-2,141	-6,623	-2,143	-5,662	-2,092	-6,639
<i>Spezifische Hemmnisausprägung</i>										
Sehr niedrig	-0,008	-0,026	-0,009	-0,028	0,010	0,032	0,161	0,426	0,026	0,083
Niedrig	-0,030	-0,030	-0,029	-0,029	-0,016	-0,016	0,058	0,058	0,016	0,052
Hoch	-0,018	-0,019	-0,020	-0,021	-0,018	-0,018	0,028	0,031	0,010	0,030
Sehr hoch (base case)										

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Hinsichtlich der Auswirkungen der spezifischen Hemmnisausprägungen auf den Stromkonsum ergeben sich bei Anwendung von System GMM-Modellen im Vergleich zur vorangegangenen Modellierung in einigen Fällen unterschiedliche Wirkungszusammenhänge. Die Auswirkungen unterschiedlicher Umsatzgrößenklassen, Absatzproduktionswertklassen sowie Beschäftigtenklassen geben nunmehr kein einheitliches Bild ab; vorangehend identifizierte Wirkungsbeziehungen, wonach mit jeweils zunehmenden Betriebsgrößenklassen – in Form sowohl Beschäftigter, Umsatzwerte als auch Absatzwerte – eine zunehmende Reagibilität einhergeht, kann im vorliegenden Modell nicht eindeutig bestätigt werden. Hingegen stimmen die Wirkungsbeziehungen zwischen betriebsspezifischer Energieintensität sowie der spezifischen Investitionsquote und dem Elektrizitätskonsum auch hier mit bereits vorangehend berechneten Effekten überein – und bestätigen zuvor theoretisch dargelegte Zusammenhänge.

Hingegen liegen die vorliegend berechneten *Höhen* der Nachfrageelastizitäten deutlich über der aufgrund des zuvor durchgeführten Literatursurveys gewonnenen Spannweite. Eine Ursache kann in einer begrenzten methodischen Eignung von System-GMM-Modellen zur empirischen Berechnung der hier formulierten Nachfragefunktion bestehen. Auf der anderen Seite werden Strompreise bislang als modellexogen ange-

nommen. Diese Annahme wird im folgenden Abschnitt aufgehoben und Nachfragemodelle unter Berücksichtigung einer potentiellen Strompreisendogenität berechnet.

#### 4.5.4. Dynamische Nachfragemodelle mit Interaktionseffekten und Endogenität der Strompreise

Bislang erfolgten Berechnungen der unterschiedlichen Nachfragemodelle unter der Prämisse exogener Strompreise. Es wurde davon ausgegangen, dass industrielle Strompreise zwar die betriebliche Stromnachfrage beeinflussen, jedoch keine Wechselwirkungen vom Stromkonsum auf die Strompreise stattfinden.<sup>149</sup> Im Folgenden wird diese Annahme aufgegeben. Der vorliegende Datensatz stellt eine Vollerhebung des Verarbeitenden Gewerbes dar und wird in Kombination mit verbrauchsklassenspezifischen Strompreisinformationen ausgewertet – vor diesem Hintergrund erscheint es prinzipiell plausibel, dass nicht nur Strompreise den Stromkonsum beeinflussen, sondern darüber hinaus von einer Wirkung der über die gesamte Wirtschaft aggregierten Elektrizitätsnachfrage auch auf Strompreise auszugehen ist.

Diese Überlegungen führen zu besonderen Anforderungen an eine mikroökonomische Modellierung betrieblicher Elektrizitätsnachfrage. Mit Blick auf die vorangegangenen Analysen würde dies bedeuten, dass der Strompreis als bisher exogen verwendete Variable mit dem Errorterm der Schätzgleichungen korreliert und die Ergebnisse daher Verzerrungen aufweisen. Eine mögliche Lösung des Endogenitätsproblems besteht in der Verwendung einer *Instrumentenvariable* für den Strompreis, die einerseits das Stromangebot beeinflusst, andererseits jedoch *nicht* mit der Stromnachfrage korreliert. Hierdurch wird eine Korrelation mit dem Errorterm vermieden – die Schätzergebnisse sind unter diesen Voraussetzungen konsistent und unverzerrt.

##### 4.5.4.1. Modellspezifikation: Two Stage Least Squares Schätzverfahren

Die technische Vorgehensweise zur Schätzung einer solchen Regressionsgleichung wird in der Literatur unter dem Oberbegriff einer Two-Stage-Least-Squares-Schätzung subsumiert.<sup>150</sup> Demnach erfolgt in einem ersten Schritt die Berechnung einer Schätzgleichung des nun als modellendogen angenommenen Parameters anhand von exogenen

---

<sup>149</sup> Auch andere Studien mit Bezug zu betrieblichen Elektrizitätsnachfragefunktionen – bzw. Energienachfragefunktionen im Allgemeinen – legen die Annahme modellexogener Strompreise zugrunde.

<sup>150</sup> Vgl. Greene (2012), S. 259 ff., Wooldridge (2009), S. 506 ff. sowie Wooldridge (2010), S. 89 ff.

Variablen, wobei mindestens eine exogene Variable nicht in der originären Schätzgleichung – der *Strukturgleichung* – enthalten sein darf. In einem zweiten Schritt erfolgt die Schätzung dieser originären Gleichung, wobei die zuvor geschätzten Werte anstatt der endogen erklärenden Variable verwendet werden.

Im vorliegenden Fall bedeutet dies, dass zunächst eine Schätzung des Strompreises auf Basis von exogenen Variablen erfolgt und anschließend die Stromnachfrage als Funktion von Firmencharakteristika sowie eines Instruments für den Strompreis berechnet wird. Das gewählte Instrument wird hinzugezogen, um nähere Kenntnisse über die Angebotsfunktion für Elektrizität zu erhalten. Im vorliegenden Modell werden Gleichgewichtspreise für Strom zwischen Angebot und Nachfrage verwendet. Während eine Modellierung des betrieblichen Elektrizitätskonsums eine *Nachfragegleichung* darstellt, erhält das zusätzliche Instrument nun genauere Informationen über den Verlauf der *Angebotskurve* für Elektrizität.<sup>151</sup>

#### 4.5.4.2. Windstromeinspeisung und Strompreisbildung in Deutschland

Als exogenes Instrument des Strompreises kann die Windstromeinspeisung in deutsche Elektrizitätsnetze herangezogen werden. Neubarth et al. (2006) analysieren den Zusammenhang zwischen dem EEX-Spotmarktpreis<sup>152</sup> und der Windstromerzeugung. Wenngleich Windenergie stets nur einen kleinen Teil konventioneller Stromerzeugung ersetzen kann, substituiert die produzierte Elektrizitätsmenge in nahezu vollem Umfang konventionell erzeugte Elektrizität. Aufgrund von Grenzkosten der Windstromproduktion nahe Null ergibt sich mit zunehmender Windstromeinspeisung ein preisdämpfender Effekt auf Elektrizitätspreise. Andersherum gehen mit sinkender Windstromeinspeisung preissteigende Impulse einher. Demnach führt eine prognostizierte Windstromerzeugung von jeweils 1.000 MW zu einer durchschnittlichen Senkung des Spotmarktpreises von 1,89 €/MWh.<sup>153</sup> Ebenfalls von statistisch signifikanten Zusammenhängen zwischen der Windstromproduktion und Elektrizitätspreisen gehen Sensfuß et al. (2007) aus und kommen zu dem Schluss, dass preisdämpfende Effekte aufgrund des Merit-

---

<sup>151</sup> Aus diesem Grund wird das Instrument mitunter als *supply shifter* bezeichnet. Von einer technisch-mathematischen Darstellung wird abgesehen, hierzu sei auf die Lehrbuchliteratur verwiesen, vgl. z. B. Wooldridge (2009), S. 517 – 525.

<sup>152</sup> European Energy Exchange, Europäische Energiebörse Leipzig.

<sup>153</sup> In diese Ergebnisse wurden auch zusätzlich erforderliche Veredelungskosten des eingespeisten Windstroms berücksichtigt, die sich durch natürliche Produktionsschwankungen bei Windstrom ergeben.

Order Effektes<sup>154</sup> gegenüber preissteigenden Impulsen aufgrund von Veredelungskosten überwiegen.

Während auf der einen Seite von einem statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Windstromeinspeisung und Elektrizitätspreisen ausgegangen werden kann, ist auf der anderen Seite kein Wirkungszusammenhang zwischen der Windstromeinspeisung und der Stromnachfrage im Verarbeitenden Gewerbe anzunehmen.

**Tabelle 21: Windstromeinspeisung in Deutschland<sup>155</sup>**

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<i>Realer</i>													
<i>Energieertrag</i> <i>(TWh)</i>	1,50	2,03	2,97	4,49	5,53	7,55	10,51	15,79	18,71	25,51	27,23	30,71	39,71

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2012)

Im vorliegenden Fall werden Daten zur Windstromeinspeisung aus den Energiestatistiken des BMWi herangezogen (vgl. Tabelle 21). Demnach betrug die Einspeisung im Jahr 1995 1,5 TWh und stieg bis zum Jahr 2007 kontinuierlich bis auf 39,71 TWh. Auf Grundlage dieser Werte sowie der verwendeten Strompreise liefert auch eine einfache OLS-Regression einen statistisch signifikanten negativen Zusammenhang und bestätigt daher eine prinzipielle Anwendbarkeit der Windstromeinspeisung als Instrument.

#### 4.5.4.3. Unterscheidung von Modellberechnungen mit unterstellter Strompreisendogenität sowie Strompreisexogenität

Vor einer Berechnung von Nachfragemodellen mit unterstellter Strompreisendogenität werden potentielle und möglicherweise zu erwartende Unterschiede zwischen Modellberechnungen mit Strompreisendogenität im Vergleich zu Modellen mit unterstellter Strompreisexogenität erläutert. Auf der einen Seite können *ökonomisch-technische Ursachen* dazu führen, dass sich durch Instrumentierung einer modellendogenen Variable durch eine exogene Variable Änderungen der Schätzparameter ergeben. Auf der

<sup>154</sup> Unter dem Merit-Order-Mechanismus wird der Preisbildungsvorgang für Elektrizität aufgrund der unterschiedlich eingesetzten Kraftwerkskapazitäten verstanden. Alle Stromangebote werden entsprechend der Grenzerzeugungskosten erfasst, es ergibt sich daraus eine aggregierte Angebotskurve aller Erzeugungskapazitäten (vgl. Erdmann und Zweifel (2008), S. 305). Aus dem Schnittpunkt mit der aggregierten Nachfragekurve nach Elektrizität ergibt sich ein Marktpreis, wobei Produktionskapazitäten mit niedrigen Grenzkosten stets Elektrizitätsproduktion mit hohen Grenzkosten verdrängen und preisenkend wirken.

<sup>155</sup> Kumulierte installierte Leistung multipliziert mit Vollaststunden pro Jahr.

anderen Seite ergeben sich durch einen Übergang von Modellen, in denen nicht nur Strompreise Einfluss auf den Stromkonsum nehmen, sondern darüber hinaus auch von *Rückkopplungseffekten des Stromkonsums auf den Strompreise* ausgegangen wird, unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten.

#### *Ökonometrisch-technische Ursachen*

Die grundlegende Intention einer Verwendung modellexogener Instrumentenvariablen liegt darin begründet, Verzerrungen der Schätzparameter wegen Korrelationen zwischen einer modellendogenen Variable und dem Errorterm zu vermeiden. Eine konsistente Lösung dieses Problems besteht mithin darin, ein Instrument zu verwenden, von dem einerseits *keinerlei* Korrelation mit dem Errorterm ausgeht und welches – darüber hinaus - eine *möglichst große* Korrelation mit der zu ersetzenden Variable aufweist. Ein solch „perfektes“ Instrument existiert jedoch in nahezu keinem Fall. Auch in der vorliegenden Untersuchung liegt zwischen der Windstromeinspeisung in die deutschen Stromnetze und Strompreisen zwar ein statistisch signifikanter Zusammenhang vor, dieser ist jedoch eher niedrig ausgeprägt – Neubarth et al. (2006) zeigen oben dargelegte Zusammenhänge, wonach eingespeister Windstrom i. H. v. 1.000 MWh eine Senkung des Strompreises i. H. v. 1,89 €/MWh bewirken.

Wie Wooldridge (2009) anführt<sup>156</sup>, können sich bei schwachen Korrelationen zwischen der modellendogenen Variable und dem Instrument zum einen große Standardfehler ergeben sowie zum anderen – unter bestimmten Bedingungen – inkonsistente Schätzer ergeben. Ein Schätzer ist inkonsistent, sofern sich der Schätzparameter mit zunehmender Stichprobengröße nicht den wahren Populationsparametern annähert. Im vorliegenden Fall kann diese Ursache – zumindest in begrenztem Ausmaß – zwar nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, die zuvor protokollierten Hansen-Tests sowie die Kleibergen-Paap Wald Statistik sprechen jedoch grundsätzlich *nicht gegen* eine Verwendung des gewählten Instruments.

#### *Ursachen aufgrund einer Modellinterpretation*

Über eine rein ökonometrisch-technische Interpretation der Schätzergebnisse hinaus lassen sich Unterschiede in den Modellparametern auf einen Erklärungsgehalt der Schätzvariable „Strompreis“ bei Modellendogenität im Vergleich zu Modellexogenität

---

<sup>156</sup> S. 514 ff.

zurückführen. Im Falle eines modellexogenen Strompreises sind Betriebe Preisnehmer, der Stromkonsum hat keine Auswirkungen auf das Preisniveau. Im Vergleich dazu ergeben sich unter der Annahme, dass der – gegebenenfalls auf Branchenebene aggregierte – Stromkonsum Wechselwirkungen mit dem Strompreis induziert, strategische Handlungsmöglichkeiten der Marktteilnehmer. In diesem Falle kann die Variable „Strompreis“ einen veränderten Erklärungsgehalt beinhalten, da auch Rückkopplungseffekte des Stromkonsums auf den Strompreis aufgefangen werden.

#### 4.5.4.4. Schätzergebnisse

Tabelle 22 fasst die Schätzergebnisse eines Modells zusammen, ohne zunächst Nachfragewirkungen aufgrund spezifischer Hemmnisdeterminanten miteinzubeziehen sowie ohne Berücksichtigung von Jahresdummies.<sup>157</sup>

**Tabelle 22: IV-Regression: Ausgangsmodell**

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Strompreis)	-0,3888162	0,011096
log (Absatzproduktionswert)	0,1149043	0,010607
log (Umsatz)	0,3116117	0,0116823
Produktionsindex	0,0003844	0,00025
Investitionsquote	-0,0109727	0,0089746
Beschäftigte	0,0000638	0,00000518
Energieintensität	0,00000348	0,0000016
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,086365	0,0889075
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,066057	0,0447446
Ledergewerbe	0,0284614	0,0752609
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0143904	0,0570119
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0184632	0,060185
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,2197218	0,1148521
Chemischen Erzeugnissen	-0,0150016	0,0560783
Gummi- und Kunststoffwaren	0,0387126	0,0429345
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	0,044413	0,0666611
Metalle, Metallerzeugnisse	0,0156077	0,0380517
Maschinenbau	0,0288859	0,0414159
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,0328217	0,0476565
Fahrzeugbau	-0,0420794	0,0498618
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Observationen</i>	309.215	
<i>Cluster</i>	50.590	
<i>R<sup>2</sup> (centered)</i>	0,1506	
<i>R<sup>2</sup> (uncentered)</i>	0,1506	

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

<sup>157</sup> Vgl. Schaffer (2010).

Während in der bisherigen Modellierung Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes einzig als Preisnehmer behandelt wurden, spiegelt die nun geschätzte Strompreiselastizität den Gleichgewichtsprozess aus Stromnachfrage und Stromangebot wider. Die Nachfrageelastizität dieses Ausgangsmodells liegt bei  $-0,389$ : demnach induziert eine Strompreiserhöhung um ein Prozent einen Nachfragerückgang nach Elektrizität im Durchschnitt über alle Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes in der kurzen Frist um  $-0,389\%$ . In diesem Modell erreichen die Branchenkoeffizienten allerdings keine Signifikanz bei einem 95-prozentigen Konfidenzintervall. Auch die Investitionsquote sowie der Konjunkturkoeffizient liegen unterhalb der Signifikanzschwelle. Der Einfluss betrieblicher Energieintensität ist signifikant, im Vergleich zu vorangegangenen Berechnungen jedoch deutlich gesunken.

Ein Hansen-Test lässt den Schluss zu, dass die Hypothese einer korrekt identifizierten Schätzgleichung nicht abgelehnt werden kann.<sup>158</sup> Ein Test auf Grundlage der Kleibergen-Paap Wald Statistik legt aufgrund schwacher Instruments allerdings nahe, dass die Schätzergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind.<sup>159</sup>

Eine Erweiterung dieses Modells um Interaktionseffekte zwischen Strompreisen und Koeffizienten mit Bezug zu betrieblichen Anpassungshemmnissen und Branchen sowie um Jahresdummies liefert nun detailliertere Kenntnisse über das betriebliche Nachfrageverhalten nach Elektrizität. Wie zuvor wirkt sich auch hier eine Berücksichtigung von Jahresdummies deutlich auf die Schätzergebnisse aus. Innerhalb der Gruppe von Betrieben mit sehr hohen Energieintensitäten ergeben sich branchenspezifische Nachfrageelastizitäten in einer Größenordnung um  $-2,2$ , wie in Tabelle 23 dargestellt wird.

Das hier berechnete Nachfragemuster unterschiedlicher Branchen unterstützt eingangs formulierte Wirkungshypothesen und überschneidet sich mit Ergebnissen der vorangegangenen Modellkonstellationen. Auch hier weisen u. a. die Branchen Maschinenbau, Metalle und Metallerzeugnisse, Fahrzeugbau, Ernährung sowie die Chemische Industrie vergleichsweise hohe Anpassungsreaktionen auf. Mit Blick auf den Einfluss der Energieintensität auf das Nachfrageverhalten werden im vorangegangenen Kapitel konstatierte Wirkungszusammenhänge bestätigt – mit sinkender Energieintensität nehmen Anpassungsflexibilitäten ab, so dass die in der Gruppe der am wenigsten ener-

---

<sup>158</sup> Vgl. Greene (2012), S. 273 ff.

<sup>159</sup> Vgl. ebd., S. 289 ff.

gieintensiven Betriebe im Vergleich zur energieintensivsten Gruppe zu beobachtenden durchschnittlichen Elastizitäten in der kurzen Frist um 0,205 Prozentpunkte geringer ausgeprägt sind.

Tabelle 23: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten: Energieintensität

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,38426	0,01131
log (Absatzproduktionswert)	0,12731	0,00898
log (Umsatz)	0,10727	0,00822
Produktionsindex	-0,00002	0,00021
Investitionsquote	0,02837	0,00912
Beschäftigte	0,00002	0,00000
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-2,33706	0,06164
Textil- und Bekleidungsindustrie	-2,19489	0,04843
Ledergewerbe	-2,24166	0,06552
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,23451	0,05088
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-2,19928	0,04992
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-2,24119	0,05774
Chemischen Erzeugnissen	-2,27136	0,05234
Gummi- und Kunststoffwaren	-2,25677	0,05284
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-2,20313	0,05058
Metalle, Metallergzeugnisse	-2,25095	0,04900
Maschinenbau	-2,26352	0,04999
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,26940	0,05162
Fahrzeugbau	-2,26465	0,05380
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,22714	0,04862
<i>Energieintensität</i>		
Sehr niedrig	0,20455	0,00587
Niedrig	0,10155	0,00369
Hoch	0,04519	0,00231
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>		
		Ja
<i>Observationen</i>	257.269	
<i>Cluster</i>	46.232	
<i>Centered R<sup>2</sup></i>	0,4403	

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Allerdings weisen die Teststatistiken in diesem Fall auf eine möglicherweise vorliegende Spezifikationsproblematik hin – dies beeinträchtigt die Aussagekraft der Koeffizienten, welche in allen Fällen eine statistische Signifikanz aufweisen.<sup>160</sup> Dies deutet möglicherweise auf Grenzen hin, das zuvor hergeleitete dynamische Nachfragemodell mit Interaktionseffekten anhand einer 2SLS-Methodik empirisch zu bestimmen.

Tabelle 24 fasst die Berechnungsergebnisse unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Hemmnisdeterminanten sowie bei Instrumentierung der Strompreise durch die

<sup>160</sup> Ein Grund könnte darin liegen, dass es im Rahmen von 2SLS Schätzungen mit Instrumenten für den Strompreis äußerst schwierig ist, zusätzliche Erkenntnisse durch Formulierung mehrerer Interaktionsterme innerhalb eines Schätzmodells zu erzielen.

Windstromeinspeisung in Deutschland zusammen. Je nach Modifikation der Interaktionsterme ergeben sich leicht unterschiedliche branchenspezifische Nachfrageelastizitäten, wobei die relativen Unterschiede zwischen tendenziell elastischen bzw. unelastischen Branchen gleich bleiben – d. h. die Branchen „Ernährung, Tabak“, „Chemische Erzeugnisse“, „Gummi- und Kunststoffwaren“, sowie „Fahrzeugbau“ weisen in allen berechneten Modellvarianten die deutlichsten Elastizitäten auf.

**Tabelle 24: 2SLS-Modelle mit Instrumentierung des Strompreises im Vergleich**

	Dynamisches 2SLS Modell - IV: Windstromeinspeisung									
	Umsatz		Absatzproduktionswert		Beschäftigte		Energieintensität		Investitionsquote	
	KF	LF	KF	LF	KF	LF	KF	LF	KF	LF
<i>Wirtschaftszweige</i>										
Ernährung, Tabak	-2,475	-4,121	-2,456	-4,082	-2,468	-4,093	-2,337	-3,796	-2,438	-4,054
Textil- und Bekleidungsindustrie	-2,278	-3,793	-2,252	-3,743	-2,263	-3,753	-2,195	-3,565	-2,235	-3,716
Ledergewerbe	-2,320	-3,864	-2,292	-3,809	-2,307	-3,825	-2,242	-3,641	-2,276	-3,785
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,321	-3,865	-2,300	-3,823	-2,315	-3,839	-2,235	-3,629	-2,281	-3,794
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-2,279	-3,795	-2,256	-3,750	-2,267	-3,760	-2,199	-3,572	-2,238	-3,722
Kokerei, Mineralöl-, Spalt- und Brutst.	-2,336	-3,889	-2,306	-3,833	-2,323	-3,852	-2,241	-3,640	-2,290	-3,809
Chemische Erzeugnisse	-2,362	-3,933	-2,340	-3,890	-2,352	-3,900	-2,271	-3,689	-2,323	-3,863
Gummi- und Kunststoffwaren	-2,346	-3,907	-2,323	-3,861	-2,334	-3,871	-2,257	-3,665	-2,305	-3,834
Glasg., Keramik, Steine und Erden	-2,287	-3,808	-2,269	-3,773	-2,285	-3,790	-2,203	-3,578	-2,251	-3,744
Metalle, Metallergzeugnisse	-2,336	-3,889	-2,313	-3,845	-2,326	-3,857	-2,251	-3,656	-2,295	-3,817
Maschinenbau	-2,334	-3,887	-2,312	-3,843	-2,324	-3,853	-2,264	-3,676	-2,294	-3,815
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,335	-3,888	-2,312	-3,843	-2,326	-3,858	-2,269	-3,686	-2,294	-3,815
Fahrzeugbau	-2,343	-3,901	-2,319	-3,855	-2,333	-3,870	-2,265	-3,678	-2,301	-3,826
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,310	-3,847	-2,289	-3,805	-2,302	-3,818	-2,227	-3,617	-2,271	-3,777
<i>Spezifische Hemmnisausprägung</i>										
Sehr niedrig	0,068	0,113	0,043	0,071	0,085	0,141	0,205	0,332	0,012	0,019
Niedrig	0,038	0,063	0,024	0,039	0,057	0,095	0,102	0,165	0,007	0,007
Hoch	0,019	0,032	0,011	0,018	0,028	0,047	0,045	0,073	0,004	0,005
Sehr hoch (base case)										

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Darüber hinaus weisen alle Koeffizienten der spezifischen Hemmnisausprägungen die erwarteten Tendenzen auf. Mit steigendem Umsatz, Absatzproduktionswert sowie der Beschäftigtenzahl nehmen Anpassungshemmnisse an veränderliche Elektrizitätspreise ab. Ebenfalls lässt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Investitionsquote und Anpassungsreakibilitäten nachweisen. Die Wirkungszusammenhänge zwischen betrieblicher Energieintensität sowie dem Elektrizitätskonsum zeigen im Vergleich dazu die deutlichsten – sowie ebenfalls statistisch signifikanten – Abhängigkeiten. Die strukturelle Abhängigkeit der heutigen Elektrizitätsverbräuche von vergangenen Verbrauchsmustern, gemessen am Lag des Elektrizitätskonsums, liegt in allen Modellen in einer Größenordnung von etwa 0,39.<sup>161</sup> Nach Maßgabe der in Abschnitt 3.6

<sup>161</sup> Dies wird aus der Abbildung nicht unmittelbar ersichtlich, vgl. im Anhang dargestellte Berechnungsergebnisse.

hergeleiteten Zusammenhänge führt dies zu ebenfalls in Tabelle 24 jeweils in den Spalten „LF“ zusammengefassten langfristigen Nachfrageelastizitäten.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass sich, auch bei Instrumentierung des Strompreises, im Vergleich zu den vorangegangenen Modellberechnungen keine grundlegenden Änderungen der Schätzergebnisse ergeben. Dies unterstreicht eine Robustheit der Schätzergebnisse über unterschiedliche Berechnungsmethoden hinweg. Schließlich zeigen die Schätzergebnisse auch, dass die eingangs dargelegten – zumindest theoretisch möglichen – Abweichungen zwischen Modellen mit *Strompreisendogenität* im Vergleich zu einer angenommenen *Strompreisexogenität* in diesem Falle nicht zu beobachten sind. Diese Ergebnisse legen die Schlussfolgerung nahe, dass die Modellberechnungen konsistent und prinzipiell geeignet sind, einen Zusammenhang zwischen Einflussdeterminanten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage sowie tatsächlicher Gegebenheiten im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland herzustellen.

Nachrichtlich zu diesen 2SLS Varianten erfolgt eine Berechnung derselben Nachfragemodelle auf Basis einer System GMM Modellierung. Hierbei erfolgt also nicht nur eine Instrumentierung des Strompreises durch Daten der vergangenen Windstromeinspeisung, darüber hinaus werden Lags des Stromkonsums auch durch weiter in der Vergangenheit liegende Werte des Stromkonsums instrumentiert.

**Tabelle 25: System GMM-Modelle mit Instrumentierung des Strompreises im Vergleich**

	Dynamisches System GMM Modell - IV: Windstromeinspeisung									
	Umsatz		Absatzproduktionswert		Beschäftigte		Energieintensität		Investitionsquote	
<i>Wirtschaftszweige</i>	KF	LF	KF	LF	KF	LF	KF	LF	KF	LF
Ernährung, Tabak	-2,913	-7,989	-2,222	-6,737	-2,848	-7,746	-2,564	-5,965	-2,804	-7,649
Textil- und Bekleidungsindustrie	-2,875	-7,884	-2,192	-6,649	-2,812	-7,648	-2,545	-5,920	-2,784	-7,596
Ledergewerbe	-2,874	-7,883	-2,177	-6,603	-2,809	-7,640	-2,534	-5,896	-2,780	-7,584
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,908	-7,975	-2,215	-6,718	-2,853	-7,759	-2,590	-6,026	-2,803	-7,647
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-2,900	-7,955	-2,185	-6,627	-2,839	-7,720	-2,563	-5,963	-2,796	-7,627
Kokerei, Mineralölv., Spalt- und Brutst.	-2,908	-7,975	-2,202	-6,677	-2,820	-7,671	-2,570	-5,979	-2,800	-7,640
Chemische Erzeugnisse	-2,916	-7,996	-2,199	-6,668	-2,862	-7,783	-2,573	-5,986	-2,806	-7,655
Gummi- und Kunststoffwaren	-2,889	-7,924	-2,195	-6,658	-2,828	-7,692	-2,566	-5,970	-2,790	-7,610
Glasg, Keramik, Steine und Erden	-2,900	-7,953	-2,204	-6,685	-2,853	-7,758	-2,576	-5,992	-2,797	-7,629
Metalle, Metallzeugnisse	-2,897	-7,946	-2,192	-6,648	-2,831	-7,699	-2,558	-5,950	-2,793	-7,618
Maschinenbau	-2,895	-7,939	-2,175	-6,597	-2,828	-7,690	-2,554	-5,941	-2,792	-7,618
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,893	-7,934	-2,171	-6,583	-2,819	-7,666	-2,550	-5,932	-2,790	-7,610
Fahrzeugbau	-2,909	-7,978	-2,203	-6,679	-2,845	-7,738	-2,571	-5,980	-2,806	-7,655
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,899	-7,950	-2,189	-6,637	-2,833	-7,705	-2,565	-5,968	-2,795	-7,625
<i>Spezifische Hemmnisausprägung</i>										
Sehr niedrig	0,204	0,560	0,132	0,399	0,185	0,502	0,140	0,327	0,005	0,013
Niedrig	0,115	0,314	0,070	0,213	0,122	0,332	0,059	0,137	0,007	0,019
Hoch	0,048	0,130	0,023	0,069	0,059	0,161	0,020	0,046	0,004	0,010
Sehr hoch (base case)										

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen

Wie in Tabelle 25 dargestellt, ergeben diese Berechnungen vergleichsweise elastischere Nachfragefunktionen nach Elektrizität – und entsprechen damit in etwa den Tendenzen der System GMM Modellierung ohne Strompreisinstrumentierung in Abschnitt 4.5.3.2. Demgegenüber liegen die Schätzkoeffizienten der spezifischen Hemmnisausprägungen nun jedoch im erwarteten Bereich. Auch in diesem Fall deuten die Teststatistiken jedoch auf eine möglicherweise eingeschränkte Eignung der Schätzmethode für die gewählte Nachfragefunktion hin.<sup>162</sup> Aus diesem Grunde werden die Ergebnisse eines 2SLS Schätzverfahrens im vorliegenden Falle bevorzugt.

