

UNIVERSITÄT HEIDELBERG

FAKULTÄT FÜR WIRTSCHAFTS- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

**ANSÄTZE ZUR SCHÄTZUNG INDIREKTER TREIBHAUSGASEMISSIONEN IN
BUCHFÜHRENDEN ORGANISATIONEN AUF BASIS DER
VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN INPUT-OUTPUT-RECHNUNGEN**

Inauguraldissertation

2017

Betreuer: Prof. Dr. Hans Diefenbacher

vorgelegt von:

Clemens Raqué

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungen und Akronyme.....	14
Vorwort	15
1. Einleitung.....	18
1.1 Relevanz der Thematik	18
1.2 Erkenntnisleitende Fragestellung und Zielsetzung.....	22
1.3 Aufbau der Arbeit	24
2. Hintergrund und Forschungsstand.....	27
2.1 Betriebliche Treibhausgasbilanzierung.....	27
2.2 Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung	33
2.3 Resultierender Forschungsbedarf.....	42
3. Input-Output-Modellierung und Treibhausgase	43
3.1 Allgemeine Grundlagen der Input-Output-Modellierung	43
3.1.1 Grundlegende Gleichgewichte in der Input-Output-Modellierung.....	43
3.1.2 Das nachfrageseitige Input-Output-Modell.....	50
3.1.3 Das angebotsseitige Input-Output-Modell	54
3.1.4 Kritik an der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung.....	59
3.1.5 Linkages in der Input-Output-Modellierung.....	64
3.2 Mehr-Regionen-Modellierung.....	65
3.2.1 Grundlegende Gleichgewichte der Mehr-Regionen-Modellierung.....	65
3.2.2 Nachfrageseitige Mehr-Regionen-Modellierung.....	74
3.2.3 Angebotsseitige Mehr-Regionen-Modellierung	75
3.2.4 Einordnung der Mehr-Regionen-Modellierungen	77

3.3	Ökologische Erweiterung der Input-Output-Modellierung	78
3.3.1	Ökologische Erweiterung der Input-Output-Modellierung	78
3.3.2	Ökologische Erweiterung in Mehr-Regionen-Modellen	81
3.3.3	Emissions Pure Linkages.....	84
4.	Schätzung indirekter Treibhausgasemissionen ohne Doppelzählungen aus dem eigenen Unternehmensbeitrag.....	92
4.1	Passt die Input-Output-Modellierung zur betrieblichen Treibhausgasbilanzierung?	92
4.2	Das Input-Output-Modell und Unternehmen	96
4.3	Formale Herleitung von der Nachfrageseite	105
4.4	Formale Herleitung von der Angebotsseite.....	113
4.5	Treibhausgasemissionen in den extrabetrieblichen Input-Output-Modellen.....	116
5.	Schätzung indirekter Treibhausgasemissionen ohne Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen	118
5.1	Synthese von Nachfrage- und Angebotsseite mit eindeutiger Zuweisung der Emissionen.....	118
5.2	Synthese von Nachfrage- und Angebotsseite entsprechend der standardisierten betrieblichen Treibhausgasbilanzierung	132
5.2.1	Das Unternehmen im intermediären Produktionskreislauf	132
5.2.2	Die Vorleistungsproduktion als Beginn des intermediären Produktionskreislaufs	133
5.2.3	Das betrachtete Unternehmen als Beginn des intermediären Produktionskreislaufs	142
5.3	Synthese zwischen Vorleistungs- und Unternehmensproduktion als Beginn des intermediären Produktionskreislaufes	151
5.3.1	Normative Festlegung der Position des Unternehmens im intermediären Produktionskreislauf.....	151
5.3.2	Bestimmung der vorgelagerten Emissionen.....	151
5.3.3	Bestimmung der nachgelagerten Emissionen	160

5.3.4 Irrelevanz der Unternehmenspositionierung	171
6. Empirische Relevanz des modifizierten Modells.....	179
6.1 Vorbemerkung zu den empirischen Untersuchungen.....	179
6.2 Verwendete Datenbanken.....	181
6.3 Einschätzung der empirischen Relevanz anhand eines konstruierten Unternehmensbeispiels	190
6.3.1 Grundlage der monetären Unternehmensdaten.....	190
6.3.2 Input-Output-Modellierung auf Grundlage monetärer Unternehmensdaten	195
6.3.3 Unternehmensspezifische Emissionsdaten	210
6.3.4 Aggregation zum globalen Eine-Region-Modell	236
6.3.5 Essentielle Erkenntnisse aus der empirischen Untersuchung anhand unternehmensspezifischer Umsatz- und Emissionsdaten	263
6.4 Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes	267
6.4.1 Verteilung der Umsätze auf alle Wirtschaftsbereiche.....	267
6.4.2 Konzentration der Umsätze auf einzelne Wirtschaftsbereiche.....	269
6.4.3 Notwendigkeit einer Bereinigung um Doppelzählungen.....	278
6.4.4 Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsbereinigung	288
6.4.5 Essentielle Erkenntnisse aus der empirischen Untersuchung zu den Fehlern in Abhängigkeit des Umsatzes	297
6.5 Essentielle Erkenntnisse der empirischen Untersuchungen	301
7. Schlussbetrachtungen	306
7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	306
7.2 Fazit.....	310
7.3 Ausblick	313
Literatur.....	322

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Identifikation der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette (2004)	28
Abbildung 2-2: Identifikation der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette (2011)	29
Abbildung 2-3: Identifikation der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette (2013)	32
Abbildung 3-1: Ausgangspunkte des nachfrageseitigen Leontief-Modells und des angebotsseitigen Ghosh-Modells.....	55
Abbildung 3-2: Anwendung des nachfrageseitigen Leontief-Modells und des angebotsseitigen Ghosh-Modells.....	58
Abbildung 3-3: Bedarf zusätzlicher interregionaler Verflechtungstabellen bei regionalen Erweiterungen.....	67
Abbildung 4-1: Aufbau einer Input-Output-Tabelle.....	92
Abbildung 4-2: Das Input-Output-Modell und die betriebliche Treibhausgasbilanz.....	95
Abbildung 4-3: Das Unternehmen und die übrige Wirtschaft	99
Abbildung 4-4: Input und Output des Unternehmens	102
Abbildung 4-5: Exogenisierung des Unternehmens.....	104
Abbildung 5-1: Geteilte Produzenten- und Konsumentenverantwortung	121
Abbildung 5-2: Schematische Darstellung der simultanen Anwendung der modifizierten Modelle	122
Abbildung 5-3: Das Unternehmen im intermediären Produktionskreislauf.....	132
Abbildung 5-4: Vorleistungen des Unternehmens und der übrigen Wirtschaft.....	134
Abbildung 5-5: Vorleistungsbereinigung.....	137
Abbildung 5-6: Weiterverarbeitung im Unternehmen und in der übrigen Wirtschaft	143
Abbildung 5-7: Weiterverarbeitungsbereinigung	146
Abbildung 6-1: Ergebnisse der Ansätze im Vergleich.....	199
Abbildung 6-2: Ergebnisse der Ansätze nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen	220
Abbildung 6-3: Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes (1. Teil)	281
Abbildung 6-4: Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes (2. Teil)	283

Abbildung 6-5: Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes (1. Teil)	289
Abbildung 6-6: Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes (2. Teil)	291
Abbildung 6-7: Notwendiger Ansatz zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% nach Wirtschaftsbereichen und Umsätzen (1. Teil).....	304
Abbildung 6-8: Notwendiger Ansatz zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% nach Wirtschaftsbereichen und Umsätzen (2. Teil).....	305

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Potentielle Emissionsquellen aus Scope 3	30
Tabelle 3-1: Grundlegender Aufbau einer Input-Output-Tabelle	48
Tabelle 3-2: Grundlegender Aufbau einer Mehr-Regionen-Input-Output-Tabelle	73
Tabelle 6-1: Regionen der World Input-Output Database.....	182
Tabelle 6-2: Input-Output-Wirtschaftsbereiche der World Input-Output Database	184
Tabelle 6-3: Die zehn größten Unternehmen nach Marktwert im Dezember 2005.....	186
Tabelle 6-4: Umsätze der Unternehmen mit den höchsten Marktwerten	188
Tabelle 6-5: Top 5 der börsennotierten Unternehmen nach Umsätzen aus Geschäftsjahren, die zwischen dem 1. April 2009 und dem 31. März 2010 endeten.....	189
Tabelle 6-6: Umsätze der Royal Dutch Shell nach funktionalen Segmenten im Jahr 2009.....	192
Tabelle 6-7: Umsätze der Royal Dutch Shell nach Regionen im Jahr 2009	193
Tabelle 6-8: Geschätzte Upstream-Umsätze in Milliarden US-Dollar nach Regionen	194
Tabelle 6-9: Angenommene Umsätze nach funktionalen und regionalen Segmenten im Jahr 2009	195
Tabelle 6-10: Zuordnungstabelle zwischen Umsatzregionen und Input-Output-Regionen sowie die entsprechenden Umsätze der funktionalen Segmente.....	197
Tabelle 6-11: Ergebnisse der Ansätze in Kilotonnen (kt) Kohlendioxidäquivalenten (CO ₂ -e).....	200
Tabelle 6-12: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes in Prozent	201
Tabelle 6-13: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen	202

Tabelle 6-14: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen.....	204
Tabelle 6-15: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen	205
Tabelle 6-16: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen.....	208
Tabelle 6-17: Direkte Emissionen der Royal Dutch Shell nach funktionalen Segmenten im Jahr 2009	212
Tabelle 6-18: Direkte Emissionen der Royal Dutch Shell nach Regionen im Jahr 2009.....	213
Tabelle 6-19: Ausgangsbasis zur Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente	215
Tabelle 6-20: Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente nach der ersten Iteration.....	216
Tabelle 6-21: Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente nach der zweiten Iteration	216
Tabelle 6-22: Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente nach der fünften Iteration	217
Tabelle 6-23: Verteilung der anhand angenommener Umsätze und direkter Emissionsintensitäten berechneten direkten Emissionen der Region Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien auf die Regionen USA und Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien nach funktionalen Segmenten	218
Tabelle 6-24: Angenommene regionale und funktionale Zusammensetzung der direkten Emissionen im konstruierten Unternehmensbeispiel	219
Tabelle 6-25: Ergebnisse der Ansätze nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen in kt CO ₂ -e	221

Tabelle 6-26: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen in Prozent	222
Tabelle 6-27: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen	223
Tabelle 6-28: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen	225
Tabelle 6-29: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen	227
Tabelle 6-30: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes mit Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen	229
Tabelle 6-31: Ergebnisse des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigte totale Emissionsintensitäten sowie des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes in kt CO ₂ -e	231
Tabelle 6-32: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen in Prozent	232

Tabelle 6-33: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen.....	233
Tabelle 6-34: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen.....	235
Tabelle 6-35: Veröffentlichte Umsätze und direkte Emissionen der Royal Dutch Shell im Jahr 2009 nach funktionalen Segmenten	237
Tabelle 6-36: Ergebnisse der Ansätze in kt CO ₂ -e im globalen Eine-Region-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen	238
Tabelle 6-37: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes ohne Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell in Prozent	239
Tabelle 6-38: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes im globalen Eine-Region-Modell am höchsten ausfallen	241
Tabelle 6-39: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen	242
Tabelle 6-40: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen.....	244

Tabelle 6-41: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen.....	245
Tabelle 6-42: Ergebnisse der Ansätze in kt CO ₂ -e im globalen Eine-Region-Modell nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen.....	247
Tabelle 6-43: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen im globalen Eine-Region-Modell in Prozent	248
Tabelle 6-44: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen.....	250
Tabelle 6-45: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen	251
Tabelle 6-46: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen.....	253
Tabelle 6-47: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen.....	255
Tabelle 6-48: Ergebnisse des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigte totale Emissionsintensitäten sowie des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes im globalen Eine-Region-Modell in kt CO ₂ -e	257

Tabelle 6-49: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell in Prozent	258
Tabelle 6-50: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell am höchsten ausfallen	260
Tabelle 6-51: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell am höchsten ausfallen	261
Tabelle 6-52: Fehler im globalen Eine-Region-Modell nach Umsatzvolumina	268
Tabelle 6-53: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind	270
Tabelle 6-54: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind	271
Tabelle 6-55: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei den vorgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind.....	273

Tabelle 6-56: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei den vorgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind.....	274
Tabelle 6-57: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei den nachgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind	275
Tabelle 6-58: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei den nachgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind.....	277
Tabelle 6-59: Identifikation der fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes.....	279
Tabelle 6-60: Polynomfunktionen zur Ermittlung der Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes nach Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes	285
Tabelle 6-61: Polynomfunktionen zur Ermittlung der Umsätze in Abhängigkeit des Fehlers nach Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes	287
Tabelle 6-62: Polynomfunktionen zur Ermittlung der Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes nach Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes.....	293
Tabelle 6-63: Polynomfunktionen zur Ermittlung der Umsätze in Abhängigkeit des Fehlers nach Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes.....	295

Abkürzungen und Akronyme

BRIIAT	Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, Australien und Türkei
CF ₄	Tetrafluormethan
CH ₄	Methan
ClicCC	Climate & Carbon Calculator for Companies
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -e	Kohlendioxidäquivalent
EU	Europäische Union
EXIOBASE	Input-Output-Datenbank des Projekts „A New Environmental Accounting Framework Using Externality Data and Input-Output-Tools for Policy Analysis“
Gt	Gigatonne
GTAP	Global Trade Analysis Project
HFCs	Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
ISO	International Organization for Standardization
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kt	Kilotonne
N ₂ O	Distickstoffmonoxid
NACE Rev. 1	Erste Überarbeitung der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft
NAFTA	Nordamerikanisches Freihandelsabkommen
NF ₃	Stickstofftrifluorid
Pemex	Petróleos Mexicanos
Petronas	Petroliam Nasional Berhad
PFCs	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
S.A.	Sociedad Anónima
SF ₆	Schwefelhexafluorid
t	Tonne
UK	Vereinigtes Königreich
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
WIOD	World Input-Output Database

Vorwort

Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit bildet das Forschungsprojekt „Climate & Carbon Calculator for Companies (CliCCC) – KMU-innovativ – Verbundvorhaben Klimaschutz: Internet-Rechner zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen und der individuellen Klimaschutz-Performance von Unternehmen“. An diesem Projekt habe ich am Institut für Industrial Ecology der Hochschule Pforzheim ab September 2009 mitgearbeitet. Besonders interessant war die Arbeit an diesem Projekt aufgrund der parallelen Weiterentwicklung der Standardisierung betrieblicher Treibhausgasbilanzen und dem damit einhergehenden öffentlichen Interesse.

Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung eines Rechners, der Unternehmen bei der Erstellung ihrer betrieblichen Treibhausgasbilanz unterstützt. In der Umsetzung werden einerseits anhand physischer Emissionsfaktoren direkte Emissionen sowie indirekte Emissionen aus fremdbezogener Energie und andererseits anhand totaler Emissionsintensitäten indirekte Emissionen aus Vorleistungen und Sachanlagen berechnet. Die zugrundeliegenden totalen Emissionsintensitäten werden dabei über die ökologisch erweiterte Input-Output-Modellierung berechnet. Während der Bearbeitung des Projektes stellte ich mir die Frage, ob ein Input-Output-Modell, mit dem der direkte und indirekte Güterbedarf zur Befriedigung der letzten Verwendung berechnet wird, als Grundlage für die Berechnung des direkten und indirekten Güterbedarfs eines Unternehmens geeignet sein kann, welches im Input-Output-Modell hauptsächlich in der intermediären Verflechtung agiert.

Diese Fragestellung bildete die Grundlage der vorliegenden Arbeit und führte zu der Zielsetzung, ein Input-Output-Modell zu entwickeln, mit dem der direkte und indirekte Güterbedarf zur Befriedigung einer Unternehmensnachfrage berechnet wird. Die parallele Weiterentwicklung der Standardisierung betrieblicher Treibhausgasbilanzen führte dazu, dass ich über die Input-Output-Modellierung neben vorgelagerten Emissionen auch nachgelagerte Emissionen für betriebliche Treibhausgasbilanzen berechnen wollte. Dementsprechend entwickelte ich ein angebotsseitiges Input-Output-Modell, mit dem die direkte und indirekte Weiterverarbeitung eines Unternehmensangebotes berechnet wird.

Während jedes der beiden modifizierten Modelle Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrages beseitigt, entstehen bei der simultanen Verwendung der beiden Modelle

neue Doppelzählungen, da beide Modelle auf dieselbe intermediäre Verflechtung zurückgreifen. Aufgrund dieser Problemstellung erweiterte ich meine ursprüngliche Zielsetzung um die Bereinigung von Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen. Im theoretischen Teil dieser Arbeit entstand somit ein zweistufiges Modell. In der ersten Stufe werden einerseits die nachfrageseitige und andererseits die angebotsseitige Input-Output-Modellierung um Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrages bereinigt. In der zweiten Stufe wird die simultane Anwendung der beiden Modelle um Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen bereinigt.

Mit Erarbeitung einer theoretischen Grundlage zum doppelzählungsfreien Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung fragte ich mich schließlich, welche empirische Relevanz diese Doppelzählungen überhaupt in betrieblichen Treibhausgasbilanzen haben. Auf Grundlage dieser Fragestellung erweiterte ich die Arbeit um einen empirischen Teil. Die Evaluierung der empirischen Relevanz führte mich zu der Erkenntnis, dass auch mit dem Einsatz der herkömmlichen Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung kaum Doppelzählungen entstehen. Deshalb betrachtete ich die vorliegende Arbeit einerseits als Beitrag zur Diskussion über die Anwendbarkeit der herkömmlichen ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung. Andererseits sehe ich in den methodischen Erweiterungen jedoch auch eine Grundlage für die Weiterentwicklung volkswirtschaftlicher Treibhausgasbilanzen in Form einer Synthese der aktuell vorherrschenden parallelen Betrachtungen von produzenten-, konsum- und einkommensbasierten volkswirtschaftlichen Treibhausgasbilanzen.

Abschließend bedanke ich mich bei allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Zunächst richtet sich mein Dank an das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Land Baden-Württemberg, welche diese Arbeit durch ihre Projektförderungen überhaupt erst ermöglichten. Besonders bedanke ich mich bei Prof. Dr. Mario Schmidt. Als Leiter des Instituts für Industrial Ecology der Hochschule Pforzheim hat er mir großes Vertrauen entgegengebracht und mich dadurch in meiner Arbeit bestärkt. Ebenso besonderer Dank gilt Prof. Dr. Hans Diefenbacher für die herausragende Betreuung dieser Arbeit. Seine vielen wertvollen Hinweise und sein Zuspruch waren mir eine große Hilfe. An dieser Stelle bedanke ich mich außerdem bei allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der von Prof. Dr. Hans Diefenbacher geleiteten Doktorandenkolloquien. Die dortigen Diskussionen meiner Teilergeb-

nisse gaben mir wichtige Anregungen. Ebenso bedanke ich mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut für Industrial Ecology und insbesondere bei Dr. Christian Haubach.

Besonders bedanke ich mich außerdem bei meiner Partnerin Carolin Schrenk, die immer für mich da war und durch ihre Rücksichtnahme einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit leistete. Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen Freundinnen und Freunden sowie meiner Familie, die mich durch ihre kontinuierliche Rücksichtnahme bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

1. Einleitung

1.1 Relevanz der Thematik

Der Anstieg der durchschnittlichen Erdoberflächen- und Meerestemperatur, weitflächige Schnee- und Eisschmelze sowie der Anstieg des durchschnittlichen Meeresspiegels zeigen eindeutig eine Erwärmung des Klimasystems. Die Energieaufnahme des Klimasystems ist auf einen positiven gesamten Strahlungsantrieb zurückzuführen, zu welchem die ansteigende atmosphärische Kohlendioxidkonzentration seit 1750 am stärksten beiträgt. Der positive Strahlungsantrieb und die steigenden atmosphärischen Konzentrationen an Treibhausgasen zeigen in Kombination mit der beobachteten Erwärmung und des Verständnisses des Klimasystems, dass ein anthropogener Einfluss vorliegt. Ein unverminderter Ausstoß von Treibhausgasen wird eine Fortsetzung der Erwärmung und der Veränderungen des Klimasystems in allen Bestandteilen bewirken.¹

Die Klimaänderungen der letzten Jahrzehnte beeinflussten natürliche und menschliche Systeme auf allen Kontinenten und Meeren. Am stärksten und umfassendsten sind dabei die Indizien für Einflüsse auf natürliche Systeme. Dies zeigt sich beispielsweise in schrumpfenden Gletschern und Verschiebungen der geografischen Verbreitungen von Arten. Auswirkungen auf menschliche Systeme zeigen sich in Form von Ernteeinbußen in zahlreichen Regionen. Die Auswirkungen auf menschliche Systeme gehen oft mit anderen Einflüssen einher. Ungleichheiten auf sozialer, wirtschaftlicher, kultureller sowie auch politischer und institutioneller Ebene bringen Unterschiede in der Verwundbarkeit durch Klimaänderungen mit sich. Die Auswirkungen der jüngsten klimabedingten Extreme – wie Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen, Wirbelstürme und Waldbrände – zeigten erhebliche Verwundbarkeiten einiger Ökosysteme sowie zahlreicher menschlicher Systeme gegenüber der aktuellen Klimavariabilität. Inbegriffen sind Veränderungen von Ökosystemen, Ausfälle in der Nahrungs- und Wasserversorgung, Zerstörungen von Infrastruktur und Siedlungen, Morbidität und Mortalität sowie auch Folgen für die psychische Gesundheit und das Wohlergehen der Menschen. Länder aller Entwicklungsstufen zeigen in einigen Sektoren erhebliche Mängel an Vorbereitungen auf die aktuellen Klimaschwankungen. Klimabedingte Risiken verschärfen

¹ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 4, 13, 15 und 17.

andere Stressfaktoren, die sich in der Regel vor allem auf die Lebengrundlage armer Menschen negativ auswirken.²

Anpassungen an die Auswirkungen sind bereits in einigen Planungsprozessen eingebettet, wobei sich die Implementierung von Reaktionen noch in Grenzen hält. Erfahrungen mit Anpassungen werden sowohl im öffentlichen als auch im privaten Sektor gesammelt. Regierungen auf verschiedenen Ebenen beginnen mit der Entwicklung von Plänen und Strategien zur Anpassung. Die Berücksichtigung der Klimaänderung wird in umfassendere Entwicklungspläne integriert. Reaktionen auf klimabedingte Risiken beinhalten die Entscheidungsfindung in einer sich ändernden Welt unter Unsicherheit über die Ausmaße und Zeitpunkte der Auswirkungen durch eine Klimaänderung mit begrenzter Wirksamkeit der Anpassungsstrategien. In unmittelbarer Zukunft getroffene Anpassungs- und Verminderungsentscheidungen beeinflussen die Risiken der Klimaänderung während des gesamten weiteren Verlaufs des 21. Jahrhunderts. Die Unsicherheiten über die künftige Verwundbarkeit sowie die Reaktionen verknüpfter menschlicher und natürlicher Systeme sind jedoch hoch. Es besteht ein grundlegender Zusammenhang zwischen Perspektiven für klimaresiliente Wege und der Frage, was die Welt über eine Verminderung der Klimaänderung erreicht. Klimaresiliente Wege können durch Transformationen in wirtschaftlichen, sozialen, technologischen sowie politischen Entscheidungen und Handlungen ermöglicht werden.³

Eine anthropogene Intervention zur Reduzierung der Quellen oder zur Erweiterung der Senken von Treibhausgasemissionen wird als Verminderung der Klimaänderung bezeichnet. Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit dienen als Grundlage für die Bewertung von Klimastrategien und unterstreichen die Notwendigkeit der Bewältigung von Risiken durch eine Klimaänderung. Eine wirksame Verminderung wird nicht erreicht werden, wenn die individuellen Akteure ihre eigenen Interessen unabhängig voneinander vorantreiben. Mit der Verminderung und Anpassung an den Klimawandel entstehen Fragen der Gerechtigkeit und Fairness. Viele Bereiche der klimapolitischen Entscheidungsfindung beinhalten Werturteile und ethische Überlegungen. Neben anderen Methoden werden häufig ökonomische Bewertungen als Information in der klimapolitischen Gestaltung verwendet. Klimapolitik überschneidet

² Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2014a): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 4 und 6.

³ Vgl. *ibid.*, 8-9, 11 und 28-29.

sich mit anderen gesellschaftlichen Zielen, was sowohl erwünschte als auch unerwünschte Nebeneffekte mit sich bringt. Eine gut geführte Handhabung dieser Überschneidungen kann die Grundlage zur Durchführung von Klimaschutzmaßnahmen stärken. Als Informationsgrundlage für die Klimapolitik ist auch die Berücksichtigung schwer messbarer Risiken und Unsicherheiten von Bedeutung. Dies gilt insbesondere für Ereignisse mit geringer Wahrscheinlichkeit aber erheblichen potentiellen Auswirkungen. Die Gestaltung der Klimapolitik hängt von der Frage ab, wie Individuen und Organisationen sowohl die Risiken als auch die Unsicherheiten wahrnehmen und einkalkulieren.⁴

Zwischen dem Jahr 1970 und dem Jahr 2000 sind die jährlichen anthropogenen Treibhausgasemissionen um durchschnittlich 0,4 Gigatonnen (Gt) Kohlendioxidäquivalente (CO₂-e) pro Jahr gestiegen. Trotz zunehmender Verminderungsstrategien stieg der durchschnittliche Zuwachs pro Jahr zwischen dem Jahr 2000 und dem Jahr 2010 auf 1,0 Gt CO₂-e pro Jahr an. Im Jahr 2010 wurden insgesamt 49 Gt CO₂-e anthropogene Treibhausgase emittiert. Davon entfielen 35% auf *Energieversorgung*, 24% auf *Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie andere Landnutzung*, 21% auf *Industrie*, 14% auf *Transport* und 6,4% auf *Gebäude*. Werden die Emissionen aus der *Energieversorgung* ihren Abnehmern zugeordnet, so steigen der Anteil der *Industrie* auf 31% und der Anteil der *Gebäude* auf 19%. Ohne zusätzliche Bemühungen Treibhausgasemissionen zu reduzieren, werden diese nach derzeitigen Schätzungen durch das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum weiter ansteigen.⁵ Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit sind Emissionsminderungsziele auf Unternehmensebene. Zur effizienten Emissionsminderung müssen Unternehmen zunächst Emissionen aus ihren Aktivitäten quantifizieren. Dies bezieht sich auf direkt und indirekt verursachte Emissionen.

Eine Quantifizierung der indirekten Emissionen eines Unternehmens erfordert die Modellierung der vorgelagerten und nachgelagerten Verflechtung des Unternehmens mit der übrigen Wirtschaft. Zur Modellierung von Vorleistungsverflechtungen bieten sich die volkswirtschaftlichen Input-Output-Rechnungen an. Letztere dienen in Verbindung mit umweltökonomischen Gesamtrechnungen als Datengrundlage für ökologisch erweiterte Input-Output-Modelle. Dabei werden sämtliche Emissionen entweder nachfrageseitig auf die letzte Ver-

⁴ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2014b): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 4-6.

⁵ Vgl. *ibid.*, 6-8.

wendung oder angebotsseitig auf die Wertschöpfung nach Sektoren projiziert. Setzt man diese Ergebnisse in Relation zu den entsprechenden monetären Werten, so erhält man totale Emissionsintensitäten, welche die direkten und indirekten Emissionen je monetärer Einheit letzter Verwendung oder Wertschöpfung nach Sektoren abbilden. Der monetäre Bezug erweckt den Anschein einer Kompatibilität mit Einkaufs- und Verkaufsdaten sämtlicher buchführender Organisationen. In der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung werden vor allem nachfrageseitig modellierte totale Emissionsintensitäten als Faktoren zur Schätzung indirekter Emissionen aus Einkäufen verwendet.⁶

Die scheinbare Kompatibilität zwischen Unternehmensdaten und totalen Emissionsintensitäten scheidet jedoch an den ökonomischen Bedeutungen der Bezugsgrößen. Schließlich handelt es sich bei Unternehmenseinkäufen in der Regel um einen Teil der intermediären Verwendung und keine letzte Verwendung. Wird ein Teil der intermediären Verwendung ohne eine weitere Modellmodifizierung als Teil der letzten Verwendung interpretiert, so kommt es zu einer Doppelzählung dieses Teils der intermediären Verwendung. Dasselbe gilt, wenn angebotsseitig Unternehmensverkäufe ohne eine weitere Modellmodifizierung als Teil der Wertschöpfung interpretiert werden. Zusätzliche Doppelzählungen entstehen, wenn nachfrageseitig und angebotsseitig totale Emissionsintensitäten verwendet werden. Schließlich werden sämtliche Emissionen simultan sowohl auf die letzte Verwendung als auch auf die Wertschöpfung projiziert.

Bisherige Ansätze zur Schätzung indirekter Treibhausgasemissionen in buchführenden Organisationen auf Basis der volkswirtschaftlichen Input-Output-Rechnungen scheitern allerdings nicht an der Datengrundlage, sondern am verwendeten Modell. Der gemeinsame monetäre Bezug von volkswirtschaftlichen Input-Output-Rechnungen und Unternehmensdaten bleibt als wesentlicher Vorteil für die betriebliche Treibhausgasbilanzierung erhalten. Zur Ausschöpfung dieses Vorteils bedarf es adäquater Modellmodifizierungen, welche die genannten Inkonsistenzen beseitigen und damit auch eine Evaluierung der doppelzählungsbedingten Fehler bisheriger Ansätze ermöglichen. Dies eröffnet buchführenden Organisationen einerseits die doppelzählungsfreie Schätzung ihrer indirekten Emissionen und andererseits

⁶ Siehe hierzu beispielsweise World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2013): Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (version 1.0) - Supplement to the Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting & Reporting Standard. Internet: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Scope3_Calculation_Guidance.pdf, 02.05.2013, 33.

die Quantifizierung des erwarteten Fehlers aufgrund von Doppelzählungen bei Verwendung bisheriger Ansätze.

1.2 Erkenntnisleitende Fragestellung und Zielsetzung

Die Arbeit beleuchtet die Quantifizierung der indirekt verursachten Emissionen über Input-Output-Modelle und verfolgt dabei die erkenntnisleitende Fragestellung, welche Modellmodifikationen zur Behebung von Doppelzählungen erforderlich sind. Doppelzählungen betreffen einerseits den eigenen Unternehmensbeitrag und andererseits die simultane Quantifizierung vor- und nachgelagerter Emissionen. Die Doppelzählung des eigenen Unternehmensbeitrages ist darauf zurückzuführen, dass das betrachtete Unternehmen bereits Teil der Input-Output-Daten ist. Werden die indirekten Emissionen eines Unternehmens auf Grundlage dieser Input-Output-Daten quantifiziert, so trägt das Unternehmen als Teil der intermediären Verflechtung zu seinen eigenen indirekten Emissionen bei. Als veranschaulichendes Beispiel eignen sich hier große Energieversorger. Bei der Produktion von Elektrizität und Wärme entstehen direkte Treibhausgasemissionen. Mittels der Input-Output-Modellierung werden diese direkten Emissionen auch anderen Sektoren als indirekte Emissionen zugewiesen. Bilanziert der Energieversorger seine indirekten Emissionen auf dieser Grundlage, so enthalten die indirekten Emissionen einen Teil seiner direkten Emissionen.⁷

Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen entstehen, da sowohl bei der Quantifizierung der vorgelagerten Emissionen als auch bei der Quantifizierung der nachgelagerten Emissionen auf dieselbe Input-Output-Tabelle zurückgegriffen wird. Beginnt ein Unternehmen mit der Quantifizierung seiner vorgelagerten Emissionen und möchte seine betriebliche Treibhausgasbilanz um eine Berücksichtigung der nachgelagerten Emissionen erweitern, so dürfen bei der Quantifizierung der nachgelagerten Emissionen keine Emissionen enthalten sein, die bereits als vorgelagerte Emissionen quantifiziert wurden. Am Beispiel eines großen Energieversorgers lässt sich diese Art von Doppelzählungen folgendermaßen veranschaulichen. Ein Energieträgerförderer liefert Energieträger an den Energieversorger. Die Emissionen aus der Energieträgerförderung werden beim Energieversorger als vorgelagerte Emissionen bilanziert. Der Energieversorger liefert jedoch auch Elektrizität an den Energieträgerförderer. Werden die nachgelagerten Emissionen mittels der angebotsseitigen

⁷ Siehe hierzu auch Lenzen, Manfred (2008b): „Double-Counting in Life Cycle Calculations“, in: Journal of Industrial Ecology, 12. Jg., Heft 4, 583-599.

Input-Output-Modellierung quantifiziert, so enthalten diese letztendlich die Emissionen aus der Förderung der Energieträger, die bereits als vorgelagerte Emissionen quantifiziert wurden. Diese Art von Doppelzählungen entsteht auch, wenn zuerst die nachgelagerten Emissionen quantifiziert werden und die betriebliche Treibhausgasbilanz anschließend um eine Berücksichtigung der vorgelagerten Emissionen erweitert werden soll. Zur Veranschaulichung wird im bereits eingeführten Beispiel die betriebliche Treibhausgasbilanz des Energieträgerförderers betrachtet. Hat dieser zunächst nur nachgelagerte Emissionen quantifiziert und möchte seine betriebliche Treibhausgasbilanz anschließend um vorgelagerte Emissionen erweitern, so enthalten diese letztendlich die Emissionen aus der Weiterverarbeitung der Energieträger.⁸

Dementsprechend stellt sich einerseits die Frage, welche Modellmodifikationen zur Behebung doppelt gezählter direkter Emissionen des betrachteten Unternehmens erforderlich sind, und andererseits stellt sich die Frage, wie die Input-Output-Modellierung modifiziert werden muss, um Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen zu beseitigen. Die Bearbeitung der theoretischen Fragestellung führt zur empirischen Fragestellung nach der Relevanz einer Beseitigung von Doppelzählungen. Die erkenntnisleitende Fragestellung lässt sich somit in die folgenden drei Teilfragen untergliedern:

1. Welche Modellmodifikationen sind beim Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung zur Behebung von Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrages erforderlich?
2. Welche Modellmodifikationen sind beim Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung zur Behebung von Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen erforderlich?
3. Welche empirische Relevanz hat die Beseitigung dieser Doppelzählungen?

Übergeordnete Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Beseitigung von Doppelzählungen beim Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung. Die übergeordnete Zielsetzung lässt sich dabei in mehrere Teilziele untergliedern. Als erstes Teilziel wird dabei die Identifikation der Ursachen für Doppelzählungen definiert. Sind die Ursachen bekannt, so kann mit der theoretischen Ausarbeitung einer Behebung der Doppel-

⁸ Siehe hierzu auch *ibid.*

zählungen begonnen werden. Zweites Teilziel ist deshalb die Entwicklung einer input-output-basierten Methodik, deren Einsatz in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung keine Doppelzählungen verursacht. Zur Einschätzung des Mehrwertes der Verwendung dieser neuen Methodik, wird als drittes Teilziel anhand empirischer Daten die Relevanz dieser neuen Methodik evaluiert. Die übergeordnete Zielsetzung der Beseitigung von Doppelzählungen beim Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung wird somit von den folgenden drei Teilzielen beschrieben:

1. Identifikation der Ursachen von Doppelzählungen beim Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung
2. Entwicklung einer doppelzählungsfreien input-output-basierten Methodik zur Quantifizierung vor- und nachgelagerter Emissionen für betriebliche Treibhausgasbilanzen
3. Evaluierung der Relevanz von Doppelzählungen in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung anhand empirischer Daten

1.3 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 beleuchtet den Hintergrund und Forschungsstand. Dabei wird zunächst auf die betriebliche Treibhausgasbilanzierung und anschließend auf den Einsatz der Input-Output-Modellierung zur Quantifizierung indirekter Emissionen eingegangen, woraus zum Abschluss des Kapitels der resultierende Forschungsbedarf abgeleitet wird. In Kapitel 3 wird die Methodik der Input-Output-Modellierung sowie deren ökologische Erweiterung eingeführt. Dabei werden zunächst die grundlegenden Gleichgewichte der Input-Output-Modellierung erläutert. Im Anschluss wird das Modell einerseits in seiner nachfrageseitigen und andererseits in seiner angebotsseitigen Form eingeführt sowie auf das Verständnis sogenannter *Linkages* in der Input-Output-Modellierung eingegangen. Auf dieser Grundlage wird der Übergang zu Mehr-Regionen-Modellen und einer ökologischen Erweiterung erläutert. Zum Abschluss des Kapitels wird die Methodik zur Quantifizierung sogenannter *Emissions Pure Linkages* eingeführt. *Emissions Pure Linkages* quantifizieren die indirekten Emissionen eines Sektors ohne den Emissionsbeitrag des betrachteten Sektors.

In Kapitel 4 wird die Input-Output-Modellierung von Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrages befreit. Dabei wird zunächst das Unternehmen im Input-Output-Modell identifiziert und exogenisiert. Darauf folgen die entsprechenden formalen Herleitungen von der Nachfrageseite und der Angebotsseite. Auf Grundlage der formalen Herleitungen wird

zum Abschluss des Kapitels festgestellt, dass sowohl das nachfrageseitige als auch das angebotsseitige extrabetriebliche Input-Output-Modell alle im Modell verfügbaren Emissionen auf das Unternehmen und die übrige Wirtschaft verteilt.

Die Behebung der verbleibenden Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen wird in Kapitel 5 behandelt. Das Kapitel beginnt mit einer Synthese von Nachfrage- und Angebotsseite unter eindeutiger Zuordnung der Emissionen. Dabei wird eine bereits bestehende Diskussion zur eindeutigen Zuordnung indirekter Umweltauswirkungen kommentiert und Stellung zu dieser Diskussion bezogen. In der standardisierten betrieblichen Treibhausgasbilanzierung wird allerdings keine eindeutige Zuordnung aller Emissionen der Welt gefordert. Lediglich innerhalb der betrieblichen Treibhausgasbilanz sollen Doppelzählungen vermieden werden. Dementsprechend folgt eine Synthese der nachfrage- und angebotsseitigen Modellierung, welche ausschließlich Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen innerhalb der betrieblichen Treibhausgasbilanz beseitigt. Dafür wird zunächst die Interaktion zwischen dem Unternehmen und der übrigen Wirtschaft als intermediärer Produktionskreislauf interpretiert, in welchem entweder die übrige Wirtschaft oder das Unternehmen als Beginn festgelegt wird. Zum Verzicht auf diese normative Festlegung wird anschließend eine Synthese zwischen den beiden Perspektiven entwickelt, wobei jeder beliebige Punkt im intermediären Produktionskreislauf als Beginn interpretiert werden kann. Zum Abschluss des Kapitels wird gezeigt, dass die Unternehmenspositionierung für die Summe der indirekten Emissionen irrelevant ist. Mit Abschluss des Kapitels ist die theoretische Grundlage für den doppelzählungsfreien Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung formuliert.

Die empirische Relevanz der doppelzählungsfreien Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung wird in Kapitel 6 untersucht. Dabei wird zunächst die Vorgehensweise der Untersuchung erläutert und anschließend eine Auswahl empirischer Daten getroffen. Anhand der ausgewählten empirischen Daten werden schließlich betriebliche Treibhausgasbilanzen unter Verwendung der herkömmlichen Input-Output-Modellierung, der unternehmensbereinigten Methodik und der vollständig doppelzählungsfreien Methodik berechnet, wobei die Ergebnisse der vollständig doppelzählungsfreien Methodik die Referenzwerte liefern. Darauf basierend werden die Fehler unter Verwendung der herkömmlichen Input-Output-Modellierung sowie der ausschließlich unternehmensbereinig-

ten Methodik berechnet und evaluiert. Zum Abschluss des Kapitels wird auf einer Disaggregationsebene von 35 Wirtschaftsbereichen gezeigt, ab welchen Umsätzen welche Methode zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% verwendet werden muss. Ferner werden für die 35 Wirtschaftsbereiche Polynomfunktionen zur Verfügung gestellt, die den erwarteten Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes sowie den Umsatz in Abhängigkeit des erwarteten Fehlers beschreiben. Diese Polynomfunktionen sind sowohl für die herkömmliche Input-Output-Modellierung als auch für die unternehmensbereinigte Input-Output-Modellierung verfügbar. Mit den Polynomfunktionen können beispielsweise die kritischen Umsätze für abweichende Fehlertoleranzen oder die erwarteten Fehler für beliebige realisierbare Umsätze berechnet werden.

Kapitel 7 enthält die Schlussbetrachtungen dieser Arbeit, wobei zunächst die Ergebnisse zusammengefasst, anschließend ein Fazit gezogen und zum Abschluss ein Ausblick geboten wird. Die Zusammenfassung der Ergebnisse beschränkt sich dabei auf die Fragen und Erkenntnisse, welche in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich diskutiert werden. Im Fazit wird diese thematische Beschränkung verlassen, um Schlussfolgerungen auf einer Metaebene zu ziehen. Dabei wird insbesondere die Frage diskutiert, welchen Beitrag ein Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung hinsichtlich des übergeordneten Ziels einer Verminderung der globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen leisten kann. Der Ausblick geht schließlich auf Erweiterungspotentiale sowie unbeantwortete und neue Fragen ein. Dabei werden nach Möglichkeit anderweitige Anknüpfungspunkte genannt, deren Synthese mit den hier erlangten Erkenntnissen als Ausgangspunkt für weitere Forschungen verwendet werden kann.

2. Hintergrund und Forschungsstand

2.1 Betriebliche Treibhausgasbilanzierung

Im Jahr 1998 gründeten der *World Business Council for Sustainable Development* und das *World Resources Institute* mit der *Greenhouse Gas Protocol Initiative* eine Interessengemeinschaft, welche die Entwicklung international anerkannter Bilanzierungs- und Berichterstattungsstandards bezüglich Treibhausgasemissionen erstrebte.⁹ Unter dem Titel „The Greenhouse Gas Protocol Initiative – A Corporate Accounting and Reporting Standard“ wurden im Jahr 2001 Richtlinien und Empfehlungen veröffentlicht,¹⁰ deren Überarbeitung aus dem Jahr 2004 abgesehen von einer Ergänzung, auf die später näher eingegangen wird, den letzten offiziellen Stand verkörpert.¹¹ Dieser wird im Folgenden als *Corporate Standard* bezeichnet. Zur Identifikation der Treibhausgasemissionen wird die Wertschöpfungskette in drei Bereiche unterteilt:¹²

- Scope 1: Direkte Treibhausgasemissionen
- Scope 2: Indirekte Treibhausgasemissionen aus Elektrizität
- Scope 3: Sonstige indirekte Treibhausgasemissionen

Abbildung 2-1 verdeutlicht die Abgrenzung der drei Bereiche. Scope 1 beinhaltet nur Emissionen, welche direkt in der unternehmerischen Verantwortung der betrachteten Einrichtung entstehen. Dazu gehören etwa der eigene Fuhrpark sowie der eigene Brennstoffverbrauch. Scope 2 beinhaltet Emissionen aus fremdbezogener Elektrizität, welche für die eigene Verwendung bestimmt ist.¹³ Der Begriff Elektrizität dient dabei als Kurzform für Elektrizität, Dampf, Wärme und Kühlung.¹⁴ Die Emissionen werden zwar durch die Tätigkeit der betrachteten Einrichtung verursacht, entstehen jedoch außerhalb der betrachteten Einrichtung. Scope 3 erlaubt die Erfassung aller anderen indirekten Emissionen. Ursachen sind hier etwa

⁹ Vgl. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2004): *The Greenhouse Gas Protocol Initiative - A Corporate Accounting and Reporting Standard - Revised Edition*. Genf/Washington: WBCSD/WRI, 2.

¹⁰ Siehe dazu World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2001): *The Greenhouse Gas Protocol Initiative - A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Genf/Washington: WBCSD/WRI.

¹¹ Siehe dazu World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2004), op. cit.

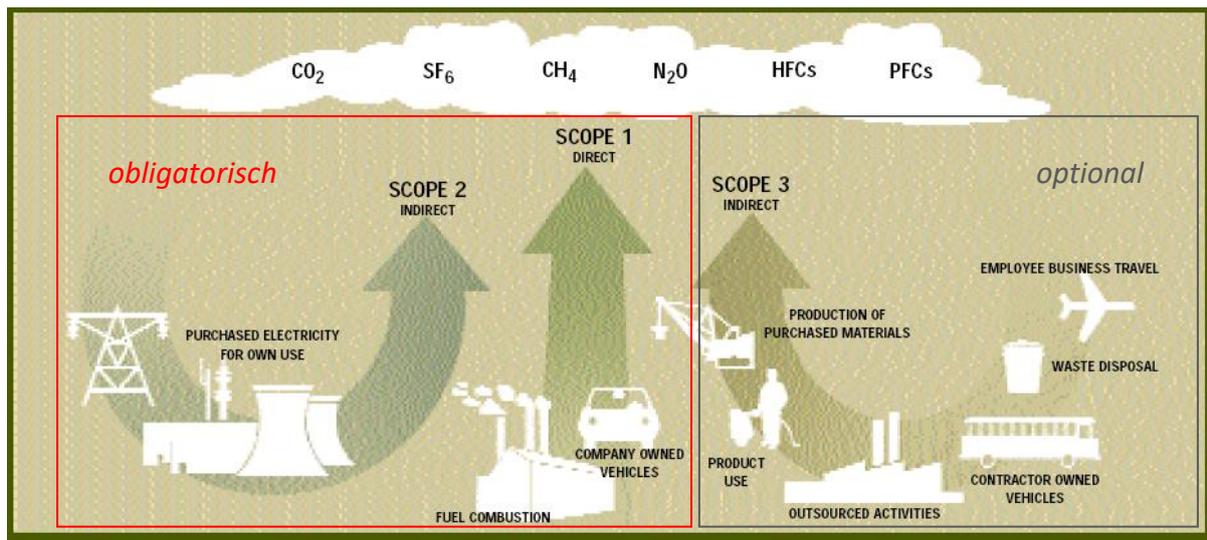
¹² Vgl. *ibid.*, 25.

¹³ Vgl. *ibid.*

¹⁴ Vgl. *ibid.*, 33.

die Produktion eingekaufter Materialien, die Verwendung hergestellter Produkte, ausgelagerte Aktivitäten, gemietete Fahrzeuge, Abfallentsorgung und Geschäftsreisen. Während Unternehmen mindestens Emissionen aus Scope 1 und Scope 2 erfassen sollen, ist Scope 3 lediglich optional.¹⁵ Der Standard fokussiert deshalb auf die Erfassung von Emissionen aus Scope 1 und Scope 2.

Abbildung 2-1: Identifikation der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette (2004)



Eigene Darstellung in Anlehnung an World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2004): The Greenhouse Gas Protocol Initiative – A Corporate Accounting and Reporting Standard – Revised Edition. Genf/Washington: WBCSD/WRI, 26.

Auf Grundlage des *Corporate Standard* entwickelte die *International Organization for Standardization* (ISO) die Norm ISO 14064-1:2006 zur betrieblichen Treibhausgasbilanzierung. Die Terminologie wurde mit „Direct“, „Energy indirect“ und „Other indirect GHG emissions“ im Vergleich zu nummerierten Scopes etwas allgemeinverständlicher gehalten.¹⁶ Ansonsten unterscheidet sich die ISO-Norm hauptsächlich dadurch vom *Corporate Standard*, dass neben Emissionen auch der Entzug von Treibhausgasen geregelt wird.¹⁷

Seit September 2011 gibt es eine Ergänzung des *Corporate Standard* mit dem Titel „Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard – Supplement to the GHG

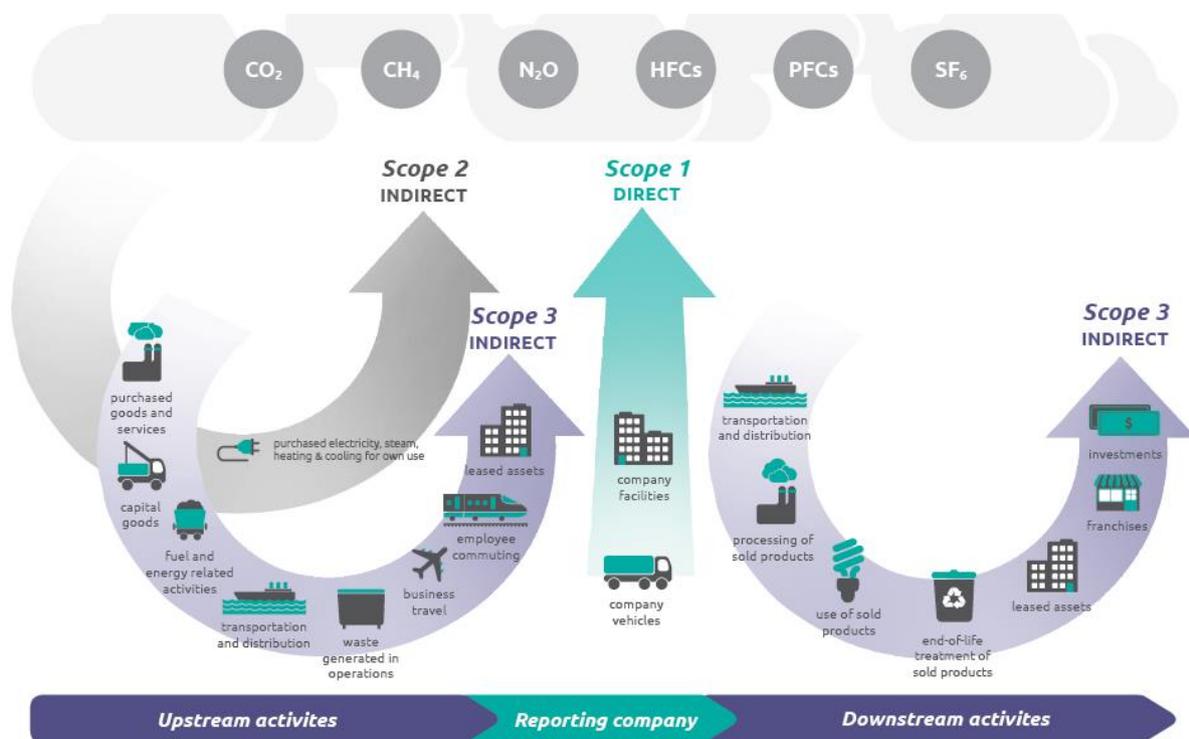
¹⁵ Vgl. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2004), op. cit., 25-26.