#### **4.5.5. Ergebnisinterpretation**

Die vorangehend durchgeführten Berechnungen liefern sehr unterschiedliche Erkenntnisse, inwiefern einerseits Hemmnisdeterminanten der Elektrizitätsnachfrage empirisch aufgefangen werden können, sowie andererseits, ob die in Deutschland verfügbaren amtlichen Firmendaten hierfür eine solide Grundlage darstellen.

Der vorliegende Datensatz des AFiD-Panels ist eine Zusammenstellung derzeit verfügbarer Daten zur Betriebsstruktur im Verarbeitenden Gewerbe sowie betrieblicher Angaben über die Erzeugungs- und Verbrauchsstruktur unterschiedlicher Energieträger. Der aufgrund einer grundlegenden Veränderung in der Datenaufzeichnung entstandene Strukturbruch im Übergang der Jahre 2002 / 2003 spiegelt sich deutlich in den Auswertungen wider und verhindert letztlich eine Paneldatenanalyse über den gesamten Zeitraum von 1995 – 2007.<sup>163</sup> Ohne Zugeständnisse an eine konsistente und statistisch korrekte Datenauswertung ist eine Analyse der vorliegenden Fragestellung nur jeweils getrennt für die Perioden 1995 – 2002 sowie 2003 – 2007 möglich. Dies führt letztlich zu einer geringeren Schätzgenauigkeit, da ein signifikanter Vorteil einer Paneldatenanalyse gerade in einer Informationsgewinnung durch Beobachtung einzelner Individuen über einen möglichst langen Zeitraum besteht.

---

<sup>162</sup> Insbesondere Sargan- / Hansen-Teststatistiken legen diese Schlussfolgerung nahe.

<sup>163</sup> Die Hauptursache dieses Strukturbruchs besteht in einer grundlegend veränderten Aufzeichnungsmethodik von Informationen zu betrieblichen Energieverbräuchen sowie deren Unterscheidung in unterschiedliche Energieträger. Eine über diesen Zeithorizont hinausgehende Datenanalyse bis zum aktuell verfügbaren Rand des Jahres 2009 wird durch eine nur bedingt vorhandene Übertragbarkeit der Datengrundlage industrieller Strompreise von Eurostat verhindert.

Die Datenauswertung orientierte sich an einer klaren Struktur, wobei zunächst ein einfaches Modell ohne charakteristische Betriebscharakteristika geschätzt sowie anschließend sukzessive um Betriebscharakteristika und um Interaktionsterme zwischen Elektrizitätspreisen und zuvor identifizierte Hemmnisdeterminanten erweitert wurde. Eine über die Anwendung von FE-Schätzern hinausgehende Berechnung durch System-GMM- und 2SLS-Modelle war aufgrund einer Verletzung der statistischen Annahmen erforderlich. Vor dem Hintergrund einer Berücksichtigung von Lags des Stromkonsums als erklärende Variable betrifft dies insbesondere die Exogenitätsbedingung – daraus resultieren möglicherweise verzerrte Schätzer. Demgegenüber ist Vorsicht geboten bei einer Auswahl geeigneter Instrumente zur Umgehung dieser Endogenitätsproblematik: Eine Verwendung ungeeigneter Instrumente kann im Endeffekt zu einer Verschlechterung der Schätzgenauigkeit führen. Zur Kalibrierung der Modellberechnungen von Nachfragefunktionen mit Interaktionseffekten war es daher notwendig, jeweils 5 Modellvarianten auf Basis von FE- und System-GMM zu bestimmen. Ein Vergleich der Schätzergebnisse führt zu dem Schluss, dass im Rahmen der fünften Modellvariante über die unterschiedlichen Schätzverfahren hinaus konsistente Schätzer ermittelt werden können.

In allen Modellvarianten ist ferner ein sehr deutlicher Einfluss von Jahresdummies auf die Schätzkoeffizienten der Nachfrageelastizität zu beobachten. Diese können insbesondere dazu dienen, jährliche Effekte aufzufangen, die alle Betriebe gleichermaßen betreffen und nicht durch anderweitig vorhandene Variablen im Datensatz erklärt werden können – hierzu können wirtschaftliche oder politische Entwicklungen, wie etwa die Einführung der Stromsteuer im Jahr 1999, zählen. Bei Betrachtung eines dynamischen FE-Modells ohne Interaktionseffekte<sup>164</sup> beträgt die geschätzte kurzfristige Nachfrageelastizität -0,62. Eine zusätzliche Berücksichtigung von Jahresdummies führt zu einem deutlichen Anstieg dieser Elastizität auf nunmehr -2,29. Unter der Prämisse, dass Jahresdummies in eine solche Paneldatenanalyse grundsätzlich miteinzubeziehen sind, liegt dieser Schätzkoeffizient, im Vergleich zu Ergebnissen vorangegangener Studien, in einem relativ elastischeren Bereich.<sup>165</sup>

---

<sup>164</sup> Vgl. Tabelle 15.

<sup>165</sup> Die hier durchgeführte Analyse unterscheidet sich in konzeptioneller Hinsicht deutlich von vorangegangenen Studien. Dennoch ist zur Einordnung von Durchschnittswerten ein Vergleich geboten.

Damit stellen sich zwei Fragen. *Erstens*: Worin liegen die Ursachen für einen solchen deutlichen Unterschied zwischen Modellen mit und ohne Berücksichtigung von Jahresdummies? *Und zweitens*: Aus welchem Grund liegen die hier berechneten Elastizitäten – im Durchschnitt betrachtet – deutlich über Berechnungen vergangener und zumindest ansatzweise vergleichbarer Studien?

Unterschiedliche Berechnungsergebnisse in Abhängigkeit einer Berücksichtigung von Jahresdummies könnten sich gemeinhin aus einer möglichen Fehlspezifikation der Nachfragemodelle ergeben. Sofern grundlegende erklärende Variablen außer Acht gelassen werden, würde ein übermäßig großer Anteil des Erklärungsgehalts durch Jahresdummies aufgefangen, woraus letztlich Unterschiede in den Schätzkoeffizienten resultieren. Dem steht entgegen, dass die hier formulierten Nachfragemodelle auf einer breiten Literaturbasis entwickelt wurden; durch einen Abgleich zentraler Schätzvariablen sowie der Schätzmethodik mit vorangehend durchgeführten Analysen ist mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit von einer korrekten Modellierung der Nachfragemodelle auszugehen. Eine weitere Ursache dieser Berechnungsunterschiede kann in Auswertungsgrenzen der vorliegenden Daten liegen. Der hier verwendete Datensatz setzt sich auch mehreren einzelnen amtlichen Erhebungen zusammen. Prinzipiell ist dabei nicht auszuschließen, dass im Verlauf der Datengenerierung – d. h. von einer Meldepflicht der Betriebe über die Sichtung und Verarbeitung bis hin zu der speziell für das vorliegende Forschungsvorhaben durchgeführten Zusammenführung der unterschiedlichen Datenbasen zu einem auswertbaren Datensatz – einzelne Inkonsistenzen entstehen, die in ihrer Gesamtheit zu verzerrten Ergebnissen führen können.<sup>166</sup> Diese Schlussfolgerung wird bekräftigt durch Schätzergebnisse der zweiten Periode der Jahre 2003 – 2007. Trotz exakt gleicher Nachfragemodellierung sowie Anwendung gleicher Schätzverfahren ergeben sich nun weiter in den negativen Bereich verschobene Nachfragelastizitäten.<sup>167</sup>

Diesen Einschränkungen steht gegenüber, dass die hier durchgeführten Modellberechnungen auf einer außergewöhnlich umfangreichen Datenbasis beruhen – weder für Deutschland, noch für weitere Länder bzw. für länderübergreifende Analysen standen bisher vergleichbar detaillierte Daten zur Verfügung. Möglicherweise liegen betriebliche

---

<sup>166</sup> Der ökonometrischen Datenauswertung wurden ausführliche deskriptive Konsistenztests vorangestellt. Dennoch bleiben gewisse Restrisiken einer eingeschränkten Datenauswertbarkeit.

<sup>167</sup> Die Schätzergebnisse der zweiten Periode werden hier aus Gründen des Überblicks nur kurz dargestellt, alle ausführlichen Schätzergebnisse können dem Anhang entnommen werden.

Nachfragereaktionen nach Elektrizität bei Veränderungen des Strompreises tatsächlich deutlich höher, als bislang angenommen. In jedem Fall liefern die Schätzergebnisse mit Bezug zu identifizierten Einflüssen betrieblicher Hemmnisdeterminanten konsistente Ergebnisse, die einerseits zuvor theoretisch hergeleitete Wirkungszusammenhänge bestätigen, sowie die andererseits über unterschiedliche Schätzmodelle hinweg eine hohe Robustheit aufweisen.

Eine Abwägung dieser Gründe legt die Schlussfolgerung nahe, dass die hier identifizierten *Höhen* der Nachfrageelastizitäten eine obere Intervallgrenze markieren und bisherige Schätzungen des Verarbeitenden Gewerbes im Vergleich dazu tendenziell eine untere Grenze markieren. Die in nahezu allen Fällen hochsignifikanten und robusten Schätzkoeffizienten der Interaktionsterme zwischen Strompreisen und Hemmnisdeterminanten deuten darüber hinaus auf eine Eignung der gewählten Modelle zur empirischen Überprüfung zuvor formulierter Wirkungshypothesen hin. Im Folgenden werden diese Wirkungshypothesen auf Basis der zu Beginn der Arbeit geführten Hemmnisdebatte genauer mit Berechnungsergebnissen der Interaktionsterme abgeglichen.

#### **4.6. Abgleich der empirischen Ergebnisse mit Erkenntnissen aus der Hemmnisdebatte**

Die vorangegangene empirische Untersuchung liefert wichtige Erkenntnisse über betriebliches Elektrizitätsnachfrageverhalten. Bisher in dieser Form nicht genutzte amtliche Statistiken lassen Aussagen darüber zu, welche Einflussdeterminanten bei betrieblichen Reaktionsentscheidungen auf veränderliche Strompreise im Verarbeitenden Gewerbe eine Rolle spielen. Nun werden diese Ergebnisse herangezogen und Erkenntnissen des metaanalytischen Literatursurveys sowie bislang theoriebasierten Erklärungen über Hemmnisse und Nachfrageverhalten gegenübergestellt.

Im 2. Kapitel wurde eine methodische Grundlage gelegt, welche Strukturen betrieblichem Handeln zur Energieeinsparung bzw. zum Energiekonsum im Allgemeinen zugrunde liegen. Hierbei wurde aus modelltheoretischer Sicht dargestellt, dass sich aufgrund unvollständiger Informationen, Anpassungskosten oder anderweitiger betrieblicher (Kapital-)Beschränkungen ein Marktergebnis ergeben kann, in dem nicht alle möglichen Optimierungspotentiale aus Sicht des einzelnen Betriebes genutzt werden – oder anders ausgedrückt: Betriebe reagieren unter bestimmten Voraussetzungen nur einge-

schränkt auf veränderliche Strompreise. Dies wurde unterlegt durch einen Survey über Einsparpotentiale in unterschiedlichen Ländern und in unterschiedlichen Branchen aus technischer sowie wirtschaftlicher Perspektive. Auf dieser Grundlage sowie eines metaanalytischen Literatursurveys wurden in Kapitel 3 potentiell relevante Einflussfaktoren identifiziert. Über die *tatsächlichen* Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Einflussdeterminanten und einem Elektrizitätsnachfrageverhalten in Abhängigkeit des Preises lagen bisher hingegen keine Erkenntnisse vor, vielmehr handelt es sich dabei um *Wirkungshypothesen* etwa auf Grundlage von Unternehmensbefragungen. An dieser Stelle setzt der vorliegende Abschnitt an: die empirischen Erkenntnisse aus der Nachfragemodellierung des AFiD-Panels in Verbindung mit Strompreisen gemäß Eurostat-Statistiken im vorangegangenen Kapitel werden nun mit den theoriebasierten und bisher vermuteten Wirkungsbeziehungen abgeglichen.

Mit Bezug auf einen Vergleich der potentiellen Einflussfaktoren mit Ergebnissen der empirischen Berechnung im Einzelnen ist festzustellen, dass über die Bandbreite der empirischen Modellberechnungen insgesamt sehr deutliche, hinsichtlich der *Richtung* der Wirkungsbeziehungen durchweg einheitliche Ergebnisse vorliegen und eingangs formulierte Wirkungshypothesen zum überwiegenden Teil bestätigen. Tatsächlich lassen sich die auf Grundlage einzelner Studien – die ihrerseits z. T. auf separaten und beschränkt vergleichbaren Umfragen basieren – dargelegten Wirkungshypothesen auf eine Nachfragemodellierung anhand amtlich verfügbarer Statistiken des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland übertragen. Diese Ergebnisse sind robust und ändern sich hinsichtlich der Anpassungsrichtungen auch nicht bei unterstellten modellendogenen Strompreisen.

Auch der intuitiv naheliegende Wirkungszusammenhang, wonach Betriebe ihre Elektrizitätsnachfrage kurzfristig lediglich durch Outputveränderungen sowie – in begrenztem Ausmaß – durch weitere innerbetriebliche Anpassungen variieren können und sich erst in der langen Frist durch strukturelle Veränderungen, etwa im Produktionsablauf oder durch Zukauf neuer Maschinen, größere Anpassungsspielräume eröffnen, wird durch die empirischen Ergebnisse bestätigt. Langfristig reagieren Betriebe deutlich flexibler auf Strompreisänderungen im Vergleich zur kurzen Frist.

In der vorliegenden Berechnung erfolgte eine Betrachtung *im Durchschnitt* über alle Wirtschaftszweige. Dies bedeutet, dass die Einflussdeterminanten auf die Stromnachfrage zwar *unter Berücksichtigung branchenspezifischer Gegebenheiten* berechnet wur-

den, eine Interpretation etwa des Einflusses der Betriebsgröße anhand der Mitarbeiterzahl aus methodischen Gründen jedoch im Durchschnitt jeweils für alle Branchen erfolgt.<sup>168</sup> In den folgenden Unterabschnitten werden empirisch identifizierte Zusammenhänge zwischen Stromkonsum und einzelnen Hemmnisdeterminanten genauer erläutert.

#### **4.6.1. Energieintensität**

Die grundlegende Arbeitshypothese lautet, dass mit zunehmender Energieintensität deren innerbetrieblich bewusst wahrgenommene wirtschaftliche Bedeutung steigt und daher eine größere Bereitschaft besteht, flexibel auf veränderliche Energiepreise durch betriebliche Anpassungen zu reagieren.

Die empirischen Auswertungen zeigen, dass die Variable „Energieintensität“ als Verhältnis des jährlichen Energieverbrauchs zum Absatzproduktionswert zur Erklärung der Elektrizitätsnachfrage eine hohe Signifikanz besitzt. Darüber hinaus zeigen die Berechnungen, dass mit steigenden Energieintensitäten ebenfalls eine steigende Reaktionsbereitschaft auf Strompreisveränderungen einhergeht. Diese signifikanten Unterschiede bestehen bei allen berechneten Modellvarianten und unabhängig vom zugrunde liegenden Schätzverfahren. Dabei betragen die Unterschiede zwischen dem Quartil mit der niedrigsten sowie der höchsten Energieintensität etwa 0,15 bis 0,2 Prozentpunkte in der kurzen sowie ca. 0,2 bis 0,33 Prozentpunkte in der langen Frist.

Im Lichte dieser Erkenntnisse kann obige Arbeitshypothese nicht abgelehnt werden. Offenkundig bestehen signifikante Wirkungsbeziehungen zwischen betrieblicher Energieintensität und einer Anpassungsbereitschaft an Elektrizitätspreise. Ein darüber hinausgehender Nachweis, dass dieses Anpassungsverhalten tatsächlich auf die mit steigender Energieintensität zunehmend vorhandenen und besonders geschulten Mitarbeiter oder etwa auf eine besondere Sensibilität für das Thema Energiekosten zurückzuführen ist, konnte aufgrund der vorliegenden Daten jedoch nicht erbracht werden.<sup>169</sup>

---

<sup>168</sup> Prinzipiell ist auch eine Berechnung branchenspezifischer Einflussdeterminanten auf Grundlage der vorliegenden Daten möglich, dies entspricht erstens jedoch nicht dem Kern dieser Arbeit, das Verarbeitende Gewerbe insgesamt zu betrachten und würde, zweitens, den Umfang weit übersteigen.

<sup>169</sup> Im Kontext der zuvor durchgeführten Metastudie läge eine solche Schlussfolgerung jedoch nahe.

Vor dem Hintergrund der Annahme eines neoklassischen Verhaltensrahmens bedeutet dies, dass es für wenig energieintensive Betriebe im Vergleich zu energieintensiven Betrieben ein rationales Verhalten darstellt, relativ weniger deutlich auf Preisänderungen zu reagieren. Entsprechend der Erkenntnisse des Literatursurveys dürften die Gründe hierfür insbesondere an unverhältnismäßig hohen Transaktionskosten zur Identifikation von Energieeinsparungsmöglichkeiten liegen. Im Vergleich zu sehr energieintensiven Betrieben sind die erzielbaren Energieeinsparungen geringer, so dass eine Anpassung aus Sicht des einzelnen Betriebs nur in begrenztem Ausmaß rentierlich ist. Wird ferner angenommen, dass – entsprechend des in Kapitel 2.4 dargelegten Überblicks offener technischer und wirtschaftlicher Energieeffizienzpotentiale – grundsätzlich in nahezu allen Branchen Einsparmöglichkeiten bestehen, enthalten die Unterschiede in energieintensitätsabhängigen Nachfrageelastizitäten Informationen darüber, bis zu welchem Ausmaß die Marktakteure zu einem Abweichen von einem Optimum, in dem alle technisch und wirtschaftlich möglichen Einsparpotentiale realisiert werden, bereit sind.

#### **4.6.2. Umsatz und Absatzproduktionswert**

Die eingangs formulierte Arbeitshypothese lautet, dass Betriebe mit zunehmender Unternehmensgröße flexibler auf Änderungen des Marktrahmens reagieren und ihren Elektrizitätskonsum deutlicher anpassen, da eine steigende Kapitalverfügbarkeit mit sinkenden Anpassungshemmnissen einhergeht. Gründe für sinkende Anpassungshemmnisse können insbesondere in geringeren Kapitalbeschränkungen bei Neuinvestitionen im Falle kapitalstarker Betriebe begründet sein.

Die Ergebnisse der Modellberechnungen zeigen deutliche und statistisch signifikante Zusammenhänge sowohl zwischen Umsatz und Elektrizitätskonsum, als auch zwischen Absatzproduktionswert und Elektrizitätskonsum. Auch hier sind die Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Richtung der Wirkungszusammenhänge bis auf die Ausnahme eines dynamischen System GMM Modells ohne Instrumentierung der Strompreise über die unterschiedlichen Modellvarianten hinweg konsistent. Gemessen am Absatzproduktionswert, liegen die Anpassungsunterschiede an veränderliche Strompreise zwischen kleinen und großen Betrieben in einer Größenordnung von etwa 0,04 Prozentpunkten in der kurzen sowie 0,05 - 0,07 Prozentpunkten in der langen Frist. Im Falle des Umsatzes beträgt der Unterschied zwischen kurzfristig 0,07 Prozentpunkten sowie langfristig etwa

0,11 Prozentpunkten. Folglich reagieren Betriebe mit geringeren jährlichen Kapitalflüssen im Vergleich zu Betrieben mit großen Kapitalflüssen tendenziell weniger flexibel.

Diese Ergebnisse unterstreichen die eingangs formulierten Wirkungshypothesen: tatsächlich scheinen Zusammenhänge zwischen dem betrieblichen Elektrizitätskonsum und der Betriebsgröße, gemessen an jährlichen Kapitalflüssen, zu bestehen, die sich in empirisch nachweisbaren und statistisch signifikanten Koeffizienten widerspiegeln. Darüber hinaus lässt sich, unter Berücksichtigung des im 3. Kapitels durchgeführten Surveys bestehender Studien – sowie insbesondere vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus einer oben zusammengefassten Umfrage der KfW – die Hypothese nicht ablehnen, dass betriebliche Kapitalbeschränkungen bei Investitionsentscheidungen zugunsten energieeinsparender Technologien und Maschinen eine wichtige Rolle spielen. Die vorangegangene durchgeführte empirische Studie ist nur begrenzt dazu geeignet, organisatorische Handlungsprozesse abzubilden, vielmehr werden globale und vergleichsweise aggregierte Indikatoren, wie eben der jährliche Umsatz, herangezogen. Dennoch erscheinen diese Schlussfolgerungen naheliegend, da die Ergebnisse der empirischen Modellberechnungen anhand eines repräsentativen Datensatzes dieselben Wirkungstendenzen aufweisen, wie theoretische Schlussfolgerungen einerseits sowie auf Umfragebasis beruhende Studien, andererseits.

Die Datenbasis des AFiD-Panels ist hingegen *nicht* zu einer Identifikation geeignet, welcher Anteil der investiven Anpassungsreaktionen tatsächlich auf eine mangelnde Diversifizierbarkeit von Investitionsrisiken, auf eine Irreversibilität von Investitionskosten oder weitere mikroökonomische Hemmnisursachen zurückzuführen ist. Hierzu liegen keine hinreichend genauen Informationen, wie etwa betriebspezifische Informationen über die Art der Investition und deren Zustandekommen, vor. Dennoch lassen die Berechnungsergebnisse den Schluss zu, dass die Bereitschaft eines Betriebes, von der „optimalen“ Situation einer Realisierung aller offenen Energieeffizienzpotentiale abzuweichen, durch den Umfang jährlicher Kapitalflüsse determiniert wird. Unter der Prämisse grundsätzlich existierender technischer und wirtschaftlicher Einsparmöglichkeiten sowie einer Verfügbarkeit der notwendigen Technologien bei allen unterschiedlichen Betriebsgrößen müssten die betriebsgrößenspezifischen Nachfrageelastizitäten im entgegengesetzten Falle sehr nahe beieinander liegen und darüber hinaus keine statistische Signifikanz nachweisbar sein.

### 4.6.3. Beschäftigte

Der vorangegangene metaanalytische Literatursurvey führte zur Formulierung der Forschungshypothese, dass Hemmnisse zur Anpassung des Elektrizitätskonsums an veränderte Marktrahmenbedingungen von der Anzahl der in einem Betrieb beschäftigten Personen abhängen. Mit zunehmender Beschäftigtenanzahl steigt die Wahrscheinlichkeit, dass spezifisches Humankapital mit einer Optimierung der Energieeffizienz betraut werden kann. Mit Bezug auf die vorgebrachten mikroökonomischen Ursachen eines Vorliegens offener Energieeffizienzpotentiale bedeutet dies, dass personalstarke Betriebe mit größerer Wahrscheinlichkeit in der Lage sind, große Transaktionskosten zur Offenlegung von Einsparpotentialen sowie zur Durchführung spezifischer Anpassungsinvestitionen zu verarbeiten.

Diese Hypothese kann aufgrund der Ergebnisse der empirischen Analyse nicht abgelehnt werden. Die Modellberechnungen zeigen einen deutlichen und statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Anzahl der Beschäftigten und der Reaktionsgeschwindigkeit auf veränderliche Strompreise. Die Größenordnung der Unterschiede zwischen der kleinsten sowie der größten Betriebsgruppe, gemessen an tätigen Personen liegt kurzfristig bei etwa 0,09 Prozentpunkten und langfristig bei etwa 0,14 Prozentpunkten – und bewegt sich damit etwas oberhalb der Größenordnung im Falle der Einflüsse von Umsatz- oder Absatzkennzahlen.

Demzufolge reagieren Betriebe mit großen Beschäftigungszahlen im Vergleich zur Gruppe der Betriebe mit wenigen Beschäftigten deutlich flexibler. Hierbei ist hervorzuheben, dass in den Berechnungen sämtliche Effekte, die auf unterschiedliche Absatz- oder Umsatzgrößenklassen sowie auf unterschiedliche Investitionsquoten oder Energieintensitäten zurückgehen, herausgerechnet wurden – die hier identifizierten Effekte lassen sich hinreichend genau auf die Einflussdeterminante der betrieblich Beschäftigten zurückführen.

Unter der Prämisse, dass *alle* mit einer Investition verbundene Kosten in energieeinsparende Technologien, wie insbesondere Such- und Informationskosten sowie Folgekosten durch mögliche Produktionsausfälle bei Erprobung neuer Technologien, eingepreist werden – mithin eine neoklassische Perspektive eingenommen wird, vor dessen Hintergrund ein Akteur unter dem gegebenen Marktrahmen stets eine für ihn rationale Entscheidung – fällt, ist es für Betriebe mit einer geringen Beschäftigtenanzahl im Ver-

gleich zu beschäftigungsreichen Betrieben rational, weniger deutlich auf Strompreisveränderungen zu reagieren. Auf Grundlage der vorhandenen Datenbasis lassen sich keine dezidierten Aussagen über innerbetriebliche Entscheidungsprozesse in Abhängigkeit der individuellen Personalstärke treffen, dennoch unterstreichen die vorliegenden Berechnungsergebnisse die Hypothese, wonach ein *Mehr* an Beschäftigten mit einem *Mehr* an Anpassungsflexibilität einher geht – oder andersherum: *Anpassungshemmnisse* gehen mit zunehmender Personalstärke zurück.

#### **4.6.4. Investmentquote**

Die Forschungshypothese zum Einfluss der betrieblichen Investmentquote und einer Nachfragereagibilität bei veränderlichen Strompreisen lautete, dass mit einer steigenden Investmentquote eine erhöhte Bereitschaft innerbetrieblicher Entwicklungs- und Optimierungsmöglichkeiten durch Anpassung des Maschinenparks oder im Bereich von Produktionsabläufen einhergehen. Hieraus resultieren erhöhte Anpassungsbereitschaften im Falle veränderlicher Strompreise. Die Investmentquote wird definiert als die Summe aus Bruttoanlageinvestitionen in Maschinen sowie maschinellen Anlagen und dem Wert der neu gemieteten und gepachteten Anlagen in Maschinen und maschinelle Anlagen, geteilt durch den jährlichen Umsatz.

Die empirischen Nachfragemodellierungen auf Basis des AFiD-Datensatzes zeigen einen deutlichen und statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Einflussdeterminante der jährlichen Investmentquote und Nachfragereagibilitäten des betrieblichen Elektrizitätskonsums. Offenbar nimmt die betriebliche Bereitschaft, auf steigende Strompreise durch eine Senkung des Elektrizitätskonsums zu reagieren, mit steigender Investitionsquote zu. Hierbei betragen die Unterschiede in der Nachfragereagibilität zwischen der Gruppe mit der kleinsten Investitionsquote sowie der Gruppe mit der größten Investitionsquote zwischen 0,012 Prozentpunkten in der kurzen und 0,02 Prozentpunkte in der langen Frist. Im Vergleich zu Effekten der übrigen Hemmnisdeterminanten liegen diese Wirkungszusammenhänge also in einem deutlich niedrigeren Bereich. Offenbar spielt die Höhe der Investitionsquoten für betriebliche Reaktionen auf veränderliche Strompreise eine wesentlich geringere Rolle.

#### **4.6.5. Branche**

Ein signifikanter und eindeutiger Einfluss unterschiedlicher Branchenzugehörigkeiten auf das Elektrizitätsnachfrageverhalten ist je weniger zu beobachten, umso mehr weitere erklärende Variablen, wie eben die zuvor genannten Einflussdeterminanten, in eine Regressionsgleichung integriert werden. Damit wird deutlich, dass mit einer unterschiedlichen Branchenzugehörigkeit zwar unterschiedliche Anpassungsreaktionen an veränderliche Elektrizitätspreise einhergehen, diese Unterschiede allerdings auf den unterschiedlichen Branchen zugrunde liegenden Bestimmungsgrößen – wie bspw. bestimmte prozessbedingte Energieintensitäten – beruhen.

#### **4.7. Zwischenfazit**

Gegenstand dieses Kapitels war eine Überprüfung, inwiefern zentrale Einflussdeterminanten des betrieblichen Elektrizitätskonsums (*Beschäftigte, Umsatz, Absatzproduktionswert, betriebliche Energieintensität, Investmentquote*) in einer empirischen Nachfragemodellierung auf Basis der amtlich verfügbaren Firmendaten in Deutschland darstellbar sind. Vorbereitend erfolgte dazu im dritten Kapitel eine Aufarbeitung dieser Einflussdeterminanten auf Grundlage eines metaanalytischen Literatursurveys sowie anschließend eine Formulierung von Hypothesen, welche Wirkungsrichtungen zwischen diesen Determinanten sowie dem betrieblichen Elektrizitätskonsum bestehen. Mithin verfolgte das vorliegende Kapitel zwei unterschiedliche Ziele: zum einen die *empirische Überprüfung dieser Hypothesen*, sowie zum anderen eine *Eignungsprüfung der derzeit vorhandenen amtlichen Firmendaten* des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Zu beiden Fragen standen empirische Analysen bislang aus.

Mit Bezug auf die eingangs dargelegten Anpassungsfriktionen können die hier ermittelten Ergebnisse auch in einer anderen Weise interpretiert werden. Demnach enthalten die berechneten Nachfragereagibilitäten Informationen über betriebspezifische Präferenzunterschiede zur Anpassung an veränderliche Elektrizitätspreise.

Zur empirischen Handhabbarkeit der Einflussdeterminanten erfolgte jeweils eine gruppenspezifische Unterteilung: bspw. wurden hinsichtlich der Energieintensität Interaktionsterme zwischen logarithmierten Strompreisen und vier Abstufungen betrieblicher Energieintensität in eine Schätzgleichung integriert, wobei die übrigen Einflussdeterminanten konstant gehalten wurden. Zudem wurden besondere jährliche Ereignisse

durch Berücksichtigung von Jahresdummies auffangen – dies betrifft etwa die Einführung der Stromsteuer im Jahr 1999.<sup>170</sup>

Die Berechnungen liefern deutliche und statistisch signifikante Ergebnisse, wonach die zunächst theoretisch dargelegten Zusammenhänge zwischen bestimmten Betriebscharakteristika und Nachfragereaktionen bei veränderlichen Strompreisen insgesamt unterstützt werden – folglich kann keine der formulierten Wirkungshypothesen mit Sicherheit abgelehnt werden. Hierbei ist jedoch mit Vorsicht zu differenzieren zwischen einer Wirkungskomponente mit Bezug zu *innerbetrieblichen* Handlungsstrukturen sowie *äußerlich* auf Basis des vorliegenden Datensatzes beobachtbarer Reaktionen. Beispielsweise lässt sich nachweisen, dass die Gruppe der Betriebe mit vergleichsweise hohen jährlichen Investitionsquoten im Vergleich zur Gruppe mit niedrigen Investitionsquoten flexibler auf Strompreisänderungen reagiert. Aus der neoklassischen Perspektive, wonach sich Betriebe gewinnmaximierend Verhalten und stets alle verfügbaren Informationen in ihren Entscheidungen berücksichtigen, scheinen die Opportunitätskosten bei Anpassungsreaktionen an gestiegene Elektrizitätspreise bei Betrieben mit niedrigen Investitionsquoten im Vergleich zu Betrieben mit hohen Investitionsquoten vergleichsweise höher – ansonsten wäre zu erwarten, dass beide Gruppen gleichstarke Reaktionen zeigten. Hieraus lässt sich jedoch *nicht* schließen, aufgrund *welcher* innerbetrieblicher Strukturen diese Entscheidungen getroffen werden – hierzu wären weitere Informationen im Paneldatensatz notwendig.

Den Berechnungen zufolge lassen sich die deutlichsten Wirkungszusammenhänge im Falle betrieblicher Energieintensitäten, gefolgt von der Beschäftigtenanzahl sowie dem Umsatz beobachten. Gleichwohl die beobachteten Zusammenhänge zwischen der Investitionsquote und Reaktionen des Elektrizitätskonsums statistisch signifikant sind, liegen diese Effekte deutlich darunter. Diese Erkenntnisse beruhen auf FE-Modellierungen sowohl bei unterstellter Strompreisexogenität, als auch bei Strompreisendogenität. Modellberechnungen auf Basis von System GMM-Verfahren werden hierbei nicht berücksichtigt, da einzelne Spezifikationstests auf eine möglicherweise eingeschränkte Eignung dieser Methodik hindeuten.<sup>171</sup>

---

<sup>170</sup> Dessen Einführung spiegelt sich in deutlich erhöhten Koeffizienten der Jahresdummies wider.

<sup>171</sup> Gleichwohl sind auch dort z. T. dieselben Wirkungszusammenhänge zu beobachten.

Hinsichtlich der Branchenunterteilung nach Maßgabe der Zweisteller-Ebene der WZ2003 sind nur vergleichsweise geringe Elastizitätsunterschiede zu beobachten. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass ein großer Teil der erklärenden Variablen des Elektrizitätsnachfrageverhaltens bereits separat in den Schätzgleichungen enthalten sind. Betriebliche Energieintensitäten, eine betriebliche Kapitalverfügbarkeit in Form eines hohen Absatz- oder Umsatzwertes oder die Beschäftigungsstärke enthalten bereits einen hohen Erklärungsgehalt und ziehen diesen aus den Variablen der Branchenunterteilungen heraus. Infolge dessen sind Branchenunterteilungen nur noch von geringerer Wichtigkeit für eine Erklärung des Elektrizitätsnachfrageverhaltens – darüber hinaus ist dies der Grund für eine z. T. mangelnde statistische Signifikanz der Branchenkoeffizienten.

Im Vergleich zu in vorangegangenen Studien ermittelten, durchschnittlichen Nachfrageelastizitäten liegen die hier geschätzten Koeffizienten deutlich höher; insbesondere übersteigen die berechneten langfristigen Nachfrageelastizitäten eine nach ökonomischer Intuition zu erwartende Größenordnung. Dies kann auf drei mögliche Ursachen zurückgeführt werden. *Erstens* kann eine fehlerhafte Modellspezifikation für relativ hohe Elastizitäten verantwortlich sein. *Zweitens* können Inkonsistenzen des vorhandenen Datensatzes vorliegen, die auf eine komplizierte Zusammenführung unterschiedlicher amtlicher Daten zurückgehen könnte. *Drittens* könnten die hier ermittelten Elastizitäten realen Gegebenheiten entsprechen und bisherige Studien haben diese Effekte deutlich unterschätzt.

Nach Abwägung aller verfügbaren Informationen wird im vorliegenden Fall davon ausgegangen, dass die hier ermittelten Nachfrageelastizitäten eine obere Grenze plausibler Schätzintervalle markieren. Aufgrund eines umfangreichen Abgleichs mit vorangegangenen Untersuchungen wird mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit von einer grundsätzlichen Eignung der hier formulierten Nachfragemodelle ausgegangen. Der verwendete Datensatz des AFiD-Panels stellt eine bisher nur wenig genutzte und zugleich sehr umfangreiche Informationsbasis des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland dar. Jedoch deuten insbesondere die eingangs durchgeführten deskriptiven Auswertungen noch auf eine möglicherweise erhöhte Fehleranfälligkeit hin.

Demgegenüber sind die hier ermittelten Ergebnisse über mehrere Schätzverfahren hinweg robust. Es wird daher davon ausgegangen, dass ein Bias hinsichtlich der absoluten Ausprägung der Nachfrageelastizitäten vorliegt, die relativen Unterschiede zwischen

Betriebsgruppen mit unterschiedlichen Ausprägungen der Einflussdeterminanten hingegen für eine Interpretation herangezogen werden können.

Diese Erkenntnisse werden im abschließenden Kapitel auf die gegenwärtige Energiepolitik in Deutschland übertragen und auf dieser Grundlage Schlussfolgerungen über deren Wirkweise mit Blick auf Anreize zur Anpassung des betrieblichen Elektrizitätskonsums hergeleitet.

## 5. Implikationen für eine kohärente Regulierung der betrieblichen Elektrizitätsnachfrage

### 5.1. Vorbemerkung

Die empirische Auswertung der verfügbaren amtlichen Firmendaten des Verarbeitenden Gewerbes offenbart Erkenntnisse über das Nachfrageverhalten nach Elektrizität in Abhängigkeit verbrauchsspezifischer Strompreise sowie in Abhängigkeit unterschiedlicher und mit Anpassungshemmnissen verbundener Betriebscharakteristika. Die Berechnungsergebnisse erlauben Aussagen, inwiefern mit unterschiedlichen Anpassungsreaktionen bei veränderlichen Elektrizitätspreisen zu rechnen ist.

Diese Erkenntnisse lassen sich im Hinblick auf eine Beurteilung der Politikgestaltung mit dem Ziel einer Einflussnahme auf den betrieblichen Elektrizitätskonsum verwenden. Hierzu ist zunächst zu klären, unter welchen Prämissen von den hier ermittelten Nachfrageelastizitäten auf *Grenzvermeidungskosten* geschlossen werden kann – oder anders ausgedrückt: inwiefern können hohe Elastizitäten als niedrige Grenzvermeidungskosten interpretiert werden bzw. inwiefern niedrige Elastizitäten hohen Grenzvermeidungskosten entsprechen. Dies erfolgt auf Basis unterstellter isoelastischer Kostenfunktionen.<sup>172</sup>

Resultierend lassen sich betriebliche Vermeidungskosten approximieren, die – bei gegebenen Technologien – mit einer Senkung des betrieblichen Elektrizitätsverbrauchs um einen bestimmten Prozentsatz einhergehen. Hierbei kann differenziert werden zwischen einer anteiligen Einsparung in allen Betrieben oder einer Aufteilung entsprechend zuvor ermittelter Betriebsgruppen mit unterschiedlichen Anpassungsreaktionen, sowie in der kurzen und langen Frist.

Im Rahmen eines anschließenden Abgleichs mit dem derzeitigen politischen Regulierungsrahmen wird insbesondere das deutsche Stromsteuerrecht untersucht, da mit einer direkt am Preis ansetzenden Mengensteuer unmittelbare Lenkungsabsichten erzielt werden, wodurch – neben weiteren Zielen – die gesetzgeberische Intention einer Verbesserung der Energieeffizienz verfolgt wird. Derzeit sind dabei unterschiedliche Ausnah-

---

<sup>172</sup> Dabei ist hervorzuheben, dass in der vorliegenden Arbeit die *Kosten* der betrieblichen Elektrizitätsnachfrage in den Vordergrund gestellt werden. Über die genaue Höhe des *gesamtwirtschaftlichen Nutzens* einer Energieeinsparung können auf dieser Basis hingegen keine Aussagen getroffen werden.

meregelungen für energieintensive Betriebe vorgesehen. Aus diesem Grund stehen im vorliegenden abschließenden Kapitel insbesondere Fragen zu deren Rechtfertigung im Vordergrund.

Darüber hinaus werden weitere politische Regelungen betrachtet, die sich – direkt oder indirekt – ebenfalls auf die Strompreishöhe auswirken bzw. durch die Subventionierungen energieeinsparender Technologien erzielt werden. Ausgehend von der Annahme vorhandener und wirtschaftlich realisierbarer betrieblicher Energieeffizienzpotentiale<sup>173</sup> lautet die erkenntnisleitende Fragestellung dieses abschließenden Kapitels:

*Wie ist die gegenwärtige Politikgestaltung zur Regulierung des betrieblichen Elektrizitätskonsums in Abhängigkeit innerbetrieblicher Anpassungshemmnisse auf Basis der zuvor gewonnenen Erkenntnisse zu beurteilen?*

Im Folgenden werden die empirischen Erkenntnisse mit Bezug auf betriebsspezifische Einflussdeterminanten mit dem realen Politikrahmen zusammengeführt und *Second-Best*-Policy-Empfehlungen abgeleitet. Dabei wird die diesem Kapitel zugrunde liegende Frage in *zwei Teilfragen* aufgespalten. Auf der Basis eines Überblicks über den gegebenen politischen Regulierungsrahmen wird zunächst untersucht, wie die *gegenwärtige* Politikgestaltung wirkt. Im Anschluss daran werden idealtypische Empfehlungen hergeleitet, wie eine auf Elektrizitätseffizienz ausgerichtete Politik gestaltet werden könnte.

## **5.2. Konzeptioneller Analyserahmen**

### **5.2.1. Ansatz für eine konzeptionelle Einordnung**

Die Analyse und Bewertung eines Politikrahmens fußt auf grundlegenden Verhaltensannahmen, inwiefern Regelungsadressaten ihr Nachfrageverhalten – etwa bei Erhöhung der Stromsteuer – anpassen.<sup>174</sup> Die identifizierten betrieblichen Hemmnisursa-

---

<sup>173</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.

<sup>174</sup> Die Untersuchung einer definierten Problemstellung in einem abgegrenzten Analyserahmen ermöglicht ein strukturiertes und übersichtliches Vorgehen. Demgegenüber wird im Rahmen einer solchen *Partialanalyse* von Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Märkten abstrahiert. Im vorliegenden Falle erfolgt eine Betrachtung ausschließlich der Nachfrageseite nach Elektrizität unter der Annahme, dass Angebotsreaktionen gering sind und nicht zu einer signifikanten Preisänderung, etwa aufgrund unterschiedlicher Kraftwerkseinsatzplanungen im Kontext der Merit-Order-Kostenkurve, führen.

chen in Verbindung mit nach Stromverbrauch gestaffelten Elektrizitätspreisen führen zu einer Bandbreite unterschiedlicher Nachfrageelastizitäten. Unter der neoklassischen Annahme, dass Betriebe stets gewinnmaximierend handeln sowie unter der ergänzenden institutionenökonomischen Annahme, dass Investitionsentscheidungen stets entscheidungsrelevante Such- und Informationskosten aufweisen, lässt sich aus den relativen Unterschieden der berechneten Nachfrageelastizitäten ableiten, in Abhängigkeit welcher Betriebscharakteristika mit unterschiedlichen Anpassungsbereitschaften – also letztlich mit einer unterschiedlich hohen Präferenz zur Hebung grundsätzlich verfügbarer Energieeffizienzpotentiale – zu rechnen ist.

Vor diesem Hintergrund rückt die zu Beginn dargestellte Problematik offener Energieeffizienzpotentiale in ein neues Licht. Aus neoklassischer Sicht existieren per Definition keine Energieeffizienzpotentiale, welche *trotz Wirtschaftlichkeit* nicht realisiert werden. Vielmehr heben Betriebe bestimmte Effizienzpotentiale nicht, da dies unter Abwägung *aller* Einflussdeterminanten keinen Nutzengewinn ergeben würde – in diesem Entscheidungsprozess finden explizit etwaige Such- und Informationskosten sowie ein besonderer Aufwand aufgrund innerbetrieblicher Ablaufprozeduren Berücksichtigung. Hiermit erfolgt ein Bezug auf das in Abschnitt 3.1 erläuterte Konzept der *Optimization Frictions*,<sup>175</sup> demnach spiegeln diese Anpassungsfriktionen genau den Nutzenverlust, zu dem ein Betrieb im Vergleich zum Falle eines theoretisch möglichen Energieeffizienzniveaus bereit ist. Im vorliegenden Falle kann ein solcher Nutzenverlust aufgrund mangelnder Verhaltensanpassungen an veränderliche Strompreise hervorgerufen werden.

*Nach welchem Muster lassen sich diese Erkenntnisse nun auf den realpolitischen Rahmen übertragen?*

Nachfrageelastizitäten enthalten Informationen über den Verlauf von Nachfragekurven. In Verbindung mit Informationen über Reaktionsverhalten in Abhängigkeit betriebsspezifischer Hemmnisstrukturen lassen sich die Verläufe dieser Nachfragekurven jeweils für Betriebsgruppen mit ähnlichen Eigenschaften zusammenfassen. In der nachfolgenden Tabelle werden die vorangehend identifizierten Einflussdeterminanten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage sowie relative Unterschiede zwischen unterschiedlichen Gruppen dieser Einflussdeterminanten gegenüber gestellt.

---

<sup>175</sup> Vgl. Chetty (2012).

Tabelle 26: Überblick über betriebspezifische Anpassungsunterschiede<sup>176</sup>

Einflussdeterminante	Statistische Signifikanz	Unterschied zwischen niedrigsten und höchsten Quartil (in Prozentpunkten)	
		kurzfristig	langfristig
Energieintensität	Ja	0,15 - 0,2	0,2 - 0,33
Umsatz	Ja	0,07	0,11
Absatzproduktionswert	Ja	0,04	0,05 - 0,07
Beschäftigte	Ja	0,09	0,14
Investmentquote	z. T.	0,012	0,02
Branche	Nein	-	-

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen.

Im Falle der vorliegend durchgeführten empirischen Schätzungen liegt die besondere Problematik darin, dass die ermittelten Nachfrageelastizitäten hinsichtlich ihrer absoluten Höhe möglicherweise eine Verzerrung aufweisen. Demgegenüber lassen die vorgenommenen Konsistenztests – insbesondere im Hinblick auf die unterschiedlichen verwendeten Schätzverfahren – den Schluss zu, dass die *relativen Unterschiede* zwischen Elastizitäten in Abhängigkeit der Firmencharakteristika zur Interpretation herangezogen werden können.

Mit Blick auf wirtschaftspolitische Schlussfolgerungen zur Einordnung der Effizienz bestehender staatlicher Regulierungsinstrumente wird im Folgenden zunächst modelltheoretisch herausgearbeitet, unter welchen Annahmen eine Kenntnis betrieblicher *Nachfrageelastizitäten* unmittelbare Rückschlüsse auf *Grenzvermeidungskosten* für Elektrizität erlaubt.<sup>177</sup>

### 5.2.2. Methodik betrieblicher Kostenfunktionen

Die zuvor geschätzten Nachfrageelastizitäten beinhalten Informationen über das betriebliche Nachfrageverhalten nach Elektrizität in Abhängigkeit bestimmter Preisni-

<sup>176</sup> Eine Branchenunterscheidung liefert keine statistisch signifikanten Unterschiede. Dies liegt daran, dass grundlegende exogene Variablen bereits separat in der Schätzgleichung enthalten sind, vgl. Abschnitt 4.6.5.

<sup>177</sup> Zur grundsätzlichen Konzeption der Grenzvermeidungskostenlogik vgl. Endres (2007), S. 19 ff. Hier liegt mithin die Annahme zugrunde, dass von der Kenntnis einer Punktelastizität auch auf den übrigen Kurvenverlauf geschlossen werden kann. In den Randbereichen dürfte dies wahrscheinlich nicht der Fall sein, da insbesondere bei einem bereits sehr geringen Konsumniveau jede weitere Elektrizitätseinsparung mit deutlich zunehmenden Anstrengungen verbunden sein wird.

veaus. Damit verbunden sind Aussagen, in welchem Ausmaß der Elektrizitätskonsum bei einer Preiserhöhung eingeschränkt wird. Unter welchen Bedingungen kann nun von Nachfrageelastizitäten auf Vermeidungskosten des betrieblichen Elektrizitätskonsums geschlossen werden?<sup>178</sup> Eine methodische Annäherung erfolgt über die Annahme eines Vorliegens isoelastischer Kostenfunktionen – nachfolgend werden diese Zusammenhänge modelltheoretisch dargestellt.

Sofern ein Betrieb seinen Elektrizitätskonsum einschränkt, ergeben sich einerseits Kostenreduktionen analog zur unterstellten Kostenfunktion sowie andererseits zusätzliche Kosten im Zuge von notwendigen Anpassungen der Betriebsabläufe. In methodischer Darstellung sein ein Betrieb bestrebt, die Gleichung

$$\min_e \gamma_i(e_0 - e) + pe$$

über  $e$  zu minimieren. Hierbei beschreibt  $\gamma_i$  Kosten für Betrieb  $i$ , die mit einer Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs vom Niveau  $e_0$  auf das neue Niveau  $e$  einhergehen. Zusätzlich ergeben sich Strombezugskosten, dargestellt in der Multiplikation des Strompreises  $p$  mit dem Verbrauchsniveau  $e$ . Eine Minimierung dieser Gleichung führt zur *Bedingung erster Ordnung*

$$\frac{\partial \gamma_i}{\partial e} + p = 0$$

bzw.

$$\gamma'_i(e_0 - e^*) = -p.$$

Nun wird die isoelastische Kostenfunktion

$$\gamma_i(e_0 - e) = \frac{1}{1 + \frac{1}{\varepsilon}} (e_0 - e)^{1 + \frac{1}{\varepsilon}}$$

bei einem Übergang von einem gegebenen Verbrauchsniveau  $e_0$  auf ein neues Verbrauchsniveau  $e$  herangezogen.<sup>179</sup> Eine Ableitung der Kostenfunktion nach  $e$  führt zu:

---

<sup>178</sup> Unter der Annahme eines konstanten CO<sub>2</sub>-Gehalts je Elektrizitätsmenge – d. h. einer Elektrizitätsproduktion mit konstanten Primärenergie-Einsatzverhältnissen – erlaubt dies schließlich auch Rückschlüsse auf Verläufe individueller CO<sub>2</sub>-Grenzvermeidungskostenkurven.

<sup>179</sup> Es ist zu beachten, dass diese Funktion für eine Elastizität  $\varepsilon$  i. H. v.  $-1$  nicht definiert ist. An dieser Stelle liefert eine logarithmische Funktion Informationen über die Kosten. Im vorliegenden Fall ist dieser Sonderfall jedoch nicht relevant.

$$\gamma'(e_0 - e) = -(e_0 - e)^{\frac{1}{\varepsilon}}.$$

Eingesetzt in die oben hergeleitete Bedingung erster Ordnung ergibt dies die bei einem gegebenen Elektrizitätspreis  $p$  sowie bei einer gegebenen Nachfrageelastizität  $\varepsilon$  angestrebte Verringerung des Elektrizitätskonsums:

$$(e_0 - e^*(p))^{\frac{1}{\varepsilon}} = p.$$

Demnach führen gewinnmaximierende Unternehmen ihre Vermeidungsanstrengungen des Elektrizitätskonsums genau soweit durch, bis deren Höhe letztlich mit den Grenzkosten der Elektrizitätsnachfrage,  $p$ , übereinstimmt. Der Logik folgend, entsprechen an diesem Punkt die Grenzkosten der Energienachfrage den Grenzvermeidungskosten.

Sofern Markthemmnisse vorliegen, die zu nicht genutzten Energieeffizienzpotentialen führen, mithin also eine Energieeffizienzlücke existiert, werden die Grenzvermeidungskosten unter den Grenzkosten der Energienachfrage liegen.<sup>180</sup> Vor diesem Hintergrund sowie auf Basis der vorangehend dargelegten Prämissen können die zuvor geschätzten Elastizitäten nun als Bestimmungsmaße für betriebliche Grenzkostenkurven herangezogen und als obere Schranke für Grenzvermeidungskosten interpretiert werden.

Als Beweis, dass die zuvor formulierte isoelastische Kostenfunktion verwendet werden kann, wird wie folgt argumentiert. Weitere Umformungen des voran genannten Terms ergeben

$$e_0 - e^*(p) = p^\varepsilon$$

sowie schließlich einen betrieblichen Elektrizitätskonsum

$$e^*(p) = e_0 - p^\varepsilon$$

als Funktion des Preises. Eine Ableitung über den Elektrizitätspreis führt zu:

$$e^{*'}(p) = -\varepsilon p^{\varepsilon-1}.$$

Setzt man nun die zuvor hergeleiteten Zusammenhänge in die allgemeine Definition für Elastizitäten

---

<sup>180</sup> Betriebe mit überdurchschnittlich hohen Vermeidungsanstrengungen können sich, im Vergleich zur Allgemeinheit, daher besser stellen.

$$\varepsilon = \frac{\partial e^*(p)}{\partial p} \frac{p}{e^*(p)}$$

ein, so ergibt dies

$$\varepsilon = - \frac{\varepsilon * p^{\varepsilon-1} p}{e_0 - p^\varepsilon}$$

bzw.

$$\varepsilon = - \frac{\varepsilon p^\varepsilon}{e_0 - p^\varepsilon}.$$

Bei  $e_0 = 0$  führt dies zur Elastizität  $\varepsilon$ .

### 5.3. Vermeidungskostenabschätzung zur Senkung des betrieblichen Elektrizitätskonsums

Auf Grundlage der zuvor hergeleiteten Wirkungszusammenhänge lässt sich ein Vergleich der betrieblichen Vermeidungskosten infolge unterschiedlicher Optionen zur Senkung des Elektrizitätsverbrauchs durchführen. Hierbei wird unterschieden zwischen zwei Szenarien zur Erreichung eines gesamtwirtschaftlichen Reduktionsziels des Elektrizitätskonsums um ein Prozent: auf der einen Seite steht eine gleichmäßige Aufteilung des Reduktionsziel auf alle Betriebe; auf der anderen Seite erfolgt eine anteilige Senkung gemäß der im vorangegangenen Kapitel ermittelten vier Betriebsgruppen mit unterschiedlichen Energieintensitäten, wobei relativ energieintensivere Betriebe vergleichsweise mehr zur Elektrizitätseinsparung beitragen. In beiden Szenarien erfolgt eine zusätzliche Differenzierung zwischen der kurzen und langen Frist.

Tabelle 27 fasst die im bereinigten Datensatz enthaltenen Elektrizitätsverbräuche jeweils für die vier Energieintensitätsgruppen zusammen, wobei sich der gesamte Elektrizitätsverbrauch auf 116,574 TWh beläuft.<sup>181</sup> Von diesem Gesamtverbrauch entfällt auf die Gruppe der sehr energieintensiven Betriebe ein Anteil i. H. v. 57%. Ausgehend von den ermittelten Elastizitäten<sup>182</sup> ergibt sich eine Aufteilung des Einsparziels aus einem

---

<sup>181</sup> Die dargestellten Werte beziehen sich dabei jeweils auf die Elektrizitätsverbräuche des letzten im bereinigten Datensatz enthaltenen Beobachtungsjahres 2007.

<sup>182</sup> Es werden die Elastizitäten des dynamischen 2SLS Modells mit Instrumentierung anhand der Windstromeinspeisung verwendet.

Vergleich der gruppenspezifischen Elastizitäten mit einem gewichteten Durchschnitt dieser Elastizitäten.<sup>183</sup>

**Tabelle 27: Anteilige Stromverbräuche und modellhafte Einsparungen (2007)**

	Stromverbrauch 2007 (KWh)	Anteil	Elastizität		Einsparung gleichmäßig (KWh)	Einsparung anteilig (KWh)	Einsparung relativ
			kurzfristig	langfristig			
<b>Energieintensität:</b>							
<i>sehr niedrig</i>	5.684.000.000	0,05	-2,054	-3,335	56.840.000	52.500.008	92,4%
<i>niedrig</i>	16.090.000.000	0,14	-2,157	-3,502	160.900.000	156.068.518	97,0%
<i>hoch</i>	27.860.000.000	0,24	-2,213	-3,594	278.600.000	277.296.519	99,5%
<i>sehr hoch</i>	66.940.000.000	0,57	-2,258	-3,667	669.400.000	679.874.956	101,6%
<b>Summe / gewichteter Durchschnitt</b>	<b>116.574.000.000</b>	<b>1,00</b>	<b>-2,223</b>	<b>-3,611</b>	<b>1.165.740.000</b>	<b>1.165.740.000</b>	
<b>Einsparziel:</b>	<b>1.165.740.000</b>	<b>1,0%</b>					

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen.

Demzufolge tragen die energieintensiven Betriebe im Falle des zweiten Szenarios überdurchschnittlich zum gesamtwirtschaftlichen Einsparungsziel bei (im Vergleich zu einer gleichmäßigen Reduktionsaufteilung vermeidet diese Gruppe 1,6% mehr), während wenig energieintensive Betriebe *relativ weniger* zum Einsparziel beisteuern. Entsprechend der vorangehend dargelegten Logik würde das zweite Szenario also dazu führen, dass Betriebe mit niedrigen Grenzvermeidungskosten größere Anstrengungen zur Verbrauchssenkung durchführen.

Darüber hinaus lässt sich ein Anwendungsbeispiel, welche Strompreiserhöhung zur Erreichung des gesamtwirtschaftlichen Reduktionsziels erforderlich ist, folgendermaßen formulieren:<sup>184</sup> Im Jahr 2007 lagen die Industriestrompreise – je nach Umfang des jährlichen betrieblichen Elektrizitätsbezugs – in einer Spanne zwischen 0,19 €/KWh und 0,101 €/KWh.<sup>185</sup> Zur *langfristigen* Erreichung eines einprozentigen Einsparziels für die Gruppe der sehr niedrig energieintensiven Betriebe wäre daher eine Preiserhöhung in der Spannweite zwischen 0,057 €/KWh und 0,03 €/KWh erforderlich. Mit Bezug auf die

<sup>183</sup> Diese Werte können der Spalte „Einsparung relativ“ entnommen werden. Die anteilige Einsparung der Gruppe mit sehr niedrigen Energieintensitäten i. H. v. 52.500.008 KWh ergibt sich folglich aus einem Anteil von 92,4% an der hypothetischen gleichmäßigen Einsparung i. H. v. 56.840.000 KWh.