¹⁶ Vgl. Kranke, Andre/Schmied, Martin/Schön, Andrea Dorothea (2011): CO₂-Berechnung in der Logistik - Datenquellen, Formeln, Standards. München: Verlag Heinrich Vogel, 37-38.

¹⁷ Siehe hierzu ISO 14064-1:2006(E) (2006): Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Berlin: Beuth, 1.

Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard“.¹⁸ Im Folgenden wird dieser als *Scope 3 Standard* bezeichnet. Wie im Titel bereits erwähnt, befasst sich der Standard mit einer Erweiterung der Systemgrenzen um Scope 3. Unternehmen sollen alle Emissionen aus Scope 3 erfassen bzw. sämtliche Ausschlüsse offenlegen und rechtfertigen.¹⁹ Der Begriff Scope 3 wird dabei gegenüber dem *Corporate Standard* präzisiert, indem acht Kategorien für vorge-lagerte und sieben Kategorien für nachgelagerte Emissionen definiert werden (siehe Abbil-dung 2-2 und **Tabelle 2-1**).

Abbildung 2-2: Identifikation der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette (2011)



Quelle: World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2011): Greenhouse Gas Protocol - Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard - Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Internet: <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Corporate%20Value%20Chain%20%28Scope%203%29%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>, 18.03.2015, 31.

¹⁸ Siehe hierzu World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2011): Greenhouse Gas Protocol - Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard - Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Internet: <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Corporate%20Value%20Chain%20%28Scope%203%29%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>, 18.03.2015.

¹⁹ Siehe hierzu *ibid.*, 60.

Tabelle 2-1: Potentielle Emissionsquellen aus Scope 3

Positionierung in der Wertschöpfungskette	Kategorie
Vorgelagert	Eingekaufte Güter inklusive Dienstleistungen
	Sachanlagen
	Treibstoff- und energieverbundene Tätigkeiten jenseits von Scope 1 und 2
	Transport und Verteilung eingekaufter Güter
	Entsorgung und Behandlung von Produktionsabfällen
	Geschäftsreisen
	Pendeln der Arbeitnehmer
	Geleaste Gegenstände
Nachgelagert	Transport und Verteilung verkaufter Güter
	Weiterverarbeitung verkaufter Güter
	Verwendung verkaufter Güter
	Entsorgung und Behandlung verkaufter Güter
	Verleaste Gegenstände
	Franchisenehmer
	Investitionen

Eigene Darstellung in Anlehnung an World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2011): Greenhouse Gas Protocol - Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard - Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard.

Internet:

<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Corporate%20Value%20Chain%20%28Scope%203%29%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>, 18.03.2015, 31, 34-37 und WWF Deutschland/Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2014): Vom Emissionsbericht zur Klimastrategie – Grundlagen für ein einheitliches Emissions- und Klimastrategieberichtswesen. Internet: http://klimareporting.de/wp-content/uploads/2014/02/Klimareporting_Vorlagenheft_Klimabericht_2014_02_20.pdf, 08.06.2015, 21, 23-24.

Der *Scope 3 Standard* soll Richtlinien und Empfehlungen zur Vorbereitung und Veröffentlichung betrieblicher Treibhausgasinventare zur Verfügung stellen. Als primäre Absicht wird die Bereitstellung eines standardisierten Ansatzes genannt, der Unternehmen stufenweise hilft, ihre Treibhausgaswirkung aus der gesamten Wertschöpfungskette zu verstehen und darüber die größten Emissionsminderungspotentiale zu identifizieren. Dies soll zu nachhaltigeren Entscheidungen bezüglich der betrieblichen Aktivitäten und der gekauften, verkauften sowie hergestellten Produkte führen. Als weitere Zielsetzung wird die Unterstützung bei folgenden Punkten formuliert:²⁰

²⁰ Vgl. World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2011), op. cit., 4.

- Vorbereitung eines kosteneffektiven und dennoch den tatsächlichen Verhältnissen entsprechenden Inventars an Emissionen aus Scope 3 über standardisierte Ansätze und Prinzipien;
- Entwicklung wirksamer Strategien zur Handhabung und Verminderung der Emissionen aus Scope 3 über ein Verständnis der Emissionen aus der Wertschöpfungskette sowie damit verbundener Risiken und Chancen;
- Konsistente und transparente Kommunikation der Emissionen aus der Wertschöpfungskette entsprechend standardisierter Berichterstattungsanforderungen.

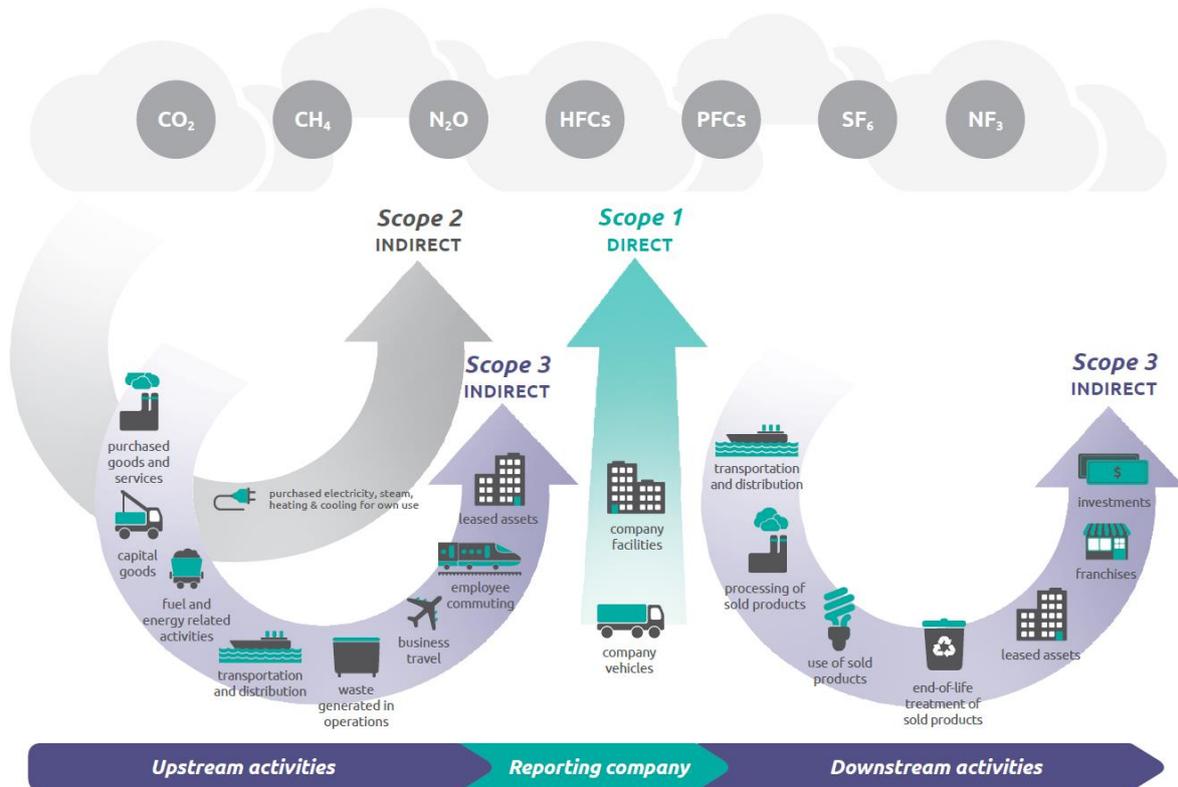
Ferner wird darauf hingewiesen, dass der Standard über den Charakter technischer Bilanzierungsvorschriften hinausgeht, da er auf betriebliche Realitäten zugeschnitten sei und mehreren betrieblichen Zielsetzungen diene. Abschließend wird angemerkt, dass Unternehmen den größten Nutzen in einer sukzessiven Einführung des Standards mit Fokus auf einer ständigen Qualitätsverbesserung ihres Treibhausgasinventars finden dürften.²¹ Der bereits als Ergänzung zum *Corporate Standard* veröffentlichte *Scope 3 Standard* wird seit April 2013 von einer Anleitung mit dem Titel „Technical Guidance for Scope 3 Emissions (version 1.0) – Supplement to the Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting & Reporting Standard“ ergänzt, die im Folgenden als *Technical Guidance* bezeichnet wird. Die *Technical Guidance* soll Unternehmen mit Informationen ausstatten, die nicht im *Scope 3 Standard* enthalten sind. Dazu gehören praktische Hinweise zur Emissionsberechnung für jede der 15 Kategorien aus Scope 3 sowie Datenquellen und ausgearbeitete Beispiele.²² Ferner wurden bereits im Februar 2013 die Bilanzierungsanforderungen, welche sich laut *Scope 3 Standard* noch auf die Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O) sowie Emissionen aus teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (HFCs), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (PFCs) und Schwefelhexafluorid (SF₆) beschränkten, um Emissionen aus Stickstofftrifluorid (NF₃) erweitert.²³ Mit der *Technical Guidance* wurde diese Erweiterung in die Abbildung zur Identifikation der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette integriert (siehe Abbildung 2-3).

²¹ Vgl. *ibid.*

²² Vgl. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2013), *op.cit.*, 5.

²³ Siehe hierzu World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2013): Greenhouse Gas Protocol – Required Greenhouse Gases in Inventories – Accounting and Reporting Standard Amendment – February, 2013. Internet: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/NF3-Amendment_052213.pdf, 25.10.2016, 1.

Abbildung 2-3: Identifikation der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette (2013)



Quelle: World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2013): Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (version 1.0) - Supplement to the Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting & Reporting Standard. Internet: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Scope3_Calculation_Guidance.pdf, 02.05.2013, 6.

Im Hinblick auf die Schätzung indirekter Treibhausgasemissionen mittels der ökologisch erweiterten Input-Output-Analyse ist die *Technical Guidance* von zentraler Bedeutung für die betriebliche Treibhausgasbilanzierung. Während die Input-Output-Modellierung im *Scope 3 Standard* lediglich in ihrer nachfrageseitigen Form als Screening-Methode zur Priorisierung relevanter vorgelagerter Emissionsquellen Beachtung findet,²⁴ wird ihre Anwendung in der *Technical Guidance* explizit für die Kategorien *Purchased Goods and Services*, *Capital Goods*, *Upstream Transportation and Distribution*, *Business Travel*, *Downstream Transportation and Distribution* und *Investments* als potentielle Quelle sekundärer Daten erwähnt.²⁵ Verkannt wird dabei jedoch, dass mit der Methode die vorgelagerten Emissionen auf die letzte Verwendung und nicht auf den Umsatz projiziert werden.

²⁴ Siehe hierzu World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2011), op. cit., 66.

²⁵ Siehe hierzu World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2013), op. cit., 17-18, 21, 29, 33-35, 37, 50-51, 59-60, 65-66, 82, 140, 143-146, 148-149, 168, 175, 182.

2.2 Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung

Vor der Beleuchtung des Forschungsstandes zum Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung werden zunächst die allgemeinen Hintergründe zum Einsatz der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung in der Bilanzierung indirekter Umweltwirkungen umrissen. Die ökologische Erweiterung des nachfrageseitigen Input-Output-Modells geht auf Leontief (1970) zurück. Die Integration direkter Umweltwirkungsintensitäten in das Input-Output-Modell ermöglicht die Quantifizierung der direkten und indirekten Umweltwirkungen in Abhängigkeit der letzten Verwendung. Dementsprechend können die direkt und indirekt verursachten Umweltwirkungen einer beliebigen letzten Verwendung bestimmt werden.²⁶ Als Benchmark zur prozessbasierten produktbezogenen Ökobilanzierung wird die ökologisch erweiterte Input-Output-Modellierung von Moriguchi et al. (1993) verwendet, welche die beiden Ansätze anhand der Kohlendioxidemissionen aus der Herstellung eines Autos vergleichen. Die Ergebnisse der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung entsprechen dabei ungefähr jenen der prozessbasierten Ökobilanzierung.²⁷ Zur Schätzung des kumulierten Energieaufwandes in der Herstellung von Produkten wird die erweiterte Input-Output-Modellierung allerdings bereits von Bullard et al. (1978) vorgeschlagen. Bullard et al. (1978) stellen dabei auch einen hybriden Ansatz vor, wobei der kumulierte Energieaufwand innerhalb einer gewählten Systemgrenze mittels Prozessanalyse und jenseits dieser Systemgrenze über die erweiterte Input-Output-Modellierung quantifiziert wird.²⁸

Lave et al. (1995) schlagen die Anwendung der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung zur Überwindung von Systemgrenzen in der Ökobilanzierung vor.²⁹ Darauf ba-

²⁶ Siehe hierzu Leontief, Wassily (1970): „Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach“, in: *The Review of Economics and Statistics*, 52. Jg., Heft 3, 262-271.

²⁷ Vgl. Moriguchi, Yuichi/Kondo, Yoshinori/Shimizu, Hiroshi (1993): „Analysing the life cycle impacts of cars: the case of CO₂“, in: *Industry and Environment*, 16. Jg., Heft 1, 43.

²⁸ Siehe hierzu Bullard, Clark W./Penner, Peter S./Pilati, David A. (1978): „Net Energy Analysis - Handbook for Combining Process and Input-Output Analysis“, in: *Resources and Energy*, 1. Jg., Heft 3, 276, 281-289. Teile aus Abschnitt 2.2 wurden vom Autor zwischen Einreichung und Veröffentlichung der Dissertation bereits anderweitig veröffentlicht. Siehe hierzu Schmidt, Mario/Joa, Bettina/Raqué, Clemens/Rötzer, Nadine/Preiß, Marlene (2015): Abschlussbericht – Material- und Energieflussbasierte Kosten- und Klimaanalyse (MEKKA). Internet: http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/117408/zo3r12001_abschlussbericht.pdf?command=downloadContent&filename=zo3r12001_abschlussbericht.pdf&FIS=203,03.05.2016, 24-26.

²⁹ Siehe hierzu Lave, Lester B./Cobas-Flores, Elisa/Hendrickson, Chris T. (1995): „Using Input-Output Analysis to Estimate Economy-wide Discharges“, in: *Environmental Science and Technology*, 29. Jg., Heft 9, 420 A-426 A.

sierend beschäftigt sich Joshi (1998) mit dem Einsatz der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung zur Ökobilanzierung individueller Produkte, heterogener Produkte innerhalb eines Wirtschaftsbereiches, neu eingeführter Produkte sowie einer Integration der Verwendungs- und Wiederverwertungsphase.³⁰ Hendrickson et al. (2006) bezeichnen den Einsatz der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung als günstige und schnelle Möglichkeit die Einflüsse der Lieferkette für jegliche Einkäufe zu bestimmen.³¹ Minx et al. (2007) sehen die Stärke des Einsatzes der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung zur Quantifizierung indirekter Treibhausgasemissionen von Gütern und Dienstleistungen darin, dass alle vorgelagerten Emissionen berücksichtigt werden und multi-regionale Spezifikationen eine Berücksichtigung der jeweiligen Produktionstechnologien in unterschiedlichen Ländern oder auch Teilen der Welt erlauben.³²

Wood und Lenzen (2003) verwenden die ökologisch erweiterte Input-Output-Modellierung zur Überwindung der Systemgrenzen bei der Quantifizierung ökologischer Fußabdrücke von Institutionen.³³ Darauf basierend schlagen Foran, Lenzen und Dey et al. (2005) den Einsatz der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung zur Überwindung der Systemgrenzen in der betrieblichen Umweltbilanzierung vor.³⁴ Sowohl Wood und Lenzen (2003) als auch Foran et al. (2005) beschränken den Einsatz der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung auf die Quantifizierung vorgelagerter Umweltwirkungen. Doppelzählungen werden bei Wood und Lenzen (2003) nicht erwähnt. Entsprechend Foran, Lenzen und Dey et al. (2005) werden Doppelzählungen bereits durch Anwendung der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung nach Möglichkeit vermieden.³⁵ Foran, Lenzen und Dey (2005) befassen sich mit dem Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Berichterstattung auf ökonomischer, ökologischer und sozialer Ebene. Die Entstehung von Doppelzäh-

³⁰ Siehe hierzu Joshi, Satish (1998): Comprehensive product life-cycle analysis using input-output techniques. Internet: <http://www.cmu.edu/gdi/docs/satish-joshi.pdf>, 21.10.2014, 41.

³¹ Vgl. Hendrickson, Chris T./Lave, Lester B./Mathews, H. Scott (2006): Environmental Life Cycle Assessments of Goods and Services - An Input-Output-Approach. Washington: Resources for the Future, 15.

³² Vgl. Minx, Jan/Wiedmann, Thomas/Barrett, John et al. (2007): Methods review to support the PAS process for the calculation of the greenhouse gas emissions embodied in good and services - A research report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs by the Stockholm Environment Institute and the University of Minnesota - February 2008. London: DEFRA, 17-18.

³³ Siehe hierzu Wood, Richard/Lenzen, Manfred (2003): „An Application of a Modified Ecological Footprint Method and Structural Path Analysis in a Comparative Institutional Study“, in: Local Environment, 8. Jg., Heft 4, 370.

³⁴ Vgl. Foran, Barney/Lenzen, Manfred/Dey, Christopher et al. (2005): „Integrating sustainable chain management with triple bottom line accounting“, in: Ecological Economics, 52. Jg., Heft 2, 146-147, 151.

³⁵ Vgl. *ibid.*, 148.

lungen wird dabei zwar angemerkt, jedoch nicht als inhärentes Defizit des Einsatzes der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Berichterstattung erachtet. Die angebotsseitige Input-Output-Modellierung wird lediglich zur Bestimmung der Positionierung von Sektoren innerhalb der Wertschöpfungskette als separater Indikator verwendet.³⁶

Gallego und Lenzen (2005) befassen sich mit der Allokation von ökologischer Verantwortung zwischen Produzenten und Konsumenten. Die Verteilung zwischen Produzenten und Konsumenten basiert dabei auf der nachfrageseitigen Input-Output-Modellierung. Darüber stellen Gallego und Lenzen (2005) jedoch auch einen Ansatz zur Verteilung der Verantwortung zwischen Produzenten und Arbeitern bzw. Investoren vor, welcher auf der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung basiert. Anzumerken ist hierbei, dass jede der beiden Methoden per se bereits alle Auswirkungen aufteilt. So wird einerseits eine nachfrageorientierte Methode entsprechend der nachfrageseitigen Input-Output-Modellierung und andererseits eine angebotsorientierte Methode entsprechend der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung vorgestellt. Bei jeder dieser Methoden werden über Parameter zwischen Null und Eins die Auswirkungen entweder nachfrageorientiert zwischen Käufern und Verkäufern oder angebotsorientiert zwischen Arbeitern bzw. Investoren und Verkäufern aufgeteilt. Als potentielle Anwendung wird der Einsatz für betriebliche Nachhaltigkeitsberichte genannt. Die relevanten Daten zur intermediären Beschaffung, zum intermediären Absatz sowie dem für die letzte Verwendung bestimmten Absatz und der Wertschöpfung sollen dabei dem betrieblichen Rechnungswesen entnommen werden.³⁷ Mit diesem Vorschlag zur simultanen Anwendung der beiden Methoden wird jedoch verkannt, dass jede der beiden Methoden per se bereits alle Wirkungen des gesamtwirtschaftlichen Produktionsprozesses verteilt.

Rodrigues et al. (2006) entwickeln über Axiome einen Indikator der ökologischen Verantwortung als Verhandlungslösung. Dabei schlussfolgern sie, dass die ökologische Verantwortung über das arithmetische Mittel aus den vorgelagerten Umweltwirkungen bezüglich der letzten Verwendung und den nachgelagerten Umweltwirkungen bezüglich der Primärinputs beschrieben werden und somit je mit dem Faktor 0,5 gewichtet werden muss. Diese Schlussfolgerung ist auf ein Symmetrieaxiom zurückzuführen, welchem die Annahme zugrunde

³⁶ Siehe hierzu Foran, Barney/Lenzen, Manfred/Dey, Christopher (2005): *Balancing Act - A triple Bottom Line Analysis of the Australian Economy - Volume 1*. Internet: <http://www.cse.csiro.au/publications/2005/balancingact1.pdf>, 02.03.2015, 29, 46, 48 und 84.

³⁷ Vgl. Gallego, Blanca/Lenzen, Manfred (2005): „A Consistent Input-Output Formulation of Shared Producer and Consumer Responsibility“, in: *Economic Systems Research*, 17. Jg., Heft 4, 365-382.

liegt, dass jeder Verhandlungspartner sowohl Verkäufer als auch Käufer ist.³⁸ Die Bewertung der vorgelagerten Umweltwirkungen bezüglich der letzten Verwendung entspricht dabei der Logik der nachfrageseitigen Input-Output-Modellierung, während die Bewertung der nachgelagerten Umweltwirkungen bezüglich der Primärinputs der Logik der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung entspricht. Ein expliziter Hinweis auf diese Parallele findet sich in Rodrigues und Domingos (2008a).³⁹

Lenzen et al. (2007) kritisieren das Symmetrieaxiom von Rodrigues et al. (2006). Die Betrachtung jedes Akteurs als Käufer und Verkäufer trifft ihrer Ansicht nach nur auf gesamtwirtschaftliche Betrachtungen zu. In einer geschlossenen Volkswirtschaft seien die Summe einer vollständigen Verbraucherverantwortung und die Summe einer vollständigen Produzentenverantwortung zwar identisch, dies könne jedoch nicht für einzelne Sektoren oder Unternehmen behauptet werden. Als Beispiel nennen sie hier Akteure, die Primärinputs verwenden, jedoch ausschließlich die intermediäre Verwendung bedienen. Ferner gäbe es auf der subnationalen Ebene auch Verbraucher, die keine Primärinputs lieferten.⁴⁰ Als Legitimation für ihre Symmetrieannahme merken Rodrigues et al. (2006) an, dass es ohne diese eine Vielzahl möglicher Allokationsgewichtungen gäbe, so dass jeder Akteur eine andere Gewichtung verwenden könnte. Dadurch wäre es schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, eine Regelung zu finden, mit der alle Akteure einverstanden sind.⁴¹ Lenzen et al. (2007) akzeptieren diese Argumentation nicht als Rechtfertigung für die Symmetrieannahme. Asymmetrie sei in ökonomischen Transaktionen vielmehr die Regel. Je nach Sektor seien die Wahlmöglichkeiten bezüglich Vorleistungsgütern und Weiterverwertung der eigenen Güter sehr beschränkt. Ferner sei die Symmetrieannahme auch keine Voraussetzung für eine eindeutige Lösung.⁴² Letzteres stützen Lenzen et al. (2007) auf einen eigenen Ansatz, bei dem die Verantwortung des Wertschöpfungsanteils entlang der Lieferkette verteilt wird. Die Logik dahinter sei, dass die Verantwortung in Abhängigkeit der Kontrolle eines Unternehmens verteilt werde. Ferner

³⁸ Vgl. Rodrigues, João/Domingos, Tiago/Giljum, Stefan et al. (2006): „Designing an indicator of environmental responsibility“, in: *Ecological Economics*, 59. Jg., Heft 3, 256-257, 264.

³⁹ Vgl. Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2008a): „Consumer and producer environmental responsibility: Comparing two approaches“, in: *Ecological Economics*, 66. Jg., Heft 2-3, 533.

⁴⁰ Vgl. Lenzen, Manfred/Murray, Joy/Sack, Fabian et al. (2007): „Shared producer and consumer responsibility - Theory and practice“, in: *Ecological Economics*, 61. Jg., Heft 1, 30.

⁴¹ Vgl. Rodrigues, João/Domingos, Tiago/Giljum, Stefan et al. (2006), op. cit., 261.

⁴² Vgl. Lenzen, Manfred/Murray, Joy/Sack, Fabian et al. (2007), op. cit., 30.

zeigen sie für zwei Beispiellieferketten, dass die Verantwortung bei einer Halbierung durch zusätzliche vorgelagerte Akteure reduziert wird.⁴³

Rodrigues und Domingos (2008a) vergleichen den Ansatz der geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung mit der axiomatischen Verhandlungslösung und gehen dabei auch auf die Kritik an letzterer aus Lenzen et al. (2007) ein.⁴⁴ Die beiden Ansätze unterscheiden sich einerseits im Transfer indirekter Effekte, welcher bei der geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung nur partiell und bei der axiomatischen Verhandlungslösung vollständig erfolgt, und andererseits in der Berücksichtigung vor- und nachgelagerter indirekter Effekte in einem Ansatz, was nur bei der axiomatischen Verhandlungslösung der Fall ist.⁴⁵ Der vollständige Transfer indirekter Effekte ermöglicht aussagekräftige Vergleiche der ganzheitlichen Auswirkungen entlang der Wertschöpfungskette. Diese Möglichkeit ist beim partiellen Transfer nicht gegeben, da nur ein Teil der vorgelagerten indirekten Effekte weitergegeben wird.⁴⁶

Unter Bezugnahme auf Rodrigues und Domingos (2008a) formuliert Lenzen (2008a) analog zur geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung entsprechend der Wertschöpfung eine Vorgehensweise zur Berücksichtigung nachgelagerter indirekter Effekte.⁴⁷ Dabei handelt es sich um eine geteilte Produzenten- und Investorenverantwortung, bei welcher die Verantwortung entsprechend der Lieferungen an die letzte Verwendung entlang der Lieferkette verteilt wird. Die verbale Begründung dazu lautet, dass jene Produzenten, die einen signifikanten Anteil an die letzte Verwendung liefern, auch signifikanten Einfluss auf die Produktgestaltung haben, während Produzenten, die nur einen geringen Anteil ihrer Produktion an die letzte Verwendung liefern, in der Regel an die Produktionsvorgaben ihrer weiterverarbeitenden Käufer gebunden sind und somit eine geringere Verantwortung tragen. Bezüglich des vollständigen Transfers indirekter Effekte kritisiert Lenzen (2008a), dass dabei jenen Akteuren, welche ausschließlich an die intermediäre Verwendung liefern, überhaupt keine Verantwortung zugewiesen werde. Lenzen (2008a) schließt seine Ausführungen zur Eindeutigkeit der beiden Ansätze mit der Einschätzung, dass Axiome zur Bestimmung eines eindeu-

⁴³ Vgl. *ibid.*, 33-35.

⁴⁴ Siehe hierzu Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2008a), *op. cit.*, 533-546.

⁴⁵ Vgl. *ibid.*, 534 und 536.

⁴⁶ Vgl. *ibid.*, 543.

⁴⁷ Siehe hierzu Lenzen, Manfred (2008a): „Consumer and producer environmental responsibility - A reply“, in: *Ecological Economics*, 66. Jg., Heft 2-3, 547-550.

tigen Indikators notwendigerweise auf einer bestimmten Perspektive basieren und somit weder der eine noch der andere Ansatz vollkommen überzeugend ist.⁴⁸

Rodrigues und Domingos (2008b) reagieren auf Lenzen (2008a) mit der Anmerkung, dass es sich bei der geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung zur partiellen Berücksichtigung vorgelagerter indirekter Effekte einerseits und der geteilten Produzenten- und Investorenverantwortung zur partiellen Berücksichtigung nachgelagerter indirekter Effekte andererseits nicht um einen, sondern um zwei Indikatoren handelt. Die axiomatische Verhandlungslösung beschreibe hingegen die Verantwortung eines wirtschaftlichen Akteurs in seiner Rolle als Produzent und Nachfrager im Sinne eines Verkäufers und Käufers.⁴⁹

Die Ausführungen von Rodrigues und Domingos (2008a), Lenzen (2008a) sowie Rodrigues und Domingos (2008b) zeigen vor allem, dass die axiomatische Verhandlungslösung und die Ansätze geteilter Verantwortung sich in einigen Punkten grundlegend unterscheiden. So verkörpert die axiomatische Verhandlungslösung einen Ansatz zur Quantifizierung vor- und nachgelagerter indirekter Effekte, während bei der geteilten Verantwortung zwei Ansätze vorgeschlagen werden, von denen der eine zur Bestimmung der vorgelagerten und der andere zur Bestimmung der nachgelagerten Verantwortung dienen soll. Jeder der beiden Ansätze geteilter Verantwortung verteilt per se bereits alle entstandenen Auswirkungen auf die Akteure, so dass die simultane Anwendung der beiden Ansätze zwangsläufig zu Doppelzählungen führen würde. Die Aufteilungen entsprechend der Wertschöpfung bzw. der letzten Verwendung dienen dabei lediglich zur Verteilung der Verantwortung innerhalb des nachfrage- bzw. angebotsorientierten Ansatzes. Bei der axiomatischen Verhandlungslösung geht es hingegen um die Aufteilung zwischen vor- und nachgelagerten indirekten Effekten.

Lenzen (2008c) präsentiert zwei Fallstudien zum Einsatz der erweiterten Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Nachhaltigkeitsberichterstattung. Während direkte Auswirkungen auf Primärdaten aus dem Unternehmen basieren, werden die indirekten vorgelagerten Auswirkungen anhand von Daten der Unternehmensausgaben und des Umsatzes über die erweiterte Input-Output-Modellierung quantifiziert. Die Unternehmensdaten wer-

⁴⁸ Vgl. *ibid.*, 547-548.

⁴⁹ Siehe hierzu Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2008b): „Consumer and producer responsibility - Comments“, in: *Ecological Economics*, 66. Jg., Heft 2-3, 551.

den dabei als zusätzlicher Sektor betrachtet. Zur Vermeidung von Doppelzählungen werden alle Auswirkungen nur zur Hälfte berücksichtigt.⁵⁰

Huang und Lenzen et al. (2009) sehen die Möglichkeiten der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung vor allem in der Anwendung als Screening-Methode zur Identifikation der relevanten Emissionen sowie der Ausweitung der Systemgrenzen.⁵¹ Am Beispiel von Australien und den Vereinigten Staaten von Amerika (USA) berechnen sie für ausgewählte Sektoren die wichtigsten 20 vorgelagerten Emissionsquellen.⁵² Die direkte Anwendung der Input-Output-Modellierung zur Quantifizierung vorgelagerter Emissionen schlagen sie ab der dritten oder vierten Lieferstufe vor. Probleme sehen sie darin, dass die Möglichkeiten der Input-Output-Modellierung für betriebliche Treibhausgasbilanzen bislang nicht verständlich vermittelt wurden.⁵³ Huang und Lenzen et al. (2009) merken an, dass die Input-Output-Modellierung auch zur Quantifizierung nachgelagerter Emissionen verwendet werden kann.⁵⁴ Ihre Untersuchung beschränken sie allerdings auf vorgelagerte Emissionen. Doppelzählungen werden nicht angesprochen.

Huang und Weber et al. (2009) untersuchen mit der erweiterten Input-Output-Modellierung für die USA, welcher Anteil an vorgelagerten Emissionen aus Scope 3 unter Berücksichtigung der zehn wichtigsten Lieferantensektoren berechnet werden kann. Diese Untersuchung führen sie auf drei unterschiedlichen Spezifikationsebenen durch (gesamte Volkswirtschaft, 24 Industriebereiche, 426 Sektoren). Während die zehn wichtigsten Lieferantensektoren der gesamten Volkswirtschaft lediglich 9% bis 55% der vorgelagerten Emissionen abdecken, erreichen die Berücksichtigung von 24 Industriebereichen bereits 40% bis 80% und die Berücksichtigung von 426 Sektoren bereits 50% bis 90%. Aufgrund des Mangels an etablierten Methoden werden nachgelagerte Emissionen bei Huang und Weber et al. (2009) nicht berücksichtigt.⁵⁵ Auf Doppelzählungen wird nicht eingegangen.

⁵⁰ Vgl. Lenzen, Manfred (2008c): „Sustainable island businesses: a case study of Norfolk Island“, in: Journal of cleaner Production, 16. Jg., Heft 18, 2021.

⁵¹ Vgl. Huang, Y. Anny/Lenzen, Manfred/Weber, Christopher L. et al. (2009): „The Role of Input-Output Analysis for the Screening of Corporate Carbon Footprints“, in: Economic System Research, 21. Jg., Heft 3, 220.

⁵² Vgl. *ibid.*, 222-223.

⁵³ Vgl. *ibid.*, 240.

⁵⁴ Vgl. *ibid.*, 221.

⁵⁵ Vgl. Huang, Y. Anny/Weber, Christopher L./Matthews, H. Scott (2009): „Categorization of Scope 3 Emissions for Streamlined Enterprise Carbon Footprinting“, in: Environmental Science and Technology, 43. Jg., Heft 22, 8515.

Minx et al. (2009) präsentieren einen Überblick von Anwendungen der Input-Output-Modellierung in der Treibhausgasbilanzierung. In Bezug auf die betriebliche Treibhausgasbilanzierung betonen sie, dass die Quantifizierung aller Emissionen aus Scope 3 für viele Unternehmen eine administrativ komplexe, teure und methodisch herausfordernde Aufgabe ist. Nach Minx et al. (2009) hilft die Input-Output-Modellierung bei der Erfolgsmessung betrieblicher Emissionsminderungsziele in der Lieferkette sowie der Priorisierung von Emissionsminderungsbemühungen.⁵⁶ In ihrem Überblick gehen Minx et al. (2009) weder auf Doppelzählungen noch auf die Quantifizierung nachgelagerter Emissionen ein.

Haubach (2009) beschäftigt sich auf Grundlage eines Ansatzes von Schmidt und Schwegler (2008), bei welchem die vorgelagerten Emissionen eines Unternehmens über kumulierte Intensitäten erfasst werden,⁵⁷ mit dem Einsatz der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung zur Erweiterung der Systemgrenzen betrieblicher Treibhausgasbilanzen. Als Lösungsansatz zur Startwertproblematik beim Einsatz kumulierter Emissionsintensitäten schlägt Haubach (2009) vor,⁵⁸ Emissionen aus Vorleistungen auf Basis einer erweiterten Input-Output-Analyse unter Berücksichtigung der Umwelt nach Leontief (1970) zu schätzen.⁵⁹ Berechnet werden die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen je monetärer Einheit letzter Verwendung nach Gütergruppen. Die Diskrepanz zwischen letzter Verwendung und Unternehmensnachfrage wird dabei in der Regel als vernachlässigbar eingestuft. Für Großunternehmen wird allerdings empfohlen, die Unternehmensdaten aus den Branchenwerten herauszurechnen.⁶⁰ Ein Lösungsmodell wird dabei jedoch nicht ausformuliert. Auf die Quantifizierung nachgelagerter Emissionen wird nicht eingegangen.

Lenzen und Murray (2010) sehen in der Diskussion zur Berücksichtigung nachgelagerter Emissionen aus Scope 3 Probleme im allgemeinen Verständnis nachgelagerter Emissionen und versuchen über die Einführung intuitiver Terminologie die angebotsseitige Input-Output-Modellierung als Quantifizierungsmöglichkeit nachgelagerter Emissionen zu fördern.

⁵⁶ Vgl. Minx, J.C./Wiedmann, T./Wood, R. et al. (2009): „Input-Output Analysis and Carbon Footprinting: An Overview of Applications“, in: *Economic Systems Research*, 21. Jg., Heft 3, 201-202.

⁵⁷ Siehe hierzu Schmidt, Mario/Schwegler, Regina (2008): „A recursive indicator system for the supply chain of a company“, in: *Journal of cleaner Production*, 16. Jg., Heft 15, 1658-1664.

⁵⁸ Siehe dazu Haubach, Christian (2009): „Die Startwertproblematik bei der Berechnung von kumulierten Emissionsintensitäten im Kontext der Treibhausgas-Bilanzierung“, in: *UmweltWirtschaftsForum*, 17. Jg., Heft 2, 174.

⁵⁹ Siehe dazu Leontief, Wassily (1970): „Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach“, in: *The Review of Economics and Statistics*, 52. Jg., Heft 3, 262-271.

⁶⁰ Vgl. Haubach, Christian (2009), op. cit., 175.

Zur Schaffung eines Vokabulars für nachgelagerte Effekte spiegeln sie die Terminologie für vorgelagerte Effekte. Auf dieser Grundlage erklären sie den Zusammenhang zwischen Verantwortung und Input-Output-Modellierung. Mit Verweis auf die Fallstudien zu vorgelagerten Emissionen von Huang und Lenzen et al. (2009), beschränken Lenzen und Murray (2010) ihre Fallstudien auf nachgelagerte Emissionen. Zu Doppelzählungen äußern sich Lenzen und Murray (2010) mehrfach. Einerseits verweisen sie auf entstehende Doppelzählungen, wenn jeder seine vor- und nachgelagerten Emissionen bilanziert. Andererseits preisen sie die Vermeidung von Doppelzählungen bei der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung bezüglich der Wertschöpfung. Auf Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen verweisen sie nach Anmerkung eines Gutachters in einer Fußnote.⁶¹

Skelton et al. (2011) entwickeln mit dem *Emissions Pure Backward Linkage* eine Methode zur Berechnung der vorgelagerten Emissionen eines Sektors ohne den Emissionsbeitrag des betrachteten Sektors in dessen Vorleistungen. Dabei wird auch darauf hingewiesen, dass Unternehmen den Ansatz zur Abschätzung der Relevanz ihrer Lieferkettenemissionen sowie als Benchmark der durchschnittlichen sektoralen Zusammensetzung zwischen direkten und indirekten Treibhausgasemissionen nutzen können. Als Ausblick wird die Weiterentwicklung des Ansatzes in Form einer Anpassung für den Einsatz in hybriden *Life Cycle Assessments* sowie einer Erweiterung zur Bewertung nachgelagerter Emissionen erwähnt, die als Unterstützung bei sektoralen und betrieblichen Treibhausgasbilanzen dienen können.⁶² Dabei wird jedoch weder ein Modell zur input-output-daten-basierten Berechnung des betrieblichen *Emissions Pure Backward Linkage* noch eine Ausarbeitung des *Emissions Pure Forward Linkage* geboten.

Auch Haubach (2013) setzt sich ausführlicher mit der Diskrepanz zwischen letzter Verwendung und Unternehmensnachfrage auseinander. Dabei kommt er zu dem Schluss, dass sogenannte Output-to-Output-Multiplikatoren für die Bestimmung der Emissionen aus Vorleistungen verwendet werden sollten.⁶³ Output-to-Output-Multiplikatoren werden von Sektoren nach Sektoren bestimmt und zeigen, welche Änderung des Outputs im liefernden Sektor

⁶¹ Siehe hierzu Lenzen, Manfred/Murray, Joy (2010): „Conceptualising environmental responsibility“, in: *Ecological Economics*, 70. Jg., 262-263 und 265-266.

⁶² Vgl. Skelton, Andrew/Guan, Dabo/Peters, Glen P. et al. (2011): „Mapping Flows of Embodied Emissions in the Global Production System“, in: *Environmental Science and Technology*, 45. Jg., Heft 24, 10519 und 10522.

⁶³ Vgl. Haubach, Christian (2013): *Umweltmanagement in globalen Wertschöpfungsketten - Eine Analyse am Beispiel der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung*. Wiesbaden: Springer Gabler, 193-194.

für die Bereitstellung einer zusätzlichen Einheit Output des empfangenden Sektors benötigt wird.⁶⁴ Werden die Output-to-Output-Multiplikatoren mit den direkten Emissionsintensitäten der liefernden Sektoren gewichtet und bezüglich der empfangenden Sektoren aufsummiert, so erhält man die Emissionen aus allen Sektoren zur Bereitstellung einer zusätzlichen Einheit Output des empfangenden Sektors. Die Doppelzählungsproblematik wird damit jedoch nicht gelöst. Aufgrund der nicht-additiven Eigenschaft der Output-to-Output-Multiplikatoren ist keine gegenseitige Ausschließbarkeit von Inputs gegeben. Die angebotsseitige Input-Output-Modellierung wird bei Haubach (2013) erwähnt. Dabei wird allerdings nicht deren potentieller Einsatz zur Quantifizierung nachgelagerter Emissionen beschrieben. Ausblickend geht Haubach (2013) auf die Zuweisung nachgelagerter ökologischer Verantwortung ein. Sofern Verursacher ihre Umweltwirkungen verantworten sollen, müsse eine eindeutige Zuordnung der Verantwortung erfolgen. Dies erfordere doppelzählungsfreie Berechnungsmethoden.⁶⁵

2.3 Resultierender Forschungsbedarf

In den vorangegangenen Abschnitten wurden zunächst die Hintergründe der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung erläutert und anschließend bisherige Forschungen zum Einsatz der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung beleuchtet. Dabei zeigte sich, dass der nachfrageseitigen Input-Output-Modellierung bislang weit mehr Aufmerksamkeit als der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung gewidmet wurde. Die vorhandenen Forschungen zum Einsatz der nachfrageseitigen Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung bieten keine Lösung zur Beseitigung von Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrages, welcher in den Input-Output-Daten jedoch enthalten ist. In den wenigen Veröffentlichungen zur Quantifizierung vor- und nachgelagerter Emissionen ist kein Konsens zum Umgang mit daraus resultierenden Doppelzählungen zu erkennen. Die vorliegende Arbeit widmet sich dieser Forschungslücke.

⁶⁴ Vgl. Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009): Input-Output Analysis - Foundations and Extensions. Cambridge: Cambridge University Press, 284.

⁶⁵ Siehe hierzu Haubach, Christian (2013), op. cit., 178, 182 und 293-294.

3. Input-Output-Modellierung und Treibhausgase

3.1 Allgemeine Grundlagen der Input-Output-Modellierung

3.1.1 Grundlegende Gleichgewichte in der Input-Output-Modellierung

Als Entwickler der Input-Output-Analyse gilt Wassily W. Leontief.⁶⁶ Leontief (1928) beschäftigt sich zunächst mit der Darstellung der Wirtschaft als Kreislauf. Das Erkenntnisobjekt ist dabei die Wirtschaft im weitesten Sinne in aller erdenklichen Vielseitigkeit. Der Zweck der Wirtschaft wird als Prozess beschrieben, in welchem gewisse Elemente unterschiedlichster Art – wie Sachen, Dienste, Empfindungen usw. – in bestimmten Beziehungen zueinander stehen und sich in kontinuierlichem Fluss ablösen. Aus dieser Auffassung resultiert die Fragestellung, wie diese einzelnen Elemente, die einander fremd sind, ein einheitliches Gefüge bilden können. Aufgrund der Kreislaufvorstellung werden nur Beziehungen berücksichtigt, deren Weiterverfolgung zurück zum Ausgangspunkt führt. Als adäquateste Weise, die quantitativen Verhältnisse innerhalb eines qualitativ bestimmten Prozesses zu beschreiben, wird die Verwendung sogenannter technischer Koeffizienten erachtet. Diese bilden dabei – im Gegensatz zum heutigen Sprachgebrauch – einen Überbegriff für sogenannte Kostenkoeffizienten, Produktionskoeffizienten und Verteilungskoeffizienten, welche sich jedoch teilweise ebenfalls vom heutigen Verständnis dieser Begriffe unterscheiden. Setzt man in einem Produktionsprozess die Kosten der beteiligten Güter in Relation zu den Kosten eines beliebigen dieser Güter, so erhält man die Kostenkoeffizienten. Die Produktionskoeffizienten werden hingegen durch die Verhältnisse des Ertrages zu den einzelnen Kostengruppen bestimmt. Bezieht man einzelne Ertragseinheiten auf eine spezifische Verwendung, so erhält man Verteilungskoeffizienten.⁶⁷

Leontiefs erste Veröffentlichung zur Input-Output-Analyse erfolgt 1936.⁶⁸ Dabei geht es um die Aufstellung einer Input-Output Tabelle der USA in Anlehnung an François Quesnays *Tab-*

⁶⁶ Siehe hierzu Polenske, Karen R. (2004): „Leontief's "magnificent machine" and other contributions to applied economics“; in: Dietzenbacher, Erik/Lahr, Michael L. (Hrsg.) (2004): Wassily Leontief and Input-Output Economics. Cambridge: Cambridge University Press, 9.

⁶⁷ Vgl. Leontief[f], W. (1928): „Die Wirtschaft als Kreislauf“, in: Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik, 60. Jg., Heft 3, 577, 580, 584-585.

⁶⁸ Vgl. Polenske, Karen R. (2004), op. cit., 11.

leau Économique.⁶⁹ Aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen der Input-Output-Analyse und Quesnays *Tableau Économique* wird Leontief andererseits auch lediglich als Namensgeber der Input-Output-Analyse bezeichnet.⁷⁰ Zur Entwicklung des Input-Output-Modells greift Leontief zunächst auf die Feststellung aus Léon Walras' allgemeiner Gleichgewichtstheorie zurück, dass das gesamte Güteraufkommen eines Sektors der aufsummierten Nachfrage nach diesen Gütern aus allen anderen Sektoren entspricht.⁷¹

Das grundlegende Input-Output-Modell wird als statisches offenes Mengenmodell bezeichnet. Die Begriffe „offen“ und „Menge“ scheinen hier zunächst irreführend zu sein. Der Begriff „offen“ ist auf die historische Entwicklung der Input-Output-Modellierung zurückzuführen und bedeutet lediglich, dass ein exogener Sektor existiert. Dadurch soll das Modell von dem vorher entwickelten vollständig geschlossenen Modell abgegrenzt werden, welches über keinen exogenen Sektor verfügte.⁷² Der Begriff „Menge“ dient als Hinweis auf die Flussrichtung des Modells. In der Regel bilden monetäre Stromgrößen Zahlungen ab, die vom Käufer an den Verkäufer fließen. Hier wird hingegen der Güter- und Dienstleistungstransfer abgebildet, der vom Verkäufer an den Käufer fließt. Diese Transfers werden, sofern monetäre Input-Output-Tabellen zugrunde liegen, als monetäre Werte abgebildet und sind als fiktive Mengengrößen aufzufassen.⁷³

Die allgemeine Grundlage von Input-Output-Modellen sind beobachtete Daten eines Wirtschaftsraums für eine Periode, welche Flüsse zwischen Sektoren abbilden. Diese Flüsse können sowohl physisch als auch monetär dargestellt werden. In der Regel werden die Flüsse jedoch monetär abgebildet. „Zwischen Sektoren“ bedeutet, dass die Verkäufe von Sektor i

⁶⁹ Siehe hierzu Leontief, Wassily W. (1936): „Quantitative input and output relations in the economic system of the United States“, in: *Review of Economics and Statistics*, 18. Jg., Heft 3, 105. Für Nachdrucke und englische Übersetzungen der drei Ausgaben von François Quesnays *Tableau Économique*, die ursprünglich in den Jahren 1758 und 1759 veröffentlicht wurden, siehe Kuczynski, Marguerite/Meek, Ronald L. (Hrsg.) (1972): *Quesnay's Tableau Économique*. London: Macmillan.

⁷⁰ Siehe hierzu Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (1985): *Input-Output Analysis - Foundations and Extensions*. Englewood Cliffs (New Jersey): Prentice-Hall, 1.