<sup>184</sup> Aufgrund des wahrscheinlichen Vorliegens einer leichten Verzerrung der zuvor geschätzten Nachfrageelastizitäten – wie im Fazit des vorangegangenen Kapitels dargestellt – wird dies ebenfalls leichte Verzerrungen der Kostenberechnung sowie ein tendenzielles Unterschätzen der zur Erreichung des Einsparziels erforderlichen Preiserhöhung nach sich ziehen.

<sup>185</sup> Vgl. Abschnitt 4.4.4, Strompreise in €(2011) ohne MWSt, jedoch inkl. aller übrigen Steuern und Abgaben.

Gruppe der sehr hochenergieintensiven Betriebe läge diese Spannweite zwischen 0,052 €/KWh und 0,028 €/KWh. Bei einer anteiligen Einsparung würden sich diese Preiserhöhungen entsprechend verschieben.

Diese Einsparwerte werden in einem zweiten Schritt in die oben hergeleitete Kostenfunktion eingesetzt, sodass relative Vergleiche der resultierenden betrieblichen Einsparkosten durchgeführt werden können. Die nachfolgende Tabelle fasst die Berechnungsergebnisse zusammen, wobei die kurzfristigen Vermeidungskosten im Falle sehr niedriger Energieintensitäten bei gleichmäßiger Einsparung auf 100 normiert werden.

**Tabelle 28: Vermeidungskostenvergleich unterschiedlicher Elektrizitätseinsparoptionen<sup>186</sup>**

	Betriebliche Kosten bei gleichmäßiger Einsparung		Betriebliche Kosten bei anteiliger Einsparung		Vergleich: Anteilige Einsparung zu gleichmäßiger Einsparung	
	kurzfristig	langfristig	kurzfristig	langfristig	kurzfristig	langfristig
<b>Energieintensität</b>						
<i>sehr niedrig</i>	100	2.070,1	96,0	1.958,1	96,01%	94,59%
<i>niedrig</i>	253,2	5.509,6	249,1	5.390,9	98,38%	97,85%
<i>hoch</i>	418,4	9.300,0	417,3	9.268,6	99,74%	99,66%
<i>sehr hoch</i>	799,8	19.456,7	806,7	19.677,6	100,87%	101,14%
<b>Insgesamt</b>	<b>1.571</b>	<b>36.336</b>	<b>1.569</b>	<b>36.295</b>	<b>99,86%</b>	<b>99,89%</b>

Quelle: FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011), eigene Berechnungen.

Den Simulationsergebnissen zufolge führt eine *anteilige* Elektrizitätseinsparung im Vergleich zu einer gleichmäßigen Einsparung in den drei Gruppen weniger energieintensiver Betriebe zu Kosteneinsparungen, während in der Gruppe der sehr energieintensiven Betriebe Zusatzkosten auftreten werden. Grundsätzlich stimmen diese Tendenzen in der kurzen und langen Frist überein. Darüber hinaus fallen die Kostenunterschiede in allen Betriebsgruppen in der langen Frist deutlicher aus – während etwa die langfristigen Kosten einer anteiligen Einsparung im Falle der sehr niedrig energieintensiven Betriebe im Vergleich zur gleichmäßigen Einsparung bei 94,59% liegen, beträgt dieser Anteil in der kurzen Frist 96,01%.

<sup>186</sup> Grundsätzlich ermöglicht die zuvor hergeleitete Methodik eine weitergehende Differenzierung zwischen den 14 Wirtschaftszweigen. Im vorliegenden Fall kann eine konkrete Berechnung aufgrund von Geheimhaltungsvorschriften (dies betrifft insbesondere den Wirtschaftszweig „Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt und Brutstoffen“) jedoch nicht durchgeführt werden. Vereinfachend wird ein gewichteter Durchschnitt der Elastizitätsmaße für die vier Energieintensitäts-Quartile verwendet.

## 5.4. Wirkungsabschätzung des derzeitigen politischen Regulierungsrahmens

Unter der Prämisse einer im vorangegangenen Abschnitt gezeigten Übertragbarkeit der geschätzten Elastizitäten auf individuelle Grenzvermeidungskosten – dass mithin hohe Elastizitäten niedrige Grenzvermeidungskosten sowie umgekehrt niedrige Elastizitäten hohe Grenzvermeidungskosten implizieren – lässt sich eine Wirkungsabschätzung des gegebenen politischen Regulierungsrahmens durchführen.<sup>187</sup>

### 5.4.1. Überblick und Einordnung

Der politische Rahmen zur Regulierung des Stromkonsums im Verarbeitenden Gewerbe beruht im Kern auf dem deutschen StromStG. Darin wird eine Mengensteuer in Bezug auf eine verbrauchte Elektrizitätseinheit mit unterschiedlichen Steuersätzen je Steuerschuldner festgelegt. Daneben existieren Wechselwirkungen einer finanziellen Belastung des Stromkonsums im Verarbeitenden Gewerbe in Verbindung mit dem EEG<sup>188</sup> sowie dem KWK-Gesetz.<sup>189</sup>

Ferner fügen sich unterschiedliche Programme mit direkter Anreizwirkung zur Senkung des Elektrizitätskonsums in einen übergeordneten Strategierahmen ein, der auf der Ebene der Europäischen Kommission bestimmt wird. Im Energieeffizienzplan 2011<sup>190</sup> wurde das Ziel einer Senkung des Primärenergieverbrauchs um 20% bis zum

---

<sup>187</sup> sowie unter der Prämisse eines konstanten anteiligen CO<sub>2</sub>-Gehalts je verbrauchter Elektrizitätseinheit. Diese Annahme führt zu einer leichten Verzerrung der umweltökonomischen Schlussfolgerungen, da eine Veränderung des gesamtwirtschaftlichen Elektrizitätsverbrauchs wahrscheinlich auch mit einer Veränderung der Kraftwerkseinsatzplanung – und mithin der eingesetzten Primärenergieträger – verbunden sein würde.

<sup>188</sup> Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das durch Artikel 5 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2730) geändert worden ist.

<sup>189</sup> Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 19. März 2002 (BGBl. I S. 1092), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. Juli 2012 (BGBl. I S. 1494) geändert worden ist. Auch existieren gesonderte Tarife der Netzentgelte und schließlich können sich besondere Vergünstigungen aufgrund einer kostenlosen Vergabe von Emissionshandelszertifikaten ergeben. Darüber hinaus wird über Netzentgeltbefreiungen antragsspezifisch entschieden. Diese rein rechnerisch auf eine konsumierte Kilowattstunde nur überschlägig zu beziehenden Effekte werden in der nachfolgenden Darstellung sowohl aus Kapazitäts-, als auch aus Praktikabilitätsgründen nicht berücksichtigt. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass sich insbesondere aufgrund der Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV) ebenfalls tendenziell entlastende Effekte für Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes mit hohen Netzbenutzungsstundenzahlen ergeben.

<sup>190</sup> Vgl. Bundesregierung (2011).

Jahr 2020 im Vergleich zu einem Referenzszenario festgelegt. Zur Erreichung dieses Zieles sollen u. A. besondere Energieeffizienzanforderungen an Industrieausrüstungen, Energieaudits sowie Energiemanagement-Systeme dienen. In diesen übergeordneten Referenzrahmen sind nationalstaatliche Maßnahmen einzuordnen. In Deutschland wird der konzeptionelle Rahmen durch das Energiekonzept vom 28.9.2010 und dessen Aktualisierung vom Juni 2011 definiert.<sup>191</sup> Es wird detailliert dargestellt, durch welche Maßnahmen in welchen Sektoren die Energieeffizienzziele erreicht werden sollen. Diese Maßnahmen unterscheiden sich hauptsächlich in direkte finanzielle Anreize einerseits sowie Informationsprogramme mit dem Ziel einer Adressierung transaktionskostenbedingter Investitionshemmnisse in energieeinsparende Technologien andererseits.

#### **5.4.1.1. Stromsteuergesetz**

##### **Darstellung und Wirkweise**

Im ursprünglich zum 1.4.1999 eingeführten StromStG wird die Besteuerung von elektrischem Strom geregelt. Anfänglich stellte das StromStG einen Bestandteil der ökologischen Steuerreform dar, im Rahmen dessen durch erhöhte Mengensteuern<sup>192</sup> auf den Energieverbrauch bestimmte umweltökonomische Lenkungswirkungen erzielt werden sollten. Mit Bezug auf das Verarbeitende Gewerbe in Deutschland existiert ein Regelsteuersatz i. H. v. 20,50 €/MWh, darüber hinaus werden unterschiedliche Steuerbefreiungen und Steuerermäßigungen festgelegt, die sich nach unterschiedlichen Parametern eines stromkonsumierenden Betriebes richten. Eine Definition dieser Ausnahmetatbestände erfolgt in §§ 9, 9a, 9b und 10 StromStG.<sup>193</sup> Demnach werden

- Stromsteuerbefreiungen für Strom aus erneuerbaren Energieträgern sowie für Strom, der zur Stromerzeugung verwendet wird, gewährt;
- Stromsteuerbefreiungen für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes *„für die Elektrolyse, für die Herstellung von Glas und Glaswaren, keramischen Er-*

---

<sup>191</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010) sowie Bundesregierung (2011).

<sup>192</sup> Vgl. Brümmerhoff (2007), S. 420 ff.

<sup>193</sup> Nach Maßgabe des § 9a StromStG erhielten im Jahr 2012 insgesamt 1007 Unternehmen Steuerbegünstigungen, der Entlastungsbetrag belief sich insgesamt auf 580 Mio. Euro. § 9b StromStG betraf 96.857 Unternehmen mit einem Entlastungsbetrag i. H. v. 1.100 Mio. €. Vom „Spitzenausgleich“ gem. § 10 StromStG profitierten insgesamt 23.419 Unternehmen mit einem Subventionsvolumen von 2,08 Mrd. Euro (Vgl. Bundesministerium der Finanzen (2012), S. 64f).

*zeugnissen, keramischen Wand- und Bodenfliesen und -platten, Ziegeln und sonstiger Baukeramik, Zement, Kalk und gebranntem Gips, Erzeugnissen aus Beton, Zement und Gips, keramisch gebundenen Schleifkörpern, mineralischen Isoliermaterialien, Asphalt, Waren aus Graphit oder anderen Kohlenstoffen, Erzeugnissen aus Porenbetonzeugnissen und mineralischen Düngemitteln zum Trocknen, Brennen, Schmelzen, Erwärmen, Warmhalten, Entspannen, Tempern oder Sintern der vorgenannten Erzeugnisse oder der zu ihrer Herstellung verwendeten Vorprodukte, für unterschiedliche Bereiche im Rahmen der Metallerzeugung und -bearbeitung sowie für chemische Reduktionsverfahren gewährt;*

- Stromsteuerermäßigungen Betrieben des Produzierenden Gewerbes und der Land- und Forstwirtschaft gewährt, wobei eine Ermäßigung i. H. v. 25% des Regelsteuersatzes – also 5,12€/MWh – festgelegt wird, sofern ein Entlastungsbetrag von mindestens 250 € pro Jahr erreicht wird (d. h. ab einem jährlichen Stromkonsum von 48,73 MWh);
- besonders energieintensiven Betrieben ein Spitzenausgleich i. H. v. bis zu 90% gewährt, sofern die jährliche Steuerbelastung 1000€ übersteigt, wobei die eventuelle Steuerentlastung gem. § 9b zuvor abzuziehen ist. Hier ergeben sich Einschränkungen durch jeweils gezahlte Arbeitgeberanteile an den Rentenversicherungsbeiträgen. Gemäß § 10 Abs. 2 StromStG erfolgt eine steuerliche Entlastung von Unternehmen nach der Maßgabe, in welchem Umfang die regulär zu zahlende Steuer im jeweiligen Jahr die Differenz übersteigt zwischen einem Arbeitgeberanteils von 20,3% sowie einem Arbeitgeberanteil i. H. v. 19,5%. Mit anderen Worten: Unternehmen mit wenigen Beschäftigten, die nur zu einem geringen Teil von einer – fiktiven – Senkung des Arbeitgeberanteils profitieren, erhalten zusätzliche steuerliche Vergünstigungen.<sup>194</sup>

---

<sup>194</sup> Ein Teil des Stromsteueraufkommens wird zur Finanzierung der Rentenkasse verwendet. In der vorliegenden Arbeit stehen Anreiz- und Lenkungseffekte des betrieblichen Stromkonsums im Vordergrund. Auch, wenn Rückkopplungseffekte mit einer Gegenfinanzierung der Rentenkasse – und damit über sinkende Arbeitgeberleistungen an die Rentenversicherung tendenziell einhergehende Vergünstigungen des Faktors Arbeit – aus gesamtwirtschaftlicher Sicht nicht unbedeutend sind, werden diese Wechselwirkungen an dieser Stelle zurückgestellt.

Zum 1.1.2013 trat eine Novellierung des Gesetzes<sup>195</sup> in Kraft, worin eine Nachfolgeregelung für den Spitzenausgleich für eine Dauer von 10 Jahren beschlossen wurde. Demnach werden die bisherigen Vergünstigungen gem. § 10 StromStG zwar weitergeführt, jedoch zukünftig an Bedingungen einer Erhöhung der Energieeffizienz geknüpft. Damit wird nicht nur beihilferechtlichen Regelungen<sup>196</sup> Rechnung getragen, darüber hinaus spiegeln sich in der nun implementierten Verknüpfung mit bestimmten Energieeffizienzanforderungen auch Anforderungen der Energieeffizienzstrategie auf europäischer Ebene.

Sofern Betriebe auch weiterhin Stromsteuervergünstigungen in Anspruch nehmen wollen, müssen Umwelt- bzw. Energiemanagementsysteme eingeführt werden.<sup>197</sup> Hierbei besteht bis Ende des Jahres 2014 eine Übergangslösung. Während es in den Jahren 2013 und 2014 ausreicht, lediglich mit der Einführung eines Energiemanagementsystems begonnen zu haben, muss ab 2015 nunmehr der Nachweis erbracht werden, dass ein solches System verbindlich implementiert wurde.<sup>198</sup>

Abbildung 12 verdeutlicht die Wirkweise des Gesetzes sowie eine daraus entstehende steuerliche Belastung anhand mehrerer beispielhafter Unternehmen mit unterschiedlichen jährlichen Stromverbräuchen, wobei jeweils ein rentenversicherungspflichtiges Entgelt i. H. v. 800.000 Euro / Jahr zugrunde gelegt wird.<sup>199</sup>

---

<sup>195</sup> Vgl. StromStG vom 24. März 1999 (BGBl. I S. 378; 2000 I S. 147), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2436, 2725) geändert worden ist.

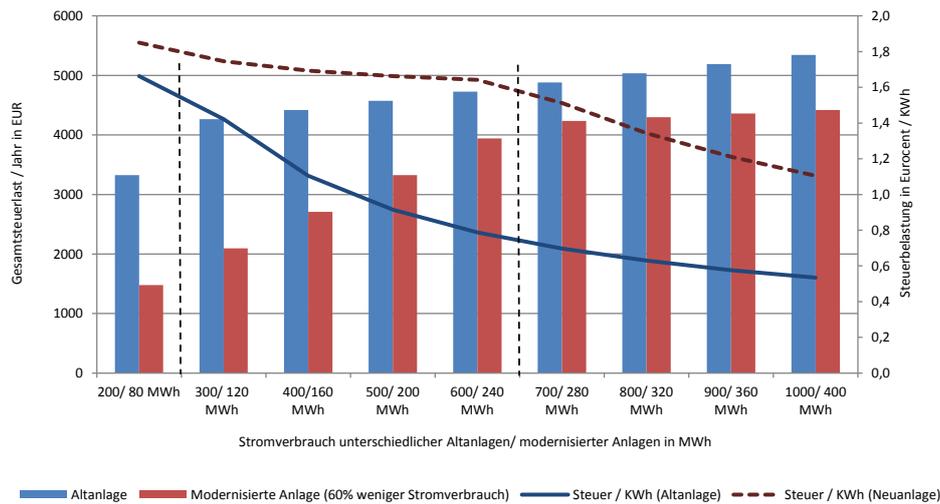
<sup>196</sup> Ausnahmen des StromStG waren in ihrer bisherigen Form nur bis Ende des Jahres 2012 bei der Europäischen Kommission notifiziert, eine Weiterführung war mit weiteren Auflagen verbunden.

<sup>197</sup> Eine Implementierung von Energiemanagementsystemen richtet sich – wahlweise – entweder nach ISO 50001 oder nach dem „Eco Management and Audit Scheme“ (EMAS), vgl. EU-Verordnung Nr. 1221/2009. Aufgrund damit verbundener Zusatzbelastungen wurden zudem Ausnahmeregelungen für kleine und mittlere Unternehmen beschlossen – diese Unternehmen müssen zwar auch Energieeffizienzverbesserungen nachweisen, unterliegen jedoch weniger strengen Normen. Zudem wird eine Vergünstigung nach 2016 an gesamtwirtschaftlich zu erreichende Energieeffizienzsteigerungen gekoppelt.

<sup>198</sup> Diese Regelungen beruhen auf der „Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz vom 1. August 2012“.

<sup>199</sup> Damit handelt es sich tendenziell um ein kleines Unternehmen mit unter 50 Mitarbeitern. In der Regel beläuft sich der Arbeitgeberanteil zur Rentenversicherung auf die Hälfte des allgemeinen Rentenversicherungsbetrages. Im Jahr 2012 betrug der allgemeine Rentenversicherungsbeitrag 19,6% der Beitragsbemessungsgrundlage. Dieser liegt damit um 0,1% über dem höchsten anrechenbaren Satz i. H. v. 19,5%. Die Senkung der Arbeitgeberanteile der Rentenversicherungsbeiträge muss nach §10 StromStG von der verbleibenden Steuerbelastung (nach Abzug der Erstattung nach §9b StromStG sowie des So-

Abbildung 12: Logik der Steuerlastberechnung gem. StromStG<sup>200</sup>



Quelle: Eigene Berechnungen

Die blauen Balken der Abbildung verdeutlichen Gesamtsteuerlasthöhen von Unternehmen mit Elektrizitätsverbräuchen jeweils zwischen 200 und 1000 MWh. Mit dem Übergang des Stromkonsums von 200 auf 300 MWh pro Jahr kommt die Spitzenausgleichsregelung gem. § 10 StromStG zum Tragen – der Anstieg der Gesamtsteuerlast zwischen 200 und 300 MWh Stromkonsum pro Jahr ist, im Vergleich zu allen nachfolgenden Steuerlastanstiegen bei weiter steigendem Stromkonsum, vergleichsweise größer. Werden Grenzsteuersätze betrachtet, befindet sich an diesem Punkt eine Sprungstelle – der Grenzsteuersatz jeder weiteren konsumierten Strommenge sinkt an diesem Punkt, anschließend bleibt er konstant. Der Durchschnittssteuersatz, in der Abbildung verdeutlicht anhand der blauen Linie in Verbindung mit der rechten Ordinatenbeschriftung, sinkt mit zunehmendem Elektrizitätskonsum.

Bei einer nun unterstellten Verbesserung der betrieblichen Energieeffizienz um 60% verschiebt sich die Sprungstelle einer Senkung des *Grenzsteuersatzes* nach rechts. Die *absolute* Stromsteuerersparnis ist bei Unternehmen, die nicht dem Spitzenlastausgleich unterliegen im Vergleich zu allen anderen Unternehmen deutlich größer.

---

ckelbetrages von 1000 Euro) abgezogen werden. Von diesem anrechenbaren Betrag wird 90% der Steuer erstattet (Spitzenausgleich).

<sup>200</sup> Jeweils unter der Annahme rentenversicherungspflichtiger Entgelte i. H. v. 800.000 Euro.

Im Folgenden wird eine finanzwissenschaftliche Einordnung des StromStG vorgenommen und geprüft, inwiefern der Strombesteuerung explizit umweltpolitische Ziele unterliegen.

### **Finanzwissenschaftliche Einordnung**

Im StromStG wird ein einheitlicher Steuersatz je konsumierte Elektrizitätseinheit definiert sowie, ausgehend hiervon, Vergünstigungen in unterschiedlicher Höhe in Abhängigkeit bestimmter Charakteristika für Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes gewährt. Aus finanzwissenschaftlicher Sicht handelt es sich um eine Mengensteuer, deren Aufkommen grundsätzlich dem Bund zugeordnet ist.<sup>201</sup> „Dem Gesetz liegt das Konzept zugrunde, durch die erstmalige Besteuerung von Strom [...] den Energieverbrauch zu verteuern und gleichzeitig durch die erhöhten Steuereinnahmen die Lohnnebenkosten zu senken.“<sup>202</sup> Im Weiteren heißt es zudem: „Durch die Verteuerung des Energieverbrauchs sollen Anreize geschaffen werden, vorhandene Energiesparpotenziale auszuschöpfen, erneuerbare Energie stärker auszubauen und energiesparende und ressourcenschonende Produkte und Produktionsverfahren zu entwickeln“.<sup>203</sup>

Aus Sicht des Gesetzgebers liegt mithin eine *eindeutige Lenkungsabsicht* vor, welche zum einen – dies wird erneut im Rahmen der Neuregelung mit Beginn des Jahres 2013 betont – explizit energieintensive Betriebe adressiert sowie zum anderen aufgrund verschiedener Ausnahmeregelungen hinsichtlich der Steuerschuldner unterschiedlich hohe Wirkungen entfaltet.

Vor dem Hintergrund dieser Lenkungsabsicht lautet die Frage: Wie ist dieses Gesetz umweltökonomisch einzuordnen? *Erstens* handelt es sich um eine Abgabe, mit der zumindest z. T. ein bestimmtes umweltrelevantes Verhalten *am Preis ansetzend* induziert werden soll. In diesem Falle soll ein Preisimpuls zu einer Erhöhung des Faktors Energie führen, wodurch Substitutionseffekte hervorgerufen werden. Ein Betrieb sieht sich, so die Logik des Gesetzgebers, gestiegenen Faktorpreisen für Elektrizität gegenüber, in deren Folge eine Rentabilität für Ersatzinvestitionen in Maschinen mit verbesserter

---

<sup>201</sup> Vgl. für eine finanzwissenschaftliche Abgrenzung des Steuerbegriffs Brümmerhoff (2007), S. 386 ff. sowie Homburg (2007).

<sup>202</sup> Vgl. Bundesverfassungsgericht (2004) sowie Deutscher Bundestag (1998), S. 9 ff. zur inhaltlichen Begründung des StromStG.

<sup>203</sup> Vgl. Bundesverfassungsgericht (2004).

Energieeffizienz schneller erreicht wird. In diesem Wirkungszusammenhang ist ein *zweiter*, für eine umweltökonomische Einordnung relevanter, Aspekt bereits enthalten: der Formulierung dieses Gesetzes lag offenkundig ein bestimmtes zu erreichendes Umweltziel<sup>204</sup> zugrunde – der Bewirkung ressourcenschonender Produktionsverfahren bzw. einer verstärkten Ausnutzung von Energieeffizienzpotentialen.

Ein solches Konzept wird in der umweltökonomischen Literatur unter dem Oberbegriff des *Standard-Preis-Ansatzes* beschrieben. Formal wird die „*emittierte Menge eines Schadstoffes, die eingesetzte Menge eines Produktionsfaktors, die produzierte Endproduktmenge o. ä. mit einer Abgabe belegt*“, so dass ein bestimmtes Umweltziel erreicht wird.<sup>205</sup> Dabei sehen sich alle Verursacher einem identischen Abgabensatz gegenüber. Die Schwierigkeit besteht nun darin, einen passenden Tarif zu finden, so dass die betroffenen Betriebe insgesamt zu einer angemessenen Senkung der Emission auf den intendierten Zielwert veranlasst werden.<sup>206</sup>

Aus der umweltpolitischen Lenkungsperspektive lässt sich das deutsche StromStG entsprechend als eine Art *Standard-Preis-Ansatz mit Tarifiedifferenzierung* nach Maßgabe der unterschiedlichen Ausnahmeregelungen charakterisieren. Dabei wird Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes im Vergleich zu privaten Haushalten ein vergünstigter Tarif auferlegt, welcher in Abhängigkeit zunehmender Energieintensität weiter absinkt.

#### **5.4.1.2. Wechselwirkungen mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz sowie dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz**

##### **Umlagefinanzierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes**

Das EEG definiert garantierte Mindesteinspeisevergütungen für Strom aus bestimmten erneuerbaren Energien. Zur Finanzierung der Differenz zwischen Marktpreisen für Elektrizität sowie Einspeisesätzen erfolgt eine Kostenumlage („EEG-Umlage“) auf die Endverbraucher auf Basis eines bestimmten Umlagefinanzierungssystems. Die Höhe der Umlage richtet sich nach der Menge der tatsächlich eingespeisten Elektrizität und wird

---

<sup>204</sup> Der Gesetzgeber führt explizit wirtschaftspolitische *und* ökologische Ziele an, die u. a. durch eine Erhöhung der Ressourceneffizienz zu erreichen sind, vgl. Deutscher Bundestag (1998), S. 9 ff.

<sup>205</sup> Vgl. Endres (2007), S. 108 f.

<sup>206</sup> Von einer Beurteilung des Standard-Preis-Ansatzes im Sinne einer Lehrbuchdarstellung wird abgesehen, vgl. dazu umfangreich vorhandene Grundlagen, u. a. Siebert (2008), Endres (2007) oder Feess (2007).

auf der Grundlage von Berechnungen durch die Übertragungsnetzbetreiber im jährlichen Rhythmus gem. §§ 48, 53 EEG angepasst; der Bundesnetzagentur kommt dabei gem. § 61 EEG eine kontrollierende Funktion zu. Im Jahr 2012 belief sich die Umlage auf 3,59 Cent/KWh, für das Jahr 2013 wurde dieser Betrag auf 5,277 Cent/KWh festgelegt.<sup>207</sup> Ausgehend von diesen Regelsätzen werden gem. § 41 EEG Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe vergünstigte Umlagesätze gewährt, wobei sich deren Höhe am Umfang des jährlich verbrauchten Stroms orientiert, sofern ein Verhältnis zwischen jährlichen Stromkosten und Bruttowertschöpfung i. H. v. mindestens 14% vorliegt und das Unternehmen im betreffenden Jahr einen Stromverbrauch i. H. v. mindestens 1 GWh aufweist.<sup>208</sup>

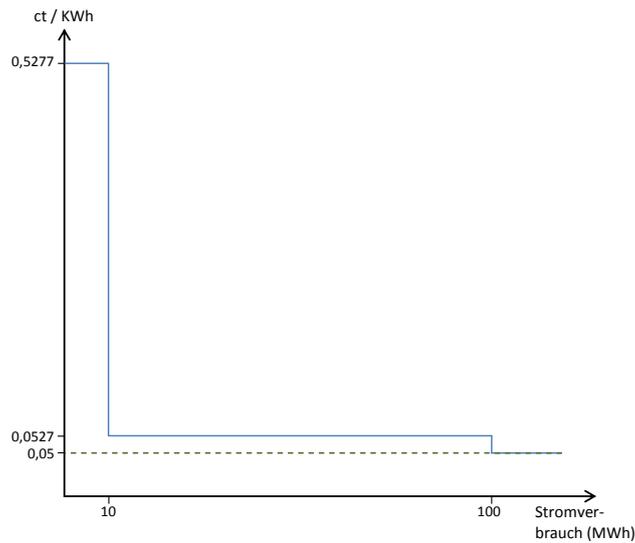
Die Vergünstigungen der EEG-Umlage steigen in drei Schritten. Für ein Unternehmen mit einem Stromverbrauch zwischen 1 und 10 GWh erfolgt eine Begrenzung auf 10% der Umlage, für den darüber hinausgehenden Strom zwischen 10 und 100 GWh werden 1% zugrunde gelegt und auf jede darüber hinausgehende konsumierte Kilowattstunde entfällt eine Umlage i. H. v. 0,05 Cent/KWh. Diese Abstufungen werden in Abbildung 13 anhand des blauen Linienverlaufes dargestellt. Alle Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes mit einem Anteil der Stromkosten an der Bruttowertschöpfung von mindestens 20% sowie einem jährlichen Stromkonsum von mehr als 100 GWh enthalten einen reduzierten Umlagesatz i. H. v. 0,05 Cent/KWh bereits ab der ersten konsumierten Kilowattstunde – in der Abbildung wird dies anhand der unterbrochenen grünen Linie ersichtlich.

---

<sup>207</sup> Die Ursache dieses deutlichen Anstieges ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen: erstens auf einen Ausbau der erneuerbaren Energien, zweitens auf eine zu niedrige Berechnung für das vergangene Jahr – und damit verbundenen Nachzahlungen –, drittens auf die Schaffung einer vergrößerten Liquiditätsreserve, viertens auf eine stärkere Vergünstigung stromintensiver Unternehmen sowie fünftens auf einen voraussichtlichen Rückgang des Börsenstrompreises. Vgl. <http://www.umweltbundesamt.de/energie/erneuerbare/index.htm> [abgerufen am 15.2.2013].

<sup>208</sup> Im Jahr 2011 – zu diesem Zeitpunkt lag die geforderte Relation zwischen Stromkosten und Bruttowertschöpfung bei 15% und die erste Vergünstigungsstufe begann bei 10 GWh – profitierten überwiegend Unternehmen der Papier- und Chemieindustrie sowie die Branchen der NE-Metalle sowie die Eisen- / Stahlverarbeitung von Umlagevergünstigungen gem. § 41 EEG. Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011).

Abbildung 13: Ausnahmeregelungen der EEG-Umlage für das Verarbeitende Gewerbe<sup>209</sup>



Quelle: Eigene Darstellung

### Belastungsausgleich im Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz

Vorrangiges Ziel des KWK-Gesetzes ist eine Erhöhung der Stromerzeugung auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung auf 25% bis zum Jahr 2020 im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Klimaschutzziele der Bundesregierung.<sup>210</sup> Ähnlich der EEG-Regelungen werden dazu Abnahmepflichten in Verbindung mit garantierten Einspeisevergütungen definiert. Die daraus entstehenden Mehrkosten werden durch einen KWK-Aufschlag auf Endverbraucherpreise gegenfinanziert. Die Höhe dieses Belastungsausgleichs wird gem. § 9 KWK-Gesetz durch die Übertragungsnetzbetreiber bestimmt.

Gemäß § 9 Abs. 7 KWK-Gesetz erfolgt eine Tariffdifferenzierung dieses Aufschlages in drei Verbrauchergruppen. Hierbei gilt für die Verbrauchergruppe der Unternehmen des Produzierenden Gewerbes, deren jährliche Stromabnahme 100 MWh übersteigt sowie deren Stromkosten im vergangenen Jahr 4% des Umsatzes überschritten, eine maximale Belastung durch die KWK-Umlage i. H. v. 0,025 Cent/KWh für den über 100 MWh hinausgehenden jährlichen Strombezug. Nach Berechnungen der Übertragungsnetzbetrei-

<sup>209</sup> Aus Überblicksgründen weicht die Darstellung von einem mathematisch exakten Maßstab ab.

<sup>210</sup> Vgl. § 1 KWK-Gesetz.

ber lag der Aufschlag im Jahr 2012 regulär bei 0,064 Cent/KWh, für das Jahr 2013 wurde ein regulärer Aufschlag i. H. v. 0,115 Cent/KWh bestimmt.<sup>211</sup>

### **Finanzwissenschaftliche Einordnung**

Neben Ausnahmeregelungen der Stromsteuer kommen Betriebe in unterschiedlicher Form in den Genuss von Ausnahmeregelungen der EEG- sowie der KWK-Umlage. Diese Abgaben werden zweckgebunden erhoben, sie werden unmittelbar zur Finanzierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien bzw. von KWK-Anlagen verwendet.<sup>212</sup> Gleichwohl setzen die Abgaben unmittelbar am Strompreis an, sie entfalten aus Sicht des Einzelnen eine *steuerähnliche* und unmittelbare Lenkungswirkung. Die Vergünstigungen im Rahmen einer gesetzlich festgelegten Abgabe stellen einen geldwerten Vorteil dar und stehen äquivalent zu einer Subvention.<sup>213</sup> Obwohl ein *direkter* Bezug dieser Lenkungswirkung zu einer umweltökonomischen Intention wie im Falle der Stromsteuer fehlt<sup>214</sup>, können sich *indirekte* Bezüge zum bundespolitischen Umweltziel einer Steuerung des betrieblichen Energiekonsums ergeben – dies hängt davon ab, ob die von dieser Regelung ausgehenden Wirkungen entsprechend konträr oder unterstützend zum übergeordneten Lenkungsziel wirken. Daher sind diese Regelungen in eine Beurteilung miteinzubeziehen.

#### **5.4.1.3. Weitere Förderprogramme mit direktem oder indirektem Bezug zu betrieblichem Elektrizitätskonsum**

Auf nationaler Ebene setzen sich Regelungen mit dem Ziel einer Beeinflussung des betrieblichen Elektrizitätsverbrauchs aus mehreren politisch intendierten Maßnahmen unterschiedlicher Ressorts zusammen.

Das Bundesumweltministerium finanziert diese Maßnahmen hauptsächlich aus dem Fonds der *nationalen Klimaschutzinitiative* – einem Fonds, der sich aus den Versteige-

---

<sup>211</sup> Vgl. [http://www.eeg-kwk.net/de/Aufschl%C3%A4ge\\_Prognosen.htm](http://www.eeg-kwk.net/de/Aufschl%C3%A4ge_Prognosen.htm) [abgerufen am 15.2.2013].

<sup>212</sup> Die Belastungen, die mit der Umlagefinanzierung des EEG sowie des KWK-Gesetzes einhergehen, lassen sich aus finanzwissenschaftlicher Sicht nicht im engeren Sinne als *Steuer* einordnen. Dies liegt daran, dass der Ertrag weder dem öffentlich-rechtlichen Gemeinwesen zufließt, noch dem Non-Affektationsprinzip unterliegt. Homburg (2007), S. 1, Brümmerhoff (2007), S. 153 sowie S. 387 ff.

<sup>213</sup> Hingegen ist der Tatbestand einer Subvention im Sinne des europäischen Beihilfenrechts nicht gegeben, da es sich um ein umlagefinanziertes Verfahren handelt.

<sup>214</sup> Vielmehr werden die Ausnahmeregelungen von der EEG-Umlage gem. § 40 EEG zur Erhaltung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit gewährt.

rungserlösen handelbarer Emissionszertifikate speist. Die tatsächliche Ausrichtung und Gestaltung der Förderprogramme variiert im längeren Zeitverlauf und orientiert sich an aktuellen – z. T. politisch motivierten – Themen und aktuellen wissenschaftlichen Forschungsergebnissen.<sup>215</sup> Die hierbei auf betriebliche Energieeffizienz ausgerichteten Maßnahmen umfassen derzeit einige Programme zum Wissensaustausch zwischen Betrieben mit dem Ziel kollektiver Erkenntnisgewinne über potentielle Energieeinsparungen, einige Forschungs- und Entwicklungsprogramme zukünftig möglicher Energieeinsparungen aus technischer Sicht sowie einige konkrete finanzielle Förderprogramme, insbesondere mit einem Schwerpunkt der Energieeinsparung in der Kältetechnik.

Weiterhin werden unterschiedliche Förderprogramme mit dem Ziel eines verstärkten Einsatzes „hocheffizienter Querschnittstechnologien im Mittelstand“ seit dem 1.10.2012 aus dem Energieeffizienzfonds des Bundeswirtschaftsministeriums finanziert.<sup>216</sup> Darin enthalten sind insbesondere finanzielle Zuschüsse zur Förderung bestimmter Technologien, wie z. B. elektrische Antriebe, Raumlufthanlagen oder Wärmetechnik sowie darüber hinaus systemische Optimierungskonzepte, etwa durch konzeptionelle Änderungen der Produktionsstrukturen. Auch diese Fördermaßnahmen spiegeln letztlich kurz- bis mittelfristige politische Interessen sowie jeweils aktuelle Forschungsergebnisse wider, daher schwanken tatsächliche Förderschwerpunkte im Zeitverlauf.

Schließlich existieren unterschiedliche, staatlich geförderte Investitionskredite, welche durch die KfW vergeben werden. Insbesondere das KfW-Energieeffizienzprogramm sowie die KfW-Finanzierungsinitiative Energiewende umfassen zinsvergünstigte Kreditmöglichkeiten für Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes unterschiedlicher Größe sowie für unterschiedliche Zwecke.<sup>217</sup> Eine Gewährung dieser Kredite erfolgt in der Regel auf Basis individueller Beurteilungen von Antragsstellungen, derzeit umfassen die förderwürdigen Schwerpunkte u. a. die Sanierung von Gebäuden, Informationstechnik sowie verschiedene Anlagentechniken.

---

<sup>215</sup> Vgl. hierzu die Evaluierung der nationalen Klimaschutzinitiative durch das FiFo Köln sowie weitere Forschungsinstitute unter [http://www.bmu-klimaschutzinitiative.de/de/ziele\\_und\\_bilanz](http://www.bmu-klimaschutzinitiative.de/de/ziele_und_bilanz) [abgerufen am 14.2.2013].

<sup>216</sup> Vgl. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieeffizienz-und-Energieeinsparung/energieberatung-und-foerderung,did=494252.html> [abgerufen am 14.2.2013].

<sup>217</sup> Vgl. Programmnummern 242, 243, 244 sowie 291, <http://www.kfw.de/kfw/de/Inlandsfoerderung/Programmuebersicht/index.jsp> [abgerufen am 15.2.2013].

## **Finanzwissenschaftliche Einordnung**

Aus *finanzwissenschaftlicher Perspektive* entsprechen diese Fördermaßnahmen einer Subventionierung in unterschiedlichen Ausprägungsformen, wobei über verschiedene Zwischenziele letztlich das übergeordnete Ziel einer CO<sub>2</sub>-Einsparung aufgrund einer Verbesserung der Ressourceneffizienz angestrebt wird. Zum Teil wird dies realisiert, indem subventionierte Kredite vergeben werden, deren zugrunde liegender Zinssatz nicht alle Risiken – insb. Ausfallwahrscheinlichkeiten – umfasst, z. T. werden besondere Informationsprogramme aufgelegt, die aus betriebswirtschaftlicher Sicht letztlich subventionierten Such- und Informationskosten entsprechen und teilweise werden schließlich direkte finanzielle Transfers zur Unterstützung bestimmter Investitionsprojekte gewährt.<sup>218</sup>

Nehmen Betriebe diese Subventionierungsmöglichkeiten nicht in Anspruch, ergeben sich umgekehrt Opportunitätskosten – in diesem Falle könnte ein Betrieb in den Genuss bestimmter Kostenvorteile kommen, die betriebswirtschaftlich eine ebenso hohe Entscheidungsrelevanz aufweisen.

### **5.4.2. Abgleich mit Ergebnissen der empirischen Nachfragemodellierung**

Im Folgenden wird ein Abgleich der Erkenntnisse aus den empirischen Nachfragemodellierungen und der hierbei isolierten Effekte betriebspezifischer Anpassungshemmnisse mit dem regulatorischen Rahmen durchgeführt sowie schließlich Empfehlungen für eine kohärente Politikgestaltung abgeleitet.

#### **5.4.2.1. Stromsteuergesetz**

##### **Wirkung und Bewertung**

Die Höhe der steuerlichen Belastung bzw. eine gänzliche Ausnahme ist nach dem gegenwärtigen Stromsteuerrecht und mit Blick auf Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes durch folgende Eckpunkte charakterisiert:

---

<sup>218</sup> Zum Teil existieren auch Prozessnormen, wonach bestimmte maschinelle Anlagen(teile) eine Mindesteffizienz aufweisen müssen. Dies betrifft etwa Elektromotoren, vgl. EG-Verordnung Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren.

- Originäre Quelle der Stromproduktion (Erneuerbare Energien, Kleinstanlagen; § 9 StromStG);
- Verwendungen des Stroms für bestimmte Prozesse und Verfahren (§ 9a StromStG);
- Energieintensität (gemessen am jährlichen Stromkonsum; §§ 9b, 10 StromStG);
- Anzahl der rentenversicherungspflichtig Beschäftigten (in Relation zu jährlichen Stromkosten; §10 StromStG);
- Nachweise über die Einführung betrieblicher Umwelt- bzw. Energiemanagementsysteme (mit Übergangsregelungen bis Ende des Jahres 2014; § 10 StromStG).

Aus einer Second-Best-Perspektive sowie ausgehend vom derzeitigen politischen Rahmen der gewählten Tariffdifferenzierung wären diese Ausnahmeregelungen für energieintensive Betriebe nur dann gerechtfertigt, sofern dort auch besonders hohe Grenzvermeidungskosten vorliegen. Eine Umkehrung der Sichtweise führt zu einer alternativen Schlussfolgerung: der Logik der Anpassungsfriktionen folgend – und ausgehend von dem bereits eingeschlagenen Pfad einer Tariffdifferenzierung – läge es im Sinne einer *effektiven* Zielerreichung näher, den Elektrizitätskonsum von Betrieben jeweils entsprechend den zu erwartenden Anpassungsreaktionen unterschiedlich hoch zu belasten.<sup>219</sup>

Den vorangehend ermittelten Schätzergebnissen zufolge weisen relativ wenig energieintensive Betriebe jedoch deutlich geringere Präferenzen auf, durch flexible Anpassungsvorgänge auf steigende Strompreise zu reagieren. Im Vergleich zu dieser Gruppe weisen energieintensive Unternehmen – mit Bezug auf eine Preiserhöhung um ein Prozent – in der langen Frist eine um bis zu 0,33 Prozentpunkte elastischere Elektrizitätsnachfrage auf, wobei alle übrigen Einflussfaktoren kontrolliert werden. Vor diesem Hintergrund ist eine solche Tariffdifferenzierung kontraintuitiv. Im gegenwärtigen Stromsteuerrecht *sinkt* die steuerliche Belastung mit einer steigenden Energieintensität. Eine in der Gesetzesbegründung formulierte umweltökonomische Lenkungswirkung wird hierdurch deutlich abgeschwächt. Demgegenüber würde eine Umkehrung der der-

---

<sup>219</sup> Wie eingangs betont wurde, weicht dies offensichtlich von einer kosteneffizienten First-Best-Sicht im Sinne der Neoklassischen Umweltökonomie ab. Vorliegend wird vielmehr eine Second-Best-Perspektive des gegebenen politischen Regulierungsrahmens eingenommen.

zeitigen Tariffdifferenzierung – also sukzessive höhere Strombesteuerung mit zunehmender Energieintensität – zu einer deutlich höheren Effektivität führen.

Ergänzend zu einer Tariffdifferenzierung anhand der betrieblichen Energieintensität wird die Betriebsgröße in Form rentenversicherungspflichtig Beschäftigter für eine Bestimmung der Stromsteuerbelastung hinzugezogen. Kleine Betriebe, die einerseits eine hohe Energieintensität aufweisen und andererseits nur wenig von einer Senkung der Arbeitgeberanteile an der gesetzlichen Rentenversicherung profitieren, erhalten zusätzliche Vergünstigungen. Die Modellierungsergebnisse stimmen in der Tendenz mit dieser Tariffdifferenzierung überein. Demnach weist die Gruppe der Betriebe mit wenigen Beschäftigten im Vergleich zur Gruppe mit den größten Beschäftigtenzahlen eine deutlich geringere Präferenz zur Anpassung an steigende Elektrizitätspreise auf. Demzufolge ließen sich durch eine relativ höhere Belastung großer Betriebe größere Lenkungswirkungen erzielen. Zudem schwächt diese Tariffdifferenzierung die vorangehend dargestellten kontraintuitiven Belastungen in Abhängigkeit der Energieintensität leicht ab.

Mit Beginn des Jahres 2013 wurden die Bedingungen einer Stromsteuerentlastung zudem an Nachweise betrieblicher Energiemanagementsysteme geknüpft. Auf Grundlage der verfügbaren amtlichen Firmendaten lassen sich über diesen Einfluss keine direkten Aussagen treffen. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse des metaanalytischen Literatursurveys über betriebliche Einflussdeterminanten der Elektrizitätsnachfrage<sup>220</sup> jedoch dürfte eine zukünftig verstärkte Kopplung der Stromsteuerermäßigungen an ordnungsrechtliche Pflichten zu innerbetrieblichen Formen eines Energieaudits positive Impulse für weitere Energieeinsparungen geben. Gleichwohl besteht die Gefahr, dass diese zusätzlichen Pflichten zu hohen Belastungen insbesondere in den Betriebsgruppen führen, die durch geringe innerbetriebliche Präferenzen einer flexiblen Anpassung an steigende Strompreise charakterisiert sind. Zum Teil scheint dies in den Gesetzgebungsprozess eingeflossen zu sein, denn es bestehen Sonderregelungen in Form geringerer Normerfüllungen für kleine Unternehmen. In welcher Hinsicht diese zusätzlichen betrieblichen Belastungen allerdings tatsächliche Lenkungswirkungen entfalten werden, wird sich erst in der langen Frist herausstellen. Eine empirische Bestimmung ist – ins-

---

<sup>220</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.

besondere vorfristig – aufgrund besonderer Ansprüche an eine Modellierung betriebsinterner Ablaufprozeduren schwierig und mit hohem Aufwand verbunden.

Das StromStG sieht schließlich gem. § 9a gänzliche Ausnahmen von der Stromsteuer für bestimmte Prozesse und Verfahren vor. Hierbei geht es speziell um besonders energieintensive Bereiche (Herstellung von Glas- und Keramikprodukten, Zement, Düngemittel, Metallbearbeitung mit hoher mechanischer Energie zum Pressen und Stanzen). Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten Nachfragereagibilitäten beziehen sich jeweils auf die Interaktion zwischen Angebot und Nachfrage zum gegenwärtigen Zeitpunkt (Punktelastizitäten), wobei in vielen Fällen Aussagen über den allgemeinen Verlauf der Nachfragefunktionen approximiert werden können. Die in §9a StromStG beschriebenen Verfahren und Prozesse stellen überwiegend Fälle dar, in denen eine signifikante Veränderung des Stromkonsums nur mit grundlegenden Veränderungen in der Produktionsstruktur erreicht werden können. Es ist daher nur von einer eingeschränkten Übertragbarkeit der hier berechneten Nachfrageelastizitäten in Abhängigkeit der betrieblichen Energieintensität auf diesen Paragraphen auszugehen.

Insgesamt legt die vorliegende Analyse die Schlussfolgerung nahe, dass zwischen der vom Gesetzgeber für eine gegebene umweltökonomische Lenkungsabsicht ausgestaltete Tariffdifferenzierung und den tatsächlichen betrieblichen Anpassungsbereitschaften eine Divergenz besteht. Aus Sicht der vorliegenden Ergebnisse sind die derzeitigen Ausnahmetatbestände insbesondere für energieintensive Betriebe vom regulären Stromsteuersatz umweltökonomisch nicht gerechtfertigt. Vielmehr besteht die Gefahr, dass explizite umweltpolitische Lenkungsziele konterkariert werden.

### **Ansätze für eine Weiterentwicklung**

Zu den signifikantesten Änderungen des zum Jahr 2013 novellierten Gesetzes zählt die Einführung verpflichtender Energiemanagementnormen, sofern ein Unternehmen in den Genuss des Spitzenausgleichs gem. § 10 StromStG kommen möchte. Besteht das Ziel nun darin, auf dem bereits gewählten Strategiepfad der Tariffdifferenzierung möglichst große umweltökonomische Lenkungswirkungen zur Verringerung des betrieblichen Elektrizitätskonsums zu entfalten, lassen sich auf Basis der Erkenntnisse unterschiedliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten skizzieren. Dies betrifft zunächst eine *Umkehrung* der bisherigen Kopplung der Energieintensität an die Höhe der Stromsteuerbelastung, so dass zukünftig Grenzsteuersätze mit zunehmender Energieintensität

ebenfalls *zunehmen*. Hiervon auszunehmen sind bestimmte Prozesse und Verfahren, bei denen Anpassungen des Elektrizitätskonsums nur mit grundlegend-strukturellen Veränderungen möglich sind; die hiervon betroffenen Branchen werden bereits in § 9a Abs. 1 StromStG definiert.

Für darüber hinausgehende Weiterentwicklungsoptionen können die Betriebscharakteristika „Absatzgrößenklasse“ bzw. „Umsatzgrößenklasse“ sowie „Investitionsquote“ herangezogen werden. Analog zur Tariffdifferenzierung mit Bezug zu Energieintensität sowie der Anzahl der Beschäftigten kann ein zukünftiger Entwicklungspfad darin bestehen, jährliche Umsatzgrößenklassen ebenfalls für eine Tariffdifferenzierung zu verwenden. Die Ergebnisse der Modellberechnungen deuten darauf hin, dass der jährliche Umsatz einen deutlichen und statistisch signifikanten Einfluss auf das betriebliche Nachfrageverhalten nach Elektrizität aufweist. Dieser Einfluss ist unterhalb der betrieblichen Energieintensität, jedoch deutlich oberhalb der übrigen betrachteten Einflussdeterminanten einzuordnen, wie in Tabelle 26 dargestellt wurde. Inwiefern hierdurch die bisherige Tariffdifferenzierung gemäß der Beschäftigtenzahlen – die ihrerseits durch etwas geringere Einflüsse auf das Elektrizitätsnachfrageverhalten gekennzeichnet sind – ersetzt werden könnte, hängt jedoch von weiteren Faktoren ab. Bisher ist das Stromsteueraufkommen eng an Arbeitgeberanteile an der gesetzlichen Rentenversicherung gekoppelt, so dass eine Substitution der Tariffdifferenzierung nach Beschäftigten durch den Umsatz beschränkt wird. Dies verdeutlicht einen grundlegenden Nachteil einer Vermischung unterschiedlicher Ziele in einem Instrument. Mit einer alleinigen Adressierung der Stromsteuer auf umweltpolitische Lenkungswirkungen könnte eine deutlich gesteigerte umweltpolitische Zielerreichung ermöglicht werden. In jedem Falle können im Rahmen zukünftiger Stromsteuerreformen Weiterentwicklungsoptionen in einer verstärkten Berücksichtigung von Umsatzgrößenklassen bestehen.

Inwiefern der mit einer Verknüpfung von Stromsteuererleichterungen und Nachweispflichten eines Energiemanagementsystems eingeschlagene Weg eines Policy Mix aus steuerlichen und ordnungsrechtlichen Regelungen zu bewerten ist und zukünftig weiterentwickelt werden könnte, hängt jedoch von unterschiedlichen Einflussdeterminanten ab. Auch, wenn hierzu auf Grundlage der vorliegenden empirischen Ergebnisse nur eine eingeschränkte und keine abschließende Bewertung möglich ist, kann eine zukünftig stärkere Berücksichtigung von Einflussdeterminanten mit deutlichen Bezügen zu betrieblichen Anpassungsbereitschaften sinnvoll sein.

#### **5.4.2.2. Umlagefinanzierung im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes sowie des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes**

##### **Wirkung und Bewertung**

Gemäß § 41 EEG errechnet sich im Rahmen der Umlagefinanzierung die Höhe der Ausnahmen für Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes aus jährlichen Stromkosten in Verbindung mit einem Verhältnis zwischen den jährlichen Stromkosten und der Bruttowertschöpfung. Dabei kommen Unternehmen grundsätzlich erst dann in den Genuss stufenweise vergünstigter Umlagesätze, falls die jährlichen Stromkosten im Vergleich zur Bruttowertschöpfung mind. 14% betragen haben. Sofern diese Relation mind. 20% beträgt, erhalten Unternehmen bereits ab der ersten Kilowattstunde einen vergünstigten Umlagesatz. Im Grundsatz nach ähnlichen Maßstäben findet im Kontext des KWK-Gesetzes eine Festlegung vergünstigter Umlagesätze statt. Dort liegen die Parameter der Bemessungsgrundlage bei 100 MWh Stromkonsum pro Jahr sowie bei einem Verhältnis zwischen Stromkosten und Umsatz (mind. 4%).

Die Ergebnisse der Modellberechnungen lassen den Schluss zu, dass tendenziell größere Ausnahmen von der EEG- und KWK-Umlage mit steigenden Elektrizitätsverbräuchen mögliche Anpassungsreaktionen zur Senkung des gesamtwirtschaftlichen Elektrizitätskonsums ungenutzt lassen. Im Kontext dieser Tariffdifferenzierung erfolgen genau in den Bereichen Vergünstigungen von einer Umlage, bei denen mit größeren Präferenzen zugunsten von Anpassungsreaktionen zu rechnen ist.

Andererseits trägt im Falle der EEG-Umlage die Anforderung einer Mindestrelation zwischen Stromkosten und Bruttowertschöpfung dazu bei, dass kleinere Unternehmen eher von Ausnahmeregelungen profitieren werden. Dies ist vor dem Hintergrund der im vorangehenden Kapitel ermittelten Anpassungsbereitschaften in Abhängigkeit unterschiedlicher Firmencharakteristika und mit Blick auf eine umweltökonomische Lenkungsabsicht positiv zu werten.

Im Falle der KWK-Umlage sind Ausnahmeregelungen an eine Relation zwischen Stromkosten und Umsätzen gekoppelt. Die Berechnungsergebnisse deuten auf eher geringe Unterschiede zwischen einer Bemessung der Unternehmensgröße nach Bruttowertschöpfung oder nach Umsatz hin – daher führt die Tariffdifferenzierung auch hier dazu, dass Unternehmen mit niedrigeren Anpassungsbereitschaften eher den Tatbestand vergünstigter Umlagesätze erfüllen.

### **Ansätze für eine Weiterentwicklung**

Insgesamt wirken die gegenwärtigen Tarifiedifferenzierungen zur EEG- und KWK-Umlage entgegen verstärkter Anreize zur Reduktion des betrieblichen Elektrizitätskonsums. Hingegen ist die im EEG mit Beginn des Jahres 2012 eingeführte Reduktion des Schwellenwertes zur Inanspruchnahme der vergünstigten Umlagesätze von 10 GWh auf nunmehr 1 GWh Mindeststromverbrauch nicht zwingend negativ zu bewerten. Tatsächlich scheinen auf der Ebene von Unternehmen mit geringen Energieintensitäten größere Anpassungshemmnisse zu bestehen. Sofern diese Regelung in der Zukunft durch geringere Ausnahmemöglichkeiten für energieintensivere Unternehmen kombiniert würde, könnten sich signifikante Anpassungsvorgänge im Sinne einer gesamtwirtschaftlichen Reduktion des betrieblichen Elektrizitätskonsums ergeben. Hierbei deuten die Ergebnisse der Berechnungen ferner darauf hin, dass dies aufgrund größerer Bereitschaft für Anpassungsreaktionen möglicherweise nur mit einer geringen Einschränkung der Wettbewerbsfähigkeit einhergeht.

## **5.5. Zwischenfazit**

Im vorliegenden Kapitel erfolgte eine Bewertung von Bestandteilen des aktuellen politischen Rahmens mit direkten oder indirekten Auswirkungen auf betrieblichen Elektrizitätskonsum. Dies basiert auf grundlegenden Annahmen eines konzeptionellen Analyserahmens – insbesondere mit Bezug auf die zu erwartenden betrieblichen Anpassungsreaktionen bei einer Veränderung der Inputpreise für Elektrizität.

Neben einem breiten Geflecht europäischer Strategien und Richtlinien zur gesamtwirtschaftlichen Steigerung der Energieeffizienz ist auf nationaler Ebene das zum Jahr 1999 eingeführte StromStG das zentrale Instrument. Darüber hinaus existieren weitere Instrumente mit einem indirekten Lenkungsbezug zum betrieblichen Elektrizitätskonsum, von denen insbesondere die Umlagefinanzierung im Rahmen des EEG sowie des KWK-Gesetzes näher betrachtet wurden. Das StromStG sieht in seiner derzeitigen Form Steuererleichterungen für das Verarbeitende Gewerbe vor, die im Kern auf zwei Bemessungsgrundlagen basieren: zum einen wird der jährliche Elektrizitätskonsum und zum anderen werden Arbeitgeberbeiträge zur gesetzlichen Rentenversicherung für eine Tarifiedifferenzierung herangezogen.

Vor dem Hintergrund der im vorangegangenen Kapitel berechneten Modellierungsergebnisse zeigt sich, dass eine Tariffdifferenzierung, wonach energieintensive Betriebe tendenziell geringer belastet werden, konträr zu einem politisch intendierten Lenkungseffekt verläuft. Es ist davon auszugehen, dass eine politisch beabsichtigte, umweltökonomische Lenkungswirkung hierdurch deutlich abgeschwächt wird. Im Lichte der vorliegenden Ergebnisse ist die Legitimität der gegebenen Ausnahmetatbestände für energieintensive Betriebe – in diesem Falle kann vielmehr von vergleichsweise *niedrigen* Grenzvermeidungskosten ausgegangen werden – infrage zu stellen.

Die Ergebnisse legen die Schlussfolgerung nahe, dass kleine Betriebe mit einer geringen Energieintensität sowie einer geringen Investitionsquote deutlich geringere Nachfrageelastizitäten nach Elektrizität im Vergleich zu großen und sehr energieintensiven Betrieben aufweisen. Es ist daher anzunehmen, dass der Verlauf der Grenzvermeidungskostenkurve im Falle wenig energieintensiver Betriebe im Vergleich zur Gruppe energieintensiver Betriebe einen steileren Verlauf aufweist – ausgehend von der gegenwärtigen Situation ist jede weitere Verringerung des Elektrizitätskonsums mit vergleichsweise hohen individuellen Zusatzbelastungen verbunden. Jede beliebige Steuererhöhung auf den Elektrizitätskonsum wird also zu deutlich größeren Anpassungsreaktionen im Falle energieintensiver Betriebe führen. Daraus ist zu schließen, dass eine Umkehrung dieser Tariffdifferenzierung – oder zumindest deren Abschaffung – darüber hinaus zu deutlichen Anpassungseffekten in der Gruppe der energieintensiven Betriebe führen wird.