⁷¹ Siehe hierzu Leontief, Wassily W. (1937): „Interrelations of Prices, Output, Savings, and Investment“, in: *The Review of Economics and Statistics*, 19. Jg., Heft 3, 109-111 und Walras, Léon (1874/1926): *Éléments d'Économie Politique Pure ou Théorie de la Richesse Sociale*. 4. Aufl. Paris: R. Pichon et N. Durand-Auzias, 297-308.

⁷² Siehe hierzu Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (1985), op. cit., 25 und 30.

⁷³ Siehe hierzu Holub, Hans-Werner/Schnabl, Hermann (1994a): *Input-Output-Rechnung: Input-Output-Analyse*. München: Oldenbourg, 91.

nach Sektor j abgebildet werden.⁷⁴ Dazu wird eine Volkswirtschaft zunächst in n Sektoren aufgeteilt.⁷⁵

Gl. 3-1

$$x_i = z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i$$

wobei:

x_i = Gesamte Verwendung von Gütern aus Sektor i

z_{ij} = Vorleistungen von Sektor i an Sektor j

y_i = Letzte Verwendung von Gütern aus Sektor i

Gl. 3-1 zeigt, wie sich die gesamte Verwendung an Gütern aus Vorleistungen und letzter Verwendung zusammensetzt. Werden entsprechende Gleichungen für alle n Sektoren aufgestellt, so erhält man das folgende System von Gleichungen, das im weiteren Verlauf in ein lineares Gleichungssystem überführt wird:

Gl. 3-2

$$\begin{array}{rcl} x_1 & = & z_{11} + z_{12} + \dots + z_{1j} + \dots + z_{1n} + y_1 \\ x_2 & = & z_{21} + z_{22} + \dots + z_{2j} + \dots + z_{2n} + y_2 \\ & \vdots & \\ x_i & = & z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i \\ & \vdots & \\ x_n & = & z_{n1} + z_{n2} + \dots + z_{nj} + \dots + z_{nn} + y_n \end{array}$$

Mit Gl. 3-2 werden verwendungsseitige Gleichgewichte ausgedrückt. Die Summe der Outputs eines Sektors entspricht dabei der gesamten Verwendung der Güter, die in diesem Sektor produziert werden. Führt man die Wertschöpfung als Primärinputs in das Modell ein, so können auch aufkommensseitige Gleichgewichte ausgedrückt werden. Für einen Sektor n bedeutet dies, dass die Summe aus erhaltenen Vorleistungen und Wertschöpfung dem gesamten Güteraufkommen des Sektors entsprechen:

⁷⁴ Vgl. Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 2.

⁷⁵ Die einführenden Erläuterungen folgen weitgehend Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (1985), 7 ff. Deutsche Bezeichnungen wurden im Wesentlichen der Input-Output-Rechnung des Statistischen Bundesamtes entnommen, siehe hierzu beispielsweise Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2010): Fachserie 18 Reihe 2 - Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Input-Output-Rechnung - 2007. Internet: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/VGRInputOutputRechnung2180200079005.xls?__blob=publicationFile, 26.03.2015. Teile der Abschnitte 3.1.1 und 3.1.2 wurden vom Autor zwischen Einreichung und Veröffentlichung der Dissertation bereits anderweitig veröffentlicht. Siehe hierzu Schmidt, Mario/Joa, Bettina/Raqué, Clemens/Rötzer, Nadi-ne/Preiß, Marlene (2015), op. cit., 26-31.

Gl. 3-3

$$x_j = z_{1j} + z_{2j} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{nj} + v_j$$

wobei:

$x_j =$ Gesamtes Aufkommen an Gütern von Sektor j

$v_j =$ Wertschöpfung aus Sektor j

Werden entsprechende Gleichungen für alle n Sektoren aufgestellt, so erhält man das folgende System von Gleichungen, das im weiteren Verlauf ebenfalls in ein lineares Gleichungssystem überführt wird:

Gl. 3-4

$$\begin{array}{rcccccccccccc} x_1 & = & z_{11} & + & z_{21} & + & \dots & + & z_{i1} & + & \dots & + & z_{n1} & + & v_1 \\ x_2 & = & z_{12} & + & z_{22} & + & \dots & + & z_{i2} & + & \dots & + & z_{n2} & + & v_2 \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ x_j & = & z_{1j} & + & z_{2j} & + & \dots & + & z_{ij} & + & \dots & + & z_{nj} & + & v_j \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ x_n & = & z_{1n} & + & z_{2n} & + & \dots & + & z_{in} & + & \dots & + & z_{nn} & + & v_n \end{array}$$

Werden die Gleichungen aus Gl. 3-4 vertikal dargestellt, so ergibt sich Gl. 3-5:

Gl. 3-5

$$\begin{array}{cccccccc} x_1 & x_2 & \dots & x_j & \dots & x_n & & \\ = & = & & = & & = & & \\ z_{11} & z_{12} & & z_{1j} & & z_{1n} & & \\ + & + & & + & & + & & \\ z_{21} & z_{22} & & z_{2j} & & z_{2n} & & \\ + & + & & + & & + & & \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \\ + & + & & + & & + & & \\ z_{i1} & z_{i2} & & z_{ij} & & z_{in} & & \\ + & + & & + & & + & & \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \\ + & + & & + & & + & & \\ z_{n1} & z_{n2} & & z_{nj} & & z_{nn} & & \\ + & + & & + & & + & & \\ v_1 & v_2 & & v_j & & v_n & & \end{array}$$

Zum Verständnis der weiteren Schritte soll Gl. 3-5 nun trotz der vertikalen Darstellung von links nach rechts gelesen werden. Dabei fällt auf, dass die Zeilen der Vorleistungen der An-

ordnung der Vorleistungen aus Gl. 3-2 entsprechen. Bringt man diese Zeilen in Gl. 3-5 auf die Form aus Gl. 3-2, so erhält man Gl. 3-6:

Gl. 3-6

$$\begin{array}{rcccccccc}
 & x_1 & x_2 & \cdots & x_j & \cdots & x_n & \\
 & = & = & & = & & = & \\
 x_1 & = & z_{11} & + & z_{12} & + & \cdots & + & z_{1j} & + & \cdots & + & z_{1n} & + & y_1 \\
 & & + & & + & & & & + & & & & + & & \\
 x_2 & = & z_{21} & + & z_{22} & + & \cdots & + & z_{2j} & + & \cdots & + & z_{2n} & + & y_2 \\
 & & + & & + & & & & + & & & & + & & \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots & & & & \vdots & & & & \vdots & & \vdots \\
 & & + & & + & & & & + & & & & + & & \\
 x_i & = & z_{i1} & + & z_{i2} & + & \cdots & + & z_{ij} & + & \cdots & + & z_{in} & + & y_i \\
 & & + & & + & & & & + & & & & + & & \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots & & & & \vdots & & & & \vdots & & \vdots \\
 & & + & & + & & & & + & & & & + & & \\
 x_n & = & z_{n1} & + & z_{n2} & + & \cdots & + & z_{nj} & + & \cdots & + & z_{nn} & + & y_n \\
 & & + & & + & & & & + & & & & + & & \\
 & & v_1 & & v_2 & & \cdots & & v_j & & \cdots & & v_n & &
 \end{array}$$

Für die weiteren Erläuterungen wird aus Gl. 3-6 die Spalte der gesamten Güterverwendungen nach rechts und die Zeile des gesamten Güteraufkommens nach unten verschoben:

Gl. 3-7

$$\begin{array}{cccccccccccc}
 z_{11} & + & z_{12} & + & \cdots & + & z_{1j} & + & \cdots & + & z_{1n} & + & y_1 & = & x_1 \\
 + & & + & & & & + & & & & + & & & & \\
 z_{21} & + & z_{22} & + & \cdots & + & z_{2j} & + & \cdots & + & z_{2n} & + & y_2 & = & x_2 \\
 + & & + & & & & + & & & & + & & & & \\
 \vdots & & \vdots & & & & \vdots & & & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 + & & + & & & & + & & & & + & & & & \\
 z_{i1} & + & z_{i2} & + & \cdots & + & z_{ij} & + & \cdots & + & z_{in} & + & y_i & = & x_i \\
 + & & + & & & & + & & & & + & & & & \\
 \vdots & & \vdots & & & & \vdots & & & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 + & & + & & & & + & & & & + & & & & \\
 z_{n1} & + & z_{n2} & + & \cdots & + & z_{nj} & + & \cdots & + & z_{nn} & + & y_n & = & x_n \\
 + & & + & & & & + & & & & + & & & & \\
 v_1 & & v_2 & & \cdots & & v_j & & \cdots & & v_n & & & & \\
 = & & = & & & & = & & & & = & & & & \\
 x_1 & & x_2 & & \cdots & & x_j & & \cdots & & x_n & & & &
 \end{array}$$

Gl. 3-7 lässt sich nun direkt in die übliche Form einer Input-Output-Tabelle mit drei besetzten Quadranten überleiten. Der erste Quadrant zeigt als Zentralmatrix die intermediäre Verflechtung der Volkswirtschaft. Im zweiten Quadranten wird die letzte Verwendung und im

dritten Quadranten die Wertschöpfung nach Sektoren ausgewiesen.⁷⁶ Die Zeilensummen zeigen die gesamte Verwendung und die Spaltensummen das gesamte Aufkommen der Volkswirtschaft:

Tabelle 3-1: Grundlegender Aufbau einer Input-Output-Tabelle

Sektor	1	2	...	j	...	n	Letzte Ver- wendung	Gesamte Verwendung
1	z_{11}	z_{12}	...	z_{1j}	...	z_{1n}	y_1	x_1
2	z_{21}	z_{22}	...	z_{2j}	...	z_{2n}	y_2	x_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	z_{i1}	z_{i2}	...	z_{ij}	...	z_{in}	y_i	x_i
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	z_{n1}	z_{n2}	...	z_{nj}	...	z_{nn}	y_n	x_n
Wertschöpfung	v_1	v_2	...	v_j	...	v_n		
Gesamtes Auf- kommen	x_1	x_2	...	x_j	...	x_n		

Eigene Darstellung in Anlehnung an Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009): Input-Output Analysis - Foundations and Extensions. Cambridge: Cambridge University Press, 43.

Im Folgenden wird die auf Basis von Input-Output-Tabellen durchführbare Input-Output-Analyse näher erläutert und modifiziert. Zur vereinfachten Darstellung dieser Schritte wird an dieser Stelle die Matrizen Schreibweise eingeführt. Die intermediäre Verflechtung wird dabei durch die quadratische Matrix Z repräsentiert:

Gl. 3-8

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1j} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2j} & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{i1} & z_{i2} & \dots & z_{ij} & \dots & z_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nj} & \dots & z_{nn} \end{pmatrix}$$

Die Spaltenvektoren der letzten Verwendung und der gesamten Verwendung werden mit y und x notiert:

⁷⁶ Siehe hierzu auch Brümmerhoff, Dieter/Grömling, Michael (2011): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. München: Oldenbourg, 177-179.

Gl. 3-9

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

Die Zeilenvektoren werden durch einen Apostroph gekennzeichnet. Dementsprechend werden die Zeilenvektoren der Wertschöpfung und des gesamten Aufkommens mit v' und x' notiert:

Gl. 3-10

$$v' = (v_1 \quad v_2 \quad \cdots \quad v_j \quad \cdots \quad v_n),$$

$$x' = (x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_j \quad \cdots \quad x_n)$$

Werden Matrizen oder Vektoren transponiert, so wird dies ebenfalls mit einem Apostroph gekennzeichnet. Dies steht im Einklang mit der Input-Output-Identität, so dass das transponierte gesamte Aufkommen wiederum dem Spaltenvektor der gesamten Verwendung entspricht:

Gl. 3-11

$$(x')' = x$$

Dementsprechend werden Summierungsvektoren in ihrer horizontalen Form mit i' und in ihrer vertikalen Form mit i notiert:

Gl. 3-12

$$i' = (1 \quad 1 \quad \cdots \quad 1 \quad \cdots \quad 1), \quad i = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

Summierungsvektoren in ihrer horizontalen Form entsprechen in ihrer Dimension grundsätzlich der Anzahl der Zeilen des darauffolgenden Vektors bzw. der drauffolgenden Matrix. Die Dimension der vertikalen Summierungsvektoren wird hingegen durch die Anzahl der Spalten des vorangestellten Vektors bzw. der vorangestellten Matrix bestimmt. Über Gl. 3-8 bis Gl.

3-12 lassen sich nun die Zusammensetzung der gesamten Verwendung aus intermediärer und letzter Verwendung sowie die Zusammensetzung des gesamten Aufkommens aus Vorleistungen und Wertschöpfung in Matrizenform darstellen. Durch Rechtsmultiplikation mit dem vertikalen Summierungsvektor i wird die intermediäre Verflechtung Z zu einem Spaltenvektor und somit zur intermediären Verwendung nach liefernden Sektoren aufsummiert. Addiert man zu diesem Ausdruck den Spaltenvektor der letzten Verwendung y hinzu, so erhält man den Spaltenvektor der gesamten Verwendung x . Diese Gleichung entspricht dem verwendungsseitigen Gleichgewicht in Matrixschreibweise:

Gl. 3-13

$$x = Zi + y$$

Durch Linksmultiplikation der intermediären Verflechtung Z mit dem horizontalen Summierungsvektor i' werden hingegen die Vorleistungen nach empfangenden Sektoren als Zeilenvektor dargestellt. Addiert man zu diesem Ausdruck den Zeilenvektor der Wertschöpfung v' hinzu, so erhält man den Zeilenvektor der gesamten Verwendung x' . Diese Gleichung entspricht dem aufkommenseitigen Gleichgewicht in Matrixschreibweise:

Gl. 3-14

$$x' = i'Z + v'$$

Weitere Definitionen zur Notation werden unmittelbar vor ihrem Einsatz eingeführt. Im Folgenden werden die bislang in absoluten Werten dargestellten Gleichgewichte in relative Beziehungen übergeleitet. Auf Grundlage der relativen Beziehungen werden das nachfrageseitige und das angebotsseitige Input-Output-Modell erläutert.

3.1.2 Das nachfrageseitige Input-Output-Modell

Bislang wurden die zugrundeliegenden Gleichgewichte der Input-Output-Modellierung nur in absoluten Werten dargestellt. Um die relative Zusammensetzung der Vorleistungen eines empfangenden Sektors zu zeigen, wird auf sogenannte Inputkoeffizienten zurückgegriffen. Dazu werden die absoluten Vorleistungswerte eines empfangenden Sektors ins Verhältnis zu dessen Output gesetzt. Die Inputkoeffizienten a_{ij} werden wie folgt berechnet:

Gl. 3-15

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}$$

Durch folgende Umformung kann auch jeder absolute Vorleistungswert in Abhängigkeit des gesamten Güteraufkommens ausgedrückt werden:

Gl. 3-16

$$z_{ij} = a_{ij}x_j$$

Wird Gl. 3-16 in die Darstellung des verwendungsseitigen Gleichgewichtes aus Gl. 3-2 eingesetzt, so erhält man ein lineares Gleichungssystem, das die Vorleistungen in Abhängigkeit des gesamten Güteraufkommens abbildet:

Gl. 3-17

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n + y_1 \\ x_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n + y_2 \\ &\vdots \\ x_i &= a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n + y_i \\ &\vdots \\ x_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nj}x_j + \dots + a_{nn}x_n + y_n \end{aligned}$$

In Gl. 3-17 kann jede Gleichung nach der letzten Verwendung aufgelöst werden:

Gl. 3-18

$$\begin{aligned} x_1 &- a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \dots - a_{1j}x_j - \dots - a_{1n}x_n = y_1 \\ x_2 &- a_{21}x_1 - a_{22}x_2 - \dots - a_{2j}x_j - \dots - a_{2n}x_n = y_2 \\ &\vdots \\ x_i &- a_{i1}x_1 - a_{i2}x_2 - \dots - a_{ij}x_j - \dots - a_{in}x_n = y_i \\ &\vdots \\ x_n &- a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \dots - a_{nj}x_j - \dots - a_{nn}x_n = y_n \end{aligned}$$

Werden in jeder Gleichung die entsprechenden gesamten Güteraufkommen zusammengefasst, so kann dargestellt werden, wie sich die letzte Verwendung aus den gesamten Güteraufkommen der einzelnen Sektoren zusammensetzt:

Gl. 3-19

$$\begin{array}{rcccccccc}
 (1 - a_{11})x_1 & - & a_{12}x_2 & - & \dots & - & a_{1j}x_j & - & \dots & - & a_{1n}x_n & = & y_1 \\
 -a_{21}x_1 & + & (1 - a_{22})x_2 & - & \dots & - & a_{2j}x_j & - & \dots & - & a_{2n}x_n & = & y_2 \\
 \vdots & & & & & & & & & & & & \\
 -a_{i1}x_1 & - & a_{i2}x_2 & - & \dots & + & (1 - a_{ij})x_j & - & \dots & - & a_{in}x_n & = & y_i \\
 \vdots & & & & & & & & & & & & \\
 -a_{n1}x_1 & - & a_{n2}x_2 & - & \dots & - & a_{nj}x_j & - & \dots & + & (1 - a_{nn})x_n & = & y_n
 \end{array}$$

Sofern Gl. 3-19 eine Lösung hat, können unter der Annahme starrer Inputkoeffizienten für eine beliebige gegebene letzte Verwendung die dazu benötigten Güteraufkommen der einzelnen Sektoren bestimmt werden. Um zur Matrixschreibweise zurückzukehren, wird für die Inputkoeffizienten die Matrix A eingeführt:

Gl. 3-20

$$A = \begin{pmatrix}
 a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\
 a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn}
 \end{pmatrix}$$

Jeder Spaltenvektor der Inputkoeffizientenmatrix A zeigt, wie sich eine Einheit Output des entsprechenden empfangenden Sektors aus Gütern sämtlicher liefernder Sektoren zusammensetzt. Insofern ist A eine Abbildung der Vorleistungsstruktur der gesamten Volkswirtschaft. Soll die Bestimmung der Inputkoeffizientenmatrix in Matrixschreibweise formuliert werden, so muss vorher die Diagonalisierung von Vektoren in die Notation eingeführt werden. Letztere verkörpert die Transformation eines Vektors in eine Matrix, welche die Einträge des zugrundeliegenden Vektors auf ihrer Hauptdiagonalen und sonst ausschließlich Nullen abbildet. Diagonalisierte Vektoren werden mit einem Zirkumflex („Dach“) gekennzeichnet. Der diagonalisierte Vektor des Güteraufkommens wird somit folgendermaßen definiert:

Gl. 3-21

$$\hat{x} = \begin{pmatrix}
 x_1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\
 0 & x_2 & \dots & 0 & \dots & 0 \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 0 & 0 & \dots & x_j & \dots & 0 \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & x_n
 \end{pmatrix}$$

Zur Bestimmung der Inputkoeffizientenmatrix muss nun die Matrix der intermediären Verflechtung mit der Inversen des diagonalisierten Güteraufkommens rechtsmultipliziert werden:

Gl. 3-22

$$A = Z\hat{x}^{-1}$$

Wird Gl. 3-22 nach Z aufgelöst, so kann die intermediäre Verflechtung in Abhängigkeit des Güteraufkommens ausgedrückt werden:

Gl. 3-23

$$Z = A\hat{x}$$

Setzt man Gl. 3-23 in das verwendungsseitige Gleichgewicht aus Gl. 3-13 ein, so erhält man Gl. 3-24, was wiederum der Übertragung von Gl. 3-17 in Matrizenform entspricht:

Gl. 3-24

$$x = Zi + y = A\hat{x}i + y = Ax + y$$

Löst man Gl. 3-24 nach der letzten Verwendung auf, so erhält man Gl. 3-25, was wiederum der Übertragung von Gl. 3-18 in Matrizenform entspricht:

Gl. 3-25

$$y = x - Ax$$

Für die weiteren Schritte wird an dieser Stelle die sogenannte Einheitsmatrix I eingeführt, welche auf der Hauptdiagonalen aus Einsen und sonst ausschließlich aus Nullen besteht. Die Dimension der Einheitsmatrix ergibt sich stets aus dem Kontext:

Gl. 3-26

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Nach Einführung der Einheitsmatrix kann Gl. 3-25 wie folgt ausgedrückt werden, was wiederum der Übertragung von Gl. 3-19 in Matrizenschreibweise entspricht:

Gl. 3-27

$$(I - A)x = y$$

Sofern eine Lösung existiert, kann unter Annahme starrer Inputkoeffizienten über den folgenden Zusammenhang das benötigte Güteraufkommen zur Bereitstellung einer beliebigen letzten Verwendung berechnet werden:

Gl. 3-28

$$x = (I - A)^{-1}y$$

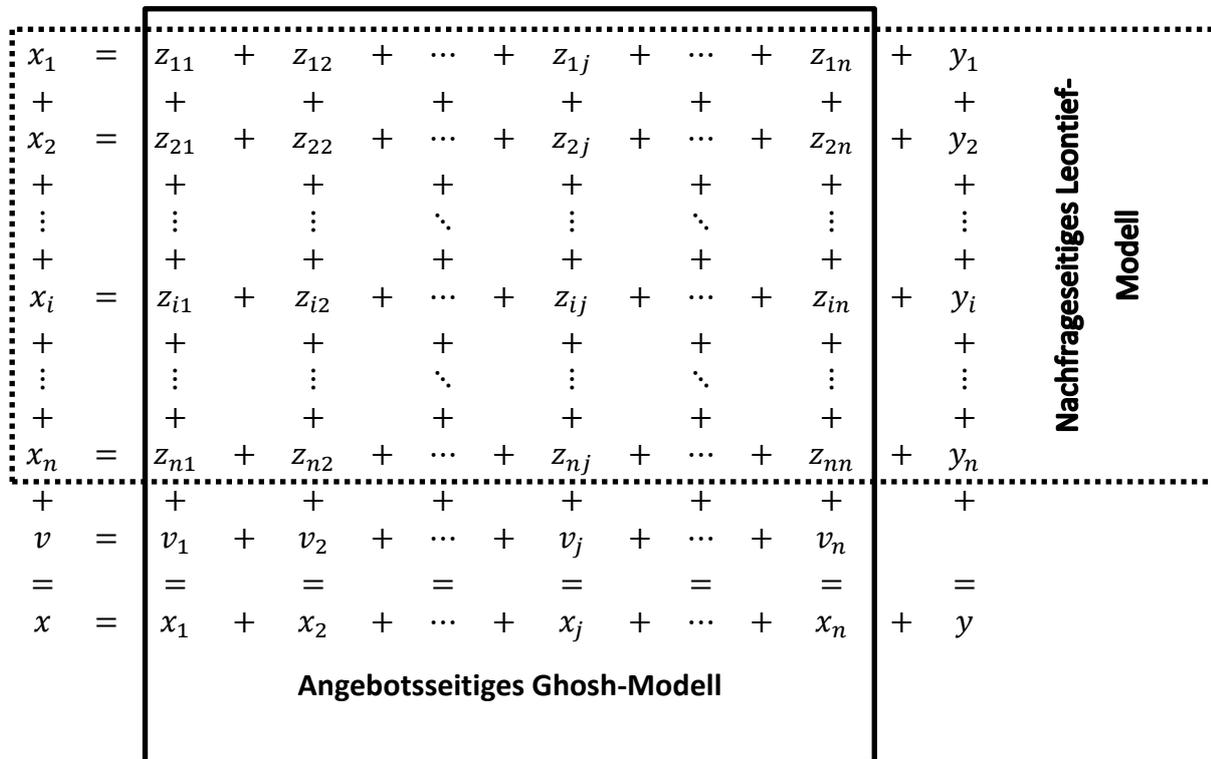
Im Folgenden wird $(I - A)^{-1}$ als Leontief-Inverse bezeichnet und bei Bedarf mit L notiert. Das Modell eignet sich zur Analyse der Auswirkungen von Nachfrageänderung auf die einzelnen Sektoren einer Volkswirtschaft. Erwartet man beispielsweise einen Anstieg der Nachfrage nach Autos aufgrund einer Maßnahme wie der Abwrackprämie, so gibt das nachfrageseitige Modell Auskunft über die Auswirkungen auf alle Sektoren. Beispielsweise kann der *Verband der Chemischen Industrie* untersuchen lassen, inwieweit die chemische Industrie über die gesamtwirtschaftliche Verflechtung von der erhöhten Nachfrage nach Autos profitiert. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Modell beliebige Änderungen der letzten Verwendung auf die dafür benötigten Güteraufkommen projiziert.

3.1.3 Das angebotsseitige Input-Output-Modell

Allgemeine Grundlage für die Modellierung nachgelagerter Verknüpfungen ist das angebotsseitige Input-Output-Modell, welches auf eine Veröffentlichung von Ambica Ghosh aus dem Jahr 1958 zurückzuführen ist und deshalb auch Ghosh-Modell genannt wird.⁷⁷ Das allgemeine Gleichgewicht wird dabei über die Gleichheit vom gesamten Güteraufkommen einerseits und der Summe aus Vorleistungsinputs und Wertschöpfung auf der anderen Seite interpretiert. Abbildung 3-1 stellt die angebotsseitige der nachfrageseitigen Interpretation gegenüber und zeigt, dass die zugrundeliegende Input-Output-Tabelle im Ghosh-Modell zunächst vertikal betrachtet wird.

⁷⁷ Siehe hierzu Ghosh, Ambica (1958): „Input-Output Approach in an Allocation System“, in: *Economica*, 25. Jg., Heft 97, 58-64.

Abbildung 3-1: Ausgangspunkte des nachfrageseitigen Leontief-Modells und des angebotsseitigen Ghosh-Modells



Eigene Darstellung.

In Matrizenschreibweise entspricht diese vertikale Betrachtung der Input-Output-Tabelle dem aufkommensseitigen Gleichgewicht aus Gl. 3-14. Anstelle der Fundierung auf Inputkoeffizienten des nachfrageseitigen Leontief-Modells, basiert das angebotsseitige Ghosh-Modell auf Outputkoeffizienten. Die Outputkoeffizienten zeigen, wie sich das Güteraufkommen auf die einzelnen nachfragenden Sektoren und die letzte Verwendung der Volkswirtschaft verteilt, und werden deshalb auch Allokationskoeffizienten genannt. Der Outputkoeffizient ω_{ij} verkörpert somit den Anteil der gesamten Verwendung aus Sektor i , der in Sektor j verwendet wird. Im Gegensatz zum allgemeinen Gleichgewicht der zugrundeliegenden Input-Output-Tabelle, entsprechen nach Einführung der zur Modellierung notwendigen Koeffizienten das Leontief-Modell einer vertikalen und das Ghosh-Modell einer horizontalen Perspektive. Die Matrix Ω der Outputkoeffizienten wird über die Division der einzelnen Elemente einer Zeile durch die entsprechende gesamte Güterverwendung bestimmt. In Matrizen-

schreibweise entspricht dies einer Linksmultiplikation der intermediären Verwendung mit der Inversen der diagonalisierten gesamten Güterverwendung.⁷⁸

Gl. 3-29

$$\Omega = \begin{pmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1j} & \dots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2j} & \dots & \omega_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{i1} & \omega_{i2} & \dots & \omega_{ij} & \dots & \omega_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{n1} & \omega_{n2} & \dots & \omega_{nj} & \dots & \omega_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{Z_{11}}{x_1} & \frac{Z_{12}}{x_1} & \dots & \frac{Z_{1j}}{x_1} & \dots & \frac{Z_{1n}}{x_1} \\ \frac{Z_{21}}{x_2} & \frac{Z_{22}}{x_2} & \dots & \frac{Z_{2j}}{x_2} & \dots & \frac{Z_{2n}}{x_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{Z_{i1}}{x_i} & \frac{Z_{i2}}{x_i} & \dots & \frac{Z_{ij}}{x_i} & \dots & \frac{Z_{in}}{x_i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{Z_{n1}}{x_n} & \frac{Z_{n2}}{x_n} & \dots & \frac{Z_{nj}}{x_n} & \dots & \frac{Z_{nn}}{x_n} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{1}{x_1} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_2} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{x_j} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \frac{1}{x_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1j} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2j} & \dots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{i1} & Z_{i2} & \dots & Z_{ij} & \dots & Z_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nj} & \dots & Z_{nn} \end{pmatrix} = \hat{x}^{-1}Z$$

Wird Gl. 3-29 nach Z aufgelöst, so kann unter der Annahme starrer Outputkoeffizienten die intermediäre Verflechtung in Abhängigkeit der gesamten Güterverwendung ausgedrückt werden:

Gl. 3-30

$$Z = \hat{x}\Omega$$

Setzt man Gl. 3-30 in das aufkommensseitige Gleichgewicht aus Gl. 3-14 ein, so erhält man Gl. 3-31:

Gl. 3-31

$$x' = i'\hat{x}\Omega + v' = x'\Omega + v'$$

⁷⁸ Siehe hierzu Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 543.

Löst man Gl. 3-31 nach der Wertschöpfung auf, so kann diese im allgemeinen Gleichgewicht unter Annahme starrer Outputkoeffizienten in Abhängigkeit der gesamten Güterverwendung ausgedrückt werden:

Gl. 3-32

$$v' = x' - x'\Omega = x'(I - \Omega)$$

Wird Gl. 3-32 hingegen nach der gesamten Güterverwendung aufgelöst, so erhält man unter Annahme starrer Outputkoeffizienten die gesamte Güterverwendung in Abhängigkeit der Wertschöpfung:⁷⁹

Gl. 3-33

$$x' = v'(I - \Omega)^{-1}$$

Der Ausdruck $(I - \Omega)^{-1}$ wird dabei als Ghosh-Inverse bezeichnet. Während über die Leontief-Inverse das notwendige Güteraufkommen zur Befriedigung einer gegebenen Nachfrage der letzten Verwendung bestimmt wird, dient die Ghosh-Inverse zur Quantifizierung der Güterverwendung, die mit einer gegebenen Wertschöpfung verbunden ist. Über die Leontief-Inverse lässt sich somit das benötigte gesamte Güteraufkommen eines den Produktionsprozess verlassenden Gutes und über die Ghosh-Inverse die resultierende gesamte Güterverwendung eines in den Produktionsprozess eintretenden Primärinputs bestimmen.⁸⁰ Abbildung 3-2 veranschaulicht die Funktionsweise der beiden Modelle. Oben wird gezeigt, wie das nachfrageseitige Leontief-Modell über die letzte Verwendung die dafür benötigten Inputs „zieht“. Unten wird gezeigt, wie das angebotsseitige Ghosh-Modell über die Primärinputs die damit eingehenden Outputs „schiebt“.

⁷⁹ Siehe hierzu *ibid.*, 544.

⁸⁰ Vgl. Augustinovic, Maria (1970): „Methods of international and intertemporal comparison of structure“; in: Carter, Anne P./Bródy, Andrew (Hrsg.) (1970): *Contributions to Input-Output Analysis - Published in honor of Wassily Leontief - Proceedings of the Fourth International Conference on Input-Output Techniques, Geneva, 8 - 12 January 1968 - Volume 1*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 252.

Abbildung 3-2: Anwendung des nachfrageseitigen Leontief-Modells und des angebotsseitigen Ghosh-Modells

$$\begin{array}{rcl}
 x_1 & = & z_{11} + z_{12} + \dots + z_{1j} + \dots + z_{1n} + y_1 \\
 + & & + \quad + \\
 x_2 & = & z_{21} + z_{22} + \dots + z_{2j} + \dots + z_{2n} + y_2 \\
 + & & + \quad + \\
 \vdots & & \vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \vdots \\
 + & & + \quad + \\
 x_i & = & z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i \\
 + & & + \quad + \\
 \vdots & & \vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \vdots \\
 + & & + \quad + \\
 x_n & = & z_{n1} + z_{n2} + \dots + z_{nj} + \dots + z_{nn} + y_n \\
 + & & + \quad + \\
 v & = & v_1 + v_2 + \dots + v_j + \dots + v_n \\
 = & & = \quad = \\
 x & = & x_1 + x_2 + \dots + x_j + \dots + x_n + y
 \end{array}$$

Nachfrageseitiges Leontief-Modell

$$\begin{array}{rcl}
 x_1 & = & z_{11} + z_{12} + \dots + z_{1j} + \dots + z_{1n} + y_1 \\
 + & & + \quad + \\
 x_2 & = & z_{21} + z_{22} + \dots + z_{2j} + \dots + z_{2n} + y_2 \\
 + & & + \quad + \\
 \vdots & & \vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \vdots \\
 + & & + \quad + \\
 x_i & = & z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i \\
 + & & + \quad + \\
 \vdots & & \vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \vdots \\
 + & & + \quad + \\
 x_n & = & z_{n1} + z_{n2} + \dots + z_{nj} + \dots + z_{nn} + y_n \\
 + & & + \quad + \\
 v & = & v_1 + v_2 + \dots + v_j + \dots + v_n \\
 = & & = \quad = \\
 x & = & x_1 + x_2 + \dots + x_j + \dots + x_n + y
 \end{array}$$

Angebotsseitiges Ghosh-Modell

Eigene Darstellung.

3.1.4 Kritik an der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung

Die angebotsseitige Input-Output-Modellierung wird aufgrund der Annahme starrer Outputproportionen kritisiert.⁸¹ Oosterhaven (1981) betont in seiner Dissertation, dass die Änderung der gesamten Verwendung durch geänderte Primärinputs eine vollkommen elastische Nachfrage erfordert. So können in dem Modell beispielsweise mehr Autos produziert werden, ohne das Treibstoffangebot auszuweiten, das wiederum für den Betrieb der Autos benötigt würde. Im Produktionsprozess werden vollkommen endogene Inputproportionen unterstellt, die sich prinzipiell an ein beliebiges verfügbares Angebot anpassen können.⁸² Als Oosterhaven (1988) diese Kritik in einem Artikel wiederaufgreift, beginnt eine breitere Diskussion über die Plausibilität der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung.⁸³ Gruver (1989) reagiert auf diesen Artikel mit der Anmerkung, dass veränderte Inputproportionen im Produktionsprozess als Kostenminimierung interpretiert werden könnten, sofern sie sich im Bereich des ursprünglichen Gleichgewichts bewegen und die relativen Preise konstant bleiben. Über diese Interpretation versucht er, die Anwendung der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung für Änderungen im Bereich des ursprünglichen Gleichgewichtes zu legitimieren.⁸⁴ Rose und Allison (1989) reagieren auf Oosterhaven (1988) mit einem empirischen Beitrag. Am Beispiel einer Input-Output-Tabelle mit einer Disaggregation nach 51 Sektoren des US-Bundesstaates *Washington* untersuchen sie die Auswirkungen einer Halbierung des Aluminiumangebotes auf die Inputkoeffizienten. Als Ergebnis präsentieren sie die durchschnittlichen prozentualen Abweichungen der Inputkoeffizienten für sieben aggregierte Sektoren, welche Werte unterhalb von 2% annehmen. Daraus folgern sie, dass die Inputkoeffizienten relativ stabil bleiben.⁸⁵

Oosterhaven (1989) bezieht sowohl zu Gruver (1989) als auch zu Rose und Allison (1989) Stellung. Bezüglich Gruvers Interpretation einer Kostenminimierung unter konstanten relati-

⁸¹ Siehe hierzu beispielsweise Giarratani, Frank (1980): „The Scientific Basis for Explanation in Regional Analysis“, in: Papers of the Regional Science Association, 45. Jg., Heft 1, 186-188 und Giarratani, Frank (1981): „A Supply-Constrained Interindustry Model: Forecasting Performance and an Evaluation“, in: Buhr, Walter/Friedrich Peter (Hrsg.) (1981): Regional Development under Stagnation. Baden-Baden: Nomos, 283.

⁸² Vgl. Oosterhaven, Jan (1981): Interregional input-output analysis and Dutch regional policy problems. Aldershot: Gower, 140.

⁸³ Siehe hierzu Oosterhaven, Jan (1988): „On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model“, in: Journal of Regional Science, 28. Jg., Heft 2, 207.

⁸⁴ Vgl. Gruver, Gene W. (1989): „On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model: A Theoretical Basis for Input-Coefficient Change“, in: Journal of Regional Science, 29. Jg., Heft 3, 446 und 448.

⁸⁵ Vgl. Rose, Adam/Allison, Tim (1989): „On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model“, in: Journal of Regional Science, 29. Jg., Heft 3, 455-456.

ven Preisen merkt Oosterhaven (1989) an, dass bereits die geringste Änderung der relativen Preise diese Rechtfertigung zerstört. Aufgrund der unterstellten perfekten Inputsubstituierbarkeit würde nur noch der verhältnismäßig günstigste Input verwendet. Somit entstünde für einzelne Unternehmen eine Produktionsfunktion mit einem Input und mehreren Outputs. Die Einwände von Rose und Allison (1989) versucht Oosterhaven (1989) zu entkräften, indem er auf die fehlende Information über Änderungen einzelner Inputkoeffizienten hinweist. Mögliche Rückgänge bei Komplementärgütern von Aluminium werden durch die Darstellung von Mittelwerten verschleiert. Ferner würden im ausgewählten Beispiel 81% des Aluminiumangebotes exportiert und 16% vom Aluminiumsektor selbst verwendet. Dadurch könne sich die Anwendung der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung nur geringfügig auf alle Inputkoeffizienten jenseits des Aluminiumsektors auswirken. Hinzu kommt, dass der Aluminiumsektor überhaupt nicht in der Ergebnisdarstellung von Rose und Allison (1989) enthalten ist.⁸⁶

Dietzenbacher (1997) interpretiert das angebotsseitige Input-Output-Modell als Preismodell. Veränderte Primärinputs verkörpern dabei Preisänderungen. Das Modell basiert auf der Annahme konstanter physischer Mengen und flexibler Preise. Als Ergebnis erhält man die Bewertung der gesamten Verwendung zu veränderten Preisen. Letztendlich lässt sich dieses Ergebnis auch mit dem sogenannten Leontief-Preismodell bestimmen. Die Erweiterung des Leontief-Modells um eine veränderte Wertschöpfung je Einheit produzierter Güter ermöglicht dabei die Bestimmung der Preisänderungen nach Sektoren. Wird das gesamte Aufkommen mit den Preisänderungen multipliziert, so erhält man das gesamte Aufkommen zu veränderten Preisen. Aufgrund der Input-Output-Identität entspricht das gesamte Aufkommen zu veränderten Preisen exakt der gesamten Verwendung zu veränderten Preisen. Analog zum Leontief-Preismodell lässt sich über die Erweiterung um eine veränderte letzte Verwendung je Einheit gesamter Verwendung auch ein Ghosh-Mengenmodell konstruieren. Dieses führt letztendlich auch zu denselben Ergebnissen wie die nachfrageseitige Input-Output-Modellierung. Als direktes Ergebnis erhält man die Mengenänderungsraten nach Sektoren. Multipliziert man diese mit der ursprünglichen gesamten Verwendung, so erhält man exakt dieselbe neue gesamte Verwendung wie in der nachfrageseitigen Input-Output-Modellierung. Somit kann das Ghosh-Modell als „Spiegelbild“ des Leontief-Modells sowie

⁸⁶ Vgl. Oosterhaven, Jan (1989): „The Supply-Driven Input-Output Model: A New Interpretation but still Implausible“, in: *Journal of Regional Science*, 29. Jg., Heft 3, 460-463.

das Leontief-Modell als „Spiegelbild“ des Ghosh-Modells betrachtet werden. Mit beiden Modellen können nachfrageverursachte Mengenänderungen und angebotsverursachte Preisänderungen prognostiziert werden. Sollen überflüssige Rechenschritte vermieden werden, so eigne sich das nachfrageseitige Input-Output-Modell besser zur Untersuchung nachfrageverursachter Mengenänderungen und das angebotsseitige Input-Output-Modell besser zur Prognose angebotsverursachter Preisänderungen.⁸⁷

De Mesnard (2009) kritisiert die Interpretation als Preismodell. Anstelle von Mengen oder Preisen würden mit dem angebotsseitigen Input-Output-Modell nur Werte berechnet. Die angebotsseitige Input-Output-Modellierung eigne sich deshalb nur zur Berechnung „verschobener“ Werte. Bewertete Mengen oder Preisindizes ließen sich hingegen nur im nachfrageseitigen Modell bestimmen. Daraus folgert de Mesnard (2009) die Redundanz der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung.⁸⁸ Mit anderen Worten lässt sich festhalten, dass im Allgemeinen wohl eher Preisänderungsraten als die gesamte Verwendung zu veränderten Preisen von Interesse sind. Insofern vermeidet man mit der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung keine überflüssigen Rechenschritte, da die Preisänderungsraten wiederum aus dem Verhältnis der gesamten Verwendung zu veränderten Preisen zur gesamten Verwendung zu ursprünglichen Preisen berechnet werden muss.

Ghosh (1958) unterstellte bei der ursprünglichen Formulierung des angebotsseitigen Input-Output-Modells, dass entweder ein monopolistischer Markt mit knappen Ressourcen oder eine Planwirtschaft herrscht.⁸⁹ Die Annahme einer Planwirtschaft greifen Guerra und Sancho (2011) wieder auf. Unter dieser Annahme sehen sie mit Verweis auf Oosterhaven (1988) und Oosterhaven (1989) das wesentliche Problem bei der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung darin, dass die veränderte Wertschöpfung in einem Sektor die Güterverwendung in allen Sektoren verändern kann, ohne mit Wertschöpfungsänderungen in den anderen Sektoren einherzugehen. Zur Lösung schlagen sie eine Endogenisierung der Haushalte vor, die in der nachfrageseitigen Input-Output-Modellierung bereits als Erweiterung etabliert ist. Nach Aufteilung der letzten Verwendung in privaten Konsum und Staatsausgaben sowie der Primärinputs in Arbeitslöhne und Staatseinnahmen werden der private Konsum und die

⁸⁷ Vgl. Dietzenbacher, Erik (1997): „In Vindication of the Ghosh Model: A Reinterpretation as a Price Model“, in: *Journal of Regional Science*, 37. Jg., Heft 4, 633-635 und 645-646.

⁸⁸ Vgl. De Mesnard, Louis (2009): „Is the Ghosh Model Interesting?“, in: *Journal of Regional Science*, 49. Jg., Heft 2, 364, 366 und 369.

⁸⁹ Vgl. Ghosh, Ambica (1958), *op. cit.*, 58-59.

Arbeitslöhne endogenisiert. Als exogene Größe fungieren nachfrageseitig die Staatsausgaben und angebotsseitig die Staatseinnahmen. Nachfrageseitig führt somit eine Veränderung der Staatsausgaben zu einer Veränderung der Arbeitslöhne, die wiederum mit einer Veränderung des privaten Konsums einhergeht. Angebotsseitig würde eine Veränderung der Staatseinnahmen zu einer Veränderung des privaten Konsums führen, die wiederum mit einer Veränderung der Arbeitslöhne einhergehen würde.⁹⁰

Laut Oosterhaven (2012) verliert die angebotsseitige Input-Output-Modellierung durch eine Endogenisierung der Haushalte zusätzlich an Plausibilität. Dies führt er sowohl für Marktwirtschaften als auch für Planwirtschaften auf die Negierung der Komplementaritäten zwischen den Inputs zurück. Durch die Endogenisierung der Haushalte wird auch Arbeit in den Bereich der völligen Substituierbarkeit verschiedener Inputs verschoben. Das Modell verliere dadurch zusätzlich an Plausibilität, da sowohl auf sektoraler als auch auf gesamtwirtschaftlicher Ebene sogar mit einer geringeren Wertschöpfung höhere gesamte Güterverwendungen realisiert werden können. Außerdem weist Oosterhaven (2012) auf die absurde Kausalität der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung nach einer Endogenisierung der Haushalte hin. Sowie Konsumenten zusätzliche Konsumgüter erhalten, steige im Modell unabhängig des Nutzens dieser Güter die Arbeitsbereitschaft der privaten Haushalte in äquivalentem Ausmaß. Diese Annahme sei jedoch lediglich in Militärdiktaturen plausibel. Plausibel ist die angebotsseitige Input-Output-Modellierung hingegen für deskriptive Analysen, in denen die exogene Größe weder verringert noch erhöht wird. So eignet sie sich beispielsweise zur Bestimmung der Positionierung von Wirtschaftsbereichen in der nationalen oder globalen Lieferkette.⁹¹

Die Kritik an der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung konzentriert sich somit auf deren Eignung zur Prognose einer neuen gesamten Güterverwendung in Abhängigkeit einer veränderten Wertschöpfung. Begründet wird diese Kritik damit, dass dem Modell vollkommen elastische Inputstrukturen zugrunde liegen. Diese Kritik trifft allerdings nur bei der Berechnung einer neuen gesamten Güterverwendung zu. Wird hingegen die Wertschöpfung nach Sektoren in mehrere Komponenten untergliedert, so kann mit der angebotsseitigen

⁹⁰ Siehe hierzu Guerra, Ana-Isabel/Sancho, Ferran (2011): „Revisiting the Original Ghosh Model: Can it be Made More Plausible?“, in: *Economic Systems Research*, 23. Jg., Heft 3, 319-324.

⁹¹ Vgl. Oosterhaven, Jan (2012): „Adding Supply-Driven Consumption Makes the Ghosh Model Even More Implausible“, in: *Economic Systems Research*, 24. Jg., Heft 1, 109-110.

Input-Output-Modellierung jeder dieser Komponenten ein Teil der gesamten Güterverwendung unter Erhalt der ursprünglichen Inputstruktur zugewiesen werden.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird auf Grundlage eines gegebenen Gleichgewichtes zunächst ein extrabetriebliches Gleichgewicht bestimmt. Das extrabetriebliche Gleichgewicht setzt sich angebotsseitig aus extrabetrieblichen Vorleistungen, einer extrabetrieblichen Wertschöpfung sowie des exogenisierten intermediären Angebotes des betrachteten Unternehmens zusammen. Dabei werden bereits vor Anwendung der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung die ursprünglichen Inputstrukturen verändert. Diese Veränderung ist jedoch notwendig, um Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrages vorzubeugen. Erst im Anschluss wird auf Grundlage dieses beabsichtigten neuen Gleichgewichtes die angebotsseitige Input-Output-Modellierung durchgeführt. Die gesamte Güterverwendung des extrabetrieblichen Gleichgewichtes wird dabei auf die Komponenten intermediäres Unternehmensangebot und extrabetriebliche Wertschöpfung verteilt. Addiert man zur extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung das gesamte Unternehmensangebot hinzu, so erhält man wieder die ursprüngliche gesamte Güterverwendung.

In einer zweiten Stufe wird auf Grundlage des extrabetrieblichen Gleichgewichtes und der extrabetrieblichen Inputstrukturen ein vorleistungsbereinigtes Gleichgewicht ermittelt, um Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen zu vermeiden. Die Inputstrukturen werden aus dem extrabetrieblichen Gleichgewicht übernommen. Die Veränderung der Inputstrukturen beschränkt sich somit auch hier auf die notwendige Vermeidung von Doppelzählungen aus dem eigenen Unternehmensbeitrag. Die angebotsseitige Input-Output-Modellierung wird erst im Anschluss auf Grundlage des beabsichtigten neuen Gleichgewichtes durchgeführt. Die gesamte Güterverwendung des vorleistungsbereinigten Gleichgewichtes wird dabei auf die Komponenten vorleistungsbereinigtes intermediäres Güterangebot und vorleistungsbereinigte Wertschöpfung verteilt. Auch hier kann die gesamte vorleistungsbereinigte Güterverwendung wieder zur gesamten Güterverwendung des ursprünglichen Gleichgewichtes ergänzt werden. Dafür muss neben dem gesamten Unternehmensangebot auch das gesamte extrabetriebliche Güteraufkommen zur direkten und indirekten Erzeugung der Vorleistungen hinzugefügt werden.

Alternativ wird in der zweiten Stufe auf Grundlage des extrabetrieblichen Gleichgewichtes und der extrabetrieblichen Outputkoeffizienten ein weiterverarbeitungsbereinigtes Gleich-

gewicht ermittelt. Dieses Vorgehen erweckt zunächst den Anschein, dass die allgemeine Kritik an der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung hier zutrifft. Schließlich werden die Inputstrukturen dabei über starre Outputkoeffizienten bestimmt. Allerdings gilt auch hier, dass sich das weiterverarbeitungsbereinigte gesamte Güteraufkommen zum gesamten Güteraufkommen des ursprünglichen Gleichgewichtes überleiten lässt. Dies erfordert lediglich eine additive Ergänzung um die direkte und indirekte gesamte Verwendung der Weiterverarbeitung sowie die gesamte Unternehmensnachfrage. Zur Vermeidung von Doppelzählungen ist die Verwerfung der Annahme starrer Inputstrukturen hier sogar erforderlich. Schließlich sollen die weiterverarbeitungsberinigten Inputkoeffizienten nur jene Inputs enthalten, die weder direkt noch indirekt aus der eigenen Unternehmensproduktion stammen.

Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass die angebotsseitige Input-Output-Modellierung aufgrund der mit ihr verbundenen Annahme vollkommen elastischer Inputstrukturen kritisiert wird. Die Inputstrukturen verändern sich jedoch nur, wenn vom ursprünglichen Gleichgewicht abgewichen wird. Jegliche Gleichgewichtsveränderungen in dieser Arbeit werden vom ursprünglichen Gleichgewicht abgeleitet. Damit einhergehende Änderungen der Inputstrukturen verkörpern die beabsichtigte Bereinigung um Doppelzählungen. Insofern trifft die Kritik an der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung für diese Arbeit nicht zu. Die Verwerfung der Annahme vollkommen starrer Inputstrukturen ist hier sogar notwendig, um die Produktionstätigkeit der übrigen Wirtschaft ohne den direkten und indirekten Beitrag des betrachteten Unternehmens zu quantifizieren.

3.1.5 Linkages in der Input-Output-Modellierung

Im Hinblick auf die Bewertung von vorgelagerten und nachgelagerten Effekten, haben sich in der Input-Output-Analyse die Begriffe *Backward Linkage* und *Forward Linkage* durchgesetzt. Als *Backward Linkage* wird die vorgelagerte Verflechtung eines Sektors und als *Forward Linkage* die nachgelagerte Verflechtung eines Sektors bezeichnet. Diese Verflechtungen können sowohl direkt als auch total quantifiziert werden. Zur Bestimmung von *Backward Linkages* eignet sich das Leontief-Modell, wobei der direkte *Backward Linkage* eines Sektors über die entsprechende Spaltensumme der Matrix der Inputkoeffizienten und der totale *Backward Linkage* eines Sektors über die entsprechende Spaltensumme der Leontief-Inversen quantifiziert wird. Die Elemente der Leontief-Inversen werden hierbei auch als Leontief-Koeffizienten bezeichnet. Das Ghosh-Modell eignet sich hingegen zur Bestimmung

von *Forward Linkages*, wobei der direkte *Forward Linkage* eines Sektors über die entsprechende Zeilensumme der Matrix der Output-Koeffizienten und der totale *Forward Linkage* eines Sektors über die entsprechende Zeilensumme der Ghosh-Inversen quantifiziert werden. Hierbei werden die Elemente der Ghosh-Inversen auch als Ghosh-Koeffizienten bezeichnet.⁹²

3.2 Mehr-Regionen-Modellierung

3.2.1 Grundlegende Gleichgewichte der Mehr-Regionen-Modellierung

Die Verwendung des Begriffs regional für die Modellierung offener Volkswirtschaften ist auf die historische Entwicklung der Input-Output-Analyse zurückzuführen. Ursprünglich wurden Input-Output-Modelle auf nationaler Ebene angewandt. Beispielsweise wurde gegen Ende des Zweiten Weltkrieges untersucht, welche Auswirkungen über den Produktionswandel von Kriegs- zu Friedenszeiten auf die einzelnen Sektoren der US-amerikanischen Volkswirtschaft zu erwarten waren. Im weiteren Zeitverlauf richtete sich das Interesse zur Anwendung von Input-Output-Modellen zunächst auf subnationale Fragestellungen. So wurden etwa einzelne Ballungsräume, Verwaltungsbezirke, Bundesstaaten und deren Gruppierungen als Zentralbankbezirke untersucht. Um auch die Verflechtungen zwischen einzelnen subnationalen Regionen zu berücksichtigen, wurden schließlich interregionale und multiregionale Modelle entwickelt.⁹³ Diese wurden als logische Erweiterungen der grundlegenden Input-Output-Strukturen entwickelt, um einerseits potentiell abweichende Produktionstechniken der gleichen Sektoren in unterschiedlichen Regionen und andererseits die Handelsverflechtungen zwischen Sektoren der unterschiedlichen Regionen widerzuspiegeln. Aufgrund der zunehmenden gegenseitigen wirtschaftlichen Abhängigkeiten zwischen Nationen, wie beispielsweise in der EU, wurde diese Modellierungstechnik in den letzten Jahrzehnten auf die multinationale Ebene ausgeweitet. Letztlich wurde ein Weltmodell angestrebt, bei dem Regionen auch als große Gruppen von Nationen integriert werden können, um zum Beispiel die globalen Auswirkungen alternativer Entwicklungspolitiken zu untersuchen. Das Verständnis des Begriffs Region wird für die internationale Anwendung durch eine einzelne Nation oder eine Gruppe von Nationen ersetzt.⁹⁴

⁹² Vgl. Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 555-558.

⁹³ Vgl. ibid., 69-71.

⁹⁴ Vgl. ibid., 106-107.

Werden mehrere Regionen in ein Input-Output-Modell integriert, so liegt die grundlegende Problemstellung zunächst in der Gewinnung von Daten, welche die Verflechtungen zwischen den einzelnen Sektoren der Regionen reflektieren. Der ideale Fall wird als interregionales Modell bezeichnet und erfordert einen vollständigen Datensatz der intra- und interregionalen Verflechtungen, wobei letztere im Detail praktisch kaum verfügbar sind. Hinzu kommt, dass die Anzahl der Verflechtungsmatrizen in einem quadratischen Zusammenhang zur Anzahl der Regionen steht.⁹⁵ Wird ein interregionales Input-Output-Modell um eine Region erweitert, so erfordert dies zwar nur eine zusätzliche intraregionale Verflechtungstabelle, aber gleichzeitig für jede bereits bestehende Region zwei zusätzliche interregionale Verflechtungstabellen. Schließlich werden sowohl die Lieferungen als auch die Bezüge zwischen den Regionen berücksichtigt.

Formal kann dies folgenderweise gezeigt werden. Bei N Regionen besteht eine interregionale Input-Output-Tabelle insgesamt aus N^2 Teilmatrizen, wovon N die intraregionalen Verflechtungen der Regionen abbilden. Folglich verbleibt eine Anzahl von $N^2 - N$ interregionalen Verflechtungstabellen. Wird das Modell um eine Region erweitert, so besteht es aus insgesamt $(N + 1)^2$ Teilmatrizen, wovon $(N + 1)$ Teilmatrizen die intraregionalen Verflechtungen und die verbleibenden $(N + 1)^2 - (N + 1)$ Teilmatrizen die interregionalen Verflechtungen abbilden. Der Bedarf zusätzlicher interregionaler Verflechtungsmatrizen ergibt sich folglich aus der Differenz:

Gl. 3-34

$$\overbrace{((N + 1)^2 - (N + 1))}^{N+1 \text{ Regionen}} - \overbrace{(N^2 - N)}^{N \text{ Regionen}} = N^2 + 2N + 1 - N - 1 - N^2 + N = 2N$$

Abbildung 3-3 verdeutlicht dies auf der linken Seite für Ein- bis Vier-Regionen-Modelle. Die Zahlen zeigen dabei, welche Verflechtungstabellen durch die erste, zweite, dritte und vierte Region hinzukommen. Intraregionale Verflechtungstabellen sind schwarz eingefärbt und interregionale Tabellen grau. Die Erweiterung um eine zweite Region bedarf lediglich zwei interregionaler Verflechtungstabellen. Durch den Übergang zu einem Drei-Regionen-Modell werden vier zusätzliche interregionaler Verflechtungstabellen benötigt. Die vierte hinzugekommene Region erfordert bereits eine Erweiterung um sechs interregionale Verflechtungstabellen. Die Tabelle im rechten Teil von Abbildung 3-3 ordnet exemplarisch auch größeren

⁹⁵ Vgl. *ibid.*, 76.

Mehr-Regionen-Modellen den zusätzlichen Bedarf interregionaler Verflechtungstabellen durch Hinzunahme einer Region zu. Bei 195 unabhängigen Staaten weltweit würde die Hinzunahme des letzten unabhängigen Staates 388 zusätzliche interregionale Verflechtungstabellen erfordern.⁹⁶ Ein Mehr-Regionen-Modell, das alle Staaten umfasst, müsste über 38.025 Teilmatrizen konstruiert werden.

Abbildung 3-3: Bedarf zusätzlicher interregionaler Verflechtungstabellen bei regionalen Erweiterungen

1	2	3	4	Rang der hinzugenommenen Region	2	3	4	5	...	10	...	20	...	50	...	100	...	195
2	2	3	4	Bedarf zusätzlicher interregionaler Verflechtungstabellen	2	4	6	8	...	18	...	38	...	98	...	198	...	388
3	3	3	4															
4	4	4	4															

Eigene Darstellung.

Die Idee des interregionalen Input-Output-Modells stammt von Isard, weshalb auch der Begriff Isard-Modell verwendet wird.⁹⁷ Im Artikel „Interregional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space-Economy“ beschrieb Isard 1951 zunächst die theoretische Grundlage.⁹⁸ Ausgearbeitet wurde das Modell von Isard et al. im Jahr 1960.⁹⁹ Die Anwendung des interregionalen Modells für eine größere Anzahl an Regionen scheitert in der Regel an der Datenverfügbarkeit. Deshalb hat sich als Vereinfachung die sogenannte multiregionale Input-Output-Modellierung durchgesetzt.¹⁰⁰ Zurückzuführen ist der Ansatz auf ein Zwei-Regionen-Modell Italiens von Chenery aus dem Jahr 1953 und ein Neun-Regionen-Modell der USA von Moses aus dem Jahr 1955, weshalb auch der Begriff Chenery-Moses-Modell verwendet wird.¹⁰¹ Anzumerken ist hierbei, dass weder Chenery noch Moses den Begriff multiregional verwenden.¹⁰² Letztendlich unterscheidet sich das multiregionale Modell in der Datengewinnung vom interregionalen Modell.¹⁰³ Sind Daten bereits als Mehr-Regionen-

⁹⁶ Anzahl unabhängiger Staaten der Welt nach Bureau of Intelligence and Research (Hrsg.) (2012): Independent States in the World. Internet: <http://www.state.gov/s/inr/rls/4250.htm>, 06.03.2012.

⁹⁷ Vgl. Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 76.

⁹⁸ Siehe hierzu Isard, Walter (1951): „Interregional and Regional Input-Output Analysis - A Model of a Space-Economy“, in: The Review of Economics and Statistics, 33. Jg., Heft 4.

⁹⁹ Vgl. Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 76.

¹⁰⁰ Vgl. ibid., 86.

¹⁰¹ Vgl. ibid., 76.

¹⁰² Siehe hierzu Chenery, Hollis B. (1953): „Regional Analysis“; in: Chenery, Hollis B./Clark, Paul G./Pinna, Vera Cao (Hrsg.) (1953): The Structure and Growth of the Italian Economy. Rome: US Mutual Security Agency und Moses, Leon N. (1955): „The Stability of Interregional Trading Patterns and Input-Output Analysis“, in: The American Economic Review, 45. Jg., Heft 5.

¹⁰³ Siehe hierzu Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 87.

Matrix aufbereitet, ist die weitere Vorgehensweise zur Modellierung totaler Emissionsintensitäten identisch. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Mehr-Regionen-Modellierung auf Grundlage der *World Input-Output Database* (WIOD) durchgeführt, die bereits aufbereitete Mehr-Regionen-Matrizen enthält.¹⁰⁴ Zur Vorgehensbeschreibung bei der Berechnung totaler Emissionsintensitäten wird deshalb der Begriff Mehr-Regionen-Modell verwendet.

Die multiregionale Input-Output-Modellierung wird als geeignetste Methode zur Berücksichtigung des Außenhandels erachtet.¹⁰⁵ Dies gilt insbesondere für die Allokation von Umweltverschmutzung und Ressourcenverbrauch.¹⁰⁶ Die Kombination inländischer Matrizen und Importmatrizen der einzelnen Länder bzw. Regionen erlaubt die Modellierung über eine große Inputkoeffizientenmatrix, welche neben Handelsverflechtungen auch Rückkopplungsschleifen berücksichtigt.¹⁰⁷ Allerdings steigt der Datenbedarf mit diesem Ansatz erheblich. Deshalb ist die Modellierung der Input-Output-Verflechtung zwischen allen Ländern der Welt über diese Vorgehensweise bislang nur theoretisch möglich. Alle unberücksichtigten Länder werden in einer oder mehrerer Restregionen als übrige Welt in das Modell integriert.¹⁰⁸

Unter Annahme der inländischen Technologie wird bei der Modellierung auf eine intermediäre Verflechtung zurückgegriffen, welche lediglich von Sektoren nach Sektoren gegliedert ist. Datengrundlage ist dabei eine Tabelle der inländischen Produktion und Importe. Die Tabelle berücksichtigt folglich inländische und importierte Inputs, letztere werden jedoch nicht nach Herkunft ausgewiesen. Zur herkunftsspezifischen Integration importierter Inputs wird deshalb in der Mehr-Regionen-Input-Output-Modellierung auf eine große Tabelle der intermediären Verflechtung zurückgegriffen, welche die Inputs von liefernden Regionen und Sektoren nach empfangenden Regionen und Sektoren ausweist. Diese große Tabelle setzt sich aus Teilmatrizen zusammen, welche jeweils die intermediäre Verflechtung von Sektoren nach

¹⁰⁴ Siehe hierzu World Input-Output Database (Hrsg.) (2012): The WIOD-Database - World Input-Output tables and International Supply and Use tables. Internet: <http://www.wiod.org/database/iot.htm>, 26.03.2013, WIOTs.

¹⁰⁵ Vgl. Andrew, R./Peters, G./Lennox, J. (2009): „Approximation and Regional Aggregation in Multi-Regional Input-Output Analysis for National Carbon Footprint Accounting“, in: *Economic System Research*, 21. Jg., Heft 3, 312.

¹⁰⁶ Vgl. Wiedmann, Thomas/Lenzen, Manfred/Turner, Karen/Barett, John (2007): „Examining the global impact of regional consumption activities - Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade“, in: *Ecological Economics*, 61. Jg., Heft 1, 16.

¹⁰⁷ Vgl. *ibid.*, 18.

¹⁰⁸ Vgl. Andrew, R./Peters, G./Lennox, J. (2009), *op. cit.*, 312-313.

Sektoren von einer liefernden nach einer empfangenden Region beschreiben. Die intermediäre Verflechtung eines Mehr-Regionen-Modells wird dabei folgendermaßen notiert:

Gl. 3-35

$${}^{MR}Z = \begin{pmatrix} {}_{11}Z & {}_{12}Z & \cdots & {}_{1J}Z & \cdots & {}_{1N}Z \\ {}_{21}Z & {}_{22}Z & \cdots & {}_{2J}Z & \cdots & {}_{2N}Z \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{I1}Z & {}_{I2}Z & \cdots & {}_{IJ}Z & \cdots & {}_{IN}Z \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{N1}Z & {}_{N2}Z & \cdots & {}_{NJ}Z & \cdots & {}_{NN}Z \end{pmatrix}$$

wobei:

${}^{MR}Z =$ *Intermediäre Verflechtung des Mehr--Regionen-Modells*

${}_{IJ}Z =$ *Intermediäre Verflechtung von Region I nach Region J*

Jede Teilmatrix beschreibt die intermediäre Verflechtung zwischen den Sektoren von Region I nach Region J.

Gl. 3-36

$${}_{IJ}Z = \begin{pmatrix} {}_{IJ}Z_{11} & {}_{IJ}Z_{12} & \cdots & {}_{IJ}Z_{1j} & \cdots & {}_{IJ}Z_{1n} \\ {}_{IJ}Z_{21} & {}_{IJ}Z_{22} & \cdots & {}_{IJ}Z_{2j} & \cdots & {}_{IJ}Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{IJ}Z_{i1} & {}_{IJ}Z_{i2} & \cdots & {}_{IJ}Z_{ij} & \cdots & {}_{IJ}Z_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{IJ}Z_{n1} & {}_{IJ}Z_{n2} & \cdots & {}_{IJ}Z_{nj} & \cdots & {}_{IJ}Z_{nn} \end{pmatrix}$$

wobei:

${}_{IJ}Z_{ij} =$ *Vorleistungen von Sektor i aus Region I nach Sektor j aus Region J*

In der Matrix der intermediären Verflechtung im Mehr-Regionen-Modell beschreiben somit die Teilmatrizen auf der Diagonale die rein inländische intermediäre Verflechtung. Betrachtet man die Spalten einer Region, so werden jenseits der inländischen intermediären Verflechtung die Importe nach liefernden Regionen und Sektoren für die einzelnen empfangenden Sektoren ausgewiesen. In den Zeilen einer Region werden jenseits der inländischen intermediären Verflechtung entsprechend die Exporte von Sektoren nach empfangender Region und Sektor dargestellt. Zur Darstellung der Input-Output-Identität im Mehr-Regionen-Modell wird ferner ein dimensional entsprechender Spaltenvektor der letzten Verwendung nach Sektoren und Regionen sowie ein dimensional entsprechender Zeilenvektor der Wert-

schöpfung nach Sektoren und Regionen benötigt. Beide Vektoren setzen sich aus regionalen Teilvektoren nach Sektoren zusammen. Dabei wird der Spaltenvektor der letzten Verwendung im Mehr-Regionen-Modells wie folgt notiert:

Gl. 3-37

$${}^{MR}y = \begin{pmatrix} {}_1y \\ {}_2y \\ \vdots \\ {}_iy \\ \vdots \\ {}_Ny \end{pmatrix}, \text{ wobei } {}_iy = \begin{pmatrix} {}_iy_1 \\ {}_iy_2 \\ \vdots \\ {}_iy_i \\ \vdots \\ {}_iy_n \end{pmatrix}$$

Mit Gl. 3-37 wird der Spaltenvektor der letzten Verwendung im Mehr-Regionen-Modell ${}^{MR}y$ als Aneinanderreihung von Spaltenvektoren regionaler Lieferungen an die letzte Verwendung ${}_iy$ definiert. Die regionalen Spaltenvektoren der letzten Verwendung bilden schließlich die letzte Verwendung nach Sektoren aus der jeweiligen Region ab. Entsprechend setzt sich auch der Zeilenvektor der Wertschöpfung im Mehr-Regionen-Modell aus regionalen Zeilenvektoren zusammen:

Gl. 3-38

$${}^{MR}v' = ({}_1v' \quad {}_2v' \quad \dots \quad {}_jv' \quad \dots \quad {}_Nv'), \text{ wobei } {}_jv' = ({}_jv_1 \quad {}_jv_2 \quad \dots \quad {}_jv_j \quad \dots \quad {}_jv_n)$$

Mit Gl. 3-38 wird der Zeilenvektor der Wertschöpfung im Mehr-Regionen-Modell ${}^{MR}v'$ als Aneinanderreihung regionaler Zeilenvektoren der Wertschöpfung ${}_jv'$ definiert. Die regionalen Zeilenvektoren der Wertschöpfung bilden schließlich die Wertschöpfung nach Sektoren in der jeweiligen Region ab. Wird die intermediäre Verflechtung des Mehr-Regionen-Modells mit dem dimensional entsprechenden Summierungsvektor in seiner horizontalen Form linksmultipliziert, so erhält man einen Zeilenvektor der aufsummierten Vorleistungen nach Region und Sektor. Die aufsummierten intermediären Verwendungen nach Region und Sektor lassen sich durch Rechtsmultiplikation der intermediären Verflechtung des Mehr-Regionen-Modells mit dem dimensional entsprechenden Summierungsvektor in seiner vertikalen Form als Spaltenvektor darstellen. Wird diese Darstellung um den Zeilenvektor der Wertschöpfungen nach Regionen und Sektoren aus Gl. 3-38 sowie den Spaltenvektor der letzten Verwendungen nach Sektoren und Regionen aus Gl. 3-37 ergänzt, so entsteht folgendes System, das sowohl zeilen- als auch spaltenweise aufsummiert werden kann und die Identität von Güteraufkommen und Güterverwendung abbildet:

Regionen und Sektoren. Das gesamte Aufkommen nach Regionen und Sektoren wird mit den Spaltensummen ausgewiesen.

Tabelle 3-2: Grundlegender Aufbau einer Mehr-Regionen-Input-Output-Tabelle

Input \ Output	Region	1	1	...	J	...	N	Letzte Verwendung	Gesamte Verwendung
	Sektor	1	2		j		n		
1	1	${}_{11}Z_{11}$	${}_{11}Z_{12}$	...	${}_{1j}Z_{1j}$	...	${}_{1N}Z_{1n}$	${}_{1Y_1}$	${}_{1X_1}$
1	2	${}_{11}Z_{21}$	${}_{11}Z_{22}$	...	${}_{1j}Z_{2j}$	...	${}_{1N}Z_{2n}$	${}_{1Y_2}$	${}_{1X_2}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	i	${}_{i1}Z_{i1}$	${}_{i1}Z_{i2}$	...	${}_{ij}Z_{ij}$	...	${}_{iN}Z_{in}$	${}_{iY_i}$	${}_{iX_i}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	n	${}_{N1}Z_{n1}$	${}_{N1}Z_{n2}$	...	${}_{Nj}Z_{nj}$	...	${}_{NN}Z_{nn}$	${}_{NY_n}$	${}_{NX_n}$
Wertschöpfung		${}_{1V_1}$	${}_{1V_2}$	...	${}_{jV_j}$	...	${}_{NV_n}$		
Gesamtes Aufkommen		${}_{1X_1}$	${}_{1X_2}$	...	${}_{jX_j}$	...	${}_{NX_n}$		

Eigene Darstellung.

Allgemeine Grundlage der Mehr-Regionen-Input-Output-Modelle ist, wie bereits in den Ein-Region-Modellen, die Identität von gesamter Verwendung und gesamtem Aufkommen. Die gesamte Verwendung wird dabei durch die Zusammensetzung aus intermediärer und letzter Verwendung nach Regionen und Sektoren beschrieben. Durch diese Identität wird das verwendungsseitige Gleichgewicht ausgedrückt, das in Kurzform folgendermaßen notiert wird:

Gl. 3-44

$${}^{MR}x = {}^{MR}Zi + {}^{MR}y$$

Das gesamte Aufkommen entspricht der Zusammensetzung aus Vorleistungen und Wertschöpfung nach Regionen und Sektoren. Durch diese Identität wird das aufkommenseitige Gleichgewicht ausgedrückt, das in Kurzform folgendermaßen notiert wird:

Gl. 3-45

$${}^{MR}x' = i'{}^{MR}Z + {}^{MR}v'$$

Bislang wurden die der Mehr-Regionen-Modellierung zugrundeliegenden allgemeinen Gleichgewichte in absoluten Werten eingeführt. Um die Mehr-Regionen-Modellierung nachfrage- oder angebotsseitig durchzuführen, werden im Folgenden die notwendigen relativen Größen eingeführt.

3.2.2 Nachfrageseitige Mehr-Regionen-Modellierung

Die nachfrageseitige Mehr-Regionen-Modellierung bildet das verwendungsseitige Gleichgewicht unter Rückgriff auf die relative Zusammensetzung der empfangenen Vorleistungen je Einheit gesamtes Güteraufkommen nach Regionen und Sektoren ab. Deshalb müssen zunächst Mehr-Regionen-Inputkoeffizienten bestimmt werden. Dazu werden die absoluten Vorleistungswerte eines Sektors einer Region ins Verhältnis zum entsprechenden gesamten Güteraufkommen des Sektors aus der Region gesetzt:

Gl. 3-46

$${}_{IJ}a_{ij} = \frac{{}_{IJ}z_{ij}}{jx_j}$$

Wird der Rechenschritt aus Gl. 3-46 für jedes ${}_{IJ}z_{ij}$ aus der Mehr-Regionen-Datengrundlage durchgeführt, so erhält man die Mehr-Regionen-Inputkoeffizientenmatrix ${}^{MR}A$:

Gl. 3-47

$${}^{MR}A = \begin{pmatrix} {}_{11}a_{11} & {}_{11}a_{12} & \cdots & {}_{1J}a_{1j} & \cdots & {}_{1N}a_{1n} \\ {}_{11}a_{21} & {}_{11}a_{22} & \cdots & {}_{1J}a_{2j} & \cdots & {}_{1N}a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{I1}a_{i1} & {}_{I1}a_{i2} & \cdots & {}_{IJ}a_{ij} & \cdots & {}_{IN}a_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{N1}a_{n1} & {}_{N1}a_{n2} & \cdots & {}_{NJ}a_{nj} & \cdots & {}_{NN}a_{nn} \end{pmatrix}$$

Wird die intermediäre Verflechtung der Mehr-Regionen-Datengrundlage mit der Inversen des diagonalisierten gesamten Aufkommens der Mehr-Regionen-Datengrundlage rechtsmultipliziert, so erhält man die Mehr-Regionen-Inputkoeffizientenmatrix auf direktem Weg:

Gl. 3-48

$${}^{MR}A = {}^{MR}Z {}^{MR}\hat{x}^{-1}$$

Löst man Gl. 3-48 nach ${}^{MR}Z$ auf, so kann unter Annahme starrer Inputkoeffizienten die intermediäre Verflechtung der Mehr-Regionen-Datengrundlage in Abhängigkeit des gesamten Güteraufkommens der Mehr-Regionen-Datengrundlage ausgedrückt werden:

Gl. 3-49

$${}^{MR}Z = {}^{MR}A {}^{MR}\hat{x}$$

Setzt man Gl. 3-49 in das verwendungsseitige Gleichgewicht aus Gl. 3-44 ein, so erhält man Gl. 3-50:

Gl. 3-50

$${}^{MR}x = {}^{MR}Zi + {}^{MR}y = {}^{MR}A {}^{MR}\hat{x}i + {}^{MR}y = {}^{MR}A {}^{MR}x + {}^{MR}y$$

Löst man Gl. 3-50 nach der letzten Verwendung auf, so erhält man Gl. 3-51:

Gl. 3-51

$${}^{MR}y = {}^{MR}x - {}^{MR}A {}^{MR}x = (I - A) {}^{MR}x$$

Berücksichtigt man in Gl. 3-51, dass das gesamte Güteraufkommen der transponierten gesamten Güterverwendung entspricht, so kann unter Annahme starrer Mehr-Regionen-Inputkoeffizienten für ein beliebiges gesamtes Güteraufkommen die realisierbare letzte Verwendung modelliert werden. Zur nachfrageseitigen Mehr-Regionen-Modellierung wird Gl. 3-51 nach der gesamten Güterverwendung aufgelöst:

Gl. 3-52

$${}^{MR}x = (I - {}^{MR}A)^{-1} {}^{MR}y$$

Mit Gl. 3-52 wird modelliert, welches Güteraufkommen nach Regionen und Sektoren zur Befriedigung einer gegebenen letzten Verwendung nach Regionen und Sektoren benötigt wird. Dabei „zieht“ die letzte Verwendung das gesamte Güteraufkommen. Enthält das Modell beispielsweise die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU), so kann untersucht werden, inwiefern Frankreich in seinen einzelnen Sektoren von einer Steigerung der Nachfrage nach Autos aus Deutschland profitiert.

3.2.3 Angebotsseitige Mehr-Regionen-Modellierung

Die angebotsseitige Mehr-Regionen-Modellierung bildet das aufkommensseitige Gleichgewicht unter Rückgriff auf die relative Zusammensetzung der Outputs nach liefernden Regio-

nen und Sektoren ab. Deshalb müssen hierbei zunächst Mehr-Regionen-Outputkoeffizienten berechnet werden. Hierzu werden die absoluten Werte der gelieferten Vorleistungen eines Sektors einer Region ins Verhältnis zur gesamten Verwendung der Güter des jeweiligen Sektors aus der jeweiligen Region gesetzt:

Gl. 3-53

$${}_{IJ}\omega_{ij} = \frac{{}_{IJ}Z_{ij}}{{}_IX_i}$$

Wird der Rechenschritt aus Gl. 3-53 für jedes ${}_{IJ}Z_{ij}$ aus der Mehr-Regionen-Datengrundlage durchgeführt, so erhält man die Mehr-Regionen-Outputkoeffizientenmatrix ${}^{MR}\Omega$:

Gl. 3-54

$${}^{MR}\Omega = \begin{pmatrix} {}_{11}\omega_{11} & {}_{11}\omega_{12} & \cdots & {}_{1J}\omega_{1j} & \cdots & {}_{1N}\omega_{1n} \\ {}_{11}\omega_{21} & {}_{11}\omega_{22} & \cdots & {}_{1J}\omega_{2j} & \cdots & {}_{1N}\omega_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{I1}\omega_{i1} & {}_{I1}\omega_{i2} & \cdots & {}_{IJ}\omega_{ij} & \cdots & {}_{IN}\omega_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{N1}\omega_{n1} & {}_{N1}\omega_{n2} & \cdots & {}_{NJ}\omega_{nj} & \cdots & {}_{NN}\omega_{nn} \end{pmatrix}$$

Wird die intermediäre Verflechtung der Mehr-Regionen-Datengrundlage mit der Inversen der diagonalisierten Güterverwendung linksmultipliziert, so erhält man die Mehr-Regionen-Outputkoeffizientenmatrix auf direktem Weg:

Gl. 3-55

$${}^{MR}\Omega = {}^{MR}\hat{x}^{-1}{}^{MR}Z$$

Löst man Gl. 3-55 nach ${}^{MR}Z$ auf, so kann unter Annahme starrer Outputkoeffizienten die intermediäre Verflechtung der Mehr-Regionen-Datengrundlage in Abhängigkeit der gesamten Verwendung der Mehr-Regionen-Datengrundlage ausgedrückt werden:

Gl. 3-56

$${}^{MR}Z = {}^{MR}\hat{x}{}^{MR}\Omega$$

Setzt man Gl. 3-56 in das aufkommensseitige Gleichgewicht aus Gl. 3-45 ein, so erhält man Gl. 3-57:

Gl. 3-57

$${}^{MR}x' = i'{}^{MR}\hat{x}{}^{MR}\Omega + {}^{MR}v' = {}^{MR}x'{}^{MR}\Omega + {}^{MR}v'$$

Löst man Gl. 3-57 nach der Wertschöpfung auf, so erhält man Gl. 3-58:

Gl. 3-58

$${}^{MR}v' = {}^{MR}x' - {}^{MR}x'{}^{MR}\Omega = {}^{MR}x'(I - {}^{MR}\Omega)$$

Berücksichtigt man in Gl. 3-58, dass das gesamte Güteraufkommen der transponierten gesamten Güterverwendung entspricht, so kann unter Annahme starrer Mehr-Regionen-Outputkoeffizienten für eine beliebige gesamte Güterverwendung die damit verbundene Wertschöpfung modelliert werden. Zur angebotsseitigen Mehr-Regionen-Modellierung wird Gl. 3-58 nach dem gesamten Güteraufkommen aufgelöst:

Gl. 3-59

$${}^{MR}x' = {}^{MR}v'(I - {}^{MR}\Omega)^{-1}$$

Mit Gl. 3-59 wird modelliert, welche gesamte Güterverwendung nach Regionen und Sektoren mit einer gegebenen Wertschöpfung nach Regionen und Sektoren verbunden ist. Dabei „schiebt“ die Wertschöpfung die gesamte Güterverwendung.

3.2.4 Einordnung der Mehr-Regionen-Modellierungen

In den Abschnitten 3.2.1 bis 3.2.3 wurde die Interpretation von Mehr-Regionen-Datengrundlagen sowie die nachfrageseitige und angebotsseitige Mehr-Regionen-Input-Output-Modellierung beschrieben. Die Einführung der interregionalen Verflechtungen in die Input-Output-Modellierung mag zunächst kompliziert erscheinen. Es handelt sich dabei jedoch lediglich um eine logische Erweiterung der Modelle für eine Region.¹⁰⁹ Anstatt zusätzliche Subindizes für Regionen einzuführen, könnte man auch die Subindizes der Modelle für eine Region sowohl Sektoren als auch Regionen zuordnen. Würde man in den Modellen für eine Region die Sektoren durch Regionen ersetzen, so hätte man diese direkt in Mehr-Regionen-Modelle übertragen, deren Volkswirtschaften als ein aggregierter Sektor dargestellt werden. Werden diese Regionen daraufhin weiter in Sektoren disaggregiert, so gelangt man wiederum zu den bereits beschriebenen Mehr-Regionen-Modellen. Insofern liefern die Mehr-Regionen-Modelle keine drastische methodische Erweiterung gegenüber den Modellen für eine Region. Drastisch hingegen sind die Erweiterungen der benötigten Datengrundlage sowie je nach Anzahl an Regionen und Sektoren die benötigten Rechenleistungen. So

¹⁰⁹ Vgl. Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 106.

wurde die Bereitstellung globaler Mehr-Regionen-Input-Output-Tabellen erst in den letzten Jahren ermöglicht.¹¹⁰

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Mehr-Regionen-Input-Output-Modelle sich von den Modellen für eine Region lediglich darin unterscheiden, dass neben der Untergliederung in Sektoren auch eine Untergliederung in Regionen vorgenommen wird. In den weiteren Ausführungen zur Methodik wird weitgehend auf Subindizes für Regionen verzichtet. Die regionalen Subindizes werden wieder bei der ökologischen Erweiterung der Modelle aufgegriffen, weil dabei Umweltbelastungsintensitäten als neue Größe eingeführt werden. In allen übrigen Abhandlungen werden alle Größen als sowohl sektoral als auch regional disaggregierbar angenommen.

3.3 Ökologische Erweiterung der Input-Output-Modellierung

3.3.1 Ökologische Erweiterung der Input-Output-Modellierung

Liegen Daten von absoluten Umweltbelastungen nach Sektoren vor, so zeigt das Verhältnis der absoluten Umweltbelastung zum Güteraufkommen das direkte Ausmaß der Umweltbelastung je monetärer Einheit des Sektors. Um auch das indirekte Ausmaß der Umweltbelastung zu berücksichtigen, legt das ökologisch erweiterte Input-Output-Modell die Umweltbelastungen aus der Produktion auf die letzte Verwendung von Gütern um und berücksichtigt dabei die intermediäre Verflechtung. Ziel des ökologisch erweiterten Input-Output-Modells ist somit die Bestimmung der totalen Umweltbelastung je monetärer Einheit eines Sektors, wobei total als Summe von direkt und indirekt zu verstehen ist. Das Input-Output-Modell wird dazu um eine Matrix direkter Umweltbelastungsintensitäten erweitert. Die direkten Umweltbelastungsintensitäten werden über das Verhältnis des absoluten Ausmaßes der jeweiligen Umweltbelastung eines Sektors zu dessen Güteraufkommen berechnet.¹¹¹

¹¹⁰ Vgl. Dietzenbacher, Erik/Lenzen, Manfred/Los, Bart et al. (2013): „Input-Output-Analysis: The Next 25 Years“, in: *Economic Systems Research*, 25. Jg., Heft 4. Teile aus Abschnitt 3.2.4 wurden vom Autor zwischen Einreichung und Veröffentlichung der Dissertation bereits anderweitig veröffentlicht. Siehe hierzu Schmidt, Mario/Joa, Bettina/Raqué, Clemens/Rötzer, Nadine/Preiß, Marlene (2015), op. cit., 32.

¹¹¹ Siehe hierzu beispielsweise Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 447. Teile aus Abschnitt 3.3.1 wurden vom Autor zwischen Einreichung und Veröffentlichung der Dissertation bereits anderweitig veröffentlicht. Siehe hierzu Schmidt, Mario/Joa, Bettina/Raqué, Clemens/Rötzer, Nadine/Preiß, Marlene (2015), op. cit., 31-32.

Gl. 3-60

$$q_{jk} = \frac{b_{jk}^{dir}}{x_j}$$

wobei:

q_{jk} = direkte Intensität der Umweltbelastung k des Sektors j

b_{jk}^{dir} = absolutes Ausmaß der direkten Umweltbelastung k des Sektors j

Die Matrix Q der direkten Umweltbelastungsintensitäten bildet in ihren Spalten die berücksichtigten Umweltbelastungsarten und in ihren Zeilen Sektoren ab. Bei einer Anzahl von m Umweltbelastungsarten nimmt sie folgende Form an:

Gl. 3-61

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1k} & \cdots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2k} & \cdots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{j1} & q_{j2} & \cdots & q_{jk} & \cdots & q_{jm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nk} & \cdots & q_{nm} \end{pmatrix}$$

Wird die Matrix Q daraufhin in ihrer transponierten Form Q' mit der Leontief-Inversen linksmultipliziert, so erhält man als Ergebnis die transponierte Form M' der entsprechenden Matrix totaler Umweltbelastungsintensitäten M :

Gl. 3-62

$$M' = Q'(I - A)^{-1} = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1j} & \cdots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2j} & \cdots & \mu_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{k1} & \mu_{k2} & \cdots & \mu_{kj} & \cdots & \mu_{kn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \cdots & \mu_{mj} & \cdots & \mu_{mn} \end{pmatrix}$$

Durch Multiplikation der Matrix M' mit dem Vektor y der letzten Verwendung lassen sich die Umweltbelastungen auf die letzte Verwendung umlegen. Dadurch eignet sich das Modell beispielsweise für die Untersuchung der Auswirkungen von Nachfrageänderungen auf die Umweltbelastung in einer Volkswirtschaft. Die totalen Umweltbelastungsintensitäten eignen sich jedoch auch zur Quantifizierung der direkten und indirekten Umweltbelastungen entlang der Lieferkette. Dies wird besonders deutlich, wenn man die Leontief-Inverse als Potenzreihe darstellt:

Gl. 3-63

$$(I - A)^{-1} = \sum_{t=0}^{\infty} A^t = I + A + A^2 + A^3 + \dots + A^{\infty}$$

Die Leontief-Inverse modelliert dadurch eine unendliche Lieferkette, wobei t die jeweilige Vorleistungsstufe angibt und die potenzierten Inputkoeffizientenmatrizen die Inputs aus der jeweiligen Vorleistungsstufe verkörpern. Über die Multiplikation der direkten Umweltbelastungsintensitäten mit der Leontief-Inversen werden folglich die direkten Umweltbelastungsintensitäten aus jeder Vorleistungsstufe kumuliert. Ausgehend von dieser Interpretation der Leontief-Inversen wird im weiteren Verlauf der Einsatz der ökologisch erweiterten nachfrageseitigen Input-Output-Modellierung zur Quantifizierung von Lieferkettenemissionen in Unternehmen untersucht.

Soll nur eine Umweltbelastung quantifiziert werden, so kann die Matrix Q' durch den Vektor q' ersetzt werden. Als Ergebnis erhält man dann den Vektor der entsprechenden totalen Umweltbelastungsintensitäten μ' :

Gl. 3-64

$$\mu' = q'(I - A)^{-1}$$

Rechtsmultipliziert man hingegen die Ghosh-Inverse mit der transponierten Matrix der direkten Umweltbelastungsintensitäten, so erhält man eine Matrix totaler Umweltbelastungsintensitäten von Sektoren nach Umweltbelastungskategorien aus der Angebotsperspektive, die mit Ξ notiert wird. Diese totalen Umweltbelastungsintensitäten zeigen, welches Ausmaß an direkter und indirekter Umweltbelastung je Wertschöpfungseinheit der Sektoren resultiert:¹¹²

Gl. 3-65

$$\Xi = (I - \Omega)^{-1}Q$$

¹¹² Siehe hierzu auch Marques, Alexandra/Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2013): „International trade and the geographical separation between income and enabled carbon emissions“, in: *Ecological Economics*, 89. Jg., 165; Rodrigues, João/Marques, Alexandra/Domingos, Tiago (2010): *Carbon Responsibility and Embodied Emissions - Theory and measurement*. London/New York: Routledge, 19; Lenzen, Manfred/Murray, Joy (2010), op. cit., 265; Zhang, Youguo (2010): „Supply-side structural effect on carbon emissions in China“, in: *Energy Economics*, 32. Jg., Heft 1, 187-188., Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2008a), op. cit., 536 und Rodrigues, João/Domingos, Tiago/Giljum, Stefan et al. (2006), op. cit., 264.

Soll nur eine Umweltbelastung quantifiziert werden, so kann die Matrix Q durch den Vektor q ersetzt werden. Als Ergebnis erhält man dann den Vektor der entsprechenden totalen Umweltbelastungsintensitäten ξ :

Gl. 3-66

$$\xi = (I - \Omega)^{-1}q$$

Mit den vorangegangenen Ausführungen wurde die ökologische Erweiterung von Input-Output-Modellen für eine Region erläutert. Ausgehend von direkten Umweltbelastungsintensitäten nach Sektoren werden totale Umweltbelastungsintensitäten nach Sektoren berechnet. Letztere zeigen bei der ökologischen Erweiterung des nachfrageseitigen Modells die direkten und indirekten Umweltbelastungen je Einheit der letzten Verwendung nach Sektoren und bei der ökologischen Erweiterung des angebotsseitigen Modells die direkten und indirekten Umweltbelastungen je Wertschöpfungseinheit. Im unmittelbar folgenden Abschnitt 3.3.2 wird die ökologische Erweiterung in Mehr-Regionen-Modellen erläutert.

3.3.2 Ökologische Erweiterung in Mehr-Regionen-Modellen

Liegen Daten von Umweltbeanspruchungen nach Sektoren und Regionen vor, so können auch die Mehr-Regionen-Modelle ökologisch erweitert werden. Im Idealfall liegen diese Daten in identischer Gliederung mit der ökonomischen Datengrundlage vor. Ist dies nicht der Fall, so können Sektoren auch auf eine gemeinsame Ebene aggregiert werden. Zunächst müssen die direkten Intensitäten der Umweltbeanspruchungen über das Verhältnis des absoluten Ausmaßes der jeweiligen Umweltbeanspruchung eines Sektors einer Region zum entsprechenden Güteraufkommen bestimmt werden. Die Notation folgt dabei den Ausführungen in Gl. 3-60, wobei das linke Subskript die Region angibt:

Gl. 3-67

$${}_Jq_{jk} = \frac{{}_Jb_{jk}}{{}_Jx_j}$$

Über Gl. 3-67 kann für jede Region J eine Matrix ${}_JQ$ entsprechend Gl. 3-61 ermittelt werden. Die Matrizen ${}_JQ$ der Regionen 1 bis N bilden die Teilmatrizen einer Matrix ${}^{MR}Q$, deren Spalten die einzelnen Umweltbeanspruchungsintensitäten nach Sektoren und Regionen ausweisen:

Gl. 3-68

$${}^{MR}Q = \begin{pmatrix} {}_1Q \\ {}_2Q \\ \vdots \\ {}_jQ \\ \vdots \\ {}_NQ \end{pmatrix}$$

Wird die Matrix ${}^{MR}Q$ daraufhin in ihrer transponierten Form ${}^{MR}Q'$ mit der Leontief-Inversen des nachfrageseitigen Mehr-Regionen-Modells linksmultipliziert, so erhält man als Ergebnis die transponierte Form ${}^{MR}M'$ der entsprechenden Matrix totaler Umweltbelastungsintensitäten ${}^{MR}M$ nach Regionen und Sektoren:

Gl. 3-69

$${}^{MR}M' = {}^{MR}Q'(I - {}^{MR}A)^{-1} = ({}_1M' \quad {}_2M' \quad \dots \quad {}_jM' \quad \dots \quad {}_NM')$$

Jede Teilmatrix ${}_jM'$ zeigt nun die totalen Umweltbeanspruchungsintensitäten der Region J entsprechend der Darstellung aus Gl. 3-62. Durch Multiplikation der Matrix ${}^{MR}M'$ mit dem Vektor ${}^{MR}y$ lassen sich die Umweltbeanspruchungen auf die letzte Verwendung umlegen. Bislang fand das ökologisch erweiterte Mehr-Regionen-Modell deshalb hauptsächlich in der Bestimmung ökologischer Fußabdrücke von Nationen Verwendung. Allerdings lässt sich auch die Leontief-Inverse des nachfrageseitigen Mehr-Regionen-Modells als Potenzreihe darstellen:

Gl. 3-70

$$(I - {}^{MR}A)^{-1} = \sum_{t=0}^{\infty} {}^{MR}A^t = I + {}^{MR}A + {}^{MR}A^2 + {}^{MR}A^3 + \dots + {}^{MR}A^{\infty}$$

Die Leontief-Inverse des Mehr-Regionen-Modells bildet dadurch eine unendliche Lieferkette unter Berücksichtigung aller beinhalteten Sektoren und Regionen ab. Die Matrix M_{MR} zeigt folglich die kumulierten Umweltbeanspruchungen aus jeder Vorleistungsstufe. Wird die Matrix M_{MR} zur Bewertung vorgelagerter Umweltbelastungen in Unternehmen herangezogen, so führt die theoretisch „allumfassende“ Berücksichtigung jeglicher Vorleistungsstufen zu Doppelzählungen. Schließlich ist das Unternehmen selbst Teil aller Vorleistungsstufen. Wie das Modell modifiziert werden muss, um derartige Doppelzählungen zu vermeiden, wird

an späterer Stelle erläutert. Zunächst wird die allgemeine ökologische Erweiterung der angebotsseitigen Mehr-Regionen-Modellierung eingeführt.

Zur Berechnung angebotsseitiger totaler Umweltbelastungsintensitäten nach Regionen und Sektoren wird das angebotsseitige Mehr-Regionen-Modell um die Matrix direkter Umweltbelastungsintensitäten nach Regionen und Sektoren erweitert. Dabei wird die Ghosh-Inverse des angebotsseitigen Mehr-Regionen-Modells mit der Matrix direkter Umweltbelastungsintensitäten nach Regionen und Sektoren rechtsmultipliziert. Als Ergebnis erhält man die Matrix totaler Umweltbelastungsintensitäten je Wertschöpfungseinheit nach Regionen und Sektoren ${}^{MR}\Xi$:

Gl. 3-71

$${}^{MR}\Xi = (I - {}^{MR}\Omega)^{-1} {}^{MR}Q = \begin{pmatrix} {}_1\Xi \\ {}_2\Xi \\ \vdots \\ {}_J\Xi \\ \vdots \\ {}_N\Xi \end{pmatrix}$$

${}^{MR}\Xi$ zeigt in ihren Spalten für jede berücksichtigte Umweltbelastungskategorie die totale Intensität je Wertschöpfungseinheit nach Regionen und Sektoren. Jede Teilmatrix ${}_J\Xi$ zeigt dabei die totalen Umweltbelastungsintensitäten von Sektoren nach Umweltbelastungskategorien für Region J .

Soll nur eine Umweltbelastungskategorie bilanziert werden, so kann auch in den Mehr-Regionen-Modellen analog zur Erläuterung aus Abschnitt 3.3.1 die Matrix der direkten Umweltbelastungsintensitäten auf die Spalte dieser Umweltbelastungskategorie beschränkt und als Spaltenvektor ${}^{MR}q$ in die Modelle integriert werden. Mit der ökologischen Erweiterung des nachfrageseitigen Mehr-Regionen-Modells wird dann der Vektor ${}^{MR}\mu'$ der ausgewählten totalen Umweltbelastungsintensität nach Regionen und Sektoren berechnet. Jeder Teilvektor ${}_J\mu'$ beschreibt dabei die totalen Umweltbelastungsintensitäten je Einheit letzter Verwendung der Region J nach Sektoren:

Gl. 3-72

$${}^{MR}\mu' = {}^{MR}q'(I - {}^{MR}A)^{-1} = ({}_1\mu' \quad {}_2\mu' \quad \dots \quad {}_J\mu' \quad \dots \quad {}_N\mu')$$

Wird in der ökologischen Erweiterung des angebotsseitigen Modells die Matrix ${}^{MR}Q$ durch den Vektor ${}^{MR}q$ ersetzt, so erhält man den Vektor ${}^{MR}\xi$ der ausgewählten totalen Umweltbelastungsintensität nach Regionen und Sektoren. Jeder Teilvektor ${}_J\xi$ beschreibt dabei die totalen Umweltbelastungsintensitäten je Wertschöpfungseinheit der Region J nach Sektoren:

Gl. 3-73

$${}^{MR}\xi = (I - {}^{MR}\Omega)^{-1} {}^{MR}Q = \begin{pmatrix} 1\xi \\ 2\xi \\ \vdots \\ J\xi \\ \vdots \\ N\xi \end{pmatrix}$$

In Abschnitt 3.2.4 wurde bereits erwähnt, dass die Mehr-Regionen-Modellierungen direkt aus den Modellierungen für eine Region abgeleitet werden können. Dies gilt auch für die ökologische Erweiterung der Mehr-Regionen-Modellierungen. Anstatt mehrere regionale Matrizen direkter Umweltbelastungsintensitäten ${}_JQ$ aneinanderzureihen, kann die Matrix direkter Umweltbelastungsintensitäten Q aus dem Modell für eine Region auch als regional und sektoral disaggregierbar interpretiert werden. Dasselbe gilt für den Vektor q . In den weiteren methodischen Ausführungen wird deshalb auf regionale Subindizes verzichtet.