Hingegen werden Unternehmen im Rahmen des Spitzenausgleichs bei gleichem Elektrizitätskonsum mit sinkender Beschäftigtenanzahl tendenziell geringer besteuert. Eine solche Tariffdifferenzierung nach Maßgabe der Beschäftigtenanzahl ist, mit Blick auf eine umweltökonomisch intendierte Lenkungswirkung, prinzipiell positiv zu beurteilen. Auf Grundlage der Berechnungsergebnisse ist anzunehmen, dass das Anpassungsverhalten des Elektrizitätskonsums des Quartils der Betriebe mit den geringsten Beschäftigtenzahlen im Vergleich zu den darüber liegenden Quartilen weniger flexibel verläuft. Hingegen ist diese Klassifizierung im Kontext des Spitzenausgleichs zur zweitrangig: in erster Linie geht es bei dieser Ausnahmeregelung um eine – kontraintuitive – steuerliche Entlastung für Betriebe mit besonders hohen Stromverbräuchen.

Insgesamt lässt sich die gegenwärtige Ausgestaltung des Stromsteuerrechts aus finanzwissenschaftlicher Perspektive als eine Art Standard-Preis-Ansatz mit Tariffdiffe-

renzierung charakterisieren. Grundsätzlich weicht eine solche Tariffdifferenzierung bereits vom Pfad einer umweltpolitisch optimalen First-Best-Instrumentierung ab. Die Schätzergebnisse legen nahe, dass demgegenüber zumindest eine effektivere Lenkungswirkung durch eine zukünftig verstärkte Berücksichtigung betrieblicher Anpassungshemmnisse erreicht werden könnte.

Mit Beginn des Jahres 2013 erfolgt eine Gewährung besonderer Stromsteuerentlastungen, sofern Nachweise zur Einführung betrieblicher Energiemanagementsysteme erbracht werden. Über die genauen innerbetrieblichen Wirkungsmechanismen hierzu lassen sich keine direkten Aussagen aus den Ergebnissen der empirischen Nachfragemodellierung ableiten. Hingegen lassen legen die Ergebnisse des metaanalytischen Literatursurveys innerbetrieblicher Anpassungsprozeduren den Schluss nahe, dass dies, zumindest partiell, zu einer verstärkten Anstrengung zur Senkung des Elektrizitätskonsums führen kann.

Mit Blick auf Ausnahmeregelungen im Rahmen der EEG- und KWK-Umlage deuten die Ergebnisse der Modellberechnungen darauf hin, dass große Potentiale betrieblicher Anpassungsreaktionen zur Senkung des gesamtwirtschaftlichen Elektrizitätskonsums ungenutzt bleiben. Hingegen führt die in der EEG-Umlage definierte Mindestrelation zwischen Stromkosten und Bruttowertschöpfung, sowie die im Kontext der KWK-Umlage verwendete Relation aus Stromkosten und Umsätzen dazu, dass kleinere Betriebe – welche tendenziell weniger flexible Anpassungspfade aufweisen – früher in den Genuss der Ausnahmeregelungen kommen.

Unter den vorangehend dargelegten Annahmen spiegeln sich in den hier identifizierten Nachfrageelastizitäten Anpassungsfriktionen in Abhängigkeit bestimmter Firmencharakteristika. Sofern eine Erreichung bestimmter Umweltschutzziele im Vordergrund steht, ist eine am Elektrizitätspreis ansetzende Besteuerung bei Unternehmensgruppen mit besonders hohen Anpassungshemmnissen wenig wirksam. Im *gegebenen Politikrahmen* wäre es daher folgerichtig, die bereits eingeführten ordnungsrechtlichen Instrumente – wie etwa verbindliche Energie-Managementnormen – gezielt auf diese Unternehmensgruppen abzustimmen. Hier besteht für die zukünftige Politikgestaltung noch erhebliches Potential.

Insgesamt legen die Betrachtungen die Schlussfolgerung nahe, dass anhand der verfügbaren amtlichen Firmendaten in Deutschland eine detaillierte Wirkungsanalyse

derzeitig implementierter Steuerungsmaßnahmen der betrieblichen Elektrizitätsnachfrage möglich ist. Dies wird jedoch durch zwei Aspekte eingeschränkt. Einerseits deuten die Datenanalysen in Kapitel 4 auf einen weiterhin notwendigen Datenveredelungsbedarf hin. Andererseits ist darauf hinzuweisen, dass die vorangehend bestimmten Nachfrageelastizitäten *punktuel*er Natur sind; annahmegemäß erlaubt dies fundierte Rückschlüsse auf zu erwartende Nachfragereaktionen, insbesondere deren Randbereiche werden durch das gewählte Verfahren jedoch nicht vollkommen erfasst.

## 6. Zusammenfassung und Fazit

In der vorliegenden Arbeit stand eine Analyse des betrieblichen Nachfrageverhaltens nach Elektrizität unter Berücksichtigung von Einflussdeterminanten zur Anpassung der Nachfrage bei Preisveränderungen im Vordergrund. Im Kontext eines umwelt- und energiewirtschaftlich geprägten Diskurses über Einflussdeterminanten des Elektrizitätskonsums wird damit ein komplexes Themenspektrum angeschnitten. Mit der Arbeit wurde das Ziel verfolgt, ein möglichst kohärentes Bild dieses – in der Forschung z. T. konträr diskutierten – Themas anhand einer Konzentration auf zentrale Aspekte mit signifikantem Forschungsbedarf zu zeichnen.

Auf der Grundlage einer theoretischen Aufarbeitung und Einordnung der Struktur von Einflussdeterminanten des betrieblichen Nachfrageverhaltens nach Energie erfolgte eine empirische Nachfragemodellierung am Beispiel des Elektrizitätskonsums im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland. Im Weiteren wurden die daraus abgeleiteten Erkenntnisse mit bisherigen Erklärungen des Nachfrageverhaltens sowie schließlich mit zentralen Bestandteilen des gegenwärtigen politischen Regulierungsrahmens abgeglichen.

Auf Basis eines Literatursurveys erfolgte im *zweiten Kapitel* zunächst eine methodische Einordnung des Untersuchungsgegenstandes „betrieblicher Energieeffizienz“ anhand einer Aufarbeitung der Struktur von Einflussdeterminanten des betrieblichen Nachfrageverhaltens. Die Leitfrage lautete, was unter „Elektrizitätskonsum“ – bzw. allgemein unter „Energiekonsum“ – zu verstehen und wie dessen gesamtwirtschaftliche Bedeutung einzuordnen ist. Ferner wurde dargelegt, unter welchen Voraussetzungen Notwendigkeiten staatlicher Markteingriffe zur Regulierung der Energienachfrage bestehen können.

Auf dieser Basis stand im weiteren Verlauf exemplarisch der Elektrizitätskonsum im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland im Vordergrund. Ziel des *dritten Kapitels* war eine theoretische Herleitung betrieblicher Nachfragefunktionen nach Elektrizität sowie deren Erweiterung um Einflussdeterminanten betrieblicher Anpassungshemmnisse. Auf Basis eines metaanalytischen Literatursurveys wurden hierzu Einflussdeterminanten betrieblicher Elektrizitätsnachfrage mit direktem Bezug zu Anpassungshemmnissen identifiziert. Das Vorgehen orientierte sich an der grundlegenden Frage, inwiefern Anpassungshemmnisse dazu führen können, dass unterschiedliche Betriebe in unterschied-

lichem Ausmaß in der Lage sind, ihre Produktionsstrukturen an veränderte Strompreise anzupassen.

Methodisch erfolgte eine Einbindung betrieblicher Einflussdeterminanten durch Bildung von Interaktionstermen mit firmenspezifischen Elektrizitätspreisen, welche durch die jährlich bezogenen Elektrizitätsmengen determiniert werden. Hierdurch wird eine *ceteris paribus* Interpretation spezifischer betrieblicher Einflussdeterminanten ermöglicht. Darüber hinaus erfolgte eine Differenzierung zwischen Anpassungsreagibilitäten in der *kurzen* und *langen* Frist. Methodisch lässt sich dies durch eine Dynamisierung der Nachfragefunktionen durch Einfügung von Lags der Elektrizitätsnachfrage erreichen. Schließlich wurden fundamentale Einflussdeterminanten der in das Nachfragemodell integrierten industriellen Strompreise dargelegt. Insgesamt wurde in diesem Kapitel gezeigt, dass eine Identifikation branchen- und firmenspezifischer Einflussdeterminanten im Hinblick auf Anpassungshemmnisse methodisch möglich und in betrieblichen Nachfragefunktionen nach Elektrizität grundsätzlich darstellbar ist.

Das *vierte Kapitel* setzte hier an: auf Basis des vorangegangenen Vorgehens wurde untersucht, inwiefern die zuvor hergeleiteten betrieblichen Nachfragefunktionen nach Elektrizität in Abhängigkeit der darin enthaltenen Ursachen potentieller Anpassungshemmnisse anhand gegenwärtig verfügbarer Firmendaten für Deutschland empirisch messbar sind.

Hierzu wurde die Struktur des Energieverbrauchs im Verarbeitenden Gewerbe im Zeitverlauf der letzten 18 Jahre herangezogen. Eine Kombination von Daten betrieblicher Energieverbräuche mit Energiepreisen ermöglicht schließlich Aussagen über quantitative Anpassungsreaktionen in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussdeterminanten in kurz- und langfristiger Sicht. Hierzu zählen etwa die Anzahl der Beschäftigten, Umsatzgröße, Absatzproduktionswerte, betriebliche Energieintensität oder die Investmentquote. Mit Blick auf die im zweiten und dritten Kapitel dargelegten Ursachen betrieblicher Anpassungsfriktionen können die hier berechneten Ergebnisse auch anders interpretiert werden: demnach ermöglichen die ermittelten Nachfrageelastizitäten Aussagen, inwiefern betriebspezifische Präferenzunterschiede zur Anpassung bei veränderlichen Elektrizitätspreisen bestehen. Darüber hinaus konnte mit der vorliegenden empirischen Analyse ein weiteres Ziel verfolgt werden: vor dem Hintergrund einer Existenz sehr unterschiedlicher betrieblicher Statistiken in Deutschland erlaubte die Untersu-

chung zusätzlich Rückschlüsse darüber, inwiefern derzeit verfügbare amtliche Firmendaten für eine differenzierte Politikgestaltung geeignet sind.

Methodisch erfolgten hierzu gruppenspezifische Unterteilungen – etwa hinsichtlich der Umsatzgrößenklasse oder der Energieintensität – sowie eine Bildung logarithmierter Interaktionsterme zwischen firmenspezifischen Strompreisen und jeweils im Vordergrund stehenden Einflussdeterminanten. Unter Konstanz der jeweils übrigen Erklärungsvariablen führt dies *ceteris paribus* zu Aussagen über eine Anpassungsbereitschaft des Elektrizitätskonsums in Abhängigkeit einzelner Firmencharakteristika. Darüber hinaus können besondere Ereignisse, wie etwa die Einführung der Stromsteuer im Jahr 1999 durch Einfügung von Jahresdummies kontrolliert werden.

Es erfolgte eine Anwendung unterschiedlicher Schätzungen auf Grundlage von *FE*-, *RE*- und *System GMM-Verfahren* sowie auf Basis von *Instrumentenvariablen*. Letzteres Schätzverfahren wurde zur Modellierung modellendogener Strompreise verwendet. Im Ergebnis unterstützen überwiegend statistisch signifikante Schätzkoeffizienten die zuvor auf Basis eines metaanalytischen Literatursurveys ermittelten Zusammenhänge zwischen betrieblichen Einflussdeterminanten und Anpassungsreaktionen an veränderliche Strompreise. Demzufolge liegen im Falle betrieblicher Energieintensitäten die deutlichsten Wirkungszusammenhänge vor, gefolgt von der Beschäftigtenanzahl sowie der Umsatzgröße. Schließlich deuten die Berechnungsergebnisse darauf hin, dass eine Branchenunterscheidung auf Grundlage der Zweisteller-Ebene der WZ 2003 keinen weiteren Erklärungsgehalt beinhaltet, sofern die übrigen, im Kontext der amtlichen Firmendaten vorhandenen, Firmencharakteristika einbezogen werden.

Einschränkend ist darauf hinzuweisen, dass die vorliegend ermittelten Nachfrageelastizitäten im Vergleich zu einer nach ökonomischer Intuition zu erwartenden Größenordnungen deutlich höhere Werte aufweisen. Dies lässt sich auf drei mögliche Ursachen zurückführen. *Erstens* kann dies grundsätzlich an fehlerhaften Modellspezifikationen liegen. *Zweitens* können Inkonsistenzen im vorliegend verwendeten AFiD-Datensatz – etwa aufgrund einer komplexen Zusammenführung unterschiedlicher amtlicher Statistiken – zu Verzerrungen führen. *Drittens* könnten die hier berechneten Reagibilitäten im Vergleich zur vorangegangenen Forschung ein genaueres Bild der Realität zeichnen – in diesem Fall wurden Elastizitäten bislang unterschätzt.

Eine Auswertung aller verfügbaren Informationen legt im vorliegenden Fall die Schlussfolgerung nahe, dass die ermittelten Schätzgleichungen zur empirischen Bestimmung der Nachfragefunktionen grundsätzlich geeignet sind, die berechneten Werte jedoch einen leichten Bias aufweisen und daher als Obergrenze zu verorten sind. Aufgrund einer hohen Konsistenz der Schätzergebnisse über verschiedenen Schätzverfahren hinweg, können demgegenüber *relative Unterschiede* hinsichtlich betrieblicher Anpassungsreakibilitäten zur Skizzierung eines validen Bildes der Wirkungszusammenhänge herangezogen werden.

Im *fünften Kapitel* wurden die vorangehend gewonnenen Erkenntnisse für eine Wirkungsabschätzung der aktuellen Politikgestaltung herangezogen. Dazu wurde zunächst herausgearbeitet, unter welchen methodischen Prämissen von Nachfrageelastizitäten auf betriebliche Grenzvermeidungskosten geschlossen werden kann. Unter Berücksichtigung isoelastischer Kostenfunktionen ermöglichte dies ferner einen Vergleich betrieblicher Vermeidungskosten unterschiedlicher gesamtwirtschaftlicher Einsparstrategien für Elektrizität.

Eine Wirkungsabschätzung des derzeitigen politischen Regulierungsrahmens erfolgte insbesondere mit einem Fokus auf das gegenwärtige deutsche Stromsteuerrecht, da die gesetzgeberische Intention einer direkt am Preis ansetzenden Mengensteuer – zumindest partiell – explizit in einer Lenkungsabsicht des betrieblichen Elektrizitätskonsums liegt. Ergänzend dazu wurden weitere relevante Regelungen mit direkten oder indirekten Anreizwirkungen auf den betrieblichen Elektrizitätskonsum untersucht. Die untersuchungsleitende Frage lautete, wie die gegenwärtige Politikgestaltung zur Regulierung des betrieblichen Elektrizitätskonsums in Abhängigkeit innerbetrieblicher Anpassungshemmnisse auf Basis der zuvor gewonnenen Erkenntnisse zu beurteilen ist.

Grundsätzlich sind im deutschen StromStG Steuererleichterungen für das Verarbeitende Gewerbe nach Maßgabe von zwei Bemessungsgrundlagen vorgesehen: zum einen wird der jährliche Stromkonsum für eine Steuerbemessung herangezogen und zum anderen richten sich Ausnahmen vom steuerlichen Regelsatz nach der Höhe der gezahlten Arbeitgeberbeiträge zur gesetzlichen Rentenversicherung. Aus umweltökonomisch-instrumenteller Perspektive lässt sich diese steuerliche Ausgestaltung als eine Art Standard-Preis-Ansatz mit Tariffdifferenzierung charakterisieren, wonach energieintensive Betriebe im Vergleich zu weniger energieintensiven Betrieben in den Genuss geringerer Steuersätze kommen sowie zudem Betriebe mit einer geringeren Beschäftigtenzahl

tendenziell ebenfalls geringer besteuert werden. Vor dem Hintergrund der empirischen Schätzergebnisse läuft eine Tariffdifferenzierung mit Bezug zu betrieblichen Energieintensitäten konträr zur politisch intendierten Lenkungsabsicht. Die zuvor dargelegten Ergebnisse deuten vielmehr darauf hin, dass gerade bei energieintensiven Betrieben eine relativ höhere Anpassungsbereitschaft an veränderliche Strompreise vorliegt – oder anders formuliert: aus der Perspektive betrieblicher Grenzvermeidungskostenverläufe sind die derzeitigen Ausnahmetatbestände für energieintensive Betriebe vom Regelsteuersatz nicht gerechtfertigt.

Demgegenüber sieht die Tariffdifferenzierung im Zuge des Spitzenausgleichs vor, dass die steuerliche Belastung mit abnehmender Beschäftigtenzahl sowie bei konstantem Elektrizitätskonsum sinkt. Mit Blick auf die Berechnungsergebnisse liegt die Schlussfolgerung nahe, dass Anpassungsbereitschaften des Quartils der Betriebe mit geringen Beschäftigtenzahlen im Vergleich zu darüber liegenden Gruppen relativ geringer ausgeprägt sind – und daher im Falle kleiner Betriebe geringere Anreizwirkungen zur Anpassung des Elektrizitätskonsums erzielt werden können. Eine mit Beginn des Jahres 2013 eingeführte Kopplung vergünstigter Steuersätze an Nachweise zur Einführung von Energiemanagementsystemen ist – dies lassen die Schlussfolgerungen des metaanalytischen Literatursurveys über innerbetriebliche Anpassungsvorgänge zu – grundsätzlich positiv zu bewerten.

Schließlich sehen Ausnahmeregelungen im Rahmen der EEG- und KWK-Umlagen Ermäßigungen vor, die sich nach Relationen zwischen betrieblichen Stromkosten und Bruttowertschöpfung bzw. zwischen Stromkosten und Umsätzen bemessen. Dies führt dazu, dass mit Abnahme der Betriebsgröße – in Form von Absatzproduktionswert oder Umsatzgröße – vergünstigte Umlagetarife gewährt werden. Aus Sicht der empirischen Ergebnisse erhalten damit Betriebe mit tendenziell weniger flexiblen Anpassungspfaden eher Vergünstigungen.

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich im Hinblick auf eine zukünftige Politikgestaltung heranziehen. Liegen staatliche Intentionen in der Erreichung bestimmter umweltpolitischer Ziele durch Regulierung des betrieblichen Elektrizitätskonsums, könnte ein Weg darin liegen, bereits eingeführte ordnungspolitische Instrumente – wie etwa verbindliche Energiemanagementnormen – zukünftig gezielt auf Unternehmensgruppen mit relativ geringeren Anpassungspräferenzen abzustimmen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit einer empirischen Schätzung betrieblicher Nachfragefunktionen nach Elektrizität sowie insbesondere mit der Frage, inwiefern Ursachen möglicher Anpassungshemmnisse an veränderliche Elektrizitätspreise methodisch erfasst werden können. Die auf dieser Basis ermittelten Nachfrageelastizitäten sind punktueller Natur, sie bilden also jeweils einen Teil der Nachfragefunktionen ab. Im vorliegenden Falle erlaubt dies annahmegemäß Rückschlüsse zu erwartender Nachfragereaktionen. Zukünftiger Forschungsbedarf kann insbesondere darin bestehen, ein Bild über den vollständigen Verlauf betrieblicher Nachfragekurven zu erhalten. Darüber hinaus können die hier ermittelten Ergebnisse als Ausgangspunkt für eine Abschätzung dienen, inwiefern mit Stromsteuerreformen bestimmte Treibhausgasvermeidungen einhergehen. Hierzu sind weitere Untersuchungen über betriebliche Substitutionsbeziehungen unterschiedlicher Energieträger sowie der mit einem gegebenen Energiemix verbundenen Treibhausgasemissionen notwendig.

## Literatur

- Agnolucci, P. (2009): "The energy demand in the British and German industrial sectors: Heterogeneity and common factors." *Energy Economics* **31**: 175-187.
- Arellano, M. und Bond, S. (1991): "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations." *Review of Economic Studies* **58**(2): 277-297.
- Arellano, M. und Bover, O. (1995): "Another look at the instrumental variable estimation of error-components models." *Journal of Econometrics* **68**(1): 29-51.
- Bailey, O. und Worell, E. (2005): *Clean Energy Technologies: A Preliminary Inventory of the Potential for Electricity Generation*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Benneer, L. S. und Stavins, R. N. (2007): "Second-best theory and the use of multiple policy instruments." *Environmental and Resource Economics* **37**(1): 111-129.
- Berndt, E. R. und Wood, D. O. (1975): "Technology, prices, and the derived demand for energy." *Review of Economics and Statistics* **57**(3): 259-268.
- Bertenrath, R. (2008): *Finanzwissenschaftliche Aspekte der Weiterentwicklung des CO<sub>2</sub>-Emissionshandels am Beispiel Deutschlands*. Dissertation. Köln.
- Bjorner, T. B. und Jensen, H. H. (2002): "Energy taxes, voluntary agreements and investment subsidies - a micro-panel analysis of the effect on Danish industrial companies' energy demand." *Resource and Energy Economics* **24**: 229-249.
- Bjorner, T. B., Togeby, M. und Jensen, H. H. (2001): "Industrial companies' demand for electricity: evidence from a micropanel." *Energy Economics* **23**: 595-617.
- Blundell, R. und Bond, S. (1998): "Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models." *Journal of Econometrics* **87**(1): 115-143.
- Bond, S. (2002): *Dynamic Panel Data Models: A Guide to Micro Data Methods and Practice*. The Institute for Fiscal Studies, Department of Economics, UCL. cemmap working paper CWP09/02.
- Brown, M. A. (2001): "Market failures and barriers as a basis for clean energy policies." *Energy Policy* **29**: 1197-1207.
- Brümmerhoff, D. (2007): *Finanzwissenschaft*. München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Bundesministerium der Finanzen (2012): *Dreiundzwanzigster Subventionsbericht. Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Finanzhilfen des Bundes und der Steuervergünstigungen für die Jahre 2009 - 2012*. (23. Subventionsbericht).
- Bundesministerium für Umwelt; Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011): *Informationen zur Anwendung von § 40 ff. EEG (Besondere Ausgleichsregelung) für das Jahr*

2011 einschl. erster Ausblick auf 2012. Referat KI III 1 „Allgemeine und grundsätzliche Angelegenheiten der Erneuerbaren Energien“ Stand: 15. Oktober 2011."

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2012): Zahlen und Fakten. Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September 2010.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): Energiewende auf gutem Weg. Zwischenbilanz und Ausblick.

Bundesregierung (2011): Eckpunkte Energieeffizienz.

Bundesverfassungsgericht (2004): Zum Urteil des Ersten Senats vom 20.4.2004 – 1 BvR 1748/99 vom 20.4.2004, Absatz-Nr. (1 - 87).

Casler, S. D. (1997): "Applied production theory: explicit, flexible, and general functional forms." *Applied Economics* **29**(11): 1483-1492.

Chang, Y. und Martinez-Chombo, E. (2003): Electricity Demand Analysis Using Cointegration and Error-Correction Models with Time Varying Parameters: The Mexican Case. Working paper, Department of Economics, Rice University, USA.

Chetty, R. (2012): "Bounds on Elasticities With Optimization Frictions: A Synthesis of Micro and Macro Evidence on Labor Supply." *Econometrica* **80**(3): 969-1018.

Cooper, H. und Hedges, L. V., (Hrsg.) (1994): *The Handbook of Research Synthesis*. New York.

Dahl, C. und Erdogan, M. (2000): "Energy and interfactor substitution in Turkey." *OPEC Review* **24**(1): 1-22.

de Beer, J., Phylipsen, D. und Bates, J. (2001): Economic Evaluation of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emission Reductions in Industry in the EU. European Commission, DG Environment, Brussels.

de Groot, H. L. F., Verhoef, E. T. und Nijkamp, P. (2001): "Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies." *Energy Economics* **23**: 717-740.

Deutscher Bundestag (1998): Entwurf eines Gesetzes zum Einstieg in die ökologische Steuerreform. Drucksache 14/40.

Diekmann, J., Eichhammer, W., et al. (1999): Energie-Effizienz-Indikatoren: statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis. Heidelberg, Physica-Verlag.

Dimitropoulos, J., Hunt, L. C. und Judge, G. (2004): Estimating Underlying Energy Demand Trends using UK Annual Data. Surrey Energy Economics Discussion paper Series 108.

Dobroschke, S. (2012): Energieeffizienzpotenziale und staatlicher Lenkungsbedarf. FiFo Discussion Paper No. 12-1.

Endres, A. (2007): Umweltökonomie. 3. Auflage. Stuttgart, Verlag W. Kohlhammer.

Endres, A. und Martiensen, J. (2007): Mikroökonomik. Eine integrierte Darstellung traditioneller und moderner Konzepte in Theorie und Praxis. Stuttgart, Kohlhammer.

Energy Information Administration (EIA) (1995): Measuring Energy Efficiency in the United States' Economy: A Beginning. Washington, DC.

Erdmann, G. und Zweifel, P. (2008): Energieökonomik. Berlin und Heidelberg, Springer.

Europäische Kommission (2011): Energieeffizienzplan 2011 vom 8.3.2011.

Eurostat (2012): Industriestrompreise in Deutschland. Datenbank über Umwelt und Energie. eep.eurostat.ec.europa.eu.

Farla, J. und Blok, K. (1997): Monitoring of Sectoral Energy Efficiency Improvements in the Netherlands, 1980-1994. Dept. of Science, Technology and Society, Utrecht, pp. 85 (No. 97024).

FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2010): Metadaten AFiD-Panel Industriebetriebe.

FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011): AFiD-Modul Energieverwendung Metadaten für die On-Site-Nutzung.

FDZ der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2011): Amtliche Firmendaten in Deutschland (AFiD), Erhebungsjahre 1995 - 2009.

Feess, E. (2007): Umweltökonomie und Umweltpolitik. 3. Auflage. München, Verlag Vahlen.

Fraunhofer ISI und Efe Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (2003): Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken in den Bereichen Industrie und Kleinverbrauch. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. FKZ 201 41 136. Karlsruhe und München.

Frontier Economics und EWI (2010): Energiekosten in Deutschland - Entwicklungen, Ursachen und internationaler Vergleich (Projekt 43/09). Endbericht für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. August 2010.

Greene, W. H. (2012): Econometric Analysis, Seventh Edition. Harlow, Pearson Education Limited.

Greening, L. A., Boyd, G. und Roop, J. M. (2007): "Modeling of industrial energy consumption: An introduction and context." Energy Economics **29**: 599-608.

Griffin, J. M. und Schulman, C. T. (2005): "Price Asymmetry In Energy Demand Models: A Proxy for Energy-Saving Technical Change?" The Energy Journal **26**(2): 1-21.

Heeres, R. R., Vermeulen, W. J. V. und de Walle, F. B. (2004): "Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons." *Journal of Cleaner Production* **12**(8-10): 985-995.

Homburg, S. (2007): *Allgemeine Steuerlehre*. München, Verlag Franz Vahlen GmbH.

Hunt, L. C., Judge, G. und Ninomiya, Y. (2003): "Underlying trends and seasonality in UK energy demand: a sectoral analysis." *Energy Economics* **25**: 93-118.

ifeu, Fraunhofer ISI, gws und prognos (2009): *Klimaschutz, Energieeffizienz und Beschäftigung. Potenziale und volkswirtschaftliche Effekte einer ambitionierten Energieeffizienzstrategie für Deutschland. Bericht im Rahmen des Forschungsvorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, öko-logischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“*.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1990): *IPCC First Assessment Report*.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1995): *IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995*.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001): *IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001*.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*.

International Energy Agency (1997): *Indicators of energy use and efficiency: understanding the link between energy and human activity*, OECD/IEA.

Irrek, W. und Kristof, K. (2008): *Ressourceneffizienz: Warum sie verdient, viel schneller umgesetzt zu werden*. Wuppertal Papers Nr. 176.

Jaeckel, G., Jochem, E., et al. (1990): *Systematische Analyse der Komponenten zur Energieintensität und -effizienz in der Bundesrepublik Deutschland 1970 bis 1987*. 1. Arbeitspaket. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung -ISI- in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin und der ENERWA Beratungsgesellschaft mbH Köln. Karlsruhe.

Jaffe, A. B. und Stavins, R. N. (1994): "The energy-efficiency gap. What does it mean?" *Energy Policy* **22**(10): 804-810.

Jones, C. T. (1996): "A pooled dynamic analysis of interfuel substitution in industrial energy demand by the G-7 countries." *Applied Economics* **28**(7): 815-821.

Kamerschen, D. R. und Porter, D. V. (2004): "The demand for residential, industrial and total electricity, 1973–1998." *Energy Economics* **26**: 87-100.

KfW Bankengruppe (2005): *KfW-Befragung zu den Hemmnissen und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienz in Unternehmen*. Frankfurt am Main.