Ferner handelt es sich bei Treibhausgasemissionen um mehrere Umweltbelastungskategorien, die über Treibhauspotentiale zu einer in CO₂-e ausgedrückten Kategorie zusammengefasst werden können. Zur Erläuterung der folgenden Überlegungen wird deshalb stets der Vektor q anstelle der Matrix Q verwendet. Modifikationen der Ursprungsmodelle lassen sich für den Fall einer Umweltbelastungskategorie verständlicher erklären. Sollen mehrere Umweltbelastungskategorien bilanziert werden, wie es zum Beispiel bei der Aufschlüsselung von Treibhausgasemissionen nach Kyoto-Gasen bzw. Gasgruppen der Fall ist, so kann dabei jedoch grundsätzlich der Vektor q durch die Matrix Q ersetzt und eine beliebige Anzahl von Umweltbelastungskategorien berücksichtigt werden.

3.3.3 Emissions Pure Linkages

Skelton et al. (2011) entwickeln mit dem *Emissions Pure Backward Linkage* eine Methode zur Berechnung der direkt und vorgelagert verursachten Treibhausgasemissionen eines beliebigen Sektors des Input-Output-Modells. Damit berechnen sie die vorgelagerten Emissionen

eines Sektors ohne den Emissionsbeitrag des betrachteten Sektors in dessen Vorleistungen. Zunächst werden dabei der Vektor der direkten Emissionsintensitäten sowie die Matrix der Inputkoeffizienten um die Beiträge des betrachteten Sektors bereinigt. Dies bedeutet nach Skelton et al. (2011), dass im Vektor der direkten Emissionsintensitäten die direkte Emissionsintensität des betrachteten Sektors und in der Matrix der Inputkoeffizienten die Einträge der Zeile und Spalte des betrachteten Sektors gleich Null gesetzt werden.¹¹³

Tatsächlich ist die Bereinigung der direkten Emissionsintensitäten hier überflüssig, da es über die Bereinigung der Inputkoeffizienten nur noch ein Güteraufkommen von Null gibt, mit dem die direkte Emissionsintensität des betrachteten Sektors multipliziert werden könnte. Die Einführung eines bereinigten Vektors der direkten Emissionsintensitäten ist für die Exogenisierung eines kompletten Sektors nur notwendig, wenn anstelle des Setzens von Nulleinträgen die entsprechende Spalte und Zeile der Inputkoeffizientenmatrix eliminiert werden. Dann müsste auch der Vektor der direkten Emissionsintensitäten durch die Eliminierung der direkten Emissionsintensität des betrachteten Sektors bereinigt werden. Ansonsten würde der Vektor nicht mehr mit der Spaltenanzahl der bereinigten Inputkoeffizientenmatrix übereinstimmen, wodurch die Multiplikation der beiden Größen unmöglich wäre. Die Bereinigung der direkten Emissionsintensitäten ist somit nur bei einer Bereinigung durch Eliminierung notwendig. Um eine Methodik in Kompatibilität mit beiden Bereinigungsverfahren vorzustellen, wird im Folgenden der bereinigte Vektor der direkten Emissionsintensitäten aus Skelton et al. (2011) übernommen.

Auf Grundlage der um den betrachteten Sektor bereinigten Matrix der Inputkoeffizienten ${}_jA$ wird die entsprechende Leontief-Inverse $(I - {}_jA)^{-1}$ bestimmt. Multipliziert man den Vektor der um den betrachteten Sektor bereinigten direkten Emissionsintensitäten ${}_jq'$ mit der entsprechenden Leontief-Inversen $(I - {}_jA)^{-1}$, so würde man bereits an dieser Stelle einen Vektor der um den betrachteten Sektor bereinigten totalen Emissionsintensitäten erhalten. Hierbei geht es allerdings um die Berechnung der vorgelagerten Emissionen des betrachteten Sektors und nicht um die entsprechenden totalen Emissionsintensitäten, so dass die intermediäre Nachfrage ${}_ja^D x_j$ des Sektors j rechtsmultiplizierend in das Modell eingeführt wird. Dabei beschreibt ${}_ja^D$ die Spalte der Inputkoeffizienten des betrachteten Sektors,

¹¹³ Vgl. Skelton, Andrew/Guan, Dabo/Peters, Glen P. et al. (2011), op. cit., 10519.

in der Element a_{jj} gleich Null gesetzt wird, als Spaltenvektor. Das Güteraufkommen des Sektors wird durch x_j in Form eines Skalars beschrieben. Der *Emissions Pure Backward Linkage* des Sektors j wird mit ${}_jEPBL$ notiert und wie folgt berechnet:¹¹⁴

Gl. 3-74

$${}_jEPBL = -{}_jq'(I - {}_jA)^{-1} {}_ja^D x_j$$

Werden zum *Emissions Pure Backward Linkage* des Sektors j die direkten Emissionen der eigenen Produktion des Sektors ${}_jb_e^{dir} = q_j'x_j$ hinzuaddiert, so erhält man die totalen Emissionen des Sektors j , welche mit ${}_jb_e$ notiert werden:¹¹⁵

Gl. 3-75

$${}_jb_e = {}_jEPBL + {}_jb_e^{dir} = -{}_jq'(I - {}_jA)^{-1} {}_ja^D x_j + q_j x_j$$

Abschließend weisen Skelton et al. (2011) darauf hin, dass Unternehmen den Ansatz zur Abschätzung der Relevanz ihrer Lieferkettenemissionen sowie als Benchmark der durchschnittlichen sektoralen Zusammensetzung zwischen direkten und vorgelagerten Treibhausgasemissionen nutzen können. Als Ausblick wird die Weiterentwicklung des Ansatzes in Form einer Anpassung für den Einsatz in hybriden *Life Cycle Assessments* sowie einer Erweiterung zur Bewertung nachgelagerter Treibhausgasemissionen erwähnt, die als Unterstützung bei sektoralen und betrieblichen Treibhausgasbilanzen dienen können.¹¹⁶ Ein Modell zur input-output-daten-basierten Berechnung des betrieblichen *Emissions Pure Backward Linkage* wird dabei nicht geboten.

Skelton et al. (2011) greifen beim *Emissions Pure Backward Linkage* auf den von Sonis et al. (1995) eingeführten rein ökonomischen *Pure Backward Linkage* zurück. Tatsächlich wird der *Pure Backward Linkage* jedoch bereits von Strassert (1968) unter dem Begriff alternative Sektorextraktionen verwendet.¹¹⁷ Das Konzept der alternativen Sektorextraktionen ist international unter dem Begriff *Hypothetical Extraction* bekannt und wird neben Strassert

¹¹⁴ Vgl. *ibid.*

¹¹⁵ Vgl. *ibid.*, 10517-10519.

¹¹⁶ Vgl. *ibid.*, 10522.

¹¹⁷ Siehe hierzu Strassert, Günter (1968): „Zur Bestimmung strategischer Sektoren mit Hilfe von Input-Output-Modellen“, in: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, 182. Jg., Heft 3, 213.

(1968) auch Paelinck et al. (1965) zugeschrieben.¹¹⁸ Paelinck et al. (1965) präsentieren einen Ansatz, den sie als *Filling-In* bezeichnen. Dabei wird im Vektor der letzten Verwendung die Nachfrage aus mindestens einem Sektor gleich Null gesetzt und das entsprechende Güteraufkommen berechnet. Anhand dieses Güteraufkommens und der ursprünglichen Inputkoeffizienten wird anschließend eine neue intermediäre Verflechtung berechnet. Die neue intermediäre Verflechtung besteht in den Spalten jener Sektoren, deren letzte Verwendung gleich Null gesetzt wurde, ausschließlich aus Nullen. Die übrigen Elemente der intermediären Verflechtung zeigen das Ausmaß an Vorleistungen, welches zur Produktion des zuvor berechneten Güteraufkommens benötigt wird. Dementsprechend beliefern die extrahierten Sektoren in den Zeilen angebotsseitig nach wie vor die übrigen Sektoren. Aufgrund der nachfrageseitigen Extraktion wird dieses Angebot jedoch als Import interpretiert.¹¹⁹ Im Gegensatz zum *Pure Backward Linkage* werden Sektoren beim Ansatz aus Paelinck et al. (1965) nur nachfrageseitig eliminiert.

Der *Pure Backward Linkage* dient zur Beantwortung der folgenden Fragestellung: Welche Auswirkung hat das gesamte Güteraufkommen eines einzelnen Sektors auf das gesamte Güteraufkommen der übrigen Volkswirtschaft? Das gesamte Güteraufkommen der übrigen Volkswirtschaft ist dabei sowohl um die nachgefragten Vorleistungen des betrachteten Sektors als auch um die Rückkopplungen von der übrigen Volkswirtschaft zum betrachteten Sektor und umgekehrt bereinigt. Diese Bereinigung wird als *pur* bezeichnet. Der *Pure Backward Linkage* des Sektors j wird mit ${}_jPBL$ notiert und wie folgt berechnet:¹²⁰

Gl. 3-76

$${}_jPBL = i'(I - {}_jA)^{-1} {}_j a^D x_j$$

Ersetzt man in Gl. 3-76 den Summierungsvektor i durch den bereinigten Vektor der direkten Emissionsintensitäten ${}_j q$, so erhält man den *Emissions Pure Backward Linkage* aus Gl. 3-74. Neben dem *Pure Backward Linkage* führen Sonis et al. (1995) den *Pure Forward Linkage* ein.

¹¹⁸ Vgl. Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 563.

¹¹⁹ Siehe hierzu Paelinck, J./de Caebel, J./Degueldre, J. (1965): „Analyse quantitative de certains phénomènes du développement régional polarisé – Essai de simulation statique d’itinéraires de propagation (1)“, in: Boudeville, Jacques R. (1965): *Problèmes de conversion économique : analyses théoriques et études appliquées ; actes du quatrième Colloque de l’Association de Science Régionale de Langue Française, ASRDLF*. Paris: Ed. Génin, 361-365.

¹²⁰ Siehe hierzu Sonis, Michael/Guilhoto, Joaquim J. M./Hewings, Geoffrey J. D. et al. (1995): „Linkages, Key Sectors, and Structural Change: Some New Perspectives“, in: *The Developing Economies*, 33. Jg., Heft 3, 238.

Dieser bestimmt nach Angaben der Autoren die pure Auswirkung auf einen einzelnen Sektor durch das produzierte Güteraufkommen der übrigen Volkswirtschaft. Die Berechnung des *Pure Forward Linkage* setzt sich aus drei Faktoren zusammen. Als erster Faktor dient der Zeilenvektor ${}_j a^{S'}$, welcher die Zeile des betrachteten Sektors der Inputkoeffizienten beschreibt wobei Element a_{jj} gleich Null gesetzt wird. Den zweiten Faktor bildet die bereits eingeführte um den betrachteten Sektor bereinigte Leontief-Inverse $(I - {}_j A)^{-1}$. Dritter Faktor ist die gesamte Güterverwendung der übrigen Volkswirtschaft ${}_j x$, wozu im Spaltenvektor der gesamten Güterverwendung das Element des betrachteten Sektors durch eine Null ersetzt wird. Der *Pure Forward Linkage* des Sektors j wird mit ${}_j PFL$ notiert:¹²¹

Gl. 3-77

$${}_j PFL = {}_j a^{S'} (I - {}_j A)^{-1} {}_j x$$

Mit ${}_j a^{S'}$ als Linksmultiplikator und ${}_j x$ als Rechtsmultiplikator der um den betrachteten Sektor bereinigten Leontief-Inverse wird beim *Pure Forward Linkage* das vom betrachteten Sektor an die übrige Wirtschaft gelieferte Güteraufkommen exogenisiert. Somit wird die pure Auswirkung des von Sektor j an die übrige Wirtschaft gelieferten Güteraufkommens auf das Güteraufkommen der übrigen Volkswirtschaft quantifiziert. Im Gegensatz zum *Pure Backward Linkage* enthält der *Pure Forward Linkage* keinen Summierungsvektor, der zum Übergang zu einem *Emissions Pure Forward Linkage* durch den Vektor der direkten Emissionsintensitäten ersetzt werden könnte. Ersetzt man beim *Pure Forward Linkage* jedoch den Vektor des gesamten Güteraufkommens der übrigen Wirtschaft durch die entsprechende Diagonalmatrix ${}_j \hat{x}$, so erhält man einen *Pure Forward Linkage*, dessen Ergebnis als Zeilenvektor nach Sektoren ausgedrückt und mit ${}_j PFL({}_j \hat{x})$ notiert wird:

Gl. 3-78

$${}_j PFL({}_j \hat{x}) = {}_j a^{S'} (I - {}_j A)^{-1} {}_j \hat{x}$$

¹²¹ Siehe hierzu Sonis, Michael/Guilhoto, Joaquim J. M./Hewings, Geoffrey J. D. et al. (1995), op. cit., 238-239.

Wird der *Pure Forward Linkage* nach Sektoren mit dem bereinigten Vektor der direkten Emissionsintensitäten q rechtsmultipliziert, so erhält man einen *Emissions Pure Forward Linkage*, der mit $EPFL(-_j\hat{x})$ notiert wird:

Gl. 3-79

$$EPFL(-_j\hat{x}) = {}_j a^{S'} (I - {}_j A)^{-1} {}_j \hat{x} {}_j q$$

Mit dem *Pure Forward Linkage* nach Sektoren wird das mit dem betrachteten Sektor verbundene Güteraufkommen der übrigen Volkswirtschaft nach Sektoren quantifiziert. Über die Rechtsmultiplikation mit dem bereinigten Vektor der direkten Emissionsintensitäten wird das mit dem betrachteten Sektor verbundene Güteraufkommen der übrigen Welt mit den direkten Emissionsintensitäten der Sektoren bewertet. Der *Pure Forward Linkage* nach Sektoren quantifiziert die mit dem Güteraufkommen des betrachteten Sektors verbundenen Inputs nach Sektoren. Mit dem *Emissions Pure Forward Linkage* wird deshalb der mit dem betrachteten Sektor verbundene Teil der Produktion der übrigen Volkswirtschaft mit den direkten Emissionsintensitäten der übrigen Wirtschaft quantifiziert. Man kann den *Emissions Pure Forward Linkage* nach Sektoren auch entsprechend des Ghosh-Modells ausdrücken und somit zeigen, dass hier die angebotsseitigen Auswirkungen quantifiziert werden. Grundsätzlich besteht nämlich folgender Zusammenhang zwischen Leontief- und Ghosh-Modell:¹²²

Gl. 3-80

$$(I - \Omega)^{-1} = \hat{x}^{-1} (I - A)^{-1} \hat{x}$$

Erweitert man den *Pure Forward Linkage* nach Sektoren wie folgt, so zeigt sich, dass dieser direkt in ein Ghosh-Modell überführt werden kann:

Gl. 3-81

$$\begin{aligned} {}_j PFL(-_j\hat{x}) &= \overbrace{{}_j a^{S'}}^{{}_j a^{S'} {}_j \hat{x} {}_j \hat{x}^{-1}} (I - {}_j A)^{-1} {}_j \hat{x} = {}_j a^{S'} \overbrace{{}_j \hat{x} {}_j \hat{x}^{-1} (I - {}_j A)^{-1} {}_j \hat{x}}^{(I - {}_j \Omega)^{-1}} \\ &= {}_j a^{S'} {}_j \hat{x} (I - {}_j \Omega)^{-1} \end{aligned}$$

¹²² Vgl. Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 548.

Entsprechend kann auch der *Emissions Pure Forward Linkage* mittels einer Ghosh-Inversen ausgedrückt werden:

Gl. 3-82

$$EPFL(-_j\hat{x}) = {}_j a^{S'} -_j \hat{x} (I - {}_j \Omega)^{-1} -_j q$$

Aus Gl. 3-82 wird ersichtlich, dass beim *Emissions Pure Forward Linkage* das Güterangebot des betrachteten Sektors als treibende exogene Größe des Modells fungiert, während die bereinigte Ghosh-Inverse nur die Verflechtungen der übrigen Sektoren beinhaltet. Somit werden über den *Emissions Pure Forward Linkage* die durch das Güterangebot des betrachteten Sektors hervorgerufenen Emissionen in den übrigen Sektoren quantifiziert.

Sowohl beim *Emissions Pure Forward Linkage* als auch beim *Emissions Pure Backward Linkage* werden die direkten Emissionen des betrachteten Sektors und die damit verbundenen ökonomischen Größen aus dem Modell entfernt, um die dazugehörigen indirekten Emissionen in den übrigen Sektoren zu quantifizieren. Dies hat folgende Auswirkungen auf das allgemeine Gleichgewicht. Verwendungsseitig werden die gesamte Güterverwendung sowie die intermediäre und letzte Verwendung um die Produktion des betrachteten Sektors bereinigt. Ferner ist die intermediäre Verwendung um die intermediäre Nachfrage des betrachteten Sektors bereinigt, welche jedoch als separate Kategorie in die letzte Verwendung verschoben wird, wodurch die gesamte Güterverwendung nur um die Produktion des betrachteten Sektors bereinigt bleibt. Durch die Umformung zur Bestimmung der bereinigten Leontief-Inversen und die Verknüpfung mit den direkten Emissionsintensitäten der übrigen Sektoren werden alle Emissionen der übrigen Sektoren zwischen der um den betrachteten Sektor bereinigten letzten Verwendung und der intermediären Nachfrage des betrachteten Sektors verteilt. Da hiermit bereits alle Emissionen verteilt sind, gewährt das Modell in dieser Form keine Möglichkeit einer Quantifizierung nachgelagerter Emissionen ohne Doppelzählungen. Dies gilt jedoch genauso für das herkömmliche ökologisch erweiterte Input-Output-Modell. Angebotsseitig werden das gesamte Güteraufkommen sowie die Vorleistungen und Primärinputs um die Produktion des betrachteten Sektors bereinigt. Während hier die Nachfrage des betrachteten Sektors nach Vorleistungen und Primärinputs völlig aus dem Modell eliminiert wird, handelt es sich beim Angebot des betrachteten Sektors lediglich um eine Verschiebung als separate Kategorie zu den Primärinputs, wodurch das gesamte Güterauf-

kommen nur um die Nachfrage des betrachteten Sektors bereinigt bleibt. Durch die Umformung zur Bestimmung der bereinigten Ghosh-Inverse und die Verknüpfung mit den direkten Emissionsintensitäten der übrigen Sektoren werden sämtliche Emissionen des Modells zwischen der Produktion des betrachteten Sektors und den Primärinputs der übrigen Sektoren verteilt. Da hiermit bereits alle Emissionen verteilt sind, gewährt das Modell keine Möglichkeit einer Quantifizierung vorgelagerter Emissionen ohne Doppelzählungen. Dies gilt jedoch genauso für die ökologische Erweiterung des herkömmlichen Ghosh-Modells.

Emissions Pure Backward Linkage und *Emissions Pure Forward Linkage* in ihrer bislang beschriebenen Form eignen sich somit nicht zur kombinierten Schätzung vorgelagerter und nachgelagerter Emissionen für betriebliche Treibhausgasbilanzen. Beim *Emissions Pure Backward Linkage* werden sämtliche indirekten produktionsbedingten Emissionen als vorgelagert und beim *Emissions Pure Forward Linkage* werden sämtliche indirekten produktionsbedingten Emissionen als nachgelagert interpretiert. Bevor auf die Behebung dieser Doppelzählungen eingegangen wird, soll jedoch zunächst die Berücksichtigung einzelner Unternehmen in den Modellen erläutert werden.

4. Schätzung indirekter Treibhausgasemissionen ohne Doppelzählungen aus dem eigenen Unternehmensbeitrag

4.1 Passt die Input-Output-Modellierung zur betrieblichen Treibhausgasbilanzierung?

Abbildung 4-1 zeigt den Aufbau einer Input-Output-Tabelle. Horizontal zeigt die Tabelle, wie sich die gesamte Güterverwendung x aus der intermediären Verflechtung Z und der letzten Verwendung y zusammensetzt. Vertikal wird die Zusammensetzung des gesamten Güteraufkommens x' aus der intermediären Verflechtung Z und den Primärinputs v' ausgewiesen. Das horizontale allgemeine Gleichgewicht wird somit über $Zi + y = x$ und das vertikale allgemeine Gleichgewicht über $i'Z + v' = x'$ beschrieben.

Abbildung 4-1: Aufbau einer Input-Output-Tabelle

$$Zi + y = x$$

	Intermediäre Verflechtung (Z)	Letzte Verwendung (y)	Gesamte Verwendung (x)
$i'Z$			
+			
v'	Primärinputs (v')		
=			
x'	Gesamtes Aufkommen (x')		

Eigene Darstellung.

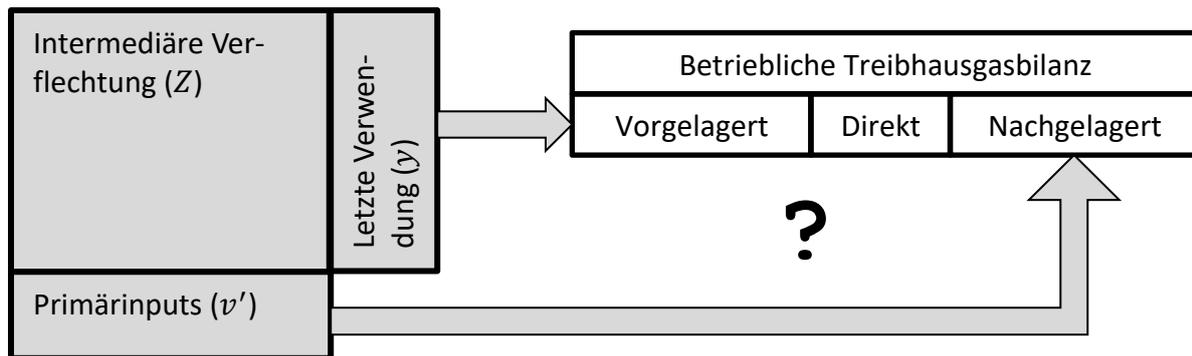
Auf eine Input-Output-Tabelle kann entweder ein nachfrageseitiges Modell oder ein angebotsseitiges Modell angewendet werden. Im nachfrageseitigen Input-Output-Modell werden zunächst auf Basis der vertikalen Betrachtung die Inputkoeffizienten $A = Z\hat{x}^{-1}$ bestimmt, mit deren Hilfe die intermediäre Verflechtung in Abhängigkeit des diagonalisierten gesamten Aufkommens als $Z = A\hat{x}$ ausgedrückt werden kann. Aufgrund der Input-Output-Identität im Input-Output-Modell entspricht das gesamte Aufkommen x' der transponierten gesamten Verwendung x' und die gesamte Verwendung x dem transponierten gesamten Aufkommen $(x')' = x$. Die vertikal bestimmte intermediäre Verflechtung in Abhängigkeit des transponierten gesamten Aufkommens kann deshalb als $Zi = Ax$ in der horizontalen Betrachtung des allgemeinen Gleichgewichts übernommen werden. In der horizontalen Betrachtung wird dadurch gezeigt, wie sich die gesamte Güterverwendung x aus der intermediären Verflechtung in Abhängigkeit des transponierten gesamten Aufkommens Ax und der letzten Verwendung y zusammensetzt, so dass das horizontale allgemeine Gleichgewicht als $Ax + y = x$ beschrieben wird. Durch Umformungen erhält man zunächst die Gleichung $y = (I - A)x$, welche die letzte Verwendung in Abhängigkeit eines transponierten gegebenen gesamten Aufkommens oder einer gegebenen gesamten Verwendung zeigt. Nach einer weiteren Umformung erhält man die Gleichung $x = (I - A)^{-1}y$, die das transponierte gesamte Aufkommen oder die gesamte Verwendung in Abhängigkeit einer gegebenen letzten Verwendung darstellt. Konzeptionell wird mit dem nachfrageseitigen Input-Output-Modell eine Ursache-Wirkungs-Beziehung beschrieben, in der die letzte Verwendung als Ursache und die dafür benötigten Vorleistungen und Primärintputs als Wirkung interpretiert werden.¹²³ Die Summe aus Vorleistungen und Primärintputs entspricht dem gesamten Aufkommen, so dass in der Gleichung $x = (I - A)^{-1}y$ die abhängige Variable x als transponiertes gesamtes Aufkommen $(x')' = x$ interpretiert wird.

Im angebotsseitigen Input-Output-Modell werden zunächst auf Basis der horizontalen Betrachtung die Outputkoeffizienten $\Omega = \hat{x}^{-1}Z$ bestimmt, mit deren Hilfe die intermediäre Verflechtung in Abhängigkeit der diagonalisierten gesamten Verwendung als $Z = \hat{x}\Omega$ ausgedrückt werden kann. Aufgrund der Input-Output-Identität entspricht auch im angebotsseitigen Modell das gesamte Aufkommen x' der transponierten gesamten Verwendung x' und die gesamte Verwendung x dem transponierten gesamten Aufkommen $(x')' = x$. Die hori-

¹²³ Vgl. Szyrmer, J. M. (1992): „Input-Output Coefficients and Multipliers from a Total-Flow Perspective“, in: *Environment and Planning A*, 24. Jg., Heft 7, 928.

zontal bestimmte intermediäre Verflechtung in Abhängigkeit der transponierten gesamten Verwendung kann deshalb als $i'Z = x'\Omega$ in der vertikalen Betrachtung des allgemeinen Gleichgewichts übernommen werden. In der vertikalen Betrachtung wird dadurch gezeigt, wie sich das gesamte Aufkommen x' aus der intermediären Verflechtung in Abhängigkeit der transponierten gesamten Verwendung $x'\Omega$ und den Primärinputs v' zusammensetzt, so dass das horizontale allgemeine Gleichgewicht als $x'\Omega + v' = x'$ beschrieben wird. Durch Umformungen erhält man zunächst die Gleichung $v' = x'(I - \Omega)$, welche die Primärinputs in Abhängigkeit eines gegebenen gesamten Aufkommens oder einer transponierten gegebenen gesamten Verwendung zeigt. Nach einer weiteren Umformung erhält man die Gleichung $x' = v'(I - \Omega)^{-1}$, welche die transponierte gesamte Verwendung oder das gesamte Aufkommen in Abhängigkeit gegebener Primärinputs darstellt. Da die zugrundeliegenden Outputkoeffizienten als Verhältnis der intermediären Verflechtung zur gesamten Verwendung definiert sind, wird in der Gleichung $x' = v'(I - \Omega)^{-1}$ die abhängige Variable x' als transponierte gesamte Verwendung interpretiert.

Im nachfrageseitigen Modell wird somit untersucht, welches gesamte Aufkommen zur Befriedigung der letzten Verwendung benötigt wird. Im angebotsseitigen Modell wird hingegen gezeigt, welche Verwendung mit den Primärinputs ermöglicht wird. Zur Ermittlung totaler Emissionsintensitäten wird nun zunächst ein Vektor direkter Emissionsintensitäten q eingeführt. Bestimmt man im nachfrageseitigen Modell totale Emissionsintensitäten, so erhält man den Zeilenvektor $\mu' = q'(I - A)^{-1}$, wobei alle Emissionen entsprechend der Gleichung $q'x = q'(I - A)^{-1}y$ der letzten Verwendung zugeordnet werden. Im angebotsseitigen Modell erhält man den Vektor totaler Emissionsintensitäten als $\xi = (I - \Omega)^{-1}q$, wobei alle Emissionen entsprechend der Gleichung $x'q = v'(I - \Omega)^{-1}q$ den Primärinputs zugeordnet werden. Sollen die Vektoren der totalen Emissionsintensitäten nun in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung verwendet werden, so ergibt sich die in Abbildung 4-2 skizzierte Problemstellung.

Abbildung 4-2: Das Input-Output-Modell und die betriebliche Treibhausgasbilanz

Eigene Darstellung.

Abbildung 4-2 zeigt, wie totale Emissionsintensitäten der letzten Verwendung als Multiplikatoren für die Vorleistungsnachfrage eines Unternehmens und totale Emissionsintensitäten der Primärinputs als Multiplikatoren für das Vorleistungsangebot eines Unternehmens benutzt werden. Sowohl die Vorleistungsnachfrage als auch das Vorleistungsangebot des Unternehmens sind entsprechend der Konzeption einer Input-Output-Tabelle jedoch Teil der intermediären Verflechtung. Als Teil der intermediären Verflechtung gehen direkte Emissionen des Unternehmens sowohl in die totalen Emissionsintensitäten der letzten Verwendung als auch in die totalen Emissionsintensitäten der Primärinputs ein. In der betrieblichen Treibhausgasbilanz werden die direkten Emissionen des Unternehmens jedoch als separate Kategorie ausgewiesen. Die totalen Emissionsintensitäten müssten deshalb um die enthaltenen direkten Emissionen des Unternehmens bereinigt werden. Zu weiteren Doppelzählungen kommt es aufgrund der simultanen Anwendung des angebotsseitigen und des nachfrageseitigen Modells. Jedes der beiden Modelle verteilt per se bereits alle im Modell vorhandenen Emissionen auf die Primärinputs bzw. die letzte Verwendung. Insofern müssten entweder die totalen Emissionsintensitäten der letzten Verwendung um die nachgelagerten Emissionen oder die totalen Emissionsintensitäten der Primärinputs um die vorgelagerten Emissionen bereinigt werden oder ein Kompromiss zwischen den beiden Ansätzen gefunden werden. Die grundlegende Fragestellung „passt die Input-Output-Modellierung zur betrieblichen Treibhausgasbilanzierung?“ lässt sich somit in die folgenden Teilfragen untergliedern:

1. Wie lassen sich die konzeptionellen Inkonsistenzen zwischen letzter Verwendung und Vorleistungsnachfrage bzw. Primärinputs und Vorleistungsangebot des Unternehmens beheben?

2. Wie kann die Quantifizierung indirekter Emissionen um Doppelzählungen aus dem eigenen Unternehmen bereinigt werden?
3. Wie können Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen vermieden werden?

Als Zielsetzung resultiert eine grundlegende Modifizierung der Input-Output-Modellierung, in der zunächst die Positionierung des zu bilanzierenden Unternehmens in der Input-Output-Tabelle genauer betrachtet wird. Dies führt schließlich zur Exogenisierung des Unternehmens. Zur Behebung der Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen wird die Interaktion des Unternehmens im über das Input-Output-Modell dargestellten intermediären Produktionskreislauf näher betrachtet. Dies führt zu einer Vorleistungsbereinigung im angebotsseitigen Modell und zu einer Weiterverarbeitungsereinigung im nachfrageseitigen Modell. Abschließend wird die Positionierung des Unternehmens im intermediären Produktionskreislauf diskutiert, woraus eine Synthese zwischen nachfrage- und angebotsseitiger Modellierung zur Quantifizierung vor- und nachgelagerter Emissionen entwickelt wird.

4.2 Das Input-Output-Modell und Unternehmen

Einen anwendungsbezogenen Nutzen der Input-Output-Modellierung für individuelle Unternehmen sehen bereits Goldman et al. (1964) in der Evaluierung des Verkaufspotentiales eines einzelnen Unternehmens. Diesen Nutzen sehen sie im Vergleich eines einzelnen Unternehmens mit dem gesamten Sektor.¹²⁴ Tiebout (1967) kritisiert an diesem Ansatz, dass jede sektorale Abbildung lediglich einen Durchschnitt des Sektors verkörpert. Sogar bei einer eventuellen Rechtfertigung der Annahme ähnlicher Inputstrukturen impliziert dies nicht die Annahme ähnlicher Outputstrukturen. Zur Evaluierung des Verkaufspotentials eines einzelnen Unternehmens erweitert er deshalb die nachfrageseitige Input-Output-Modellierung um einen Vektor des intermediären Unternehmensangebotes. Dieses Vorgehen ist seiner Meinung nach gerechtfertigt, sofern das einzelne Unternehmen nur einen kleinen Anteil der gesamten Wirtschaft verkörpere.¹²⁵

¹²⁴ Vgl. Goldman, Morris R./Marimont, Martin L./Vaccara, Beatrice N. (1964): „The Interindustry Structure of the United States – A Report on the 1958 Input-Output Study“, in: Survey of Current Business, 44. Jg., Heft 11, 11.

¹²⁵ Vgl. Tiebout, Charles M. (1967): „Input-Output and the Firm: A Technique for Using National and Regional Tables“, in: Review of Economics and Statistics, 49. Jg., Heft 2, 260-262.

Im Rahmen der regionalen Input-Output-Modellierung beschäftigt sich Hewings (1972) mit den Auswirkungen eines neuen Unternehmens auf eine Region. In Anlehnung an Tiebout (1967) schlägt er vor, eine bestehende regionale Input-Output-Tabelle um eine Zeile der Outputs und eine Spalte der Inputs des neuen Unternehmens zu erweitern. Wie sich die Schließung eines Unternehmens auf eine Region auswirkt, könne mit einer „ähnlichen“ Prozedur bestimmt werden.¹²⁶ Greytak (1972) merkt bezüglich des Ansatzes von Hewings (1971) an, dass buchungstechnische Besonderheiten und Annahmen bei der Aufbereitung von Input-Output-Tabellen berücksichtigt werden müssen. Dies betrifft nach Greytak (1972) die Umbuchung von Handelsspannen und Sekundärprodukten, die Unterscheidung zwischen Verbrauchs- und Anlagegütern sowie die Annahme der Input-Output-Identität und starrer Input- und Outputkoeffizienten.¹²⁷

Katz und Burford (1981) beschränken Greytaks Anmerkungen zu buchungstechnischen Besonderheiten irrtümlicherweise auf Verkäufe und schlagen deshalb vor, die nachfrageseitige Input-Output-Modellierung lediglich um die Inputkoeffizienten eines Unternehmens zu erweitern. Dieser Vorschlag läuft darauf hinaus, eine zusätzliche intermediäre Unternehmensnachfrage als Bestandteil der letzten Verwendung zu interpretieren und die Leontief-Inverse der ursprünglichen Input-Output-Tabelle zu übernehmen.¹²⁸ Somit wird aus der beabsichtigten Verbesserung eine Verschlechterung. Während bei Hewings Ansatz lediglich die Möglichkeit einer Verletzung der Input-Output-Identität besteht, wird diese beim Ansatz von Katz und Burford grundsätzlich verletzt. Zur Verdeutlichung dieser Verschlechterung wird ein Vergleich zu geschlossenen und offenen Volkswirtschaften gezogen, wobei das neue Unternehmen lediglich durch die übrige Welt ersetzt wird. Nach dem Ansatz aus Katz und Burford (1981) würde beim Übergang von einer geschlossenen zu einer offenen Volkswirtschaft lediglich eine Spalte der Exporte als exogener Bestandteil hinzugefügt. Importe blieben hingegen unberücksichtigt.

Billings und Katz (1982) greifen die Methode nach Katz und Burford (1981) wieder auf und versuchen, die einseitige Erweiterung um Inputkoeffizienten argumentativ zu legitimieren.

¹²⁶ Vgl. Hewings, G. J. D. (1971): „Regional Input-output Models in the U.K.: Some Problems and Prospects for the Use of Nonsurvey Techniques“, in: *Regional Studies*, 5. Jg., Heft 1, 15-16.

¹²⁷ Vgl. Greytak, D. (1972): „The Firm in Regional Input-Output Analysis“, in: *Regional Studies*, 6. Jg., Heft 3, 327-329.

¹²⁸ Vgl. Katz, Joseph L./Burford, Roger L. (1982): „The Effect of Aggregation on the Output Multipliers in Input-Output Models“, in: *Annals of Regional Science*, 15, Jg., Heft 3, 49-51.

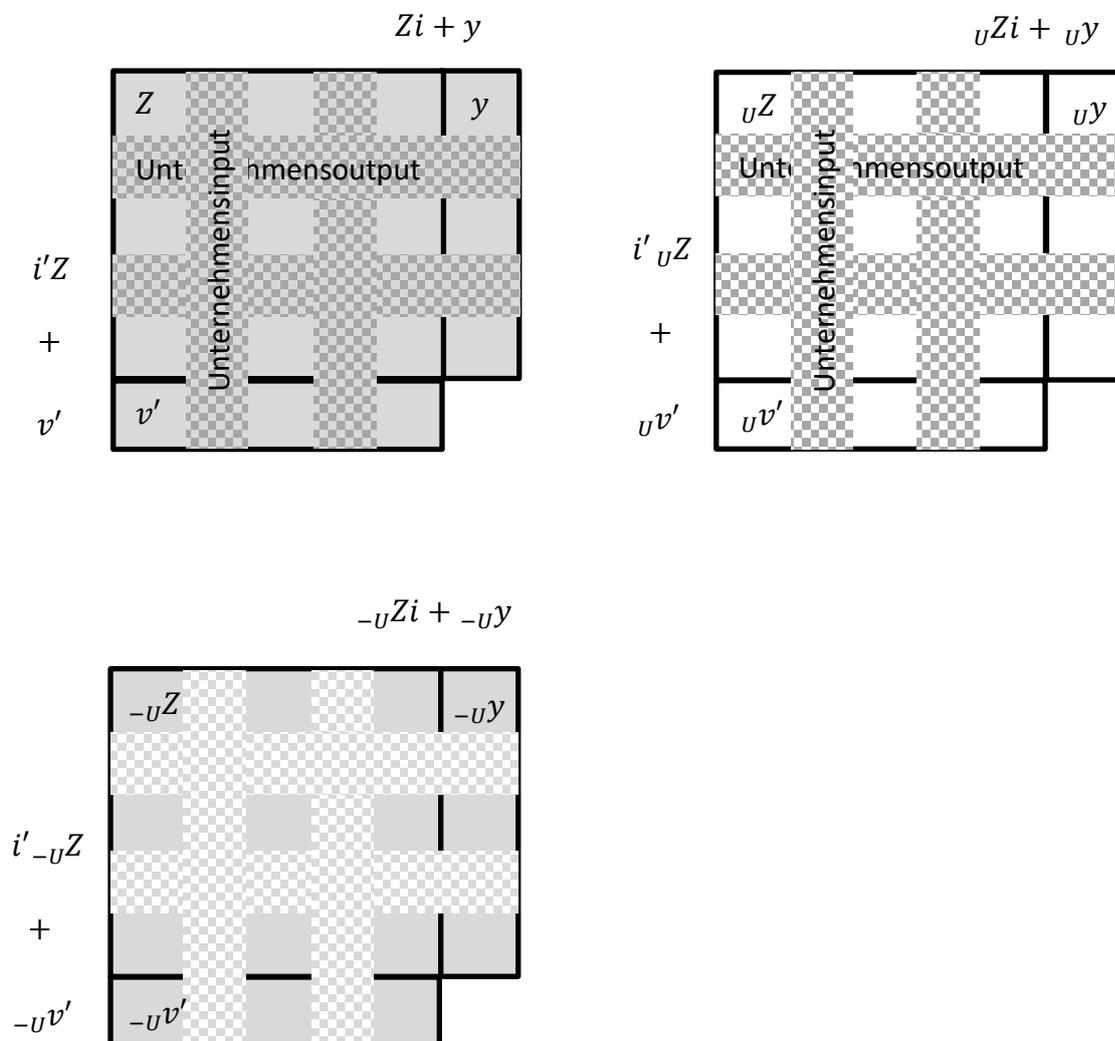
Die Methode impliziere nicht, dass das betrachtete Unternehmen nichts verkaufe. Das Unternehmen sei schließlich Repräsentant eines Sektors, dessen Zeile die Verkäufe des betrachteten Unternehmens enthalte. Außerdem werde durch die Methode die Interaktion des ursprünglichen Modells mit der Spalte des Unternehmens verhindert.¹²⁹ Diese Legitimierung läuft darauf hinaus, dass die Annahme starrer Inputkoeffizienten gewahrt bleibt, während die Annahme der Input-Output-Identität verletzt wird. Handelt es sich um ein neues Unternehmen, so können dessen Verkäufe jedoch in keiner Zeile der ursprünglichen Input-Output-Tabelle enthalten sein. Im Hinblick auf die beabsichtigte doppelzählungsfreie betriebliche Treibhausgasbilanzierung mittels der Input-Output-Modellierung wird im Folgenden kein neues Unternehmen in das Modell eingeführt, sondern ein bestehendes Unternehmen als exogene Größe betrachtet. Dabei wird das betrachtete Unternehmen zunächst aus der Input-Output-Tabelle entfernt.

Abbildung 4-3 zeigt links oben die Zusammensetzung aus intermediärer Verflechtung, letzter Verwendung und Primärinputs einer Input-Output-Tabelle, wie bereits in Abbildung 4-1 eingeführt. Bei genauerer Betrachtung gibt es jedoch einige Unterschiede zur Darstellung aus Abbildung 4-3. Ein Unterschied besteht darin, dass die Input-Output-Tabelle in Abbildung 4-3 ohne die Spalte der gesamten Verwendung und ohne die Zeile des gesamten Aufkommens ausgewiesen wird. Die Gründe für diese um die Zeilen- und Spaltensummen beschnittene Darstellung werden an späterer Stelle näher erläutert. Ferner wird in Abbildung 4-3 im Gegensatz zur Darstellung aus Abbildung 4-1 ein Teil der Input-Output-Tabelle mit dunkleren Kacheln sowie den Inschriften Unternehmensinput und Unternehmensoutput versehen, die den Beitrag des Unternehmens an der Input-Output-Tabelle symbolisieren. Um zu verdeutlichen, dass ein Unternehmen insbesondere in der funktionellen Input-Output-Tabelle in mehreren Gütergruppen und Produktionsbereichen vertreten sein kann, sind jeweils zwei Zeilen und Spalten mit den Kacheln versehen. Die Wahl der Kacheln zur grafischen Darstellung symbolisiert, dass das Unternehmen nur einen Teil der jeweiligen Sektoren ausmacht. Separiert man den Beitrag eines Unternehmens aus der Input-Output-Tabelle, so erhält man zwei neue Tabellen, die rechts bzw. unterhalb der ursprünglichen Input-Output-Tabelle gezeigt werden. In der Tabelle rechts oben befindet sich nur noch der Beitrag des Unternehmens. Die Tabelle links unten zeigt hingegen den verbleibenden Rest, wobei es sich um eine

¹²⁹ Vgl. Billings, R. B./Katz, J. L. (1982): „A technique to obtain accurate impact multipliers for individual firms by means of existing input-output models“, in: *Environment and Planning A*, 14. Jg., Heft 6, 739-740.

Input-Output-Tabelle der übrigen Wirtschaft handelt. Die weißen Stellen der beiden neuen Tabellen symbolisieren, welche Teile der ursprünglichen Input-Output-Tabelle fehlen und somit in der jeweils anderen neuen Tabelle zu finden sind. Als Notation wird in der Tabelle links oben ${}_uZ$ für den Unternehmensbeitrag an der intermediären Verflechtung, ${}_u y$ für die Unternehmenslieferungen an die letzte Verwendung und ${}_u v'$ für den Unternehmensbeitrag zur Wertschöpfung eingeführt. In der Tabelle links unten beschreibt analog ${}_{-u}Z$ die intermediäre Verflechtung der übrigen Wirtschaft, ${}_{-u} y$ die Lieferungen der übrigen Wirtschaft an die letzte Verwendung und ${}_{-u} v'$ die Wertschöpfung der übrigen Wirtschaft.

Abbildung 4-3: Das Unternehmen und die übrige Wirtschaft



Eigene Darstellung.

Die Idee, einen bestehenden Sektor aus einer Input-Output-Tabelle zu disaggregieren, wurde bereits im Hinblick auf die Anwendungsmöglichkeiten der Input-Output-Modellierung in der

Produktökobilanzierung formuliert. Jener Sektor, in dem das zu bilanzierende Produkt enthalten ist, wird dabei in zwei Sektoren unterteilt. Dabei enthält ein Sektor nur noch das zu bilanzierende Produkt und der andere Sektor alle übrigen Produkte des disaggregierten Sektors. Diese beiden Sektoren ersetzen den ursprünglichen Sektor in der Input-Output-Tabelle. Die totale Umwelteinwirkung wird daraufhin der letzten Verwendung des zu bilanzierenden Produktes zugeordnet. Somit bildet die als „Disaggregation eines bestehenden Sektors“ bezeichnete Methode aus der Produktökobilanzierung zwar den Sektor des zu bilanzierenden Produktes besser ab, befreit das Ergebnis jedoch nicht von Doppelzählungen.¹³⁰

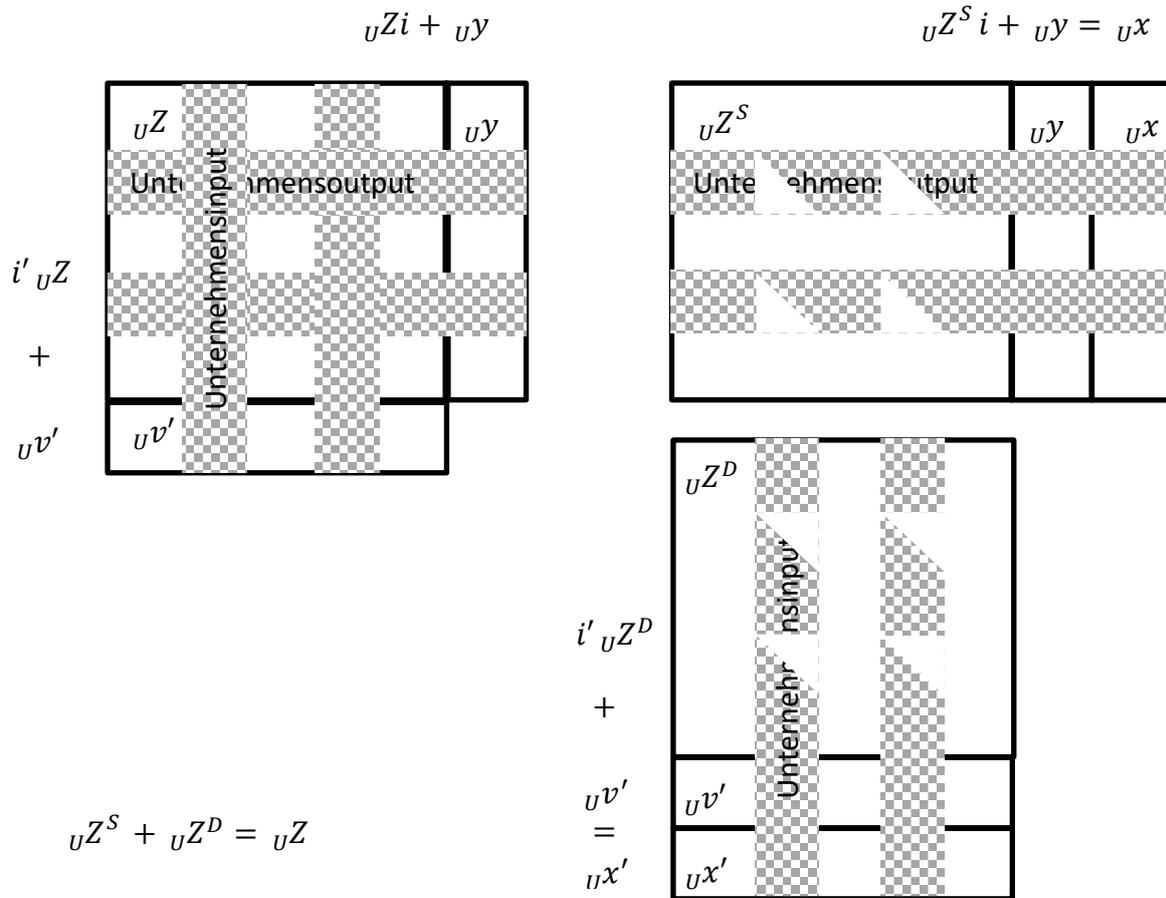
In einer vollständigen Input-Output-Tabelle wird mit den Zeilensummen die gesamte Verwendung und mit den Spaltensummen das gesamte Aufkommen der Wirtschaft beschrieben. Dabei ist jeder an die intermediäre Verflechtung gelieferte Output gleichzeitig ein Input der intermediären Verflechtung und jeder aus der intermediären Verflechtung entnommene Input gleichzeitig ein Output der intermediären Verflechtung, je nachdem ob die Tabelle horizontal oder vertikal betrachtet wird. Dies gilt auch für Unternehmensoutput und Unternehmensinput. Folglich zeigen bei der separaten Betrachtung des Unternehmensbeitrags die Zeilensummen den gesamten Unternehmensoutput zuzüglich der Unternehmensinputs aus der intermediären Verflechtung und die Spaltensummen den gesamten Unternehmensinput zuzüglich der Unternehmensoutputs an die intermediäre Verflechtung. Die Unternehmensproduktion wird hingegen nur über den Unternehmensoutput bzw. den diesem entsprechenden Unternehmensinput beschrieben.