- Kim, Y. und Worell, E. (2002): "CO<sub>2</sub> Emission Trends in the Cement Industry: An International Comparison." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **7**(12): 115-133.
- Kirsch, G. (2004): *Neue Politische Ökonomie*. 5. Auflage. Stuttgart, Lucius & Lucius.
- Labandeira, X., Labeaga, J. M. und López-Otero, X. (2012): "Estimation of elasticity price of electricity with incomplete information." *Energy Economics* **34**(3).
- Lijesen, M. G. (2007): "The real-time price elasticity of electricity." *Energy Economics* **29**: 249-258.
- Lipsey, R. G. und Lancaster, K. (1956): "The General Theory of Second Best." *The Review of Economic Studies* **24**(1): 11-32.
- Medlock III, K. B. und Soligo, R. (2001): "Economic Development and End-Use Energy Demand." *The Energy Journal* **22**(2): 77-105.
- Mennel, T. und Sturm, B. (2008): *Energieeffizienz – eine neue Aufgabe für staatliche Regulierung?* ZEW Discussion Paper No 08-004.
- Metcalf, G. E. (2008): "An Empirical Analysis of Energy Intensity and Its Determinants an the State Level." *The Energy Journal* **29**(3): 1-26.
- Michaelis, P. (1996): *Ökonomische Instrumente in der Umweltpolitik*. Heidelberg, Physica-Verlag.
- Monopolkommission (2008): *Siebzehntes Hauptgutachten der Monopolkommission 2006/2007*. Deutscher Bundestag 16. Wahlperiode. Drucksache 16/10140.
- Morovic, T. (1989): *Energy conservation indicators II*  
Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag.
- Neubarth, J., Woll, O., Weber, C. und Gerecht, M. (2006): "Beeinflussung der Spotmarktpreise durch Windstromerzeugung." *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* **56**(7): 42-45.
- Nickell, S. (1981): "Biases in Dynamic Models with Fixed Effects." *Econometrica* **49**(6): 1417-1426.
- Ostertag, K. (2003): *No-regret Potentials in Energy Conservation. An Analysis of Their Relevance, Size and Determinants*. Heidelberg, Physica-Verlag.
- Ostertag, K., Jochem, E., et al. (2000): *Energiesparen - Klimaschutz, der sich rechnet. Ökonomische Argumente in der Klimapolitik*. Heidelberg, Physica-Verlag.
- Petrack, S., Rehdanz, K. und Wagner, U. (2011): *Energy Use Patterns in German Industry: Evidence from Plant-level Data*. *Jahrbücher f. Nationalökonomie u. Statistik*. Bd. (Vol.) 231/3.

Prognos (2007): Potenziale für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen. Endbericht 18/06 im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Basel und Berlin.

Prognos (2010): Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz und Energiedienstleistungen in KMU. Endbericht.

Ren, T., Patel, M. und Blok, K. (2006): "Olefins from conventional and heavy feedstocks: Energy use in steam cracking and alternative processes." *Energy* **31**(4).

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) (2010): Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie in Deutschland. Forschungsprojekt im Auftrag des Verbands der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK). Essen.

Roodman, D. (2009): "How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata." *The Stata Journal* **9**(1): 86 - 136.

Sardianou, E. (2008): "Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece." *Journal of Cleaner Production* **16**(13): 1416-1423.

Schaffer, M. E. (2010): xtivreg2: Stata module to perform extended IV/2SLS, GMM and AC/HAC, LIML and k-class regression for panel data models.

Schleich, J. (2009): "Barriers to energy efficiency: A comparison across the German commercial and services sector." *Ecological Economics* **68**(7): 2150-2159.

Schleich, J. und Gruber, E. (2008): "Beyond case studies: Barriers to energy efficiency in commerce and the services sector." *Energy Economics* **30**: 449-464.

Schmid, C., Brakhage, A., et al. (2003): Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken in den Bereichen Industrie und Kleinverbrauch. UFO-Plan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Förderkennzeichen 201 41136. Karlsruhe / München Fraunhofer ISI, FfE Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.

Schnell, R., Hill, P. B. und Esser, E. (2008): Methoden der empirischen Sozialforschung. 8. Auflage. München und Wien, Oldenbourg Verlag.

Schröter, M., Weißfloch, U. und Buschak, D. (2009): Energieeffizienz in der Produktion - Wunsch oder Wirklichkeit? Modernisierung der Produktion. Mitteilungen aus der ISI-Erhebung. Nr. 51; Karlsruhe.

Sensfuß, F., Ragwitz, M. und Genoese, M. (2007): The merit-order effect: a detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. Working paper sustainability and innovation, No. S7/2007.

Shephard, R. W. (1953): Cost and Production Functionis. Princeton.

Siebert, H. (2008): Economics of the Environment. Theory and Policy. Seventh Edition. Berlin, Heidelberg, Springer.

Sorrell, S., O'Malley, E., Schleich, J. und Scott, S. (2004): *The Economics of Energy Efficiency*, MPG Books Ltd.

Sorrell, S., Schleich, J., et al. (2000): *Reducing barriers to energy efficiency in private and public organisations*. Final Report SPRU, Sussex.

Statistisches Bundesamt (2006): *Übersicht über die Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige*. Ausgabe 2003.

Statistisches Bundesamt (2011): *"Kostenstrukturerhebung im Verarbeitenden Gewerbe, Bergbau."*

Statistisches Bundesamt (2012): *Verbraucherpreisindizes für Deutschland. Lange Reihen ab 1948*.

Sutherland, R. J. (1996): "The economics of energy conservation policy." *Energy Policy* **24**(4): 361-370.

Varian, H. R. (2007): *Grundzüge der Mikroökonomik*. München, Oldenbourg.

Wied-Nebbeling, S. (2009): *Preistheorie und Industrieökonomik*. Berlin, Springer.

Wooldridge, J. M. (2009): *Introductory Econometrics: A Modern Approach, Fourth Edition*, South-Western.

Wooldridge, J. M. (2010): *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Second Edition. Cambridge, Massachusetts and London, England, The MIT Press.

Worell, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L. und Harnisch, J. (2009): "Industrial energy efficiency and climate change mitigation." *Energy Efficiency* **2**(2): 109-123.

Worell, E., Martin, N., et al. (2002): *Emerging Energy-Efficient Technologies for Industry*. Lawrence Berkeley National Lab, Council for an Energy Efficient Economy.

Xenergy Inc. (2000): *Evaluation of the U.S. Department of Energy Motor Challenge Program*.

# Anhang

## Anhang zu Kapitel 4.5.2.2

Tabelle 1: Ausgewählte FE-Modelle im Vergleich

	2003 - 2007				
	1. Modell	2. Modell	3. Modell	4. Modell	5. Modell
<i>Geschätzte Parameter</i>					
log (Stromkonsum t-1)	0,0546447 [0,0157497]	0,045631 [0,0157193]	0,0351491 [0,0154511]	0,0322354 [0,0157438]	0,024634 [0,0147674]
log (Elektr. Pr.)	-2,980413 [0,1065267]	-3,016062 [0,1067826]	-3,752665 [0,1222717]	-3,653194 [0,1240904]	-5,572870 [0,1635297]
Tätige Personen	-	0,0000499 [0,00001]	0,000027 [0,00000861]	0,0000259 [0,00000843]	0,0000409 [0,00000855]
log (APW)	-	0,3320487 [0,0140368]	0,1158005 [0,0165798]	0,1097976 [0,016697]	0,0850848 [0,0157885]
log(Umsatz)	-	-	0,1744111 [0,0174052]	0,1736375 [0,0179058]	0,0972152 [0,0169813]
Investitionsquote	-	-	-	0,0119651 [0,0166993]	0,0202846 [0,0147789]
Energieintensität	-	-	-	0,000000073 [0,0000000357]	0,000000068 [0,0000000282]
Produktionsintensität	-	-	0,0161034 [0,0005291]	0,0158718 [0,0005342]	-0,0048317 [0,0004402]
<i>Jahresdummies</i>	-	-	-	-	Ja
<i>WZ-Durchschnitte (BL-Dummies)</i>	-	-	Ja	Ja	Ja
$R^2$ (within)	0,1232	0,1385	0,1753	0,1717	0,2593
Observationen	158.334	158.334	158.334	153.460	153.460
Cluster	45.080	45.080	45.080	43.721	43.721

## Anhang zu Kapitel 4.5.2.3

Tabelle 2: Ausgewählte GMM-Modelle im Vergleich

	2003 - 2007				
	1. Modell	2. Modell	3. Modell	4. Modell	5. Modell
<i>Geschätzte Parameter</i>					
log (Stromkonsum t-1)	1,017484 [0,004254]	1,027582 [0,0046023]	1,066414 [0,008663]	1,074773 [0,0087429]	0,594440 [0,0359611]
log (Elektr. Pr.)	-0,4285301 [0,0348501]	-0,4389092 [0,0350726]	-0,5102703 [0,0545168]	-0,4354663 [0,0532863]	-3,6477510 [0,2263778]
Tätige Personen	-	-0,0000195 [0,00000134]	-0,0000081 [0,00000109]	-0,0000074 [0,00000111]	0,0000105 [0,00000213]
log (APW)	-	-	-0,0470766 [0,0074984]	-0,0521051 [0,0073686]	0,0217480 [0,0092341]
log(Umsatz)	-	-	-0,0510318 [0,0077784]	-0,0512355 [0,0079059]	-0,0215942 [0,0092979]
Investitionsquote	-	-	-	-0,0297768 [0,0155095]	0,0217148 [0,0193904]
Energieintensität	-	-	-	-0,0000000297 [0,0000000497]	0,0000000233 [0,0000000365]
Produktionsintensität	-	-	0,0007887 [0,0003749]	0,000530 [0,0003708]	-0,0035140 [0,000466]
<i>Jahresdummies</i>	-	-	-	-	Ja
<i>WZ-Durchschnitte (BL-Dummies)</i>	-	Ja	Ja	Ja	Ja
<i>Observationen</i>	158.334	158.334	158.334	153.460	153.460
<i>Cluster</i>	45.080	45.080	45.080	43.721	43.721

## Anhang zu Kapitel 4.5.3.1

Tabelle 3: Einfluss des Absatzproduktionswertes (dynamisches FE-Modell) 1995 - 2002

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,3984597	0,0112357
Tätige Personen	0,0000255	0,00000272
log (Umsatz)	0,1314726	0,0066094
Produktionsindex	-0,0001174	0,0002184
Energieintensität	0,00000233	0,0000013
Investitionsquote	0,0237478	0,0092652
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-2,413036</b>	<b>0,0634076</b>
Textil- und Bekleidungsgewerbe	0,204231	0,0400422
Ledergewerbe	0,1641702	0,0556855
Holzwirtschaft (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1557904	0,0413716
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,1999859	0,0420058
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,1498041	0,0429621
Chemischen Erzeugnissen	0,1158038	0,0380373
Gummi- und Kunststoffwaren	0,1328989	0,0404827
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	0,1863445	0,0425153
Metalle, Metallerzeugnisse	0,1427198	0,0387429
Maschinenbau	0,1438472	0,0392018
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,1440885	0,0405404
Fahrzeugbau	0,1365928	0,0423027
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	0,1669381	0,0389523
<i>Größenklasse Absatzproduktionswert</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	-0,0190718	0,0029331
Hoch	-0,0321355	0,0042089
Sehr hoch	-0,0427	0,0054699
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,4243	

Tabelle 4: Einfluss der Beschäftigten (dynamisches FE-Modell) 1995 - 2002

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,3969977	0,0112633
log (Absatzproduktionswert)	0,0446629	0,0083314
log (Umsatz)	0,1051791	0,0082832
Produktionsindex	-0,0002601	0,0002178
Energieintensität	0,00000255	0,00000144
Investitionsquote	0,0213376	0,0090934
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-2,383058</b>	<b>0,0634934</b>
Textil- und Bekleidungsgewerbe	0,2046517	0,0401117
Ledergewerbe	0,1610996	0,0555377
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1530151	0,0414358
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,2006987	0,0419811
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,1452287	0,0432923
Chemischen Erzeugnissen	0,1159602	0,0380513
Gummi- und Kunststoffwaren	0,1336467	0,0405316
Glasg. Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	0,1825844	0,0425741
Metalle, Metallergzeugnisse	0,1419929	0,0387529
Maschinenbau	0,1442588	0,0392181
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,1415851	0,0405694
Fahrzeugbau	0,1344195	0,0423199
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	0,1655378	0,0389902
<i>Größenklasse Beschäftigte</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	-0,0273813	0,0027823
Hoch	-0,0567127	0,0038248
Sehr hoch	-0,084799	0,0049644
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,4253	

Tabelle 5: Einfluss der Investitionsquote (dynamisches FE-Modell) 1995 - 2002

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,3986891	0,0112426
Tätige Personen	0,0000232	0,00000266
log (Absatzproduktionswert)	0,0479888	0,0083458
log (Umsatz)	0,1123331	0,0082287
Produktionsindex	-0,0002039	0,0002182
Energieintensität	0,00000265	0,00000148
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-2,425849</b>	<b>0,0638104</b>
Textil- und Bekleidungsgerwerbe	0,2027993	0,0401585
Ledergewerbe	0,1614891	0,0556666
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1563922	0,0414325
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,1993296	0,0420252
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,1471362	0,0432633
Chemischen Erzeugnissen	0,1148413	0,0380974
Gummi- und Kunststoffwaren	0,1321339	0,0405254
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	0,1864132	0,0425826
Metalle, Metallerzeugnisse	0,1425864	0,0387657
Maschinenbau	0,143807	0,03923
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,1434876	0,0405755
Fahrzeugaubau	0,1369138	0,0423268
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	0,1664333	0,0389864
<i>Größenklasse Investitionsquote</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	-0,004851	0,0012121
Hoch	-0,0072108	0,0012441
Sehr hoch	-0,0116706	0,0013213
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,4245	

Tabelle 6: Einfluss der Energieintensität (dynamisches FE-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,0193041	0,0144125
Tätige Personen	0,0000267	0,00000774
log (APW)	0,2984328	0,018376
log(Umsatz)	0,0866236	0,0166787
Produktionsindex	-0,0041181	0,0004609
Investitionsquote	0,0316165	0,0157349
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-4,630852</b>	<b>0,1912303</b>
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,1560389	0,2240466
Ledergewerbe	-0,0971891	0,1896858
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,066957	0,2065095
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,2496205	0,2142169
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,3017445	0,3243207
Chemischen Erzeugnissen	-0,429753	0,2015398
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0767923	0,1808375
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0603887	0,2287812
Metalle, Metallergzeugnisse	-0,0728452	0,1809537
Maschinenbau	-0,1253689	0,184531
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,2322937	0,1932561
Fahrzeugbau	-0,0545455	0,1902282
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-0,0717821	0,1970681
<i>Energieintensität</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	-0,2597056	0,0107985
Hoch	-0,3902887	0,0152384
Sehr hoch	-0,5078928	0,0199434
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	153.460	
<i>Cluster</i>	43.721	
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,2939	

Tabelle 7: Einfluss des Absatzproduktionswertes (dynamisches FE-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,0245858	0,0147602
Tätige Personen	0,0000431	0,00000861
log (Umsatz)	0,1681972	0,013891
Produktionsindex	-0,0046491	0,0004771
Energieintensität	6,58E-08	2,72E-08
Investitionsquote	0,0250521	0,014954
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-5,525446</b>	<b>0,2133599</b>
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,1693912	0,2343273
Ledergewerbe	-0,0476457	0,1932761
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1092815	0,2148543
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,2124855	0,2215892
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,2969688	0,3425278
Chemischen Erzeugnissen	-0,3906283	0,2057665
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0406419	0,1885072
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0495807	0,238426
Metalle, Metallergzeugnisse	-0,0119306	0,1885894
Maschinenbau	-0,0582735	0,1922685
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,1586079	0,2007643
Fahrzeugbau	-0,0023083	0,1982874
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	0,0003473	0,203342
<i>Größenklasse Absatzproduktionswert</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	0,0169834	0,0062381
Hoch	0,0317992	0,0081887
Sehr hoch	0,0162252	0,0113363
<i>Jahresdummies</i>		
	Ja	
<i>Observationen</i>	153.460	
<i>Cluster</i>	43.721	
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,2595	

Tabelle 8: Einfluss des Umsatzes (dynamisches FE-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,0249839	0,0147553
Tätige Personen	0,0000443	0,00000856
log (APW)	0,1482378	0,0125805
Produktionsindex	-0,0046128	0,0004773
Energieintensität	6,97E-08	2,84E-08
Investitionsquote	0,0050557	0,0135509
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-5,527772</b>	<b>0,2130603</b>
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,1395677	0,2342441
Ledergewerbe	-0,0212535	0,1939754
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1258677	0,2148405
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,2044514	0,2214698
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,3049325	0,3460409
Chemischen Erzeugnissen	-0,3777139	0,2052697
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0317297	0,1884231
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0435006	0,2384696
Metalle, Metallerzeugnisse	-0,0060545	0,1885107
Maschinenbau	-0,0512447	0,1922045
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,1490435	0,2007079
Fahrzeugbau	0,0062923	0,1983982
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	0,0013285	0,2031049
<i>Größenklasse Umsatz</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	0,0177325	0,0060143
Hoch	0,026157	0,0082205
Sehr hoch	0,0015117	0,0110976
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	153.460	
<i>Cluster</i>	43.721	
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,2595	

Tabelle 9: Einfluss der Beschäftigten (dynamisches FE-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,024914	0,0147551
log (Absatzproduktionswert)	0,0891608	0,0158408
log (Umsatz)	0,1043161	0,0168039
Produktionsindex	-0,0046567	0,0004776
Energieintensität	0,000000068	2,84E-08
Investitionsquote	0,0220353	0,0148942
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-5,500518</b>	<b>0,2140962</b>
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,1541665	0,2342811
Ledergewerbe	-0,0384713	0,1949291
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1194846	0,2149931
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,2068461	0,2216155
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,2900096	0,3429021
Chemischen Erzeugnissen	-0,384188	0,2055035
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0348107	0,1884553
Glasg. Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0426336	0,2383107
Metalle, Metallergzeugnisse	-0,0104877	0,1885674
Maschinenbau	-0,0546389	0,1922081
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,1548659	0,2007292
Fahrzeugbau	-0,0012041	0,1982836
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-0,0008108	0,2033886
<i>Größenklasse Beschäftigte</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	0,0040919	0,0052655
Hoch	-0,0004041	0,0081625
Sehr hoch	-0,015627	0,0130078
<i>Jahresdummies</i>		
	Ja	
<i>Observationen</i>		153.460
<i>Cluster</i>		43.721
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>		0,2595

Tabelle 10: Einfluss der Investitionsquote (dynamisches FE-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,0242913	0,0147714
Tätige Personen	0,0000409	0,00000851
log (Absatzproduktionswert)	0,0844872	0,0157851
log (Umsatz)	0,0940248	0,0168445
Produktionsindex	-0,0046803	0,0004772
Energieintensität	6,82E-08	2,83E-08
<i>Wirtschaftszweige</i>		
<b>Ernährung, Tabak</b>	<b>-5,505788</b>	<b>0,2130042</b>
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,1468958	0,2342558
Ledergewerbe	-0,0243327	0,1937592
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	0,1242509	0,2148231
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,2006357	0,221671
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,300904	0,3418917
Chemischen Erzeugnissen	-0,381083	0,2057068
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0307613	0,1885389
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0402836	0,2383597
Metalle, Metallergzeugnisse	-0,0065727	0,1886417
Maschinenbau	-0,0512551	0,1923048
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,1485103	0,2007361
Fahrzeugbau	0,0046981	0,1985272
Sonstige Erzeugnisse; Recycling	0,0048577	0,2032298
<i>Größenklasse Investitionsquote</i>		
<b>Sehr niedrig</b>	<b>0 (base case)</b>	
Niedrig	-0,0010817	0,0023671
Hoch	-0,0018223	0,0027647
Sehr hoch	0,005754	0,0029816
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	153.460	
<i>Cluster</i>	43.721	
<i>R<sup>2</sup> (within)</i>	0,2598	

## Anhang zu Kapitel 4.5.3.2

Tabelle 11: Einfluss der Energieintensität (dynamisches System GMM-Modell) 1995 - 2002

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,6215529	0,0209075
Tätige Personen	0,00000113	0,000000457
log (APW)	0,0838005	0,0070459
log(Umsatz)	0,0260782	0,0046939
Produktionsindex	0,0003265	0,0001607
Investitionsquote	0,0713266	0,012916
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	0,006222	0,002103
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0142058	0,0023849
Ledergewerbe	0,0217805	0,0050495
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0227777	0,0032336
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0055934	0,0023231
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,0051066	0,0066612
Chemischen Erzeugnissen	0,0005401	0,0026399
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0025983	0,0023028
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0075393	0,0025471
Metalle, Metallerzeugnisse	0,006494	0,0020631
Maschinenbau	0,0203874	0,0027147
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0203683	0,003363
Fahrzeugbau	0,0005947	0,0036438
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,142941</b>	<b>0,0971932</b>
<i>Energieintensität</i>		
Sehr niedrig	0,1613923	0,0108019
Niedrig	0,0576829	0,0053855
Hoch	0,0282396	0,0030475
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 12: Einfluss des Absatzproduktionswertes (dynamisches System GMM-Modell) 1995 - 2002

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,6781531	0,0158786
Tätige Personen	0,00000205	0,000000454
log (Umsatz)	0,0510747	0,0045399
Produktionsindex	0,0002568	0,0001614
Investitionsquote	0,0692118	0,0128134
Energieintensität	0,0000016	0,000000199
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0186994	0,0021833
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0002173	0,0024533
Ledergewerbe	0,0162027	0,0049377
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,010109	0,0028311
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0016338	0,0023092
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0194402	0,0073332
Chemischen Erzeugnissen	-0,013174	0,0026181
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0086836	0,0024648
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0097649	0,0026896
Metalle, Metallergzeugnisse	-0,0039577	0,0019855
Maschinenbau	0,0133498	0,0023819
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0217137	0,003216
Fahrzeugbau	-0,0093332	0,0035562
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,138807</b>	<b>0,089972</b>
<i>Größenklasse Absatzproduktionswert</i>		
Sehr niedrig	-0,0089671	0,0034302
Niedrig	-0,0292226	0,0025814
Hoch	-0,0198688	0,0017581
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 13: Einfluss des Umsatzes (dynamisches System GMM-Modell) 1995 - 2002

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,6825849	0,0155398
Tätige Personen	0,00000279	0,000000512
log (APW)	0,047827	0,0041002
Produktionsindex	0,0002549	0,0001615
Investitionsquote	0,0597238	0,0124776
Energieintensität	0,00000193	0,000000264
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0200411	0,002215
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,0043862	0,0025713
Ledergewerbe	0,0105611	0,004976
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0103825	0,0028373
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0033022	0,0023081
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0192962	0,0073398
Chemischen Erzeugnissen	-0,0144803	0,0026386
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0076281	0,0024413
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0099291	0,0026893
Metalle, Metallerzeugnisse	-0,0030391	0,0019813
Maschinenbau	0,0135482	0,0023887
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0206175	0,00317
Fahrzeugbau	-0,0089306	0,0035599
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling (base case)</b>	<b>-2,114308</b>	<b>0,0885144</b>
<i>Größenklasse Umsatz</i>		
Sehr niedrig	-0,0083875	0,0032977
Niedrig	-0,0295087	0,0023796
Hoch	-0,0177826	0,0016039
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 14: Einfluss der Beschäftigten (dynamisches System GMM-Modell) 1995 - 2002

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,6767829	0,0161785
log (Absatzproduktionswert)	0,0223961	0,0040697
log (Umsatz)	0,0263357	0,0045015
Produktionsindex	0,0002193	0,0001617
Investitionsquote	0,0672937	0,0127946
Energieintensität	0,00000184	0,000000243
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0171826	0,0022291
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,0009732	0,0025046
Ledergewerbe	0,0149861	0,0050389
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0111597	0,0029076
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0024248	0,0023047
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0136363	0,007524
Chemischen Erzeugnissen	-0,0122309	0,0026542
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0088666	0,0025052
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0141905	0,0028877
Metalle, Metallerzeugnisse	-0,0041583	0,0019851
Maschinenbau	0,0134528	0,0023795
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0219032	0,0031976
Fahrzeugbau	-0,0105389	0,0035584
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,140814</b>	<b>0,0912558</b>
<i>Größenklasse Beschäftigte</i>		
Sehr niedrig	0,0104644	0,0029
Niedrig	-0,0161056	0,0020617
Hoch	-0,0176601	0,0015058
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 15: Einfluss der Investitionsquote (dynamisches System GMM-Modell) 1995 - 2002

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,6849217	0,0155113
Beschäftigte	0,000000974	0,000000423
log (Absatzproduktionswert)	0,0200665	0,0040642
log (Umsatz)	0,0256223	0,0045012
Produktionsindex	0,0002172	0,0001612
Energieintensität	0,00000185	0,000000261
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0163056	0,0021609
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,0018316	0,0025049
Ledergewerbe	0,0135078	0,0049286
Holzwirtschaft (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0113387	0,0028361
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0031974	0,0023079
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Bruttstoffe	-0,0138728	0,0070954
Chemischen Erzeugnissen	-0,0107039	0,0026037
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0077183	0,0024317
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0106371	0,0026888
Metalle, Metallergzeugnisse	-0,0029722	0,0019799
Maschinenbau	0,0145154	0,0024073
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0238689	0,0032337
Fahrzeugbau	-0,0079784	0,0035623
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,091747</b>	<b>0,0875547</b>
<i>Größenklasse Investitionsquote</i>		
Sehr niedrig	0,0260312	0,0014088
Niedrig	0,016474	0,0012189
Hoch	0,0095866	0,0010195
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 16: Einfluss der Energieintensität (dynamisches System GMM-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,4866049	0,0391059
Tätige Personen	0,00000875	0,00000171
log (APW)	0,1472008	0,0183454
log(Umsatz)	-0,0197331	0,0088766
Produktionsindex	-0,0037637	0,0004878
Investitionsquote	0,0331664	0,0174868
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0105115	0,0066355
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0304475	0,0077121
Ledergewerbe	0,0077507	0,0150477
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0351816	0,0087301
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,026116	0,0071389
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0701013	0,0350447
Chemischen Erzeugnissen	-0,0547642	0,0089463
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0365861	0,0087132
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0167037	0,007538
Metalle, Metallerzeugnisse	-0,0501156	0,0073756
Maschinenbau	-0,049415	0,007626
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,1038002	0,0098666
Fahrzeugbau	-0,0656446	0,0100595
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-3,631652</b>	<b>0,1876836</b>
<i>Energieintensität</i>		
Sehr niedrig	0,2810394	0,0256964
Niedrig	0,1180867	0,0145788
Hoch	0,0635043	0,0077925
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	153.460	
<i>Cluster</i>	43.721	

Tabelle 17: Einfluss des Absatzproduktionswertes (dynamisches System GMM-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,5935652	0,0358591
Tätige Personen	0,00000814	0,0000021
log (Umsatz)	0,0206308	0,0121588
Produktionsindex	-0,003913	0,000499
Investitionsquote	0,0254749	0,0204281
Energieintensität	2,17E-08	3,41E-08
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0354676	0,0080283
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0218624	0,0080933
Ledergewerbe	0,0022528	0,0152335
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,030173	0,0090054
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,0259461	0,0071917
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,1101402	0,0393544
Chemischen Erzeugnissen	-0,0680533	0,0098946
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0405923	0,0097129
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0181645	0,0085847
Metalle, Metallzeugnisse	-0,0581827	0,0080133
Maschinenbau	-0,0505907	0,0078306
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,0882505	0,0100631
Fahrzeugbau	-0,071423	0,0105007
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-3,617092</b>	<b>0,2257218</b>
<i>Größenklasse Absatzproduktionswert</i>		
Sehr niedrig	-0,042035	0,0075565
Niedrig	-0,0366926	0,0056161
Hoch	-0,0076131	0,0039913
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	153.460	
<i>Cluster</i>	43.721	

Tabelle 18: Einfluss des Umsatzes (dynamisches System GMM-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,5945027	0,0356872
Tätige Personen	0,00000732	0,00000211
log (APW)	0,031594	0,0115917
Produktionsindex	-0,0039179	0,0004991
Investitionsquote	0,0209698	0,0176144
Energieintensität	0,000000024	3,73E-08
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0352953	0,0079881
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0182953	0,0082661
Ledergewerbe	-0,0028992	0,0151292
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0295865	0,0089526
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,0226927	0,0070577
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,1064491	0,0387663
Chemischen Erzeugnissen	-0,0672253	0,0098557
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0385643	0,0094504
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0182676	0,0085209
Metalle, Metallerzeugnisse	-0,0557278	0,0078002
Maschinenbau	-0,0487519	0,0079033
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,0872306	0,0100749
Fahrzeugbau	-0,0696353	0,010414
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling (base case)</b>	<b>-3,599247</b>	<b>0,2247989</b>
<i>Größenklasse Umsatz</i>		
Sehr niedrig	-0,058905	0,0073396
Niedrig	-0,0486916	0,0055074
Hoch	-0,0128375	0,003931
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>	153.460	
<i>Cluster</i>	43.721	