Zur korrekten Darstellung der Unternehmensproduktion wird in Abbildung 4-4 die Tabelle des Unternehmensbeitrags in eine Tabelle des Unternehmensoutputs und eine Tabelle des Unternehmensinputs unterteilt. Links oben wird dabei der Beitrag des Unternehmens aus der Input-Output-Tabelle gezeigt. Unterteilt man den Unternehmensbeitrag in Unternehmensoutput und Unternehmensinput, so erhält man die rechts oben skizzierte Tabelle für den Unternehmensoutput und die rechts unten skizzierte Tabelle für den Unternehmensinput. In diesen beiden Tabellen werden die Unternehmensoutputs bzw. die Unternehmensinputs durch weiße Dreiecke unterbrochen, welche Überschneidungen zwischen Unternehmensinput und Unternehmensoutput symbolisieren. Dies bedeutet, dass Werte in den Über-

¹³⁰ Siehe hierzu Hendrickson, Chris T./Lave, Lester B./Mathews, H. Scott (2006), op. cit., 209-210; Joshi, Satish (2000): „Product Environmental Life-Cycle Assessment Using Input-Output Techniques“, in: Journal of Industrial Ecology, 3. Jg., Heft 2 & 3, 99 und Joshi, Satish (1998), op. cit., 29-32.

schneidungen entweder dem Unternehmensoutput oder dem Unternehmensinput zugeordnet sind. Unterteilt man entsprechend den Unternehmensbeitrag an der intermediären Verflechtung in die Unternehmenslieferungen an die intermediäre Verflechtung ${}_U Z^S$ einerseits und die Unternehmensnachfrage aus der intermediären Verflechtung ${}_U Z^D$ andererseits, so lässt sich der Unternehmensoutput als horizontales Gleichgewicht ${}_U Z^S i + {}_U y = {}_U x$ und der Unternehmensinput als vertikales Gleichgewicht $i' {}_U Z^D + {}_U v' = {}_U x'$ darstellen. Die gesamte Verwendung des Unternehmensoutputs wird somit durch die Summe aus Unternehmenslieferungen an die intermediäre Verflechtung und Unternehmenslieferungen an die letzte Verwendung beschrieben. Die Summe der Unternehmensinputs aus der intermediären Verflechtung und des Unternehmensbeitrags zur Wertschöpfung beschreibt das gesamte Aufkommen an Unternehmensinputs. Die Summe der Unternehmenslieferungen an die intermediäre Verflechtung und der Unternehmensnachfrage aus der intermediären Verflechtung entspricht wiederum dem Unternehmensbeitrag an der intermediären Verflechtung, so dass ${}_U Z^S + {}_U Z^D = {}_U Z$ gilt.

Abbildung 4-4: Input und Output des Unternehmens



Eigene Darstellung.

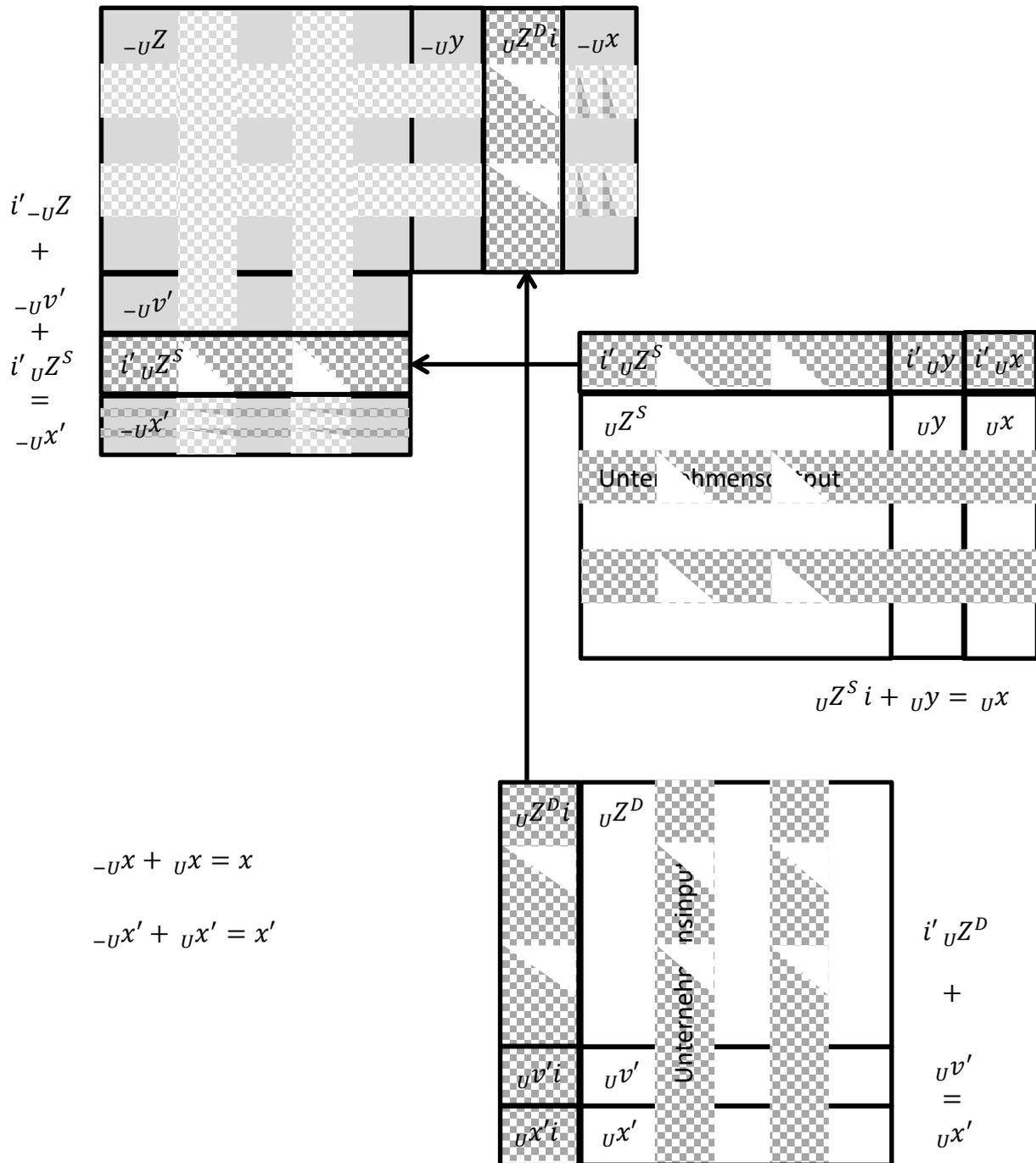
Mit den Ausführungen zu Abbildung 4-4 wird das Unternehmen aus der Input-Output-Tabelle quasi ausgeschnitten und separat entsprechend der Input-Output-Konzeption dargestellt. Sollen jedoch vorgelagerte und nachgelagerte Effekte der Unternehmensaktivität quantifiziert werden, so muss das Unternehmen in die Input-Output-Tabelle reintegriert werden. Dabei soll das Unternehmen jedoch nicht als Teil der intermediären Verflechtung, sondern als exogener Nachfrage und Anbieter agieren. Abbildung 4-5 zeigt hierzu drei Tabellen, bei denen es sich um Erweiterungen der bereits eingeführten Tabellen handelt. Die Tabelle links oben basiert auf der Input-Output-Tabelle der übrigen Wirtschaft, die Tabelle rechts darunter basiert auf der Tabelle der Unternehmensoutputs und die unterste Tabelle basiert auf der Tabelle der Unternehmensinputs. Die Tabelle der Unternehmensoutputs wird dabei oben um ihre Spaltensummen und die Tabelle der Unternehmensinputs links um ihre Zeilensummen erweitert. Über die Spaltensummen der Unternehmensoutputs erhält man

einen Zeilenvektor des Unternehmensangebots an die intermediäre Verflechtung $i'_{U}Z^S$ sowie einen Skalar des Unternehmensangebots an die letzte Verwendung $i'_{U}y$ und einen Skalar der gesamten Verwendung von Unternehmensoutputs $i'_{U}x$. Die Zeilensummen der Unternehmensinputs lassen sich in einen Spaltenvektor der Unternehmensnachfrage aus der intermediären Verflechtung ${}_{U}Z^D i$ sowie einen Skalar der Unternehmensnachfrage an Primärinputs ${}_{U}v' i$ und einen Skalar des gesamten Aufkommens an Unternehmensinputs ${}_{U}x' i$ unterteilen.

Zur Exogenisierung des Unternehmens im Input-Output-Modell wird nun konzeptionell die Vorleistungsnachfrage des Unternehmens als Kategorie der letzten Verwendung und das Vorleistungsangebot des Unternehmens als Kategorie der Primärinputs interpretiert. Dazu wird der Zeilenvektor des Unternehmensangebots an die intermediäre Verflechtung $i'_{U}Z^S$ als Bestandteil des vertikalen Gleichgewichts zur Tabelle der übrigen Wirtschaft hinzugefügt. Dies ist auch aus produktionstheoretischer Perspektive notwendig, da die Güter der übrigen Wirtschaft nicht ohne die Inputs vom betrachteten Unternehmen produziert werden können. Dementsprechend produziert die übrige Wirtschaft auch Outputs, die vom betrachteten Unternehmen verwendet werden. Diese werden lediglich nicht mehr als Teil der intermediären Verwendung, sondern als exogene Kategorie der letzten Verwendung interpretiert. Deshalb wird der Spaltenvektor der Unternehmensnachfrage aus der intermediären Verflechtung ${}_{U}Z^D i$ als Bestandteil des horizontalen Gleichgewichts zur Tabelle der übrigen Wirtschaft hinzugefügt. Bildet man in dieser neu entstandenen Tabelle nun die Zeilensummen, so erhält man einen Spaltenvektor der gesamten Verwendung an Gütern ${}_{-U}x$, die von der übrigen Wirtschaft produziert werden. Die Spaltensummen verkörpern entsprechend den Zeilenvektor des gesamten Aufkommens an Gütern ${}_{-U}x'$, das von der übrigen Wirtschaft produziert wird. Die Summe aus extrabetrieblicher Produktion und Unternehmensproduktion entspricht der gesamten Produktion, so dass ${}_{-U}x + {}_{U}x = x$ und dementsprechend ${}_{-U}x' + {}_{U}x' = x'$ gilt.

Abbildung 4-5: Exogenisierung des Unternehmens

$$-{}_U Z^D i + -{}_U y + {}_U Z^D i = -{}_U x$$



Eigene Darstellung.

Mit der Exogenisierung des Unternehmens ist die Grundlage für eine Quantifizierung indirekter Effekte ohne Doppelzählungen aus dem eigenen Unternehmensbeitrag geschaffen. In den folgenden beiden Unterkapiteln wird in Anlehnung an die bereits grafisch und verbal

eingeführte Exogenisierung des Unternehmens in einer Input-Output-Tabelle das entsprechende nachfrageseitige und angebotsseitige extrabetriebliche Input-Output-Modell formal hergeleitet und ökologisch erweitert. Im Anschluss wird die Zielsetzung, Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Effekten zu vermeiden, wiederaufgegriffen sowie die Position des Unternehmens als exogene Größe im nachfrage- und angebotsseitigen Input-Output-Modell näher beleuchtet. Dies führt zu einer um Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Effekten bereinigten Synthese des nachfrageseitigen Input-Output-Modells auf der einen Seite und des angebotsseitigen Input-Output-Modells auf der anderen Seite.

4.3 Formale Herleitung von der Nachfrageseite

Die Idee, totale Emissionsintensitäten im Rahmen der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung zur Quantifizierung vorgelagerter Emissionen zu verwenden, basiert auf dem monetären Bezug und der Modellierung einer unendlichen Lieferkette. Die monetäre Größe bezieht sich dabei jedoch auf die letzte Verwendung. Unter der letzten Verwendung versteht man in den volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen die Kategorien Konsumausgaben, Anlageinvestitionen, Vorratsveränderungen und Exporte.¹³¹ Im Rahmen der betrieblichen Bilanzierung vorgelagerter Treibhausgasemissionen sind davon für inländische Unternehmen lediglich die Position Anlageinvestitionen und für ausländische Unternehmen die Position Exporte von Bedeutung. Für sämtliche Vorleistungen eignen sich totale Emissionsintensitäten hingegen nicht.

Das ökologische erweiterte Input-Output-Modell muss deshalb modifiziert werden. Dazu wird die Nachfrage des betrachteten Unternehmens aus der intermediären in die letzte Verwendung verschoben und das Aufkommen des Modells um den Beitrag des betrachteten Unternehmens bereinigt. Notiert man die Unternehmensnachfrage mit ${}_U Z^D i = {}_U y^D$ und die Güterproduktion des Unternehmens, welche an die intermediäre und die letzte Verwendung geliefert wird, mit ${}_U x = {}_U Z^S i + {}_U y^S$, so kann das allgemeine Gleichgewicht des herkömmlichen Modells in ein allgemeines Gleichgewicht ohne die Produktion des betrachteten Unternehmens überführt und die Nachfrage des betrachteten Unternehmens als Kategorie der letzten Verwendung dargestellt werden.

¹³¹ Siehe hierzu beispielsweise Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2012): Fachserie 18 Reihe 2 - Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Input-Output-Rechnung - 2008. Internet: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/VGRInputOutputRechnung.html>, 25.11.2012, 2.1.

Sowohl die Unternehmensnachfrage als auch die Unternehmensproduktion müssen dabei nach liefernden und belieferten Sektoren bekannt sein. Vor allem für größere Unternehmen ist diese Differenzierung jedoch ohnehin adäquater, da sie in der Regel in mehreren Sektoren tätig sind. Bilanziert man ein Unternehmen, das nur in einem Sektor tätig ist, so enthält ${}_U Z^D$ nur Einträge in der Spalte dieses Sektors und ${}_U Z^S$ nur Einträge in der Zeile des entsprechenden Sektors.

Um die Modifizierung verständlich darzustellen, wird diese hier in zwei Schritte unterteilt, wobei zunächst die Verschiebung der Unternehmensnachfrage und anschließend die Bereinigung des Modells um die Unternehmensproduktion gezeigt werden. Die Unternehmensnachfrage kann dabei ohne Berührung des gesamtwirtschaftlichen Gleichgewichts zwischen gesamter Güterverwendung einerseits und der Summe aus intermediärer und letzter Verwendung andererseits aus der intermediären in die letzte Verwendung verschoben werden. Ausgehend vom allgemeinen Gleichgewicht des herkömmlichen Modells in Form von $x = Zi + y$ wird dazu auf der rechten Seite die Unternehmensnachfrage als ${}_U Z^D i$ abgezogen und als ${}_U y^D$ wieder hinzuaddiert:

Gl. 4-1

$$x = Zi + y - {}_U Z^D i + {}_U y^D$$

Die Nachfrage des betrachteten Unternehmens ist nach dieser ersten Modifizierung nicht mehr Teil der intermediären Verwendung. Stattdessen wird die Unternehmensnachfrage als Kategorie der letzten Verwendung interpretiert. Im Hinblick auf die Anwendung des Modells zur Quantifizierung vorgelagerter Emissionen im Rahmen der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung ist dies nur folgerichtig. Schließlich steht das betrachtete Unternehmen am Ende der Lieferkette, deren kumulierte Emissionen quantifiziert werden sollen. Aufgrund der Modellierung unendlicher Lieferketten ist es dabei auch irrelevant, in welcher Lieferstufe sich das zu bilanzierende Unternehmen innerhalb der gesamten Lieferkette befindet. Die Behandlung des Unternehmens entspricht in diesem Fall jener von Exporten im gewöhnlichen Input-Output-Modell. Diese können auch im Ausland in die intermediäre Verwendung eingehen.

Wenn das Unternehmen nicht mehr an der intermediären Verflechtung teilnimmt, so geht die Produktion des betrachteten Unternehmens jedoch auch nicht mehr in die gesamtwirt-

schaftliche Produktion ein. Deshalb muss Gl. 4-1 noch um die Unternehmensproduktion bereinigt werden. Diese ist auf der linken Seite in der gesamten Güterverwendung, welche dem gesamten Güteraufkommen entsprechen muss, und auf der rechten Seite in der intermediären und der letzten Verwendung enthalten. Im zweiten Schritt der Modifizierung werden deshalb ${}_Ux$ von der linken Seite und die in Summe mengenmäßig äquivalenten Größen ${}_UZ^S i$ und ${}_Uy^S$ von der rechten Seite subtrahiert.

Gl. 4-2

$$x - {}_Ux = Zi + y - {}_UZ^D i + {}_Uy^D - {}_UZ^S i - {}_Uy^S$$

Werden nun die subtrahierten und hinzuaddierten Größen entsprechend ihrer ökonomischen Bedeutung angeordnet, so zeigt sich, dass auch im modifizierten Modell die gesamte Güterverwendung als Summe aus intermediärer und letzter Verwendung dargestellt wird:

Gl. 4-3

$$x - {}_Ux = (Z - {}_UZ^D - {}_UZ^S)i + y - {}_Uy^S + {}_Uy^D$$

Um die Vermittlung der folgenden Überlegungen zu erleichtern, werden die Begriffe extrabetriebliche gesamte Güterverwendung ${}_Ux = x - {}_Ux$ und extrabetriebliche intermediäre Verwendung ${}_UZ = Z - {}_UZ^D - {}_UZ^S$ eingeführt, die nur noch die Produktion bzw. intermediäre Verwendung der übrigen Wirtschaft beinhalten. Ferner wird eine extrabetriebliche letzte Verwendung ${}_Uy = y - {}_Uy^S$ eingeführt, die nur noch die Produktion der übrigen Wirtschaft enthält. Die Darstellung des allgemeinen Gleichgewichtes im modifizierten Modell kann somit folgendermaßen verkürzt werden:

Gl. 4-4

$${}_Ux = {}_UZi + {}_Uy + {}_Uy^D$$

Aufgrund der Input-Output-Identität entspricht die gesamte extrabetriebliche Güterverwendung dem gesamten extrabetrieblichen Güteraufkommen. Letzteres wird lediglich als Zeilenvektor notiert, was wiederum dem transponierten Vektor der gesamten extrabetrieblichen Güterverwendung entspricht. Setzt man die extrabetriebliche intermediäre Verwendung in Relation zum extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen, so erhält man eine Matrix der extrabetrieblichen Inputkoeffizienten ${}_UA$. Zur konsistenten Darstellung in Matrizen-

schreibweise wird das extrabetriebliche gesamte Güteraufkommen als Diagonalmatrix mit ${}_{-U}\hat{x}$ notiert:

Gl. 4-5

$${}_{-U}A = {}_{-U}Z {}_{-U}\hat{x}^{-1}$$

Zur Ermöglichung der weiteren Schritte wird das allgemeine Gleichgewicht aus Gl. 4-4 unter Berücksichtigung der Inputkoeffizienten dargestellt:

Gl. 4-6

$${}_{-U}x = {}_{-U}A {}_{-U}x + {}_{-U}y + {}_Uy^D$$

Durch Umformungen in Analogie zum gewöhnlichen Input-Output-Modell kann nun die letzte Verwendung ${}_{-U}y + {}_Uy^D$ in Abhängigkeit des transponierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommens formuliert werden:

Gl. 4-7

$${}_{-U}y + {}_Uy^D = {}_{-U}x - {}_{-U}A {}_{-U}x = (I - {}_{-U}A) {}_{-U}x$$

Wird nun das transponierte gesamte extrabetriebliche Güteraufkommen ${}_{-U}x$ in Abhängigkeit der letzten Verwendung ${}_{-U}y + {}_Uy^D$ dargestellt, so kann ermittelt werden, wie viele Einheiten des transponierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommens auf die Nachfrage des zu bilanzierenden Unternehmens und die extrabetriebliche letzte Verwendung zurückzuführen sind:

Gl. 4-8

$${}_{-U}x = (I - {}_{-U}A)^{-1} ({}_{-U}y + {}_Uy^D) = (I - {}_{-U}A)^{-1} {}_{-U}y + (I - {}_{-U}A)^{-1} {}_Uy^D$$

Für die Quantifizierung der vorgelagerten Treibhausgasemissionen des zu bilanzierenden Unternehmens sind nur jene Einheiten des transponierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommens von Bedeutung, die auf dessen Nachfrage zurückzuführen sind. Vor der Bewertung dieser Einheiten mit direkten Emissionsintensitäten soll auf die Frage eingegangen werden, ob auch die direkten Emissionsintensitäten bereinigt werden müssen. Wenn sich ein Unternehmen zur Erstellung einer betrieblichen Treibhausgasbilanz entschließt, so sollte zunächst das Ausmaß der direkten Emissionen ermittelt werden. Der Vektor der direkten

Emissionen sollte in diesem Fall um den Unternehmensbeitrag bereinigt werden. Handelt es sich bei den zugrundeliegenden Input-Output-Daten um eine funktionelle Input-Output-Tabelle und beim zu bilanzierenden Unternehmen um ein Mehrproduktunternehmen, das in mehreren Sektoren tätig ist, so müssen neben den Outputs auch die direkten Emissionen nach Sektoren aufgegliedert werden. Notiert man den Vektor der direkten Emissionen des Unternehmens nach Sektoren mit ${}_U e$, so lässt sich der Vektor der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten des Unternehmens wie folgt bestimmen:

Gl. 4-9

$${}_U q' = (e' - {}_U e') {}_U \hat{x}^{-1}$$

Liegen keine spezifischen Daten der direkten Emissionen des Unternehmens vor, so kann auch mit dem unbereinigten Vektor der direkten Emissionsintensitäten gearbeitet werden. Dieser Fall ist insbesondere von Bedeutung, wenn nur ökonomische Unternehmensdaten vorliegen, anhand derer eine grobe Vorabschätzung der betrieblichen Treibhausgasbilanz anvisiert wird. Während die Modifizierung der ökonomischen Daten in Form einer Exogenisierung von Unternehmensnachfrage und Unternehmensangebot von konzeptioneller Bedeutung ist, führt die Ersetzung unbereinigter durch bereinigte direkte Emissionsintensitäten nur zu einer qualitativen Verbesserung der zugrundeliegenden Daten. Unabhängig von der Unternehmensbereinigung der direkten Emissionsintensitäten werden bereits über die Unternehmensbereinigung der intermediären Verwendung und des gesamten Güteraufkommens nur jene Einheiten mit Emissionen bewertet, die außerhalb des Unternehmens produziert werden. Die Verfügbarkeit extrabetrieblicher direkter Emissionsintensitäten ermöglicht hierbei die Verwendung extrabetrieblicher Durchschnittsdaten anstelle gesamtwirtschaftlicher Durchschnittsdaten. Die konzeptionelle Untauglichkeit der herkömmlichen Input-Output-Modellierung zur Schätzung indirekter Emissionen für betriebliche Treibhausgasbilanzen wird jedoch bereits mit den ökonomischen Modifizierungen behoben. Im Folgenden wird jedoch die Kenntnis der direkten Emissionen des Unternehmens unterstellt und die Berechnung anhand extrabetrieblicher direkter Emissionsintensitäten erläutert.

Die aufgrund der Nachfrage des zu bilanzierenden Unternehmens entstandenen Treibhausgasemissionen müssen folglich dem Produkt der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten mit den durch die Nachfrage des zu bilanzierenden Unternehmens verursachten Ein-

heiten des transponierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommens entsprechen. Gl. 4-10 zeigt die Berechnung der mit $b_e'(-_Ux({}_Uy^D))i$ notierten vorgelagerten Emissionen des zu bilanzierenden Unternehmens:

Gl. 4-10

$$b_e'(-_Ux({}_Uy^D))i = -_Uq' -_Ux({}_Uy^D) = -_Uq'(I - _UA)^{-1} {}_Uy^D$$

Dementsprechend können auch die vorgelagerten Emissionen der extrabetrieblichen letzten Verwendung berechnet und mit $b_e'(-_Ux(-_Uy))i$ notiert werden:

Gl. 4-11

$$b_e'(-_Ux(-_Uy))i = -_Uq' -_Ux(-_Uy) = -_Uq'(I - _UA)^{-1} -_Uy$$

Im modifizierten Modell werden dabei nur die tatsächlich außerhalb des betrachteten Unternehmens entstandenen Emissionen zwischen der Nachfrage des zu bilanzierenden Unternehmens und der extrabetrieblichen letzten Verwendung aufgeteilt:

Gl. 4-12

$$\begin{aligned} b_e'(-_Ux(-_Uy))i + b_e'(-_Ux({}_Uy^D))i &= \\ -_Uq' \left((I - _UA)^{-1} -_Uy \right) + -_Uq' \left((I - _UA)^{-1} {}_Uy^D \right) &= \\ -_Uq' \left((I - _UA)^{-1} -_Uy + (I - _UA)^{-1} {}_Uy^D \right) &= \\ -_Uq' \left((I - _UA)^{-1} (-_Uy + {}_Uy^D) \right) &= -_Uq' -_Ux = b_e'(-_Ux)i \end{aligned}$$

Addiert man zu den außerhalb des betrachteten Unternehmens entstandenen Emissionen $b_e'(-_Ux)i$ die direkten Emissionen des Unternehmens $b_e'({}_Ux)i = {}_Ue'i$ hinzu, so entspricht das Ergebnis genau den durch die Produktion des transponierten gesamten Güteraufkommens x entstandenen Emissionen $b_e'(x)i = e'i$:

Gl. 4-13

$$\begin{aligned} b_e'(-_Ux)i + b_e'({}_Ux)i &= -_Uq' -_Ux + {}_Ue'i = (e' - {}_Ue') -_U\hat{x}^{-1} -_Ux + {}_Ue'i \\ &= (e' - {}_Ue')i + {}_Ue'i = e'i - {}_Ue'i + {}_Ue'i = e'i = b_e'(x)i \end{aligned}$$

Im Hinblick auf die betriebliche Treibhausgasbilanzierung werden nur tatsächlich entstandene Emissionen berücksichtigt. Die insgesamt entstandenen Emissionen werden auf die Kate-

gorien direkte Emissionen des Unternehmens, vorgelagerte Emissionen des Unternehmens und vorgelagerte Emissionen der extrabetrieblichen letzten Verwendung verteilt. Sollen die vorgelagerten Emissionen des zu bilanzierenden Unternehmens nach den liefernden Sektoren aufgeschlüsselt werden, so muss die Multiplikationsreihenfolge aus Gl. 4-10 geändert und die Unternehmensnachfrage als Diagonalmatrix dargestellt werden. Die Unternehmensnachfrage als Diagonalmatrix wird dabei mit ${}_U\hat{y}^D$ und der Vektor der vorgelagerten Emissionen nach den liefernden Sektoren mit $b_e'(-{}_UX({}_U\hat{y}^D))$ notiert, wobei ${}_UX({}_U\hat{y}^D)$ die Matrix des aus $(I - {}_UA)^{-1} {}_U\hat{y}^D$ resultierenden Güteraufkommens verkörpert:

Gl. 4-14

$$b_e'(-{}_UX({}_U\hat{y}^D)) = {}_Uq'(I - {}_UA)^{-1} {}_U\hat{y}^D$$

Konzeptionell wird in Gl. 4-14 mit dem Linksmultiplikator ${}_Uq'(I - {}_UA)^{-1}$ ein Zeilenvektor extrabetrieblicher totaler Emissionsintensitäten beschrieben, der in Anlehnung an das herkömmliche ökologisch erweiterte Input-Output-Modell auch mit ${}_U\mu$ notiert werden könnte. Dies ist jedoch nicht sinnvoll, da die extrabetrieblichen totalen Emissionsintensitäten in der Regel ausschließlich für das im Einzelfall betrachtete Unternehmen von Bedeutung wären. Schließlich handelt es sich um das Produkt des Vektors der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten mit der extrabetrieblichen Leontief-Inverse. Der Vektor der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten hängt dabei unmittelbar vom Output und den damit verbundenen direkten Emissionen des betrachteten Unternehmens ab. Beide Größen werden für die Ermittlung der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten von ihren gesamtwirtschaftlichen Pendanten nach Sektoren abgezogen. Die extrabetriebliche Leontief-Inverse basiert auf den extrabetrieblichen Inputkoeffizienten, die wiederum von der Nachfrage und Produktion des betrachteten Unternehmens abhängen. In Gl. 4-14 ist es nicht möglich, die diagonalisierte Unternehmensnachfrage ${}_U\hat{y}^D$ durch das über die Unternehmensnachfrage verursachte diagonalisierte extrabetriebliche gesamte Güteraufkommen ${}_U\hat{x}({}_Uy^D)$ zu ersetzen, da die vorgelagerten Emissionen nach eingekauften Gütergruppen und nicht nach verursachten extrabetrieblichen Gütergruppenproduktionen bilanziert werden sollen.

Bei der Multiplikation der totalen Emissionsintensitäten aus dem herkömmlichen ökologisch erweiterten Input-Output-Modell mit monetären Einkaufswerten enthalten die berechneten Werte auch direkte und vorgelagerte Emissionen aus dem zu bilanzierenden Unternehmen, wenn dessen Güter als Vorleistungen in andere Güter eingehen, die wiederum vom betrachteten Unternehmen eingekauft werden. Dies gilt auch für Anlageinvestitionen aus der letzten Verwendung. Diese Doppelzählungen werden über das hier vorgestellte Modell behoben. Das Ausmaß dieser Doppelzählungen hängt von der Größe des betrachteten Unternehmens und von der Größe der betrachteten Volkswirtschaft ab. Die Problematik wird von Haubach (2009) bereits erwähnt, ein Lösungsmodell wird jedoch nicht ausformuliert:

„Die Input-Output-Analyse nach Leontief gibt zwar die kumulierten Werte für die Endnachfrage an. Jedoch kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die Emissionen eines Unternehmens im Verhältnis zu den Emissionen seines Wirtschaftszweigs vernachlässigbar sind. Die Unternehmensnachfrage kann somit als Endnachfrage betrachtet werden. Bei der Startwertberechnung von Großunternehmen, die aufgrund ihrer Größe die Branchenwerte beeinflussen, müssen deshalb die Unternehmensdaten aus den Branchendaten herausgerechnet werden.“¹³²

Bislang ist das Modell ausschließlich nachfrageseitig ausgerichtet. Dadurch wird unterstellt, dass alle indirekten Emissionen vor dem betrachteten Unternehmen entstehen. Im Rahmen einer betrieblichen Treibhausgasbilanz sollen jedoch vorgelagerte und nachgelagerte indirekte Emissionen ausgewiesen werden. Da das Modell bislang alle vorhandenen Emissionen auf die Kategorien direkte Emissionen des betrachteten Unternehmens, vorgelagerte indirekte Emissionen des betrachteten Unternehmens sowie vorgelagerte Emissionen der extrabetrieblichen letzten Verwendung verteilt, würde es bei der Bilanzierung nachgelagerter Emissionen zu weiteren Doppelzählungen kommen. Deshalb wird im Folgenden aufgezeigt, wie ein entsprechendes angebotsseitiges Modell aufgestellt werden kann. Anschließend wird der Versuch einer Synthese der beiden Modelle unternommen.

¹³² Haubach, Christian (2009), op.cit., 175.

4.4 Formale Herleitung von der Angebotsseite

Während bei der nachfrageseitigen Perspektive die Lieferkette bis zum betrachteten Unternehmen modelliert wurde, muss bei der angebotsseitigen Perspektive die Lieferkette ab dem betrachteten Unternehmen modelliert werden. Die zentrale Fragestellung lautet daher, bei welchen Akteuren finden die im betrachteten Unternehmen produzierten Güter Verwendung? Folglich muss das ökologische erweiterte Ghosh-Modell um die Nachfrage des betrachteten Unternehmens bereinigt und das Angebot des betrachteten Unternehmens als separate Kategorie zu den exogenen Primärintputs verschoben werden. Zur Bereinigung um die Unternehmensnachfrage wird vom allgemeinen Gleichgewicht zwischen gesamtem Güteraufkommen auf der linken Seite und der Summe aus Vorleistungen und Primärintputs auf der rechten Seite die Unternehmensnachfrage ${}_U x' = i' {}_U Z^D + {}_U v^{D'}$ abgezogen:

Gl. 4-15

$$x' - {}_U x' = i' Z + v' - i' {}_U Z^D - {}_U v^{D'}$$

Zur Exogenisierung des intermediären Unternehmensangebots $i' {}_U Z^S$ wird dieses von der intermediären Verwendung abgezogen und als separater Zeilenvektor ${}_U v^{S'}$ ausgewiesen:

Gl. 4-16

$$x' - {}_U x' = i' Z - i' {}_U Z^S + {}_U v^{S'} + v' - i' {}_U Z^D - {}_U v^{D'}$$

Ausgehend von Gl. 4-16 können nun die einzelnen Summanden entsprechend ihrer ökonomischen Bedeutung angeordnet werden:

Gl. 4-17

$$\begin{aligned} x' - {}_U x' &= i' Z - i' {}_U Z^S - i' {}_U Z^D + {}_U v^{S'} + v' - {}_U v^{D'} \Leftrightarrow \\ x' - {}_U x' &= i' (Z - {}_U Z^S - {}_U Z^D) + {}_U v^{S'} + v' - {}_U v^{D'} \end{aligned}$$

Werden nun in Analogie zu Abschnitt 4.3 das extrabetriebliche gesamte Güteraufkommen mit ${}_U x' = x' - {}_U x'$, die extrabetriebliche intermediäre Verwendung mit ${}_U Z = Z - {}_U Z^D - {}_U Z^S$ und die extrabetrieblichen Primärintputs mit ${}_U v' = v' - {}_U v^{D'}$ notiert, so kann das extrabetriebliche allgemeine Gleichgewicht wie folgt dargestellt werden:

Gl. 4-18

$${}_{-U}x' = i' {}_{-U}Z + {}_Uv^{S'} + {}_{-U}v'$$

Wie bereits in Abschnitt 4.3 erwähnt, entspricht die extrabetriebliche gesamte Güterverwendung aufgrund der Input-Output-Identität dem extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen. Letzteres wird lediglich als Zeilenvektor notiert, was wiederum dem transponierten Vektor der gesamten extrabetrieblichen Güterverwendung entspricht. Setzt man die extrabetriebliche intermediäre Verwendung in Relation zur extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung, so erhält man die Matrix der extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten. Auf Grundlage der extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten kann daraufhin die extrabetriebliche intermediäre Verwendung in Abhängigkeit der extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung ausgedrückt werden:

Gl. 4-19

$${}_{-U}\Omega = {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}Z \Leftrightarrow {}_{-U}Z = {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\Omega$$

Durch Einsetzen von ${}_{-U}Z = {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\Omega$ in Gl. 4-18 und anschließende Umformungen wird schließlich die Summe aus extrabetrieblicher Wertschöpfung und Unternehmensangebot in Abhängigkeit der transponierten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung dargestellt. Daraus lässt sich durch eine weitere Umformung der quantitative Zusammenhang zwischen der transponierten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung und der Summe aus extrabetrieblicher Wertschöpfung und Unternehmensangebot abbilden:

Gl. 4-20

$${}_{-U}x' = i' {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\Omega + {}_Uv^{S'} + {}_{-U}v' = {}_{-U}x' {}_{-U}\Omega + {}_Uv^{S'} + {}_{-U}v' \Leftrightarrow$$

$${}_Uv^{S'} + {}_{-U}v' = {}_{-U}x' - {}_{-U}x' {}_{-U}\Omega = {}_{-U}x'(I - {}_{-U}\Omega) \Leftrightarrow$$

$${}_{-U}x' = ({}_Uv^{S'} + {}_{-U}v')(I - {}_{-U}\Omega)^{-1}$$

Die letzte Zeile aus Gl. 4-20 ermöglicht die Quantifizierung der transponierten extrabetrieblichen Güterverwendung ${}_{-U}x'({}_Uv^{S'})$, die mit dem Angebot des betrachteten Unternehmens verbunden ist. Hierzu wird der Linksmultiplikator auf das Güterangebot des betrachteten Unternehmens beschränkt:

Gl. 4-21

$$-_{U}x'({}_{U}v^{S'}) = {}_{U}v^{S'}(I - -_{U}\Omega)^{-1}$$

Sollen nun die indirekten Emissionen $b_e'(-_{U}x'({}_{U}v^{S'}))i$ quantifiziert werden, die aus dem Angebot des betrachteten Unternehmens resultieren, so muss die mit dem betrachteten Unternehmen verbundene transponierte extrabetriebliche Güterverwendung mit dem Vektor der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten rechtsmultipliziert werden:

Gl. 4-22

$$b_e'(-_{U}x'({}_{U}v^{S'}))i = -_{U}x'({}_{U}v^{S'})-_{U}q = {}_{U}v^{S'}(I - -_{U}\Omega)^{-1}-_{U}q$$

Mangelt es an Daten zur Bestimmung der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten, so besteht auch hier analog zur Erläuterung aus Absatz 4.3 die Möglichkeit, auf die gesamtwirtschaftlichen direkten Emissionsintensitäten zurückzugreifen. Zur Aufschlüsselung der indirekten Emissionen nach weiterverarbeitenden Sektoren muss die mit dem Angebot des betrachteten Unternehmens verbundene extrabetriebliche Güterverwendung als Diagonalmatrix in Gl. 4-22 integriert werden:

Gl. 4-23

$$b_e(-_{U}X({}_{U}\hat{v}^S)) = {}_{U}\hat{v}^S(I - -_{U}\Omega)^{-1}-_{U}q$$

Alle übrigen Emissionen des um das betrachtete Unternehmen bereinigten Ghosh-Modells werden der extrabetrieblichen Wertschöpfung zugeordnet:

Gl. 4-24

$$b_e'(-_{U}x'(-_{U}v'))i = -_{U}x'(-_{U}v')-_{U}q = -_{U}v'(I - -_{U}\Omega)^{-1}-_{U}q$$

Somit gilt auch in der angebotsseitigen Modifizierung, dass nur die tatsächlich außerhalb des Unternehmens entstandenen Emissionen vollständig als indirekte Emissionen zwischen dem Unternehmensangebot und der extrabetrieblichen Wertschöpfung aufgeteilt werden:

Gl. 4-25

$$\begin{aligned}
& b_e'(-_Ux'(_Uv^{S'}))i + b_e'(-_Ux'(-_Uv'))i = \\
& \quad -_Ux'(_Uv^{S'})_{-U}q + -_Ux'(-_Uv')_{-U}q = \\
& \quad _Uv^{S'}(I - _U\Omega)^{-1}_{-U}q + -_Uv'(I - _U\Omega)^{-1}_{-U}q = \\
& \quad \left(_Uv^{S'}(I - _U\Omega)^{-1} + -_Uv'(I - _U\Omega)^{-1} \right)_{-U}q = \\
& \quad \left(_Uv^{S'} + -_Uv' \right) (I - _U\Omega)^{-1}_{-U}q = -_Ux'_{-U}q = b_e'(-_Ux')i
\end{aligned}$$

Addiert man zu den außerhalb des betrachteten Unternehmens entstandenen Emissionen $b_e'(-_Ux')i$ die direkten Emissionen des betrachteten Unternehmens $b_e'(_Ux')i = i'_{U}e$ hinzu, so entspricht das Ergebnis genau den durch die Produktion der transponierten gesamten Güterverwendung x' entstandenen Emissionen $b_e'(x')i$.

Gl. 4-26

$$\begin{aligned}
b_e'(-_Ux')i + b_e'(_Ux')i &= -_Ux'_{-U}q + i'_{U}e = -_Ux' \left((e' - _Ue')_{-U}\hat{x}^{-1} \right)' \\
&= -_Ux'_{-U}\hat{x}^{-1}(e - _Ue) + i'_{U}e = i'(e - _Ue) + i'_{U}e = i'(e - _Ue + _Ue) = i'e \\
&= e'i = b_e'(x')i
\end{aligned}$$

Gl. 4-26 verdeutlicht, dass auch bei der angebotsseitigen Modifizierung bereits alle vorhandenen Emissionen vollständig zwischen den Kategorien direkte Emissionen des betrachteten Unternehmens, indirekte nachgelagerte Emissionen des betrachteten Unternehmens und nachgelagerte Emissionen der extrabetrieblichen Wertschöpfung aufgeteilt werden. Würde man zusätzlich vorgelagerte Emissionen quantifizieren, so käme es zwangsläufig zu Doppelzählungen. Im Folgenden wird deshalb zunächst die Art der Doppelzählungen bei der simultanen Anwendung des nachfrage- und angebotsseitigen extrabetrieblichen Input-Output-Modells näher beleuchtet und anschließend eine Synthese der beiden Modelle formuliert.

4.5 Treibhausgasemissionen in den extrabetrieblichen Input-Output-Modellen

In den Abschnitten 4.2 bis 4.4 wurde zunächst die Position des Unternehmens im Input-Output-Modell analysiert. Die Zielsetzung einer Vermeidung von Doppelzählungen des eige-

nen Unternehmensbeitrags führte zu einer Exogenisierung des Unternehmens. Daraus wurde einerseits ein extrabetriebliches ökologisch erweitertes nachfrageseitiges Input-Output-Modell und auf der anderen Seite ein extrabetriebliches ökologisch erweitertes angebotsseitiges Input-Output-Modell hergeleitet. Im extrabetrieblichen ökologisch erweiterten nachfrageseitigen Input-Output-Modell werden sämtliche extrabetriebliche Emissionen zwischen der Unternehmensnachfrage und der letzten Verwendung der übrigen Wirtschaft verteilt. Im extrabetrieblichen ökologisch erweiterten angebotsseitigen Input-Output-Modell werden sämtliche extrabetriebliche Emissionen zwischen dem Unternehmensangebot und der extrabetrieblichen Wertschöpfung verteilt. Werden die Modelle simultan zur Quantifizierung vor- und nachgelagerter Emissionen von Unternehmen angewandt, so kommt es erneut zu Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen. Im Folgenden wird deshalb das Unternehmen als Teil eines intermediären Produktionskreislaufes betrachtet.

5. Schätzung indirekter Treibhausgasemissionen ohne Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen

5.1 Synthese von Nachfrage- und Angebotsseite mit eindeutiger Zuweisung der Emissionen

Bislang werden alle extrabetrieblichen Emissionen entweder auf die Komponenten extrabetriebliche letzte Verwendung und Unternehmensnachfrage oder auf die Komponenten extrabetriebliche Primärinputs und Unternehmensangebot verteilt. Letztlich soll durch eine kombinierte Anwendung die Wirtschaft als ein Kreislauf modelliert werden, wobei die Frage, an welcher Stelle dieses Kreislaufes der vorgelagerte Bereich beginnt und der nachgelagerte Bereich endet, kaum ohne normative Werturteile beantwortet werden kann. Ferner werden die dem Modell zugrundeliegenden Leontief- und Ghosh-Koeffizienten zur Bewertung der Wertschöpfungskettenposition von Sektoren verwendet, so dass sich auch die Position des betrachteten Unternehmens durch dessen Extraktion aus der intermediären Verwendung in den entsprechenden bereinigten Koeffizienten widerspiegelt. Für eine vollkommene Quantifizierung ohne Doppelzählungen müssten die puren vor- und nachgelagerten Emissionen eines betrachteten Unternehmens bei der simultanen Quantifizierung deshalb eigentlich halbiert werden.

Rodrigues et al. (2006) entwickeln über Axiome einen Indikator der ökologischen Verantwortung als Verhandlungslösung. Dabei schlussfolgern sie, dass die ökologische Verantwortung über das arithmetische Mittel aus den vorgelagerten Umweltwirkungen bezüglich der letzten Verwendung und den nachgelagerten Umweltwirkungen bezüglich der Primärinputs beschrieben werden und somit je mit dem Faktor 0,5 gewichtet werden muss. Diese Schlussfolgerung ist auf ein Symmetrieaxiom zurückzuführen, welchem die Annahme zugrunde liegt, dass jeder Verhandlungspartner sowohl Verkäufer als auch Käufer ist.¹³³ Diese Annahme trifft in der Regel auch für Unternehmen zu.

Auch Gallego und Lenzen (2005) befassen sich mit der Allokation von Verantwortung. Sie stellen dazu zwei Methoden vor. Bei der ersten wird die Verantwortung zwischen Produzenten und Käufern verteilt, während bei der zweiten die Verantwortung zwischen Arbeitern

¹³³ Vgl. Rodrigues, João/Domingos, Tiago/Giljum, Stefan et al. (2006), op. cit., 264.

bzw. Investoren und Produzenten verteilt wird. Die Zuweisung von Verantwortung an Arbeiter rührt dabei vom zugrundeliegenden Ghosh-Modell, bei dem die Wertschöpfung als exogene Größe betrachtet wird, welche unter anderem die Entlohnung von Arbeit beinhaltet. Anzumerken ist hierbei, dass jede der beiden Methoden per se bereits alle Auswirkungen aufteilt. So wird einerseits eine nachfrageorientierte Methode entsprechend des Leontief-Modells und andererseits eine angebotsorientierte Methode entsprechend des Ghosh-Modells vorgestellt. Bei jeder dieser Methoden werden über Parameter zwischen Null und Eins die Auswirkungen entweder nachfrageorientiert zwischen Käufern und Verkäufern oder angebotsorientiert zwischen Arbeitern bzw. Investoren und Verkäufern aufgeteilt. Als potentielle Anwendung wird der Einsatz für betriebliche Nachhaltigkeitsberichte genannt. Die relevanten Daten zur intermediären Beschaffung, zum intermediären Absatz sowie dem für die letzte Verwendung bestimmten Absatz und der Wertschöpfung sollen dabei dem betrieblichen Rechnungswesen entnommen werden.¹³⁴ Mit diesem Vorschlag zur simultanen Anwendung der beiden Methoden wird jedoch verkannt, dass jede der beiden Methoden per se bereits alle Wirkungen des gesamtwirtschaftlichen Produktionsprozesses verteilt.

Lenzen et al. (2007) kritisieren das Symmetrieaxiom von Rodrigues et al. (2006). Die Betrachtung jedes Akteurs als Käufer und Verkäufer trifft ihrer Ansicht nach nur auf gesamtwirtschaftliche Betrachtungen zu. In einer geschlossenen Volkswirtschaft seien die Summe einer vollständigen Verbraucherverantwortung und die Summe einer vollständigen Produzentenverantwortung zwar identisch, dies könne jedoch nicht für einzelne Sektoren oder Unternehmen behauptet werden. Als Beispiel nennen sie hier Akteure, die Primärintputs verwenden, jedoch ausschließlich die intermediäre Verwendung bedienen. Ferner gäbe es auf der subnationalen Ebene auch Verbraucher, die keine Primärintputs lieferten.¹³⁵ Als Legitimation für ihre Symmetrieannahme merken Rodrigues et al. (2006) an, dass es ohne diese eine Vielzahl möglicher Allokationsgewichtungen gäbe, so dass jeder Akteur eine andere Gewichtung verwenden könnte. Dadurch wäre es schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, eine Regelung zu finden, mit der alle Akteure einverstanden sind.¹³⁶ Lenzen et al. (2007) akzeptieren diese Argumentation nicht als Rechtfertigung für die Symmetrieannahme. Asymmetrie sei in ökonomischen Transaktionen vielmehr die Regel. Je nach Sektor seien die Wahlmöglichkeiten

¹³⁴ Vgl. Gallego, Blanca/Lenzen, Manfred (2005), op. cit., 365-382.

¹³⁵ Vgl. Lenzen, Manfred/Murray, Joy/Sack, Fabian et al. (2007), op. cit., 30.

¹³⁶ Vgl. Rodrigues, João/Domingos, Tiago/Giljum, Stefan et al. (2006), op. cit., 261.

bezüglich Vorleistungsgütern und Weiterverwertung der eigenen Güter sehr beschränkt. Ferner sei die Symmetriannahme auch keine Voraussetzung für eine eindeutige Lösung.¹³⁷ Letzteres stützen Lenzen et al. (2007) auf einen eigenen Ansatz, bei dem die Verantwortung des Wertschöpfungsanteils entlang der Lieferkette verteilt wird. Die Logik dahinter sei, dass die Verantwortung in Abhängigkeit der Kontrolle eines Unternehmens verteilt werde. Ferner zeigen sie für zwei Beispiellieferketten, dass die Verantwortung bei einer Halbierung durch zusätzliche vorgelagerte Akteure reduziert wird.¹³⁸ Diese Argumentation mag für ihre in Abbildung 5-1 gezeigten schematischen Lieferketten, bei denen der Umweltbelastungsbeitrag für jede Lieferstufe bekannt ist, zutreffend sein. Allerdings wird dabei von endlichen Lieferketten und zusätzlichen Akteuren ohne eigenen Umweltbelastungsbeitrag ausgegangen. Jede Stufe übernimmt dabei Verantwortung für die Hälfte der vorgelagerten Umweltbelastung, ohne die Hälfte der nachgelagerten Umweltbelastung zu übernehmen.

¹³⁷ Vgl. Lenzen, Manfred/Murray, Joy/Sack, Fabian et al. (2007), op. cit., 30.

¹³⁸ Vgl. *ibid.*, 33-35.

Abbildung 5-1: Geteilte Produzenten- und Konsumentenverantwortung

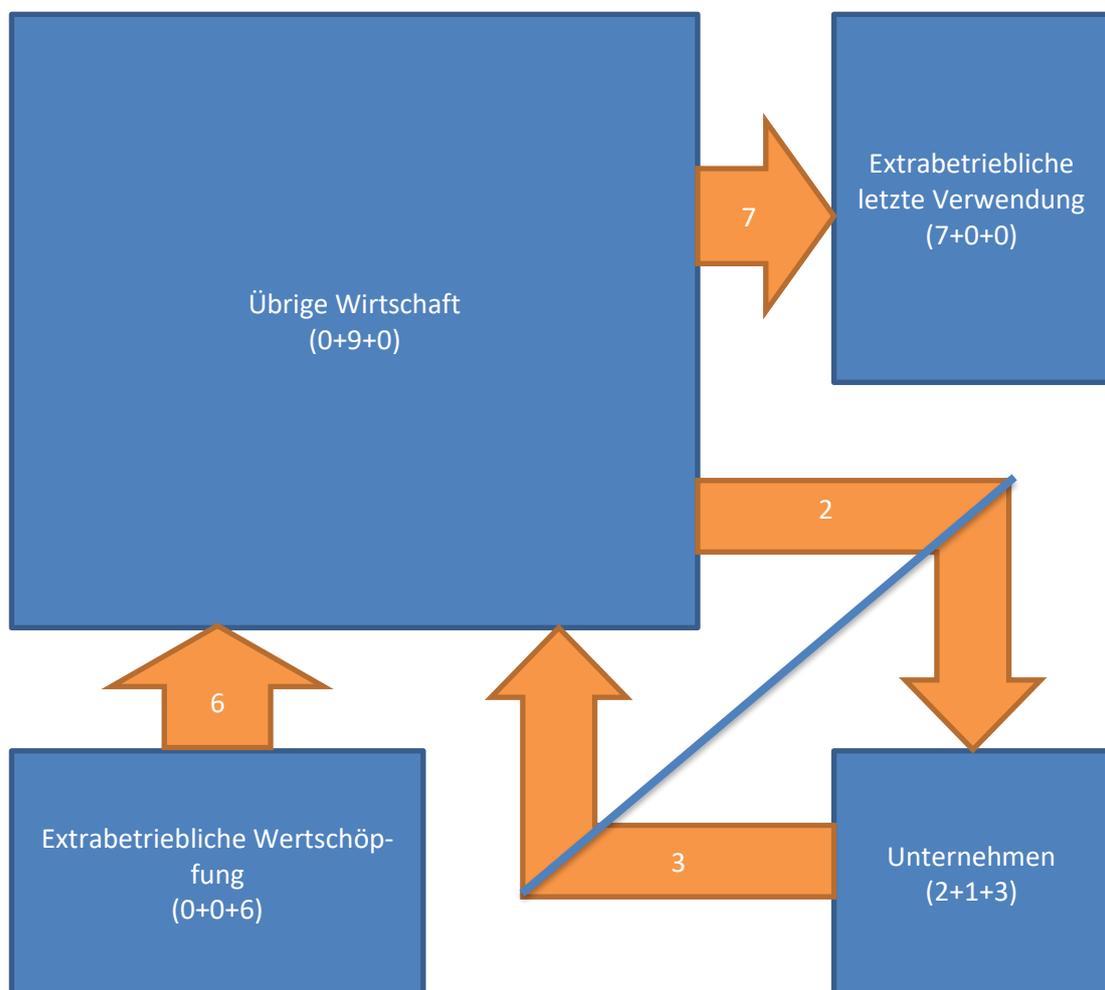
Phase	Direkte Verantwortung	Fünfzigprozentige Verantwortungsteilung	
Gewinnung von Sand	8	$8 / 2 = 4$	Eigenbehalt
		$8 / 2 = 4$	Weitergabe
Weiterverarbeitung zu Glas	0,4	$(0,4 + 4) / 2 = 2,2$	Eigenbehalt
		$(0,4 + 4) / 2 = 2,2$	Weitergabe
Weiterverarbeitung zu Glasbehältern	0,2	$(0,2 + 2,2) / 2 = 1,2$	Eigenbehalt
		$(0,2 + 2,2) / 2 = 1,2$	Weitergabe
Befüllung der Glasbehälter mit Lebensmitteln	0,2	$(0,2 + 1,2) / 2 = 0,7$	Eigenbehalt
		$(0,2 + 1,2) / 2 = 0,7$	Weitergabe
Verzehr der Lebensmittel	0	$0 + 0,7 = 0,7$	Eigenbehalt

Phase	Direkte Verantwortung	Fünfzigprozentige Verantwortungsteilung	
Gewinnung von Sand	8	$8 / 2 = 4$	Eigenbehalt
		$8 / 2 = 4$	Weitergabe
Weiterverarbeitung zu Glas	0,4	$(0,4 + 4) / 2 = 2,2$	Eigenbehalt
		$(0,4 + 4) / 2 = 2,2$	Weitergabe
Weiterverarbeitung zu Glasbehältern	0,2	$(0,2 + 2,2) / 2 = 1,2$	Eigenbehalt
		$(0,2 + 2,2) / 2 = 1,2$	Weitergabe
Befüllung der Glasbehälter mit Lebensmitteln	0,2	$(0,2 + 1,2) / 2 = 0,7$	Eigenbehalt
		$(0,2 + 1,2) / 2 = 0,7$	Weitergabe
Vertrieb der Lebensmittel	0	$(0 + 0,7) / 2 = 0,35$	Eigenbehalt
		$(0 + 0,7) / 2 = 0,35$	Weitergabe
Verzehr der Lebensmittel	0	$0 + 0,35 = 0,35$	Eigenbehalt

Eigene Darstellung in Anlehnung an: Lenzen, Manfred/Murray, Joy/Sack, Fabian et al. (2007): „Shared producer and consumer responsibility - Theory and practice“, in: Ecological Economics, 61. Jg., Heft 1, 33.

Im Gegensatz zu den Darstellungen in Abbildung 5-1 werden in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung sowohl die vorgelagerten als auch die nachgelagerten Emissionen bilanziert. Greift man für die vorgelagerten Emissionen auf ein nachfrageseitiges und für die nachgelagerten Emissionen auf ein angebotsseitiges ökologisch erweitertes Input-Output-Modell zurück, so wird mit jedem dieser Modelle bereits die Menge aller Emissionen verteilt. Zusätzliche Lieferstufen sind dabei irrelevant, da unmittelbar vor und nach dem bilanzierten Unternehmen unendliche Lieferketten unterstellt werden.

Abbildung 5-2: Schematische Darstellung der simultanen Anwendung der modifizierten Modelle



Eigene Darstellung.

Abbildung 5-2 verdeutlicht beispielhaft die Zuordnung von vor- und nachgelagerten Emissionen bei simultaner Anwendung der nachfrageseitigen und angebotsseitigen extrabetrieblichen ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung. Die Rechtecke zeigen dabei die

einzelnen Zuordnungspositionen und in Klammern von links nach rechts die Aufsummierung von vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen. Aus der übrigen Wirtschaft herausgehende Pfeile zeigen, welchen Positionen wie viele Emissionseinheiten zugeordnet werden. Zur übrigen Wirtschaft hinführende Pfeile zeigen hingegen, aus welchen Positionen wie viele nachgelagerte Emissionen hervorgerufen werden. Das betrachtete Unternehmen emittiert dabei 1 Einheit und die übrige Wirtschaft 9 Einheiten. Über das bereinigte Leontief-Modell werden davon 7 Einheiten der extrabetrieblichen letzten Verwendung und 2 Einheiten dem Unternehmen zugeordnet, was in Summe bereits den gesamten 9 Einheiten der übrigen Wirtschaft entspricht. Nachgelagert verursacht das Angebot des betrachteten Unternehmens 3 Emissionseinheiten und die extrabetriebliche Wertschöpfung 6 Emissionseinheiten, was in Summe ebenfalls den gesamten 9 Emissionseinheiten der übrigen Wirtschaft entspricht. Der Kreislauf aus 3 nachgelagerten und 2 vorgelagerten Emissionseinheiten bezieht sich somit auf dieselbe übrige Wirtschaft. Deshalb müssten die Quantifizierungen eigentlich mit Faktoren gewichtet werden, die sich zu Eins aufaddieren. Ohne normative Werturteile kann nicht bestimmt werden, an welcher Stelle des Kreislaufs die nachgelagerte Phase endet und die vorgelagerte Phase beginnt. Demzufolge müssten die angebots- und nachfrageseitigen Quantifizierungen jeweils halbiert werden. Die Position des Unternehmens in der Lieferkette wird bereits durch die Quantifizierung der Emissionen berücksichtigt. Schließlich handelt es sich bei der Quantifizierung um eine Erweiterung der Berechnung von *Linkages*, welche per se bereits zur Identifikation der Positionierung von Sektoren in der Wertschöpfungskette verwendet werden.

Die hier vorgestellte Vorgehensweise entspricht nicht der geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung nach Gallego und Lenzen (2005) sowie Lenzen et al. (2007), sondern weist vielmehr Parallelen zur axiomatischen Verhandlungslösung nach Rodrigues et al. (2006) auf. Rodrigues und Domingos (2008a) vergleichen den Ansatz der geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung mit der axiomatischen Verhandlungslösung und gehen dabei auch auf die Kritik an letzterer aus Lenzen et al. (2007) ein.¹³⁹ Die beiden Ansätze unterscheiden sich einerseits im Transfer indirekter Effekte, welcher bei der geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung nur partiell und bei der axiomatischen Verhandlungslösung vollständig erfolgt, und andererseits in der Berücksichtigung vor- und nachgela-

¹³⁹ Siehe hierzu Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2008a), op. cit., 533-546.

gerter indirekter Effekte in einem Ansatz, was nur bei der axiomatischen Verhandlungslösung der Fall ist.¹⁴⁰ Der vollständige Transfer indirekter Effekte ermöglicht aussagekräftige Vergleiche der ganzheitlichen Auswirkungen entlang der Wertschöpfungskette. Diese Möglichkeit ist beim partiellen Transfer nicht gegeben, da nur ein Teil der vorgelagerten indirekten Effekte weitergegeben wird.¹⁴¹

Unter Bezugnahme auf Rodrigues und Domingos (2008a) formuliert Lenzen (2008a) analog zur geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung entsprechend der Wertschöpfung eine Vorgehensweise zur Berücksichtigung nachgelagerter indirekter Effekte.¹⁴² Dabei handelt es sich um eine geteilte Produzenten- und Investorenverantwortung, bei welcher die Verantwortung entsprechend der Lieferungen an die letzte Verwendung entlang der Lieferkette verteilt wird. Die verbale Begründung dazu lautet, dass jene Produzenten, die einen signifikanten Anteil an die letzte Verwendung liefern, auch signifikanten Einfluss auf die Produktgestaltung haben, während Produzenten, die nur einen geringen Anteil ihrer Produktion an die letzte Verwendung liefern, in der Regel an die Produktionsvorgaben ihrer weiterverarbeitenden Käufer gebunden sind und somit eine geringere Verantwortung tragen. Bezüglich des vollständigen Transfers indirekter Effekte kritisiert Lenzen (2008a), dass dabei jenen Akteuren, welche ausschließlich an die intermediäre Verwendung liefern, überhaupt keine Verantwortung zugewiesen werde. Lenzen (2008a) schließt seine Ausführungen zur Eindeutigkeit der beiden Ansätze mit der Einschätzung, dass Axiome zur Bestimmung eines eindeutigen Indikators notwendigerweise auf einer bestimmten Perspektive basieren und somit weder der eine noch der andere Ansatz vollkommen überzeugend ist.¹⁴³

Rodrigues und Domingos (2008b) reagieren auf Lenzen (2008a) mit der Anmerkung, dass es sich bei der geteilten Produzenten- und Konsumentenverantwortung zur partiellen Berücksichtigung vorgelagerter indirekter Effekte einerseits und der geteilten Produzenten- und Investorenverantwortung zur partiellen Berücksichtigung nachgelagerter indirekter Effekte andererseits nicht um einen, sondern um zwei Indikatoren handelt. Die axiomatische Ver-

¹⁴⁰ Vgl. *ibid.*, 534 und 536.

¹⁴¹ Vgl. *ibid.*, 543.

¹⁴² Siehe hierzu Lenzen, Manfred (2008a), *op. cit.*, 547-550.

¹⁴³ Vgl. *ibid.*, 547-548.

handlungslösung beschreibe hingegen die Verantwortung eines wirtschaftlichen Akteurs in seiner Rolle als Produzent und Nachfrager im Sinne eines Verkäufers und Käufers.¹⁴⁴

Die Ausführungen von Rodrigues und Domingos (2008a), Lenzen (2008a) sowie Rodrigues und Domingos (2008b) zeigen vor allem, dass die axiomatische Verhandlungslösung und die Ansätze geteilter Verantwortung sich in einigen Punkten grundlegend unterscheiden. So verkörpert die axiomatische Verhandlungslösung einen Ansatz zur Quantifizierung vor- und nachgelagerter indirekter Effekte, während bei der geteilten Verantwortung zwei Ansätze vorgeschlagen werden, von denen der eine zur Bestimmung der vorgelagerten und der andere zur Bestimmung der nachgelagerten Verantwortung dienen soll. Jeder der beiden Ansätze geteilter Verantwortung verteilt per se bereits alle entstandenen Auswirkungen auf die Akteure, so dass die simultane Anwendung der beiden Ansätze zwangsläufig zu Doppelzählungen führen würde. Die Aufteilungen entsprechend der Wertschöpfung bzw. der letzten Verwendung dienen dabei lediglich zur Verteilung der Verantwortung innerhalb des nachfrage- bzw. angebotsorientierten Ansatzes. Bei der axiomatischen Verhandlungslösung geht es hingegen um die Aufteilung zwischen vor- und nachgelagerten indirekten Effekten.

Würden die Aufteilungskriterien Wertschöpfung und letzte Verwendung auf die axiomatische Verhandlungslösung übertragen, so würde das Verhältnis von Wertschöpfung zur Summe aus Wertschöpfung und letzter Verwendung als Faktor für die nachfrageseitige Emissionsquantifizierung und das Verhältnis von letzter Verwendung zur Summe aus Wertschöpfung und letzter Verwendung als Faktor für die angebotsseitige Emissionsquantifizierung angewendet. Die axiomatische Verhandlungslösung entspricht einer kombinierten Anwendung von ökologisch erweitertem Leontief- und Ghosh-Modell ohne Bereinigung um den betrachteten Sektor. Die zu verteilenden Einheiten werden dabei nur als indirekte vor- und nachgelagerte Effekte der Sektoren berechnet, so dass in jedem der beiden Einzelmodelle per se die Menge der insgesamt zu verteilenden Einheiten gewahrt wird. Eignen sich die oben beschriebenen Faktoren für die kombinierte Anwendung, so muss die Summe aus den entsprechend gewichteten nachfrage- und angebotsseitigen Emissionen eines Sektors j und allen übrigen Sektoren $-j$ den gesamten direkten Emissionen $q'x$ entsprechen.

¹⁴⁴ Siehe hierzu Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2008b), op. cit., 551.

Mathematisch wird das zu erfüllende Gleichgewicht in Gl. 5-1 formuliert. Dabei verkörpert der erste Summand die vorgelagerten Emissionen des Sektors j , der zweite Summand die vorgelagerten Emissionen aller übrigen Sektoren $-j$, der dritte Summand die nachgelagerten Emissionen des Sektors j und der vierte Summand die nachgelagerten Emissionen aller übrigen Sektoren $-j$. Die Wertschöpfung und letzte Verwendung des Sektors j werden durch die Vektoren ${}_jv$ und ${}_jy$ beschrieben, bei denen bis auf die Elemente v_j bzw. y_j alle Elemente gleich Null gesetzt werden. Die Vektoren ${}_{-j}v$ und ${}_{-j}y$ beschreiben die Wertschöpfung und letzte Verwendung aller übrigen Sektoren $-j$, wobei ausschließlich die Elemente v_j bzw. y_j gleich Null gesetzt werden. Dementsprechend gilt ${}_jv + {}_{-j}v = v$ und ${}_jy + {}_{-j}y = y$.

Gl. 5-1

$$\begin{aligned} & i' {}_jv \left(i' ({}_jv + {}_jy) \right)^{-1} q'(I - A)^{-1} {}_jy + i' {}_{-j}v \left(i' ({}_{-j}v + {}_{-j}y) \right)^{-1} q'(I - A)^{-1} {}_{-j}y \\ & + i' {}_jy \left(i' ({}_jv + {}_jy) \right)^{-1} {}_jv'(I - \Omega)^{-1}q \\ & + i' {}_{-j}y \left(i' ({}_{-j}v + {}_{-j}y) \right)^{-1} {}_{-j}v'(I - \Omega)^{-1}q = q'x \end{aligned}$$

Die Faktoren des ersten und dritten Summanden addieren sich zu Eins, so dass der Faktor $i' {}_jy \left(i' ({}_jv + {}_jy) \right)^{-1}$ auch als $\left(1 - i' {}_jv \left(i' ({}_jv + {}_jy) \right)^{-1} \right)$ dargestellt werden kann. Entsprechendes gilt für den zweiten und vierten Summanden, so dass $i' {}_{-j}y \left(i' ({}_{-j}v + {}_{-j}y) \right)^{-1}$ auch als $\left(1 - i' {}_{-j}v \left(i' ({}_{-j}v + {}_{-j}y) \right)^{-1} \right)$ dargestellt werden kann. Durch Berücksichtigung dieser beiden Aspekte erhält man Gl. 5-2:

Gl. 5-2

$$\begin{aligned} & i' {}_jv \left(i' ({}_jv + {}_jy) \right)^{-1} q'(I - A)^{-1} {}_jy + i' {}_{-j}v \left(i' ({}_{-j}v + {}_{-j}y) \right)^{-1} q'(I - A)^{-1} {}_{-j}y \\ & + \left(1 - i' {}_jv \left(i' ({}_jv + {}_jy) \right)^{-1} \right) {}_jv'(I - \Omega)^{-1}q \\ & + \left(1 - i' {}_{-j}v \left(i' ({}_{-j}v + {}_{-j}y) \right)^{-1} \right) {}_{-j}v'(I - \Omega)^{-1}q = q'x \end{aligned}$$

Durch Umformungen kann Gl. 5-2 nun wie folgt dargestellt werden:

Gl. 5-3

$$\begin{aligned}
& i' {}_j v \left(i' ({}_j v + {}_j y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} {}_j y - {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \right) + {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \\
& \quad + {}_{-j} v'(I - \Omega)^{-1} q \\
& \quad + i' {}_{-j} v \left(i' ({}_{-j} v + {}_{-j} y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} {}_{-j} y - {}_{-j} v'(I - \Omega)^{-1} q \right) = q'x
\end{aligned}$$

Berücksichtigt man, dass ${}_j v'(I - \Omega)^{-1} q + {}_{-j} v'(I - \Omega)^{-1} q = v'(I - \Omega)^{-1} q = x'q$ gilt, was den gesamten direkten Emissionen $q'x$ entspricht, so reduziert sich Gl. 5-3 auf die Summe des ersten und letzten Summanden, welche Null ergeben muss:

Gl. 5-4

$$\begin{aligned}
& i' {}_j v \left(i' ({}_j v + {}_j y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} {}_j y - {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \right) \\
& \quad + i' {}_{-j} v \left(i' ({}_{-j} v + {}_{-j} y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} {}_{-j} y - {}_{-j} v'(I - \Omega)^{-1} q \right) = 0
\end{aligned}$$

Wird in Gl. 5-4 ${}_{-j} y = y - {}_j y$ und ${}_{-j} v = v - {}_j v$ eingesetzt, so erhält man Gl. 5-5:

Gl. 5-5

$$\begin{aligned}
& i' {}_j v \left(i' ({}_j v + {}_j y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} {}_j y - {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \right) \\
& \quad + i' (v - {}_j v) \left(i' (v - {}_j v + y - {}_j y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} (y - {}_j y) \right. \\
& \quad \left. - (v' - {}_j v')(I - \Omega)^{-1} q \right) = 0
\end{aligned}$$

Durch Umformungen kann Gl. 5-5 wie folgt dargestellt werden:

Gl. 5-6

$$\begin{aligned}
& i' {}_j v \left(i' ({}_j v + {}_j y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} {}_j y - {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \right) \\
& \quad + i' (v - {}_j v) \left(i' (v - {}_j v + y - {}_j y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} y - q'(I - A)^{-1} {}_j y \right. \\
& \quad \left. - v'(I - \Omega)^{-1} q + {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \right) = 0
\end{aligned}$$

Berücksichtigt man in Gl. 5-6, dass $q'(I - A)^{-1} y = q'x$ sowie $v'(I - \Omega)^{-1} q = x'q$ gilt und die beiden Größen einander entsprechen, so kann Gl. 5-6 auf die folgende Form reduziert werden:

Gl. 5-7

$$i' {}_j v \left(i' ({}_j v + {}_j y) \right)^{-1} \left(q'(I - A)^{-1} {}_j y - {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \right) \\ + i'(v - {}_j v) \left(i'(v - {}_j v + y - {}_j y) \right)^{-1} \left(-q'(I - A)^{-1} {}_j y + {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \right) = 0$$

Daraufhin kann Gl. 5-7 durch Umformungen folgendermaßen dargestellt werden:

Gl. 5-8

$$\left(i' {}_j v \left(i' ({}_j v + {}_j y) \right)^{-1} - i'(v - {}_j v) \left(i'(v - {}_j v + y - {}_j y) \right)^{-1} \right) q'(I - A)^{-1} {}_j y \\ - \left(i' {}_j v \left(i' ({}_j v + {}_j y) \right)^{-1} - i'(v - {}_j v) \left(i'(v - {}_j v + y - {}_j y) \right)^{-1} \right) {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q = 0$$

Multipliziert man Gl. 5-8 mit $\left(i' {}_j v \left(i' ({}_j v + {}_j y) \right)^{-1} - i'(v - {}_j v) \left(i'(v - {}_j v + y - {}_j y) \right)^{-1} \right)^{-1}$, so wird die zu erfüllende Gleichung auf die folgende Form verkürzt:

Gl. 5-9

$$q'(I - A)^{-1} {}_j y - {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q = 0 \Leftrightarrow q'(I - A)^{-1} {}_j y = {}_j v'(I - \Omega)^{-1} q \\ \Leftrightarrow i'(I - A)^{-1} {}_j y = {}_j v'(I - \Omega)^{-1} i$$

Die zweite Gleichung aus Gl. 5-9 zeigt, dass die Summe der insgesamt zu verteilenden Emissionen nur dann gewahrt wird, wenn das Ausmaß der angebotsseitig quantifizierten Emissionen dem Ausmaß der nachfrageseitig quantifizierten Emissionen auf Sektorebene entspricht. In der letzten Gleichung zeigt die linke Seite die mit der Wertschöpfung des betrachteten Sektors verbundene Güterverwendung in Summe und auf der rechten Seite das mit der letzten Verwendung des Sektors verbundene Güteraufkommen in Summe. Nur wenn diese beiden Größen übereinstimmen, bleibt die Gesamtmenge an Emissionen gewahrt. Da diesbezüglich keine Allgemeingültigkeit besteht, eignen sich auch die Faktoren nicht zur Gewichtung vor- und nachgelagerter Emissionen.

Ferner kann gezeigt werden, dass selbst im Spezialfall aus Gl. 5-9 die Faktoren je 0,5 betragen müssen. Wird in Gl. 5-9 der grundsätzliche Zusammenhang $(I - \Omega)^{-1} = \hat{x}^{-1}(I - A)^{-1}\hat{x}$ zwischen Leontief- und Ghosh-Modell berücksichtigt, so erhält man die folgende Gleichung:¹⁴⁵

Gl. 5-10

$$\begin{aligned} i'(I - A)^{-1} {}_j y &= {}_j v' \hat{x}^{-1} (I - A)^{-1} \hat{x} i \Leftrightarrow i'(I - A)^{-1} {}_j y = i' \hat{x} ((I - A)^{-1})' \hat{x}^{-1} {}_j v \\ &\Leftrightarrow (I - A)^{-1} {}_j y = \hat{x} ((I - A)^{-1})' \hat{x}^{-1} {}_j v \end{aligned}$$

Werden nun beide Seiten mit \hat{x}^{-1} linksmultipliziert und die Leontief-Inverse mit L notiert, so kann Gl. 5-10 folgendermaßen dargestellt werden:

Gl. 5-11

$$\hat{x}^{-1} L {}_j y = L' \hat{x}^{-1} {}_j v$$

Ausgehend von Gl. 5-11 werden die Matrizen und Vektoren ausgeschrieben. Wie bereits zu Beginn dieser Ausführungen definiert, werden bei den Vektoren ${}_j v$ und ${}_j y$ abgesehen von den Elementen v_j bzw. y_j alle Elemente gleich Null gesetzt werden:

¹⁴⁵ Siehe hierzu Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 548.

Gl. 5-12

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{x_1} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_2} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{x_j} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \frac{1}{x_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1j} & \dots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2j} & \dots & l_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{j1} & l_{j2} & \dots & l_{jj} & \dots & l_{jn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & l_{nj} & \dots & l_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ y_j \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \\
 = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{21} & \dots & l_{j1} & \dots & l_{n1} \\ l_{12} & l_{22} & \dots & l_{j2} & \dots & l_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{1j} & l_{2j} & \dots & l_{jj} & \dots & l_{nj} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{1n} & l_{2n} & \dots & l_{jn} & \dots & l_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{x_1} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_2} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{x_j} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \frac{1}{x_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ v_j \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \\
 \begin{pmatrix} \frac{l_{11}}{x_1} & \frac{l_{12}}{x_1} & \dots & \frac{l_{1j}}{x_1} & \dots & \frac{l_{1n}}{x_1} \\ \frac{l_{21}}{x_2} & \frac{l_{22}}{x_2} & \dots & \frac{l_{2j}}{x_2} & \dots & \frac{l_{2n}}{x_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{l_{j1}}{x_j} & \frac{l_{j2}}{x_j} & \dots & \frac{l_{jj}}{x_j} & \dots & \frac{l_{jn}}{x_j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{l_{n1}}{x_n} & \frac{l_{n2}}{x_n} & \dots & \frac{l_{nj}}{x_n} & \dots & \frac{l_{nn}}{x_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ y_j \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{l_{11}}{x_1} & \frac{l_{21}}{x_2} & \dots & \frac{l_{j1}}{x_j} & \dots & \frac{l_{n1}}{x_n} \\ \frac{l_{12}}{x_1} & \frac{l_{22}}{x_2} & \dots & \frac{l_{j2}}{x_j} & \dots & \frac{l_{n2}}{x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{l_{1j}}{x_1} & \frac{l_{2j}}{x_2} & \dots & \frac{l_{jj}}{x_j} & \dots & \frac{l_{nj}}{x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{l_{1n}}{x_1} & \frac{l_{2n}}{x_2} & \dots & \frac{l_{jn}}{x_j} & \dots & \frac{l_{nn}}{x_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ v_j \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \\
 \begin{pmatrix} \frac{l_{1j}}{x_1} y_j \\ \frac{l_{2j}}{x_2} y_j \\ \vdots \\ \frac{l_{jj}}{x_j} y_j \\ \vdots \\ \frac{l_{nj}}{x_n} y_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{l_{j1}}{x_j} v_j \\ \frac{l_{j2}}{x_j} v_j \\ \vdots \\ \frac{l_{jj}}{x_j} v_j \\ \vdots \\ \frac{l_{jn}}{x_j} v_j \end{pmatrix}$$

Die letzte Gleichung aus Gl. 5-12 zeigt, welche Bedingungen bei der Anwendung der Faktoren entsprechend Wertschöpfung und letzter Verwendung zur Wahrung der gesamten Emissionsmenge erfüllt sein müssen. Aus $\frac{l_{jj}}{x_j} y_j = \frac{l_{jj}}{x_j} v_j$ geht hervor, dass $y_j = v_j$ gelten muss. Setzt man $y_j = v_j$ in den übrigen Elementen ein, so zeigt sich ferner die Bedingung $l_{ij} = \frac{l_{ji}}{x_j} x_i$. Dies bedeutet, dass die Zeile des betrachteten Sektors j in der Leontief-Inverse der Spalte des betrachteten Sektors j in der Ghosh-Inverse entsprechen muss. Folglich muss Symmetrie zwischen totalem *Forward Linkage* und totalem *Backward Linkage* sowie den nachfrage- und angebotsseitigen totalen Emissionen bestehen. Interessant ist vor allem, dass in jenem Spezialfall, der eine Wahrung der gesamten Emissionsmenge bei Anwendung der getesteten Faktoren erfüllt, die letzte Verwendung der Wertschöpfung des betrachteten Sektors entsprechen muss. Damit geht einher, dass auch für alle übrigen Sektoren die aufsummierte Wertschöpfung der aufsummierten letzten Verwendung entsprechen muss. Folglich beträgt das Verhältnis von Wertschöpfung zur Summe aus letzter Verwendung und Wertschöpfung sowohl für den betrachteten Sektor als auch für die übrigen Sektoren 0,5. Entsprechendes gilt für die letzte Verwendung im Zähler, so dass alle Faktoren je 0,5 betragen müssen.

Die Prüfung der Faktoren in Anlehnung an Wertschöpfung und letzte Verwendung hat somit zunächst gezeigt, dass die Faktoren nicht die Erhaltung der gesamten Emissionsmenge gewähren. Faktoren entsprechend Wertschöpfung und letzter Verwendung sind somit nicht für die Aufteilung in vorgelagerte und nachgelagerte Emissionen geeignet. Ferner wurde gezeigt, dass solche Faktoren selbst im Spezialfall einer Wahrung der gesamten Emissionsmenge je 0,5 betragen sowie totaler *Backward Linkage* und totaler *Forward Linkage* einander entsprechen. Der totale *Backward Linkage* und der totale *Forward Linkage* spiegeln bereits die Position des betrachteten Sektors in der Wertschöpfungskette wider. Dies gilt auch für ein betrachtetes Unternehmen bei der kombinierten Anwendung von bereinigtem ökologisch erweiterten Leontief- und Ghosh-Modell. Insofern wäre auch hier die Verwendung der Faktoren von je 0,5 für vor- und nachgelagerte Emissionen gerechtfertigt. Lenzen (2008a) kritisiert an der axiomatischen Verhandlungslösung, dass intermediär kaufenden bzw. verkaufenden Akteuren keine Verantwortung zugewiesen werde.¹⁴⁶ Dieser Einwand wird bei

¹⁴⁶ Vgl. Lenzen, Manfred (2008a), op. cit., 547.

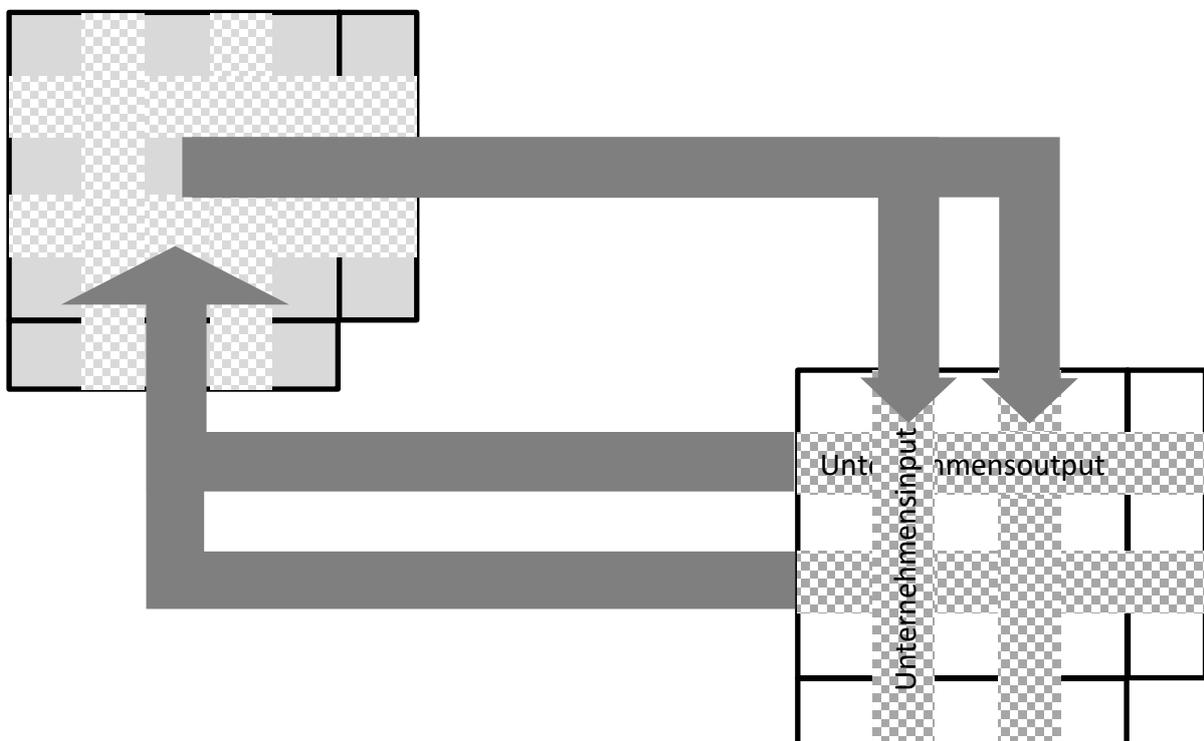
den bereinigten ökologisch erweiterten Modellen jedoch bereits durch die Verschiebung der Unternehmensnachfrage in die letzte Verwendung und des Unternehmensangebots zu den Primärinputs außer Kraft gesetzt.

5.2 Synthese von Nachfrage- und Angebotsseite entsprechend der standardisierten betrieblichen Treibhausgasbilanzierung

5.2.1 Das Unternehmen im intermediären Produktionskreislauf

Die standardisierte betriebliche Treibhausgasbilanzierung schreibt eine Vermeidung von Doppelzählungen lediglich innerhalb der Treibhausgasbilanz eines Unternehmens vor.¹⁴⁷ Insofern müssen Doppelzählungen nicht auf Ebene der gesamten übrigen Wirtschaft, sondern lediglich in Bezug auf die vor- und nachgelagerten Emissionen des betrachteten Unternehmens vermieden werden. Abbildung 5-3 zeigt die Interaktion des Unternehmens mit der übrigen Wirtschaft als Anbieter und Nachfrager. Links oben wird die Tabelle der übrigen Wirtschaft und rechts unten die Tabelle des Unternehmens dargestellt.

Abbildung 5-3: Das Unternehmen im intermediären Produktionskreislauf



Eigene Darstellung.

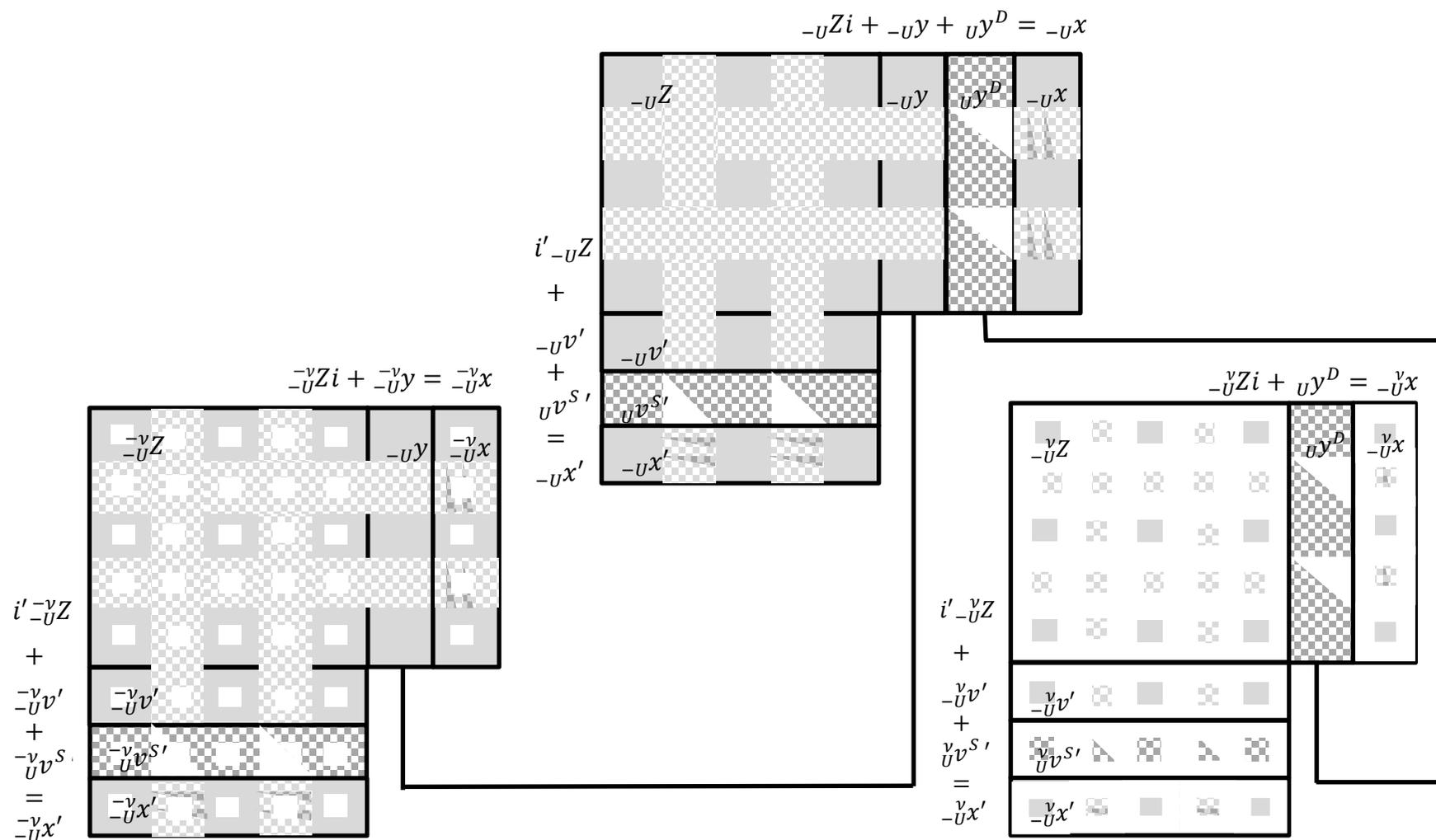
¹⁴⁷ Vgl. World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2011), op. cit., 27.

In Abbildung 5-3 wird deutlich, dass beim Anwenden der Input-Output-Modellierung zur betrieblichen Treibhausgasbilanzierung das Unternehmen nicht als Stufe einer Wertschöpfungskette betrachtet werden kann. Stattdessen nimmt das Unternehmen eine Position in einem intermediären Produktionskreislauf ein. Ob dabei die übrige Wirtschaft oder das Unternehmen als Beginn dieses intermediären Produktionskreislaufs betrachtet oder eine Perspektive zwischen diesen beiden Extremen gewählt wird, unterliegt letztendlich der Willkür des Anwenders. Sollen sowohl vor- als auch nachgelagerte Emissionen aus der extrabetrieblichen intermediären Verflechtung berechnet werden, kommt es ohne weitere Modifizierungen der Modelle zwangsläufig zu Doppelzählungen. Deshalb wird im Folgenden zunächst eine Perspektive eingenommen, bei der die Vorleistungsproduktion als Beginn des intermediären Produktionskreislaufs betrachtet wird. Dabei wird für die Berechnung der nachgelagerten Emissionen das extrabetriebliche Input-Output-Modell um die direkten und indirekten Vorleistungen des Unternehmens bereinigt. Im Anschluss wird eine Perspektive eingenommen, in der das Unternehmen am Beginn des intermediären Produktionskreislaufes steht. Dabei wird für die Berechnung der vorgelagerten Emissionen das extrabetriebliche Input-Output-Modell um jene Güter bereinigt, die den Unternehmensoutput direkt und indirekt als Vorleistungen enthalten und somit bereits über die nachgelagerten Emissionen des Unternehmens abgegolten sind. Zum Abschluss werden die beiden Perspektiven zusammengeführt, so dass das Unternehmen eine beliebige Position im intermediären Produktionskreislauf einnehmen kann. Dabei wird gezeigt, dass es für die Summe der indirekten Emissionen irrelevant ist, welche Position das Unternehmen im intermediären Produktionskreislauf einnimmt.

5.2.2 Die Vorleistungsproduktion als Beginn des intermediären Produktionskreislaufs

Definiert man die Vorleistungsproduktion an den Beginn des intermediären Produktionskreislaufs, so bedeutet dies, dass die vorgelagerten Emissionen des betrachteten Unternehmens nicht mehr bei der Quantifizierung der nachgelagerten Emissionen inbegriffen sein dürfen. Zur Bestimmung des Güteraufkommens, welches direkt und indirekt als Vorleistung in die Unternehmensproduktion eingeht, soll zunächst anhand Abbildung 5-4 die Aufteilung der extrabetrieblichen Input-Output-Tabelle in einen vom Unternehmen getriebenen Teil auf der einen Seite und einen von der übrigen Wirtschaft getriebenen Teil auf der anderen Seite erläutert werden.

Abbildung 5-4: Vorleistungen des Unternehmens und der übrigen Wirtschaft



Eigene Darstellung.

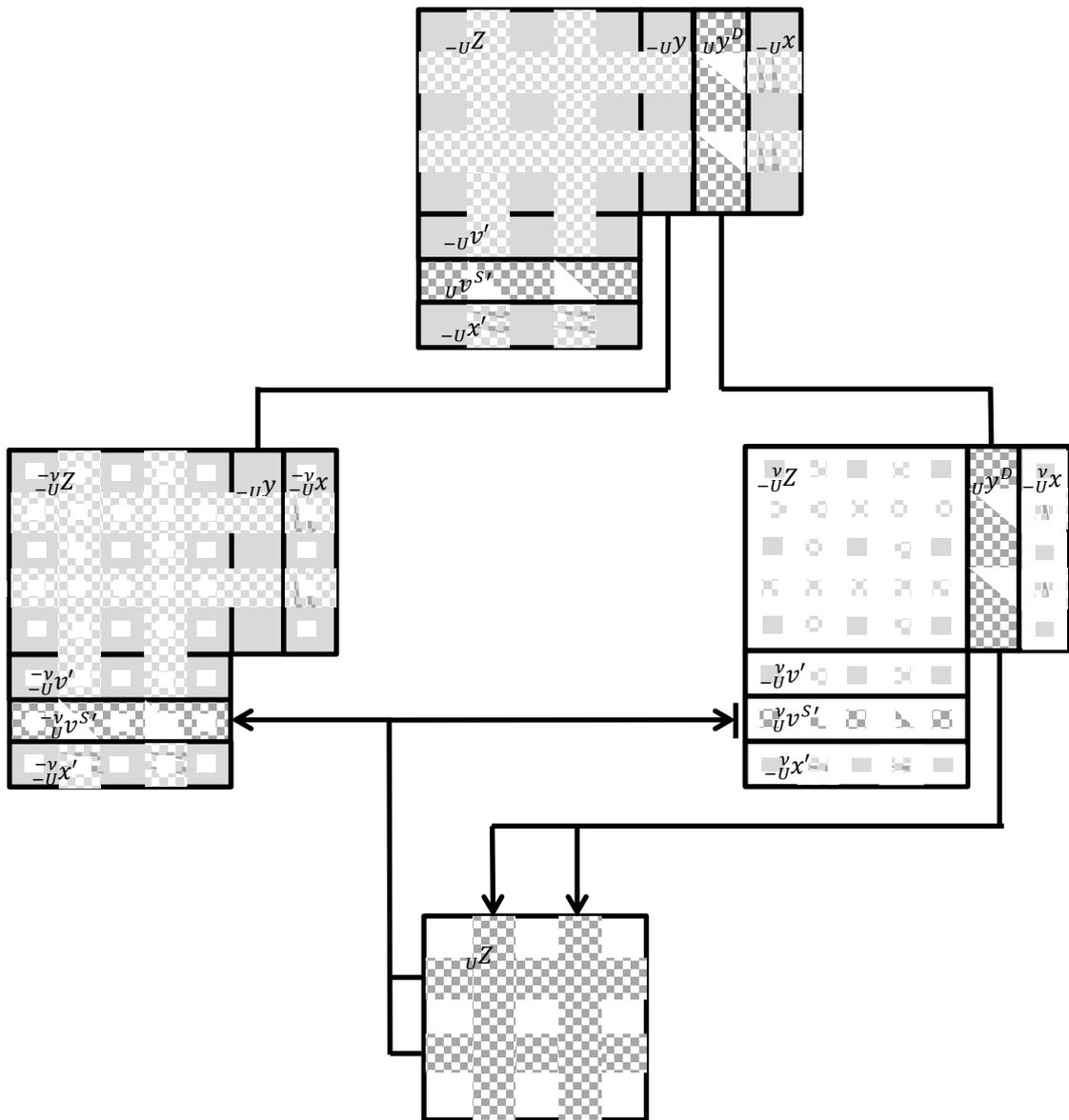
Abbildung 5-4 zeigt oben die bereits in Abbildung 4-5 eingeführte extrabetriebliche Input-Output-Tabelle. Im nachfrageseitigen Modell wird ein Teil des vertikalen Gleichgewichts der extrabetrieblichen letzten Verwendung ${}_{-U}y$ und der Rest des vertikalen Gleichgewichts der Unternehmensnachfrage ${}_Uy^D$ zugewiesen. Unterhalb der extrabetrieblichen Input-Output-Tabelle wird diese deshalb in zwei Teile zerlegt. Links wird jener Teil des vertikalen Gleichgewichts dargestellt, welcher der extrabetrieblichen letzten Verwendung ${}_{-U}y$ zugeordnet wird. Da es sich hierbei nur um einen Teil des gesamten extrabetrieblichen Aufkommens handelt, werden die aufkommensrelevanten Größen aus der extrabetrieblichen Input-Output-Tabelle durch weiße Quadrate unterbrochen. Rechts davon wird jener Teil des vertikalen Gleichgewichts gezeigt, welcher der Unternehmensnachfrage ${}_Uy^D$ zugeordnet wird. Es handelt sich dabei um den Rest des gesamten extrabetrieblichen Aufkommens. Das extrabetriebliche Aufkommen zur Befriedigung der Unternehmensnachfrage entspricht deshalb genau jenem Teil des gesamten extrabetrieblichen Aufkommens, welcher in der linken Tabelle durch die weißen Quadrate symbolisch ausgespart wird. Dementsprechend wird auch in der rechten Tabelle nur jener Teil des gesamten extrabetrieblichen Aufkommens gezeigt, welcher in der linken Tabelle durch die weißen Quadrate ausgespart ist. In der Darstellung mündet dies in einer weißen Tabelle mit ausgefüllten Quadraten. Legt man das extrabetriebliche Aufkommen der rechten Tabelle über das extrabetriebliche Aufkommen der linken Tabelle, so erhält man wieder das gesamte extrabetriebliche Aufkommen aus der oberen Tabelle.

Im Hinblick auf die angestrebte Vorleistungsbereinigung verkörpert die linke Tabelle das vorleistungsbereinigte angebotsseitige Gleichgewicht. Die vorleistungsbereinigte Verflechtung wird dabei mit ${}_{-U}^vZ$, die vorleistungsbereinigte Wertschöpfung mit ${}_{-U}^vv'$ und das gesamte vorleistungsbereinigte Aufkommen mit ${}_{-U}^vx'$ notiert. In die Unternehmensproduktion eingehende direkte und indirekte Vorleistungen werden in der rechten Tabelle gezeigt und mit ${}_{-U}^vZ$ notiert. Die mit den direkten und indirekten Vorleistungen verbundene Wertschöpfung wird mit ${}_{-U}^vv'$ notiert, so dass sich in Summe das direkt und indirekt als Vorleistungen in die Unternehmensproduktion eingehende Aufkommen ${}_{-U}^vx'$ ergibt. Auf die Frage der Berechnung dieser Größen wird später eingegangen. Zunächst wird anhand Abbildung 5-5 die Vorleistungsbereinigung im intermediären Produktionskreislauf erläutert.