Tabelle 19: Einfluss der Beschäftigten (dynamisches System GMM-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,5938767	0,0359862
log (Absatzproduktionswert)	0,0260642	0,0091251
log (Umsatz)	0,0009167	0,0094737
Produktionsindex	-0,0040641	0,0005026
Investitionsquote	0,0305247	0,022189
Energieintensität	0,000000024	0,000000037
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0376479	0,008298
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0184324	0,0081821
Lederindustrie	-0,0035585	0,0152793
Holzindustrie (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0270487	0,0091379
Papier-, Verlags- und Druckindustrie	-0,0235023	0,007153
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,1012118	0,0395173
Chemischen Erzeugnissen	-0,0649868	0,0100685
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0394145	0,0097983
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0153818	0,0088138
Metalle, Metallenerzeugnisse	-0,0576366	0,0080361
Maschinenbau	-0,0518858	0,007832
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,0935361	0,0100316
Fahrzeugbau	-0,0784072	0,0107829
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-3,61693</b>	<b>0,2246459</b>
<i>Größenklasse Beschäftigte</i>		
Sehr niedrig	-0,0353234	0,0065518
Niedrig	-0,0381768	0,0056615
Hoch	-0,0081561	0,0043542
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>	Ja	
<i>Observationen</i>		153.460
<i>Cluster</i>		43.721

Tabelle 20: Einfluss der Investitionsquote (dynamisches System GMM-Modell) 2003 - 2007

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,5963557	0,0357868
Beschäftigte	0,00000994	0,00000213
log (Absatzproduktionswert)	0,0205621	0,0091508
log (Umsatz)	-0,0212788	0,0092951
Produktionsindex	-0,0039159	0,0004995
Energieintensität	2,38E-08	3,68E-08
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0364419	0,0080916
Textil- und Bekleidungsgewerbe	0,0203797	0,0081825
Ledergewerbe	-0,0005168	0,0150768
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0306392	0,0090053
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,0229237	0,0071148
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,1125855	0,0400112
Chemischen Erzeugnissen	-0,0664627	0,0098527
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0377419	0,009488
Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0180026	0,0085521
Metalle, Metallergzeugnisse	-0,056075	0,0078613
Maschinenbau	-0,0478367	0,0079159
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,085553	0,0100971
Fahrzeugbau	-0,0701755	0,0104536
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-3,593459</b>	<b>0,2235081</b>
<i>Größenklasse Investitionsquote</i>		
Sehr niedrig	0,0103498	0,0033091
Niedrig	0,0068559	0,0028614
Hoch	0,0022314	0,0025006
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>		
	Ja	
<i>Observationen</i>		153.460
<i>Cluster</i>		43.721

## Anhang zu Kapitel 4.5.4.4

Tabelle 21: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 1995 - 2002:  
Absatzproduktionswert

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,398460	0,011235
	Tätige Personen	0,000026	0,000003
	log (Umsatz)	0,131473	0,006609
	Produktionsindex	-0,000117	0,000218
	Investitionsquote	0,023748	0,009265
	Energieintensität	0,000002	0,000001
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-2,455736	0,063610
	Textil- und Bekleidungsindustrie	-2,251505	0,050019
	Ledergewerbe	-2,291566	0,066594
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,299946	0,052640
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-2,255750	0,051520
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-2,305932	0,058274
	Chemischen Erzeugnissen	-2,339932	0,053982
	Gummi- und Kunststoffwaren	-2,322837	0,054864
	Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-2,269392	0,051988
	Metalle, Metallerzeugnisse	-2,313017	0,050819
	Maschinenbau	-2,311889	0,051735
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,311648	0,053230
	Fahrzeugbau	-2,319144	0,055383
	Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,288798	0,050457
	<i>Größenklasse Absatzproduktionswert</i>		
	Sehr niedrig	0,042700	0,005470
	Niedrig	0,023628	0,004010
	Hoch	0,010565	0,002818
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>	Ja	
	<i>Observationen</i>	257.269	
	<i>Cluster</i>	46.232	
	<i>Centered R<sup>2</sup></i>	0,3519	

log (Elektrizitätspreis)

Tabelle 22: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 1995 - 2002: Umsatz

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,399493	0,011219
	Tätige Personen	0,000031	0,000003
	log (APW)	0,092621	0,006814
	Produktionsindex	-0,000103	0,000218
	Investitionsquote	0,006908	0,008411
	Energieintensität	0,000003	0,000002
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-2,474903	0,063373
	Textil- und Bekleidungsindustrie	-2,277817	0,049695
	Ledergewerbe	-2,320077	0,065948
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,320776	0,052580
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-2,278695	0,051401
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-2,335652	0,060587
	Chemischen Erzeugnissen	-2,361838	0,053861
	Gummi- und Kunststoffwaren	-2,346394	0,054661
	Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-2,286655	0,051975
	Metalle, Metallerzeugnisse	-2,335596	0,050836
	Maschinenbau	-2,334209	0,051586
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,334552	0,053259
	Fahrzeugbau	-2,342585	0,055246
	Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,310435	0,050372
	<i>Größenklasse Umsatz</i>		
	Sehr niedrig	0,068151	0,004976
	Niedrig	0,038001	0,003913
	Hoch	0,018995	0,002867
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>		
		Ja	
	<i>Observationen</i>	257.269	
	<i>Cluster</i>	46.232	
	<i>Centered R<sup>2</sup></i>	0,4232	

log (Elektrizitätspreis)

Tabelle 23: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 1995 - 2002: Beschäftigte

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,396998	0,011263
	log (Absatzproduktionswert)	0,044663	0,008331
	log (Umsatz)	0,105179	0,008283
	Produktionsindex	-0,000260	0,000218
	Investitionsquote	0,021338	0,009093
	Energieintensität	0,000003	0,000001
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-2,467857	0,063947
	Textil- und Bekleidungsindustrie	-2,263205	0,050326
	Ledergewerbe	-2,306758	0,066878
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,314842	0,052997
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-2,267158	0,051787
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-2,322628	0,058821
	Chemischen Erzeugnissen	-2,351897	0,054410
	Gummi- und Kunststoffwaren	-2,334210	0,055127
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-2,285273	0,052340
	Metalle, Metallerzeugnisse	-2,325864	0,051143
	Maschinenbau	-2,323598	0,052007
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,326272	0,053608
	Fahrzeugbau	-2,333438	0,055647
	Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,302319	0,050806
	<i>Größenklasse Beschäftigte</i>		
	Sehr niedrig	0,084799	0,004964
	Niedrig	0,057418	0,004060
	Hoch	0,028086	0,003037
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>	Ja	
	<i>Observationen</i>	257.269	
	<i>Cluster</i>	46.232	
	<i>Centered R<sup>2</sup></i>	0,4253	

Tabelle 24: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 1995 - 2002: Investitionsquote

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,39869	0,01124
	log (Absatzproduktionswert)	0,04799	0,00835
	log (Umsatz)	0,11233	0,00823
	Beschäftigte	0,0000232	0,00000
	Produktionsindex	-0,00020	0,00022
	Energieintensität	0,000003	0,000001
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-2,43752	0,06370
	Textil- und Bekleidungsindustrie	-2,23472	0,04993
	Lederindustrie	-2,27603	0,06633
	Holzindustrie (ohne Herst. v. Möbeln)	-2,28113	0,05255
	Papier-, Verlags- und Druckindustrie	-2,23819	0,05144
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-2,29038	0,05842
	Chemischen Erzeugnissen	-2,32268	0,05400
	Gummi- und Kunststoffwaren	-2,30539	0,05472
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-2,25111	0,05201
	Metalle, Metallerzeugnisse	-2,29493	0,05078
	Maschinenbau	-2,29371	0,05163
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-2,29403	0,05317
	Fahrzeugbau	-2,30061	0,05534
	Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-2,27109	0,05036
	<i>Größenklasse Investitionsquote</i>		
	Sehr niedrig	0,01167	0,00132
	Niedrig	0,00682	0,00104
	Hoch	0,00446	0,00083
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>		
		Ja	
	Observationen	257.269	
	Cluster	46.232	
	Centered $R^2$	0,4245	

Tabelle 25: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 2003 - 2007: Energieintensität

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,019304	0,014411
	log (Absatzproduktionswert)	0,298433	0,018374
	log (Umsatz)	0,086624	0,016677
	Produktionsindex	-0,004118	0,000461
	Investitionsquote	0,031617	0,015733
	Beschäftigte	0,000027	0,000008
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-5,138744	0,198307
	Textil- und Bekleidungsgerber	-5,294783	0,217102
	Ledergewerbe	-5,235934	0,169941
	Holzwgerber (ohne Herst. v. Möbeln)	-5,071787	0,188252
	Papier-, Verlags- und Druckgerber	-5,388365	0,200745
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-4,837000	0,308300
	Chemischen Erzeugnissen	-5,568497	0,266215
	Gummi- und Kunststoffwaren	-5,215537	0,164479
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-5,199133	0,226132
	Metalle, Metallerzeugnisse	-5,211590	0,158735
	Maschinenbau	-5,264113	0,163523
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-5,371038	0,174970
	Fahrzeugaub	-5,193290	0,170690
	Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-5,210527	0,181666
	<i>Energieintensität</i>		
	Sehr niedrig	0,507893	0,019942
	niedrig	0,248187	0,012348
	hoch	0,117604	0,007396
	<b>sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>		Ja
	<i>Observationen</i>	149.775	
	<i>Cluster</i>	40.036	
	<i>Centered R<sup>2</sup></i>	0,2939	

**Tabelle 26: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 2003 - 2007:  
Absatzproduktionswert**

	<b>Schätzparameter</b>	<b>Koeffizient</b>	<b>Robust Std. Er.</b>
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,024586	0,014759
	Tätige Personen	0,000043	0,000009
	log (Umsatz)	0,168197	0,013890
	Produktionsindex	-0,004649	0,000477
	Investitionsquote	0,025052	0,014953
	Energieintensität	0,00000007	0,00000003
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-5,509221	0,212986
	Textil- und Bekleidungsindustrie	-5,678612	0,231681
	Ledergewerbe	-5,556866	0,175491
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-5,399939	0,199370
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-5,721706	0,209664
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-5,212252	0,328033
	Chemischen Erzeugnissen	-5,899849	0,278962
	Gummi- und Kunststoffwaren	-5,549862	0,175977
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-5,558801	0,241721
	Metalle, Metallerzeugnisse	-5,521151	0,168842
	Maschinenbau	-5,567494	0,173337
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-5,667828	0,183977
	Fahrzeugbau	-5,511529	0,181490
	Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-5,508873	0,189321
	<i>Größenklasse Absatzproduktionswert</i>		
	Sehr niedrig	-0,016225	0,011335
	Niedrig	0,000758	0,009024
	Hoch	0,015574	0,006488
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>	Ja	
	<i>Observationen</i>	149.775	
	<i>Cluster</i>	40.036	
	<i>Centered R<sup>2</sup></i>	0,2595	

Tabelle 27: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 2003 - 2007: Umsatz

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.	
<i>Betriebscharakteristika</i>				
	log (Stromkonsum t-1)	0,0249839	0,0147539	
	Tätige Personen	0,0000443	0,0000086	
	log (APW)	0,1482378	0,0125793	
	Produktionsindex	-0,0046128	0,0004773	
	Investitionsquote	0,0050557	0,0135496	
	Energieintensität	0,00000007	0,00000003	
log (Elektrizitätspreis)	<i>Wirtschaftszweige</i>			
		Ernährung, Tabak	-5,5262610	0,2128503
		Textil- und Bekleidungsindustrie	-5,6658280	0,2322572
		Ledergewerbe	-5,5475140	0,1766619
		Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-5,4003930	0,1995693
		Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-5,7307120	0,2095989
		Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-5,2213280	0,3318415
		Chemischen Erzeugnissen	-5,9039750	0,2789559
		Gummi- und Kunststoffwaren	-5,5579900	0,1763470
		Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-5,5697610	0,2417425
		Metalle, Metallerzeugnisse	-5,5323150	0,1692704
		Maschinenbau	-5,5775050	0,1737537
		Herst. v. Büromaschinen u. a.	-5,6753040	0,1840921
		Fahrzeugbau	-5,5199680	0,1828437
		Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-5,5249320	0,1893212
	<i>Größenklasse Umsatz</i>			
	Sehr niedrig	-0,0015117	0,0110965	
	Niedrig	0,0162208	0,0089805	
	Hoch	0,0246453	0,0065721	
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>		
	<i>Jahresdummies</i>			
		Ja		
	<i>Observationen</i>	149.775		
	<i>Cluster</i>	40.036		
	<i>Centered R<sup>2</sup></i>	0,2595		

Tabelle 28: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 2003 - 2007: Beschäftigte

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,024914	0,014754
	log (Absatzproduktionswert)	0,089161	0,015839
	log (Umsatz)	0,104316	0,016802
	Produktionsindex	-0,004657	0,000478
	Investitionsquote	0,022035	0,014893
	Energieintensität	0,00000007	0,00000003
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-5,516145	0,212746
	Textil- und Bekleidungsindustrie	-5,670312	0,230926
	Ledergewerbe	-5,554617	0,176686
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-5,396661	0,198999
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-5,722991	0,209217
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-5,226136	0,328110
	Chemischen Erzeugnissen	-5,900333	0,278125
	Gummi- und Kunststoffwaren	-5,550956	0,175579
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-5,558779	0,241014
	Metalle, Metallergzeugnisse	-5,526633	0,168521
	Maschinenbau	-5,570784	0,172962
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-5,671011	0,183596
	Fahrzeugbau	-5,517349	0,181191
	Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-5,516956	0,188758
	<i>Größenklasse Beschäftigte</i>		
	Sehr niedrig	0,015627	0,013007
	Niedrig	0,019719	0,011263
	Hoch	0,015223	0,008705
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>	Ja	
	<i>Observationen</i>	149.775	
	<i>Cluster</i>	40.036	
	<i>Centered R<sup>2</sup></i>	0,2595	

Tabelle 29: Dynamische IV-Regression mit Interaktionseffekten 2003 - 2007: Investitionsquote

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,0242913	0,0147700
	log (Absatzproduktionswert)	0,0844872	0,0157836
	log (Umsatz)	0,0940248	0,0168429
	Beschäftigte	0,0000409	0,0000085
	Produktionsindex	-0,0046803	0,0004771
	Energieintensität	0,0000001	0,00000003
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-5,5000340	0,2129038
	Textil- und Bekleidungsindustrie	-5,6469300	0,2309182
	Ledergewerbe	-5,5243670	0,1751513
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-5,3757840	0,1986592
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-5,7006700	0,2091080
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-5,1991310	0,3269344
	Chemischen Erzeugnissen	-5,8811170	0,2784977
	Gummi- und Kunststoffwaren	-5,5307960	0,1751449
	Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-5,5403180	0,2406959
	Metalle, Metallerzeugnisse	-5,5066070	0,1681900
	Maschinenbau	-5,5512900	0,1725204
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-5,6485450	0,1830514
	Fahrzeugbau	-5,4953360	0,1813280
	Sonstige Erzeugnisse; Recycling	-5,4951770	0,1885367
	<i>Größenklasse Investitionsquote</i>		
	Sehr niedrig	-0,0057540	0,0029813
	Niedrig	-0,0068357	0,0024908
	Hoch	-0,0075762	0,0022946
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>		
		Ja	
	Observationen	149.775	
	Cluster	40.036	
	Centered $R^2$	0,2598	

Tabelle 30: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 1995 – 2002:  
Energieintensität

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,5701606	0,0156660
	log (Absatzproduktionswert)	0,0589657	0,0175451
	log (Umsatz)	0,0412559	0,0074694
	Produktionsindex	0,0009347	0,0001545
	Investitionsquote	0,0589636	0,0179952
	Beschäftigte	0,0000011	0,0000010
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	0,0016453	0,0053058
	Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0206686	0,0057593
	Ledergewerbe	0,0310482	0,0104730
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0246664	0,0087304
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0021424	0,0056093
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0046666	0,0247030
	Chemischen Erzeugnissen	-0,0074664	0,0069608
	Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0006786	0,0074221
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0103588	0,0069787
	Metalle, Metallerzeugnisse	0,0079079	0,0053272
	Maschinenbau	0,0117923	0,0064924
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0155673	0,0075007
	Fahrzeugbau	-0,0050547	0,0074671
	<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,5654480</b>	<b>0,0723557</b>
	<i>Energieintensität</i>		
	Sehr niedrig	0,1404182	0,0169972
	Niedrig	0,0589610	0,0114536
	Hoch	0,0199050	0,0059164
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Observationen</i>	262.059	
	<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 31: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 1995 – 2002:  
Absatzproduktionswert

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,6702422	0,0115674
Tätige Personen	0,0000073	0,0000010
log (Umsatz)	-0,0188869	0,0198045
Produktionsindex	0,0005932	0,0001583
Investitionsquote	0,0874667	0,0267662
Energieintensität	0,0000017	0,0000006
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,0329274	0,0069509
Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,0038618	0,0060110
Ledergewerbe	0,0113361	0,0116681
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0268023	0,0083469
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0033718	0,0055702
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0130365	0,0181362
Chemischen Erzeugnissen	-0,0101345	0,0064307
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,0068776	0,0092517
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0157785	0,0077010
Metalle, Metallerzeugnisse	-0,0035962	0,0058154
Maschinenbau	0,0133101	0,0063894
Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0177966	0,0079928
Fahrzeugbau	-0,0139462	0,0078007
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,1886030</b>	<b>0,0911756</b>
<i>Größenklasse Absatzproduktionswert</i>		
Sehr niedrig	0,1315013	0,0072908
Niedrig	0,0701402	0,0051112
Hoch	0,0228152	0,0033673
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>		
		Ja
<i>Observationen</i>	262.059	
<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 32: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 1995 – 2002: Umsatz

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,6353861	0,0112161
	Tätige Personen	0,0000062	0,0000009
	log (APW)	-0,1087158	0,0162109
	Produktionsindex	0,0006862	0,0001555
	Investitionsquote	-0,0184985	0,0077555
	Energieintensität	-0,0000023	0,0000023
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-0,0142199	0,0062171
	Textil- und Bekleidungsgewerbe	0,0238505	0,0063868
	Ledergewerbe	0,0244965	0,0108551
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0092200	0,0079046
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,0017738	0,0055972
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0090481	0,0190630
	Chemischen Erzeugnissen	-0,0169448	0,0067205
	Gummi- und Kunststoffwaren	0,0093977	0,0075993
	Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0011796	0,0068401
	Metalle, Metallerzeugnisse	0,0013068	0,0055979
	Maschinenbau	0,0040136	0,0059435
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0059211	0,0066515
	Fahrzeugbau	-0,0104172	0,0077508
	<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,8986200</b>	<b>0,0453423</b>
	<i>Größenklasse Umsatz</i>		
	Sehr niedrig	0,2041947	0,0110640
	Niedrig	0,1145726	0,0080192
	Hoch	0,0475603	0,0052493
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>	Ja	
	<i>Observationen</i>	262.059	
	<i>Cluster</i>	51.022	

log (Elektrizitätspreis)

**Tabelle 33: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 1995 – 2002:  
Beschäftigte**

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,6323106	0,0105803
	log (Absatzproduktionswert)	-0,0318884	0,0092617
	log (Umsatz)	-0,0413542	0,0059792
	Produktionsindex	0,0004374	0,0001678
	Investitionsquote	-0,0314419	0,0063485
	Energieintensität	-0,0000007	0,0000012
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-0,0151773	0,0058744
	Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0208319	0,0062502
	Ledergewerbe	0,0237186	0,0100074
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0201343	0,0076959
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,0057852	0,0057087
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	0,0124342	0,0223400
	Chemischen Erzeugnissen	-0,0286630	0,0067132
	Gummi- und Kunststoffwaren	0,0045548	0,0072665
	Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0196437	0,0065669
	Metalle, Metallerzeugnisse	0,0020434	0,0056524
	Maschinenbau	0,0053975	0,0059404
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0142278	0,0063961
	Fahrzeugbau	-0,0123310	0,0080795
	<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,8329230</b>	<b>0,0398086</b>
	<i>Größenklasse Beschäftigte</i>		
	Sehr niedrig	0,1846558	0,0079283
	Niedrig	0,1221969	0,0062305
	Hoch	0,0592760	0,0043274
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>	Ja	
	<i>Observationen</i>	262.059	
	<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 34: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 1995 – 2002:  
Investitionsquote

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,6334426	0,0097207
	log (Absatzproduktionswert)	-0,0199461	0,0076672
	log (Umsatz)	0,0202336	0,0059608
	Produktionsindex	0,0006425	0,0001501
	Beschäftigte	-0,0000004	0,0000007
	Energieintensität (Dummy)	-0,0000004	0,0000012
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-0,0089350	0,0057254
	Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0103919	0,0058281
	Ledergewerbe	0,0148291	0,0105429
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0082316	0,0076794
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,0009532	0,0054496
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0056764	0,0190493
	Chemischen Erzeugnissen	-0,0112094	0,0064619
	Gummi- und Kunststoffwaren	0,0051786	0,0070278
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,0017988	0,0062852
	Metalle, Metallerzeugnisse	0,0022101	0,0054321
	Maschinenbau	0,0024874	0,0057400
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0052392	0,0062180
	Fahrzeugbau	-0,0110387	0,0075211
	<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-2,7948190</b>	<b>0,0433066</b>
	<i>Größenklasse Investitionsquote</i>		
	Sehr niedrig	0,0047728	0,0018795
	Niedrig	0,0069748	0,0013262
	Hoch	0,0037114	0,0011032
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>		
		Ja	
	<i>Observationen</i>	262.059	
	<i>Cluster</i>	51.022	

Tabelle 35: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 2003 - 2007:  
Energieintensität

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,1575011	0,0162543
	log (Absatzproduktionswert)	0,3477729	0,0131053
	log (Umsatz)	0,1045990	0,0104812
	Produktionsindex	-0,0043912	0,0003366
	Investitionsquote	0,2291316	0,0571698
	Beschäftigte	0,0000195	0,0000019
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-0,0901664	0,0179733
	Textil- und Bekleidungsindustrie	-0,0639696	0,0260611
	Ledergewerbe	0,0728461	0,0334103
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,1137242	0,0228393
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,0066058	0,0208659
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0259371	0,0694333
	Chemischen Erzeugnissen	-0,0568250	0,0418364
	Gummi- und Kunststoffwaren	-0,1023298	0,0261203
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,1052461	0,0192234
	Metalle, Metallerzeugnisse	-0,1029216	0,0221153
	Maschinenbau	0,0599715	0,0229032
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,0565439	0,0200384
	Fahrzeugbau	-0,1303473	0,0305140
	<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-3,6185780</b>	<b>0,0985725</b>
	<i>Energieintensität</i>		
	Sehr niedrig	0,4353066	0,0172031
	Niedrig	0,1974104	0,0114338
	Hoch	0,0843846	0,0076051
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Observationen</i>	153.460	
	<i>Cluster</i>	43.721	

**Tabelle 36: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 2003 - 2007:  
Absatzproduktionswert**

	<b>Schätzparameter</b>	<b>Koeffizient</b>	<b>Robust Std. Er.</b>
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,2303190	0,0187004
	Tätige Personen	0,0000140	0,0000021
	log (Umsatz)	0,4952893	0,0191114
	Produktionsindex	-0,0045138	0,0003563
	Investitionsquote	0,2763393	0,0273907
	Energieintensität	0,00000006	0,00000003
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-0,1192083	0,0193276
	Textil- und Bekleidungsgewerbe	-0,0817984	0,0263811
	Ledergewerbe	0,1866231	0,0395688
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0987633	0,0268089
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0080669	0,0219278
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0796331	0,0837705
	Chemischen Erzeugnissen	-0,0903228	0,0369042
	Gummi- und Kunststoffwaren	-0,1377173	0,0275116
	Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,1435834	0,0209746
	Metalle, Metallerzeugnisse	-0,1644638	0,0241614
	Maschinenbau	0,0737977	0,0251448
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0486222	0,0204722
	Fahrzeugbau	-0,1312478	0,0331730
	<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-3,1713770</b>	<b>0,1040709</b>
	<i>Größenklasse Absatzproduktionswert</i>		
	Sehr niedrig	-0,2516060	0,0193521
	Niedrig	-0,1786018	0,0141068
	Hoch	-0,0809941	0,0097721
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>	<b>Ja</b>	
	<i>Observationen</i>	153.460	
	<i>Cluster</i>	43.721	

log (Elektrizitätspreis)

Tabelle 37: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 2003 - 2007: Umsatz

	Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,2261247	0,0195433
	Tätige Personen	0,0000193	0,0000020
	log (APW)	0,4726799	0,0182835
	Produktionsindex	-0,0047368	0,0003571
	Investitionsquote	0,2165306	0,0331909
	Energieintensität	0,00000008	0,00000004
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-0,1169642	0,0186861
	Textil- und Bekleidungsgewerbe	-0,0998207	0,0258427
	Ledergewerbe	0,0575078	0,0325216
	Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0895917	0,0251997
	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0327134	0,0212497
	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0945875	0,0585995
	Chemischen Erzeugnissen	-0,0996380	0,0342499
	Gummi- und Kunststoffwaren	-0,1234611	0,0271183
	Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,1333733	0,0203181
	Metalle, Metallerzeugnisse	-0,1377262	0,0233657
	Maschinenbau	0,0874719	0,0246697
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0567740	0,0205155
	Fahrzeugbau	-0,1298410	0,0319704
	<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-3,3237400</b>	<b>0,1038240</b>
	<i>Größenklasse Umsatz</i>		
	Sehr niedrig	-0,2532064	0,0193531
	Niedrig	-0,1684509	0,0141977
	Hoch	-0,0677359	0,0094481
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>		
		Ja	
	<i>Observationen</i>	153.460	
	<i>Cluster</i>	43.721	

**Tabelle 38: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 2003 - 2007:  
Beschäftigte**

	<b>Schätzparameter</b>	<b>Koeffizient</b>	<b>Robust Std. Er.</b>
	<i>Betriebscharakteristika</i>		
	log (Stromkonsum t-1)	0,2188357	0,0191737
	log (Absatzproduktionswert)	0,2420648	0,0114867
	log (Umsatz)	0,2778088	0,0140457
	Produktionsindex	-0,0044024	0,0003599
	Investitionsquote	0,3318363	0,0685491
	Energieintensität	0,00000007	0,00000004
	<i>Wirtschaftszweige</i>		
	Ernährung, Tabak	-0,1202827	0,0187644
	Textil- und Bekleidungsgerber	-0,0790564	0,0263194
	Ledergewerbe	0,0697894	0,0308149
	Holzgerber (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,0466134	0,0261768
	Papier-, Verlags- und Druckgerber	0,0273531	0,0212908
log (Elektrizitätspreis)	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,0090791	0,0914199
	Chemischen Erzeugnissen	-0,0271703	0,0382416
	Gummi- und Kunststoffwaren	-0,1096743	0,0282335
	Glas, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,1037269	0,0204798
	Metalle, Metallerzeugnisse	-0,1123241	0,0238431
	Maschinenbau	0,0822265	0,0244348
	Herst. v. Büromaschinen u. a.	0,0475378	0,0203778
	Fahrzeugaufbau	-0,1384042	0,0336550
	<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-3,3996730</b>	<b>0,1104995</b>
		<i>Größenklasse Beschäftigte</i>	
	Sehr niedrig	-0,3274043	0,0249306
	Niedrig	-0,2222530	0,0198726
	Hoch	-0,116963	0,014656
	<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
	<i>Jahresdummies</i>	Ja	
	<i>Observationen</i>	153.460	
	<i>Cluster</i>	43.721	

Tabelle 39: System GMM-Regression mit Instrumentierung des Strompreises 2003 - 2007:  
Investitionsquote

Schätzparameter	Koeffizient	Robust Std. Er.
<i>Betriebscharakteristika</i>		
log (Stromkonsum t-1)	0,1958355	0,0175769
log (Absatzproduktionswert)	0,1833869	0,0106089
log (Umsatz)	0,1045025	0,0105813
Produktionsindex	-0,0045814	0,0003430
Beschäftigte	0,0000270	0,0000026
Energieintensität (Dummy)	0,00000007	0,00000005
<i>Wirtschaftszweige</i>		
Ernährung, Tabak	-0,1356644	0,0183190
Textil- und Bekleidungsgerberbe	-0,1040526	0,0262039
Ledergewerbe	0,0730017	0,0337436
Holzgewerbe (ohne Herst. v. Möbeln)	-0,1074418	0,0252455
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	-0,0012431	0,0208713
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Spalt- und Brutstoffe	-0,1089367	0,0707491
Chemischen Erzeugnissen	-0,0715805	0,0348766
Gummi- und Kunststoffwaren	-0,1152180	0,0274657
Glasg, Herst. v. Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	-0,1341685	0,0200790
Metalle, Metallerzeugnisse	-0,1275868	0,0232625
Maschinenbau	0,0410079	0,0238119
Herst. v. Büromaschinen u. a.	-0,0101557	0,0196760
Fahrzeugbau	-0,1358019	0,0343042
<b>Sonstige Erzeugnisse; Recycling</b>	<b>-4,3627380</b>	<b>0,1136779</b>
<i>Größenklasse Investitionsquote</i>		
Sehr niedrig	-0,0259233	0,0036915
Niedrig	-0,0144836	0,0029673
Hoch	-0,0114945	0,0027393
<b>Sehr hoch</b>	<b>0 (base case)</b>	
<i>Jahresdummies</i>		
	Ja	
Observationen	153.460	
Cluster	43.721	