Abbildung 5-5 greift die bereits erläuterte Aufteilung aus Abbildung 5-4 auf und vervollständigt die Abbildung um die Interaktion mit dem Unternehmen. Dabei wird oben die extrabe-

triebliche Input-Output-Tabelle, links die vorleistungsbereinigte Input-Output-Tabelle, rechts die Input-Output-Tabelle der totalen Vorleistungen und unten die intermediäre Verflechtung des Unternehmens gezeigt. Die Input-Output-Tabelle der totalen Vorleistungen ist zur intermediären Unternehmensnachfrage geschlossen, welche entsprechend der beiden Pfeilspitzen als intermediärer Unternehmensinput in die intermediäre Verflechtung des Unternehmens mündet. Mit diesem intermediären Unternehmensinput produziert das Unternehmen Output, welcher teilweise wieder in der intermediären Verflechtung der übrigen Wirtschaft weiterverarbeitet wird. Im intermediären Produktionskreislauf bedeutet dies, dass ein Teil des Unternehmensoutput in das bereits als vorgelagerte Emissionen bilanzierte Vorleistungsaufkommen und der Rest in das noch nicht als vorgelagerte Emissionen bilanzierte vorleistungsbereinigte Aufkommen eingeht. Dementsprechend münden in Abbildung 5-5 die beiden Pfeile aus dem Vorleistungsaufkommen mit der einen vereinten Pfeilspitze im Vorleistungsaufkommen und mit der anderen vereinten Pfeilspitze im vorleistungsbereinigten Aufkommen. Sollen Doppelzählungen innerhalb der betrieblichen Treibhausgasbilanz vermieden werden, so dürfen nur jene Emissionen als nachgelagert bilanziert werden, die aus der direkten und indirekten Weiterverarbeitung innerhalb der vorleistungsbereinigten Input-Output-Tabelle resultieren. Die direkte und indirekte Weiterverarbeitung des Unternehmensoutputs innerhalb des Vorleistungsaufkommens ist bereits über die Bilanzierung der vorgelagerten Emissionen abgegolten. In Abbildung 5-5 wird deshalb die rechte vereinte Pfeilspitze durch einen Balken blockiert und der intermediäre Produktionskreislauf unterbrochen. Für die nachfolgende mathematische Formulierung bedeutet dies, dass nur nachgelagerte Emissionen aus dem vorleistungsbereinigten Unternehmensangebot berechnet werden.

Abbildung 5-5: Vorleistungsbereinigung



Eigene Darstellung.

Im Folgenden werden die in Abbildung 5-4 und Abbildung 5-5 skizzierten Vorgänge formal ausgeführt. Dazu wird zunächst die extrabetriebliche Input-Output-Tabelle um die direkten und indirekten Vorleistungen des Unternehmens bereinigt und anschließend das Vorgehen zur Berechnung der vorleistungsbereinigten nachgelagerten Emissionen beschrieben.

Die extrabetrieblichen vorgelagerten Emissionen des betrachteten Unternehmens resultieren aus jenen Gütern, die direkt und indirekt für die Unternehmensnachfrage produziert wurden. Der Vektor $-U^v x'$ dieser bereits um die Vorleistungen des betrachteten Unterneh-

mens bereinigten Güter lässt sich durch Multiplikation der extrabetrieblichen Leontief-Inverse mit der Unternehmensnachfrage ermitteln:

Gl. 5-13

$${}_{-U}^v x = (I - {}_{-U}A)^{-1} {}_U y^D$$

Der Vektor jener Güter, die weder direkt noch indirekt über die Unternehmensnachfrage abgegolten wurden, kann daraufhin als Differenz zwischen extrabetrieblicher gesamter Güterverwendung und den bereits über die Unternehmensnachfrage abgegoltenen Gütern bestimmt werden. Alternativ lässt sich dieser Vektor auch durch Multiplikation der extrabetrieblichen Leontief-Inversen mit der extrabetrieblichen letzten Verwendung berechnen. Im Folgenden wird dieser Vektor mit ${}_{-U}^v x$ notiert und als vorleistungsbereinigte extrabetriebliche gesamte Güterverwendung bezeichnet:

Gl. 5-14

$${}_{-U}^v x = {}_{-U}x - {}_{-U}^v x = (I - {}_{-U}A)^{-1} {}_{-U}y$$

Das um die Unternehmensnachfrage bereinigte allgemeine Gleichgewicht setzt sich dementsprechend wie folgt aus intermediärer und letzter Verwendung zusammen:

Gl. 5-15

$${}_{-U}^v x = {}_{-U}A {}_{-U}^v x + {}_{-U}y = {}_{-U}Zi + {}_{-U}y$$

Für die angebotsseitige Quantifizierung nachgelagerter Emissionen müssen darüber hinaus das Unternehmensangebot und die extrabetriebliche Wertschöpfung um ihre bereits über die Vorleistungen des betrachteten Unternehmens abgegoltenen Bestandteile bereinigt werden. Hierzu werden zunächst Inputkoeffizienten dieser beiden Komponenten des angebotsseitigen Gleichgewichts berechnet. Die Inputkoeffizienten des Unternehmensangebotes ${}_{-U}a'({}_U v^{S'})$ werden dabei wie folgt bestimmt:

Gl. 5-16

$${}_{-U}a'({}_U v^{S'}) = {}_U v^{S'} {}_{-U} \hat{x}^{-1}$$

Analog zu Gl. 5-16 werden die Inputkoeffizienten der extrabetrieblichen Wertschöpfung ${}_{-U}a'({}_{-U} v')$ berechnet:

Gl. 5-17

$${}_{-U}a'({}_{-U}v') = {}_{-U}v' {}_{-U}\hat{x}^{-1}$$

Das vorleistungsbereinigte Unternehmensangebot ${}_{-U}v^S'$ lässt sich daraufhin durch Multiplikation der Inputkoeffizienten des Unternehmensangebots mit dem diagonalisierten vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen bestimmen:

Gl. 5-18

$${}_{-U}v^S' = {}_{-U}a'({}_{-U}v^S') {}_{-U}\hat{x}$$

Analog zu Gl. 5-18 wird die vorleistungsbereinigte extrabetriebliche Wertschöpfung berechnet:

Gl. 5-19

$${}_{-U}v' = {}_{-U}a'({}_{-U}v') {}_{-U}\hat{x}$$

Das angebotsseitige vorleistungsbereinigte extrabetriebliche allgemeine Gleichgewicht kann nun wie folgt beschrieben werden:

Gl. 5-20

$${}_{-U}x' = i' {}_{-U}Z + {}_{-U}v^S' + {}_{-U}v'$$

Zur Berechnung der vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten wird die vorleistungsbereinigte extrabetriebliche intermediäre Verwendung mit der invertierten diagonalisierten vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung linksmultipliziert:

Gl. 5-21

$${}_{-U}\Omega = {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}Z$$

Die vorleistungsbereinigte intermediäre Verwendung kann nun als Produkt aus der transponierten vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung und den vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten beschrieben werden:

Gl. 5-22

$$i' {}_{-U}Z = {}_{-U}x' {}_{-U}\Omega$$

Setzt man Gl. 5-22 in Gl. 5-20 ein, so kann die Summe aus vorleistungsbereinigtem Unternehmensangebot und vorleistungsbereinigter extrabetrieblicher Wertschöpfung in Abhängigkeit der transponierten vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung dargestellt werden:

Gl. 5-23

$$\bar{v}x' = \bar{v}x' \bar{v}\Omega + \bar{v}v^{S'} + \bar{v}v' \Leftrightarrow \bar{v}v^{S'} + \bar{v}v' = \bar{v}x'(I - \bar{v}\Omega)$$

Durch Umformung kann daraufhin die transponierte vorleistungsbereinigte extrabetriebliche gesamte Güterverwendung in Abhängigkeit der Summe aus vorleistungsbereinigtem Unternehmensangebot und vorleistungsbereinigter extrabetrieblicher Wertschöpfung beschrieben werden:

Gl. 5-24

$$\bar{v}x' = \left(\bar{v}v^{S'} + \bar{v}v' \right) (I - \bar{v}\Omega)^{-1}$$

Löst man die erste Klammer aus Gl. 5-24 auf, so kann die transponierte vorleistungsbereinigte extrabetriebliche gesamte Güterverwendung in zwei Komponenten zerlegt werden:

Gl. 5-25

$$\bar{v}x' = \bar{v}v^{S'} (I - \bar{v}\Omega)^{-1} + \bar{v}v' (I - \bar{v}\Omega)^{-1}$$

In Gl. 5-25 zeigt nun der erste Summand die vorleistungsbereinigte extrabetrieblichen Güterverwendung, in der das vorleistungsbereinigte Unternehmensangebot weiterverarbeitet wird. Der zweite Summand verkörpert den Rest der vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung. Durch Rechtsmultiplikation des ersten Summanden mit dem Vektor der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten werden in Gl. 5-26 die vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen nachgelagerten Emissionen des betrachteten Unternehmens bestimmt. Mangelt es an Daten zur Bestimmung der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten, so besteht auch hier analog zur Erläuterung aus Kapitel 1 die Möglichkeit, auf die gesamtwirtschaftlichen direkten Emissionsintensitäten zurückzugreifen.

Gl. 5-26

$$b_e' \left(\bar{v}x' \left(\bar{v}v^{S'} \right) \right) i = \bar{v}v^{S'} (I - \bar{v}\Omega)^{-1} \bar{v}q$$

Werden beide Komponenten aus Gl. 5-25 mit dem Vektor der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten rechtsmultipliziert, so zeigt sich, dass nur jene extrabetrieblichen Emissionen zwischen dem betrachteten Unternehmen und der übrigen Wirtschaft aufgeteilt werden, die noch nicht über die Vorleistungen des betrachteten Unternehmens abgegolten wurden:

Gl. 5-27

$$\left(\begin{matrix} -\nu \\ \nu \end{matrix} v^S + \begin{matrix} -\nu \\ \nu \end{matrix} v' \right) (I - \begin{matrix} -\nu \\ \nu \end{matrix} \Omega)^{-1} -\nu q = \begin{matrix} -\nu \\ \nu \end{matrix} x' -\nu q$$

Sollen die vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen nachgelagerten Emissionen des Unternehmens nach weiterverarbeitenden Sektoren aufgeschlüsselt werden, so muss der Vektor des vorleistungsbereinigten Unternehmensangebots diagonalisiert werden:

Gl. 5-28

$$b_e \left(\begin{matrix} -\nu \\ \nu \end{matrix} X \begin{matrix} -\nu \\ \nu \end{matrix} \hat{v}^S \right) = \begin{matrix} -\nu \\ \nu \end{matrix} \hat{v}^S (I - \begin{matrix} -\nu \\ \nu \end{matrix} \Omega)^{-1} -\nu q$$

Alternativ zu den vorherigen Ausführungen kann auch ein zusätzlicher emissionsfrei produzierender Sektor eingeführt werden. Die Unternehmensnachfrage und die dafür benötigten Vorleistungen, Wertschöpfungen und Teile des Unternehmensangebotes werden aus den bestehenden Sektoren in den emissionsfreien Sektor verschoben. Damit der emissionsfreie Sektor unabhängig von den bestehenden Sektoren die Unternehmensnachfrage bereitstellt, müssen alle dafür benötigten Vorleistungen als Summe in der Eigenproduktion des Sektors auf dessen Diagonalelement absorbiert werden. Da der emissionsfreie Sektor unabhängig von den anderen Sektoren agiert, führt dieser Ansatz zum selben Ergebnis wie die vorherigen Ausführungen.

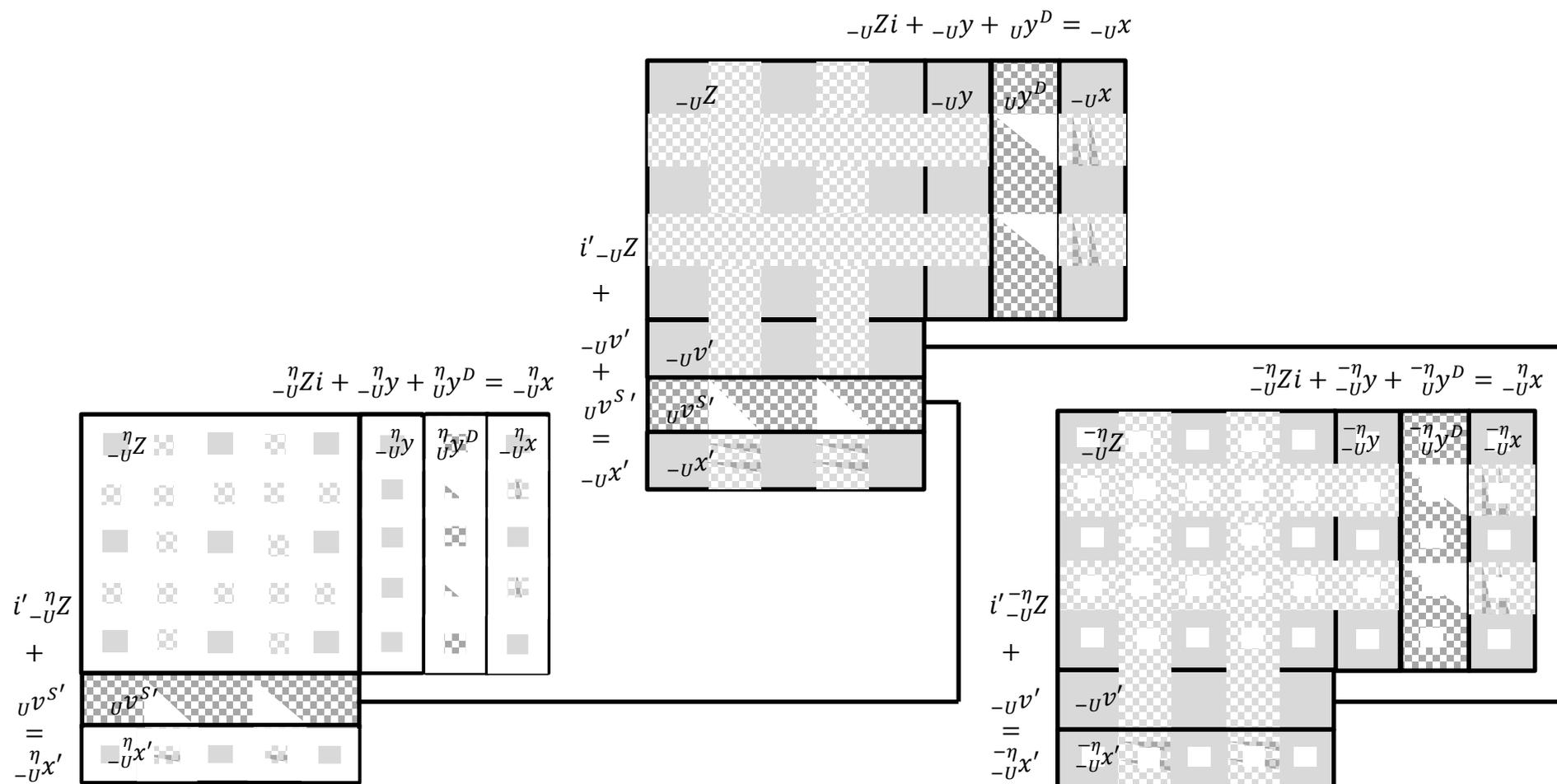
Mit der bisherigen Ausführung wurde eine zeitliche Abfolge unterstellt, in der zuerst die Vorleistungen produziert werden, welche daraufhin vom betrachteten Unternehmen und zum Abschluss von nachgelagerten Käufern weiterverarbeitet werden. In der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung würden durch die Unterstellung dieser zeitlichen Abfolge die vorgelagerten Emissionen systematisch überschätzt und die nachgelagerten Emissionen systematisch unterschätzt. Bei der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung sollen die direkten und indirekten Emissionen innerhalb eines Bilanzierungszeitraums quantifiziert werden. Innerhalb dieses Bilanzierungszeitraums kann die vorgelagerte Produktion auch auf Güter zurück-

greifen, welche dem betrachteten Unternehmen nachgelagert sind. Deshalb wird im Folgenden das betrachtete Unternehmen an den Beginn eines intermediären Produktionskreislaufs gestellt, wodurch die nachgelagerten Emissionen systematisch überschätzt und die vorgelagerten Emissionen systematisch unterschätzt werden. Abschließend wird daraufhin aus beiden Ansätzen, in denen entweder die übrige Wirtschaft oder das Unternehmen an den Beginn des intermediären Produktionskreislaufs gesetzt wird, ein ganzheitlicher Ansatz entwickelt. Der ganzheitliche Ansatz ermöglicht zunächst eine beliebige Positionierung des Unternehmens im intermediären Produktionskreislauf. Darauf basierend wird gezeigt, dass die Unternehmenspositionierung im intermediären Produktionskreislauf irrelevant ist, sofern die Summe der dem Unternehmen vor- und nachgelagerten Emissionen aus der übrigen Wirtschaft ermittelt wird.

5.2.3 Das betrachtete Unternehmen als Beginn des intermediären Produktionskreislaufs

Definiert man das betrachtete Unternehmen als Beginn des intermediären Produktionskreislaufs, so muss bei der Ermittlung der vorgelagerten extrabetrieblichen Emissionen eine Bereinigung um jene Güter vorgenommen werden, die bereits in die Quantifizierung der nachgelagerten Emissionen des betrachteten Unternehmens eingegangen sind. Zur Bestimmung der Güterverwendung, welche direkt und indirekt als Weiterverarbeitung des Unternehmensoutputs resultiert, soll zunächst anhand Abbildung 5-6 die angebotsseitige Aufteilung der extrabetrieblichen Input-Output-Tabelle in einen dem Unternehmen zugewiesenen Teil auf der einen Seite und einen der übrigen Wirtschaft zugewiesenen Teil auf der anderen Seite erläutert werden.

Abbildung 5-6: Weiterverarbeitung im Unternehmen und in der übrigen Wirtschaft



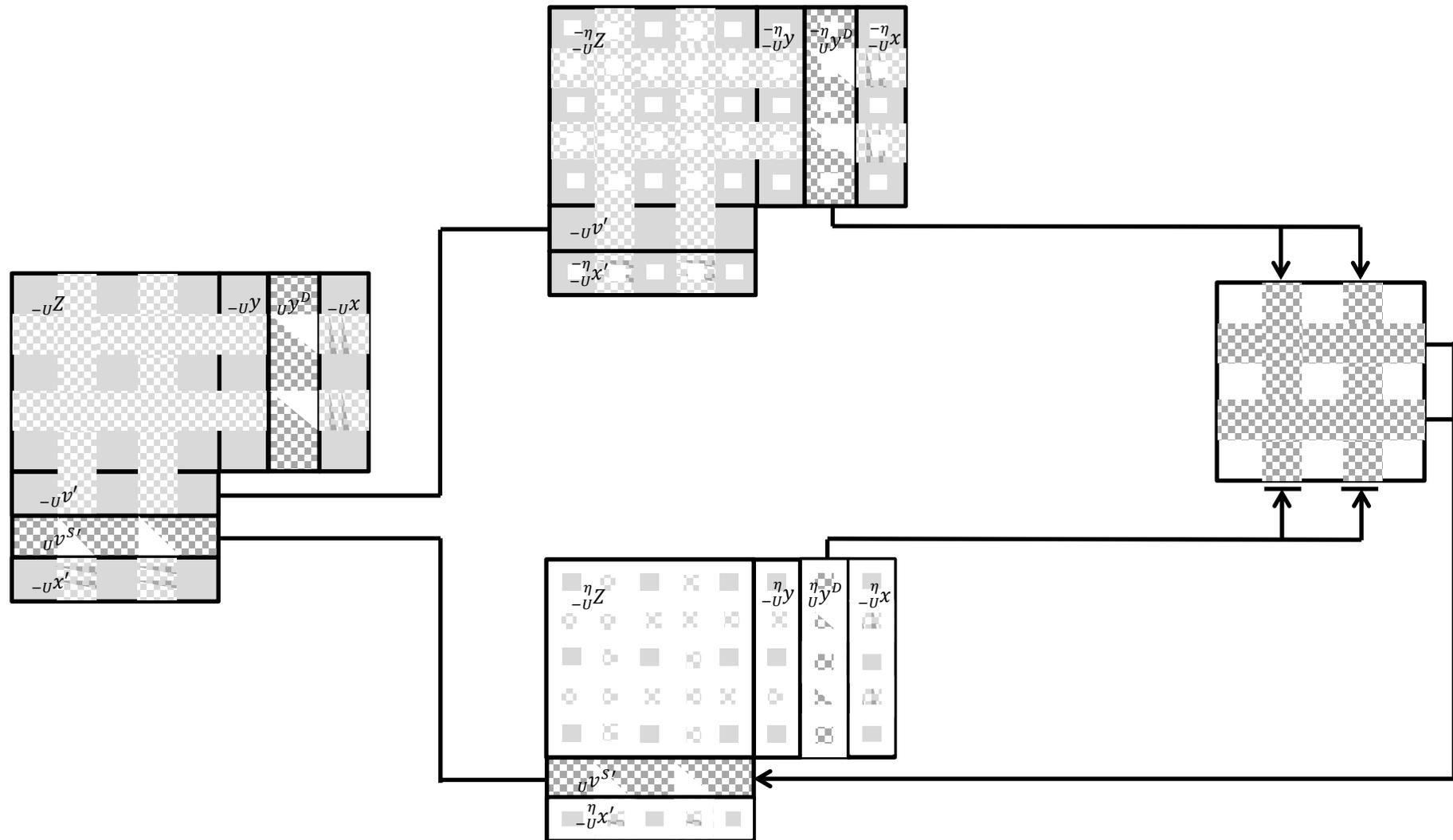
Eigene Darstellung.

Abbildung 5-6 zeigt oben die bereits in Abbildung 4-5 eingeführte extrabetriebliche Input-Output-Tabelle. Im angebotsseitigen Modell wird ein Teil des horizontalen Gleichgewichts der extrabetrieblichen Wertschöpfung ${}_{-U}v'$ und der Rest des horizontalen Gleichgewichts dem Unternehmensangebot ${}_{U}v^{S'}$ zugewiesen. Unterhalb der extrabetrieblichen Input-Output-Tabelle wird diese deshalb in zwei Teile zerlegt. Rechts wird jener Teil des horizontalen Gleichgewichts dargestellt, welcher der extrabetrieblichen Wertschöpfung ${}_{-U}v'$ zugeordnet wird. Da es sich hierbei nur um einen Teil der gesamten extrabetrieblichen Verwendung handelt, werden die verwendungsrelevanten Größen aus der extrabetrieblichen Input-Output-Tabelle durch weiße Quadrate unterbrochen. Links davon wird jener Teil des horizontalen Gleichgewichts gezeigt, welcher dem Unternehmensangebot ${}_{U}v^{S'}$ zugeordnet wird. Es handelt sich dabei um den Rest der gesamten extrabetrieblichen Verwendung. Die extrabetriebliche Weiterverarbeitung des Unternehmensangebots entspricht deshalb genau jenem Teil der gesamten extrabetrieblichen Verwendung, welcher in der rechten Tabelle durch die weißen Quadrate symbolisch ausgespart wird. Dementsprechend wird auch in der linken Tabelle nur jener Teil der gesamten extrabetrieblichen Verwendung gezeigt, welcher in der rechten Tabelle durch die weißen Quadrate ausgespart ist. In der Darstellung mündet dies in einer weißen Tabelle mit ausgefüllten Quadraten. Legt man die extrabetriebliche Verwendung der linken Tabelle über die extrabetriebliche Verwendung der rechten Tabelle, so erhält man wieder die gesamte extrabetriebliche Verwendung aus der oberen Tabelle.

Im Hinblick auf die angestrebte Weiterverarbeitungsreinigung verkörpert die rechte Tabelle das weiterverarbeitungsreine verwendungsseitige Gleichgewicht. Die weiterverarbeitungsreine Verflechtung wird dabei mit ${}_{-U}^{\eta}Z$, die weiterverarbeitungsreine letzte Verwendung mit ${}_{-U}^{\eta}y$ und die gesamte weiterverarbeitungsreine Verwendung mit ${}_{-U}^{\eta}x$ notiert. Aus der Unternehmensproduktion hervorgehende direkte und indirekte Weiterverarbeitungen werden in der linken Tabelle gezeigt und mit ${}_{-U}^{\eta}Z$ notiert. Die mit den direkten und indirekten Weiterverarbeitungen verbundene letzte Verwendung wird mit ${}_{-U}^{\eta}y$ notiert, so dass sich in Summe die direkt und indirekt aus dem Unternehmensangebot hervorgehende Verwendung ${}_{-U}^{\eta}x'$ ergibt. Auf die Frage der Berechnung dieser Größen wird später eingegangen. Zunächst wird anhand Abbildung 5-7 die Weiterverarbeitungsreinigung im intermediären Produktionskreislauf erläutert.

Abbildung 5-7 greift die bereits erläuterte Aufteilung aus Abbildung 5-6 auf und vervollständigt die Abbildung um die Interaktion mit dem Unternehmen. Dabei wird links die extrabetriebliche Input-Output-Tabelle, oben die weiterverarbeitungsberingte Input-Output-Tabelle, unten die Input-Output-Tabelle der totalen Weiterverarbeitung und rechts die intermediäre Verflechtung des Unternehmens gezeigt. Aus der intermediären Verflechtung des Unternehmens geht das Unternehmensangebot als einziger exogener Input in die Input-Output-Tabelle der totalen Weiterverarbeitung ein. Dies wird durch die beiden Pfeile symbolisiert, welche in der intermediären Verflechtung des Unternehmens beginnen und mit einer vereinten Pfeilspitze als aggregiertes exogenes Unternehmensangebot in der Input-Output-Tabelle der totalen Weiterverarbeitung münden. Die intermediäre Verflechtung des Unternehmens erhält jedoch sowohl aus der weiterverarbeitungsberingten Input-Output-Tabelle als auch aus der Input-Output-Tabelle der totalen Weiterverarbeitung Inputs. Sollen Doppelzählungen innerhalb der betrieblichen Treibhausgasbilanz vermieden werden, so dürfen nur jene Emissionen als vorgelagert bilanziert werden, die aus den direkten und indirekten Vorleistungen der weiterverarbeitungsberingten Input-Output-Tabelle resultieren. Die direkten und indirekten Vorleistungen des Unternehmensinputs aus der Input-Output-Tabelle der Weiterverarbeitung sind bereits über die Bilanzierung der nachgelagerten Emissionen abgegolten. In Abbildung 5-7 werden deshalb die beiden von unten in die Unternehmensproduktion mündenden Pfeilspitzen durch einen Balken blockiert. Dadurch wird der intermediäre Produktionskreislauf unterbrochen. Für die nachfolgende mathematische Formulierung bedeutet dies, dass nur vorgelagerte Emissionen aus der weiterverarbeitungsberingten Unternehmensnachfrage berechnet werden.

Abbildung 5-7: Weiterverarbeitungsreinigung



Eigene Darstellung.

Der Vektor ${}_{-U}^{\eta}x'$ verkörpert das Güteraufkommen, das über die Weiterverarbeitung abgegolten wird, und lässt sich durch Multiplikation des Unternehmensangebots mit der extrabetrieblichen Ghosh-Inversen ermitteln:

Gl. 5-29

$${}_{-U}^{\eta}x' = {}_U v^{S'} (I - {}_{-U}\Omega)^{-1}$$

Das weiterverarbeitungsbereinigte extrabetriebliche Güteraufkommen ${}_{-U}^{\eta}x'$ kann daraufhin als Differenz zwischen extrabetrieblichem Güteraufkommen und den über die Weiterverarbeitung abgegoltenen Gütern bestimmt werden. Alternativ lässt sich dieser Vektor auch durch Multiplikation der extrabetrieblichen Wertschöpfung mit der extrabetrieblichen Ghosh-Inversen berechnen:

Gl. 5-30

$${}_{-U}^{\eta}x' = {}_{-U}x' - {}_U^{\eta}x' = {}_{-U}v'(I - {}_{-U}\Omega)^{-1}$$

Das um das Unternehmensangebot bereinigte inputseitige Gleichgewicht setzt sich dementsprechend wie folgt aus extrabetrieblichen Vorleistungen und extrabetrieblicher Wertschöpfung zusammen:

Gl. 5-31

$${}_{-U}^{\eta}x' = {}_{-U}^{\eta}x' {}_{-U}\Omega + {}_{-U}v' = i' {}_{-U}^{\eta}Z + {}_{-U}v'$$

Für die nachfrageseitige Quantifizierung vorgelagerter Emissionen müssen darüber hinaus die Unternehmensnachfrage und die extrabetriebliche letzte Verwendung um ihre bereits über die nachgelagerten Emissionen des betrachteten Unternehmens abgegoltenen Bestandteile bereinigt werden. Hierzu werden zunächst die extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten dieser beiden Komponenten des nachfrageseitigen Gleichgewichts berechnet. Die extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten der Unternehmensnachfrage ${}_{-U}\omega({}_U y^D)$ werden dabei wie folgt bestimmt:

Gl. 5-32

$${}_{-U}\omega({}_U y^D) = {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_U y^D$$

Analog zu Gl. 5-32 werden die extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten der extrabetrieblichen letzten Verwendung ${}_{-U}\omega({}_{-U}y)$ berechnet:

Gl. 5-33

$${}_{-U}\omega({}_{-U}y) = {}_{-U}\hat{x}^{-1}{}_{-U}y$$

Die weiterverarbeitungsbereinigte Unternehmensnachfrage ${}_{-U}y^D$ lässt sich daraufhin durch Multiplikation der diagonalisierten weiterverarbeitungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung mit den Allokationskoeffizienten der Unternehmensnachfrage berechnen:

Gl. 5-34

$${}_{-U}y^D = {}_{-U}\hat{x}{}_{-U}\omega({}_{-U}y^D)$$

Analog zu Gl. 5-34 wird die weiterverarbeitungsbereinigte extrabetriebliche letzte Verwendung berechnet:

Gl. 5-35

$${}_{-U}y = {}_{-U}\hat{x}{}_{-U}\omega({}_{-U}y)$$

Das nachfrageseitige weiterverarbeitungsbereinigte extrabetriebliche allgemeine Gleichgewicht kann nun wie folgt beschrieben werden:

Gl. 5-36

$${}_{-U}x = {}_{-U}Zi + {}_{-U}y^D + {}_{-U}y$$

Zur Berechnung der weiterverarbeitungsbereinigten extrabetrieblichen Inputkoeffizienten wird die weiterverarbeitungsbereinigte extrabetriebliche intermediäre Verwendung mit dem invertierten diagonalisierten weiterverarbeitungsbereinigten gesamten Güteraufkommen multipliziert:

Gl. 5-37

$${}_{-U}A = {}_{-U}Z{}_{-U}\hat{x}^{-1}$$

Die weiterverarbeitungsbereinigte intermediäre Verwendung kann nun als Produkt aus den weiterverarbeitungsbereinigten extrabetrieblichen Inputkoeffizienten und dem transponier-

ten weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen beschrieben werden:

Gl. 5-38

$${}_{-U}^{-\eta}Zi = {}_{-U}^{-\eta}A {}_{-U}^{-\eta}x$$

Setzt man Gl. 5-38 in Gl. 5-36 ein, so kann die Summe aus weiterverarbeitungs bereinigter Unternehmensnachfrage und weiterverarbeitungs bereinigter extrabetrieblicher letzter Verwendung in Abhängigkeit des transponierten weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommens dargestellt werden:

Gl. 5-39

$${}_{-U}^{-\eta}x = {}_{-U}^{-\eta}A {}_{-U}^{-\eta}x + {}_{-U}^{-\eta}y^D + {}_{-U}^{-\eta}y \Leftrightarrow {}_{-U}^{-\eta}y^D + {}_{-U}^{-\eta}y = (I - {}_{-U}^{-\eta}A) {}_{-U}^{-\eta}x$$

Durch Umformung kann daraufhin das transponierte weiterverarbeitungs bereinigte extrabetriebliche gesamte Güteraufkomme in Abhängigkeit der Summe aus weiterverarbeitungs bereinigter Unternehmensnachfrage und weiterverarbeitungs bereinigter letzter Verwendung beschrieben werden:

Gl. 5-40

$${}_{-U}^{-\eta}x = (I - {}_{-U}^{-\eta}A)^{-1} ({}_{-U}^{-\eta}y^D + {}_{-U}^{-\eta}y)$$

Löst man die zweite Klammer aus Gl. 5-40 auf, so kann das transponierte weiterverarbeitungs bereinigte extrabetriebliche gesamte Güteraufkommen in zwei Komponenten zerlegt werden:

Gl. 5-41

$${}_{-U}^{-\eta}x = (I - {}_{-U}^{-\eta}A)^{-1} {}_{-U}^{-\eta}y^D + (I - {}_{-U}^{-\eta}A)^{-1} {}_{-U}^{-\eta}y$$

In Gl. 5-41 zeigt nun der erste Summand das weiterverarbeitungs bereinigte extrabetriebliche Güteraufkommen, das durch die weiterverarbeitungs bereinigte Unternehmensnachfrage hervorgerufen wird. Der zweite Summand verkörpert den Rest des weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen Güteraufkommens. Durch Linksmultiplikation des ersten Summanden mit dem transponierten Vektor der extrabetrieblichen direkten Emissionsinten-

sitäten werden die weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen vorgelagerten Emissionen des betrachteten Unternehmens bestimmt:

Gl. 5-42

$$b_e' \begin{pmatrix} -\eta x \\ -U y^D \end{pmatrix} i = -U q' (I - \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} A)^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} y^D$$

Werden beide Summanden aus Gl. 5-41 mit dem transponierten Vektor der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten links multipliziert, so zeigt sich, dass nur jene extrabetrieblichen Emissionen zwischen dem betrachteten Unternehmen und der übrigen Wirtschaft aufgeteilt werden, die nicht in die nachgelagerte Weiterverarbeitung der produzierten Güter des betrachteten Unternehmens eingehen:

Gl. 5-43

$$-U q' (I - \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} A)^{-1} \begin{pmatrix} -\eta y^D \\ -U y \end{pmatrix} = -U q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x$$

Sollen die weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen vorgelagerten Emissionen des Unternehmens nach Vorleistungsgütergruppen aufgeschlüsselt werden, so muss der Vektor der Unternehmensnachfrage diagonalisiert werden:

Gl. 5-44

$$b_e' \begin{pmatrix} -\eta X \\ -U \hat{y}^D \end{pmatrix} = -U q' (I - \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} A)^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{y}^D$$

Mangelt es an Daten zur Bestimmung der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten, so besteht analog zur Erläuterung aus Kapitel 1 die Möglichkeit, auf die gesamtwirtschaftlichen direkten Emissionsintensitäten zurückzugreifen. Analog zur Anmerkung in Abschnitt 5.2.2 kann als Alternative ein zusätzlicher emissionsfrei produzierender Sektor eingeführt werden. Dabei werden das Unternehmensangebot und die daraus resultierenden Teile der intermediären Verwendung, der letzten Verwendung und der Unternehmensnachfrage aus den bestehenden Sektoren in den emissionsfreien Sektor verschoben. Damit der emissionsfreie Sektor unabhängig von den bestehenden Sektoren das Unternehmensangebot nachfragt, muss die daraus resultierende intermediäre Verwendung als Summe auf dessen Diagonalelement absorbiert werden. Da der emissionsfreie Sektor auch hier unabhängig von den anderen Sektoren agiert, führt dieser Ansatz zum selben Ergebnis wie die vorherigen Ausführungen.

In Kapitel 5.2 wurden bislang zwei Ansätze mit unterschiedlichen Startpunkten im intermediären Produktionskreislauf vorgestellt. Der Ansatz aus Abschnitt 5.2.2 setzt die Vorleistungsproduktion an den Beginn des intermediären Produktionskreislaufs. Dadurch werden die vorgelagerten Emissionen systematisch überschätzt und die nachgelagerten Emissionen systematisch unterschätzt. Im Ansatz aus Abschnitt 5.2.3 wird das betrachtete Unternehmen als Beginn des intermediären Produktionsprozesses definiert. Dadurch werden die vorgelagerten Emissionen systematisch unterschätzt und die nachgelagerten Emissionen systematisch überschätzt. Im Folgenden wird deshalb aus diesen beiden Ansätzen ein ganzheitlicher Ansatz entwickelt.

5.3 Synthese zwischen Vorleistungs- und Unternehmensproduktion als Beginn des intermediären Produktionskreislaufes

5.3.1 Normative Festlegung der Position des Unternehmens im intermediären Produktionskreislauf

Wird die Position des Unternehmens im intermediären Produktionskreislauf normativ festgelegt, so können auch Positionen zwischen den beiden im Vorangegangenen beschriebenen Perspektiven gewählt werden. Hierzu wird ein Skalar $0 \leq c \leq 1$ in das Modell eingeführt, welcher bei $c = 0$ die Vorleistungsproduktion und bei $c = 1$ die Unternehmensproduktion an den Beginn des intermediären Produktionskreislaufs stellt. Über die Werte zwischen Null und Eins kann die Position des Unternehmens als beliebiger Punkt zwischen den beiden Perspektiven interpretiert werden. Im Folgenden wird untersucht, wie sich dabei die vorgelagerten Emissionen aus den Ergebnissen der beiden Perspektiven zusammensetzen

5.3.2 Bestimmung der vorgelagerten Emissionen

Wird die Position des Unternehmens im intermediären Produktionskreislauf entsprechend der vorherigen Ausführungen mit $c \in [0; 1]$ festgelegt, so werden die vorgelagerten Emissionen nach Gütergruppen wie folgt beschrieben:

Gl. 5-45

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U} \eta X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U} \eta \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(I - (-_U Z - c_{-U} \eta Z) (-_U \hat{x} - c_{-U} \eta \hat{x})^{-1} \right)^{-1} (-_U \hat{x} - c_{-U} \eta \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D)$$

In Gl. 5-45 wird die extrabetriebliche intermediäre Verflechtung ${}_{-U}Z$ um einen Anteil c der mit dem Unternehmensangebot verbundenen extrabetrieblichen intermediären Verflechtung ${}_{-U}^{\eta}Z$ bereinigt. Zur Bestimmung der Inputkoeffizienten muss die daraus resultierende intermediäre Verflechtung ${}_{-U}Z - c{}_{-U}^{\eta}Z$ in Relation zum entsprechenden diagonalisierten gesamten Güteraufkommen ${}_{-U}\hat{x} - c{}_{-U}^{\eta}\hat{x}$ gesetzt werden. Durch Multiplikation der diesem Güteraufkommen entsprechenden diagonalisierten Güterverwendung mit den diagonalisierten extrabetrieblichen Outputkoeffizienten der Unternehmensnachfrage ${}_{-U}\hat{\omega}({}_U y^D)$ wird schließlich die diagonalisierte Unternehmensnachfrage abzüglich des Anteils der mit dem Unternehmensangebot verbundenen Unternehmensnachfrage beschrieben. Der Zeilenvektor der vorgelagerten Emissionen hängt somit von $({}_{-U}X - c{}_{-U}^{\eta}X) \left(({}_{-U}\hat{x} - c{}_{-U}^{\eta}\hat{x}) {}_{-U}\hat{\omega}({}_U y^D) \right)$ ab. Dies entspräche im extrabetrieblichen Input-Output-Modell der Matrix ${}_{-U}X({}_U \hat{y}^D)$, d.h. der Matrix jenes Teils des extrabetrieblichen Güteraufkommens, der durch die Unternehmensnachfrage verursacht wurde.

Die mit dem Unternehmensangebot verbundene intermediäre Verflechtung ${}_{-U}^{\eta}Z$ entspricht der Differenz aus extrabetrieblicher intermediärer Verflechtung und weiterverarbeitungs-bereinigter intermediärer Verflechtung ${}_{-U}Z - {}_{-U}^{-\eta}Z$. Analog entspricht das mit dem Unternehmensangebot verbundene diagonalisierte gesamte extrabetriebliche Güteraufkommen ${}_{-U}^{\eta}\hat{x}$ der Differenz aus diagonalisiertem gesamtem extrabetrieblichem Güteraufkommen und diagonalisiertem gesamten extrabetrieblichen weiterverarbeitungs-bereinigtem Güteraufkommen ${}_{-U}\hat{x} - {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}$. Aufgrund der Input-Output-Identität entspricht gleichermaßen die mit dem Unternehmensangebot verbundene diagonalisierte gesamte extrabetriebliche Güterverwendung ${}_{-U}^{\eta}\hat{x}$ der Differenz aus diagonalisierter gesamter extrabetrieblicher Güterverwendung und diagonalisierter gesamter extrabetrieblicher weiterverarbeitungs-bereinigter Güterverwendung ${}_{-U}\hat{x} - {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}$. Setzt man diese Entsprechungen in Gl. 5-45 ein, so erhält man Gl. 5-46:

Gl. 5-46

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(I - \left(-_U Z - c_{-U} \left(-_U Z - \bar{-}_U^{\eta} Z \right) \right) \left(-_U \hat{x} - c_{-U} \left(-_U \hat{x} - \bar{-}_U^{\eta} \hat{x} \right) \right)^{-1} \right)^{-1} \left(-_U \hat{x} \right.$$

$$\left. - c_{-U} \left(-_U \hat{x} - \bar{-}_U^{\eta} \hat{x} \right) \right)_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D)$$

Löst man in Gl. 5-46 die neu entstandenen Klammern auf, so erhält man Gl. 5-47:

Gl. 5-47

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(I - \left(-_U Z - c_{-U} Z + c_{-U}^{\eta} Z \right) \left(-_U \hat{x} - c_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right)^{-1} \left(-_U \hat{x} - c_{-U} \hat{x} \right.$$

$$\left. + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right)_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D)$$

Ersetzt man in Gl. 5-47 $-_U Z - c_{-U} Z$ durch $(1 - c)_{-U} Z$ und $-_U \hat{x} - c_{-U} \hat{x}$ durch $(1 - c)_{-U} \hat{x}$, so erhält man Gl. 5-48:

Gl. 5-48

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(I - \left((1 - c)_{-U} Z + c_{-U}^{\eta} Z \right) \left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right)^{-1} \left((1 - c)_{-U} \hat{x} \right.$$

$$\left. + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right)_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D)$$

Im nächsten Schritt wird die Einheitsmatrix I aus Gl. 5-48 durch $\left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right) \left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right)^{-1}$ ersetzt:

Gl. 5-49

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(\left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right) \left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right.$$

$$\left. - \left((1 - c)_{-U} Z + c_{-U}^{\eta} Z \right) \left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right)^{-1} \left((1 - c)_{-U} \hat{x} \right.$$

$$\left. + c_{-U}^{\eta} \hat{x} \right)_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D)$$

Ausgehend von Gl. 5-49 kann daraufhin der Ausdruck $((1 - c)_{-U}\hat{x} + c_{-U}^{-\eta}\hat{x})((1 - c)_{-U}\hat{x} + c_{-U}^{-\eta}\hat{x})^{-1} - ((1 - c)_{-U}Z + c_{-U}^{-\eta}Z)((1 - c)_{-U}\hat{x} + c_{-U}^{-\eta}\hat{x})^{-1}$ zu $((1 - c)_{-U}\hat{x} + c_{-U}^{-\eta}\hat{x}) - ((1 - c)_{-U}Z + c_{-U}^{-\eta}Z)$ zusammengefasst und somit auf eine gemeinsame inverse Matrix gebracht werden:

Gl. 5-50

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{-\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{-\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(\left(((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x}) - ((1 - c)_{-U} Z + c_{-U}^{-\eta} Z) \right) ((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x})^{-1} \right)^{-1} \left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D)$$

Löst man nun die Klammer des Minuenden $((1 - c)_{-U}\hat{x} + c_{-U}^{-\eta}\hat{x})$ und des Subtrahenden $((1 - c)_{-U}Z + c_{-U}^{-\eta}Z)$ auf, so erhält man Gl. 5-51:

Gl. 5-51

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{-\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{-\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(\left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} - (1 - c)_{-U} Z - c_{-U}^{-\eta} Z \right) ((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x})^{-1} \right)^{-1} \left((1 - c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D)$$

In Gl. 5-52 wird daraufhin die extrabetriebliche intermediäre Verflechtung $_{-U}Z$ als Produkt der diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung $_{-U}\hat{x}$ und der Matrix der extrabetrieblichen Outputkoeffizienten $_{-U}\Omega$ beschrieben. Die weiterverarbeitungsbereinigte extrabetriebliche intermediäre Verflechtung $_{-U}^{-\eta}Z$ wird in Anlehnung an Gl. 5-31 über das Produkt der diagonalisierten weiterverarbeitungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung $_{-U}^{-\eta}\hat{x}$ und der Matrix der extrabetrieblichen Outputkoeffizienten $_{-U}\Omega$ ermittelt. Dementsprechend wird in Gl. 5-52 ferner $_{-U}^{-\eta}Z$ durch $_{-U}^{-\eta}\hat{x}_{-U}\Omega$ ersetzt:

Gl. 5-52

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(\left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} - (1-c)_{-U} \hat{x}_{-U} \Omega - c_{-U}^{-\eta} \hat{x}_{-U} \Omega \right) \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right)^{-1} \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D)$$

Ausgehend von Gl. 5-52 kann daraufhin $(1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} - (1-c)_{-U} \hat{x}_{-U} \Omega - c_{-U}^{-\eta} \hat{x}_{-U} \Omega$ zu $(1-c)_{-U} \hat{x} - {}_{-U} \hat{x}_{-U} \Omega + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} - {}_{-U} \hat{x}_{-U} \Omega$ umgeformt werden:

Gl. 5-53

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(\left((1-c)_{-U} \hat{x} - {}_{-U} \hat{x}_{-U} \Omega + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} - {}_{-U} \hat{x}_{-U} \Omega \right) \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right)^{-1} \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D)$$

In Gl. 5-53 wird nun ersichtlich, dass $(1-c)_{-U} \hat{x} - {}_{-U} \hat{x}_{-U} \Omega + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} - {}_{-U} \hat{x}_{-U} \Omega$ auch als $(1-c)_{-U} \hat{x} (I - {}_{-U} \Omega) + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} (I - {}_{-U} \Omega)$ ausgedrückt werden kann:

Gl. 5-54

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(\left((1-c)_{-U} \hat{x} (I - {}_{-U} \Omega) + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} (I - {}_{-U} \Omega) \right) \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right)^{-1} \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)_{-U} \widehat{\omega} ({}_U y^D)$$

Anschließend wird $(1-c)_{-U} \hat{x} (I - {}_{-U} \Omega) + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} (I - {}_{-U} \Omega)$ durch $\left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right) (I - {}_{-U} \Omega)$ ersetzt:

Gl. 5-55

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left(\left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right) (I - {}_U \Omega) \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right)^{-1} \left((1-c)_{-U} \hat{x} \right.$$

$$\left. + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D)$$

Für reguläre Matrizen gilt $(PQR)^{-1} = R^{-1}Q^{-1}P^{-1}$.¹⁴⁸ In Gl. 5-55 kann folglich $\left(\left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right) (I - {}_U \Omega) \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)^{-1} \right)^{-1}$ durch $\left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right) (I - {}_U \Omega)^{-1} \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)^{-1}$ ersetzt werden und man erhält Gl. 5-56:

Gl. 5-56

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right) (I - {}_U \Omega)^{-1} \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)^{-1} \left((1-c)_{-U} \hat{x} \right.$$

$$\left. + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D)$$

In Gl. 5-56 heben sich schließlich $\left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)^{-1}$ und das zweite $\left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right)$ gegenseitig auf. Es verbleibt Gl. 5-57:

Gl. 5-57

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' \left((1-c)_{-U} \hat{x} + c_{-U}^{-\eta} \hat{x} \right) (I - {}_U \Omega)^{-1} {}_U \hat{\omega} ({}_U y^D)$$

Gl. 5-57 kann nun in zwei Komponenten zerlegt werden:

Gl. 5-58

$$b'_e \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) =$$

$$-{}_U q' (1-c)_{-U} \hat{x} (I - {}_U \Omega)^{-1} {}_U \hat{\omega} ({}_U y^D) + -{}_U q' c_{-U}^{-\eta} \hat{x} (I - {}_U \Omega)^{-1} {}_U \hat{\omega} ({}_U y^D)$$

¹⁴⁸ Siehe hierzu Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 548 und 696.

Die intermediäre Verwendung Z eines Input-Output-Modells kann sowohl über das Produkt der diagonalisierten gesamten Güterverwendung mit den Outputkoeffizienten als auch über das Produkt der Inputkoeffizienten mit dem diagonalisierten gesamten Güteraufkommen beschrieben werden. Somit gilt $Z = \hat{x}\Omega = A\hat{x}$, woraus wiederum der Zusammenhang $\Omega = \hat{x}^{-1}A\hat{x}$ zwischen Output- und Inputkoeffizienten folgt. Dementsprechend gilt $(I - \Omega)^{-1} = (I - \hat{x}^{-1}A\hat{x})^{-1} = (\hat{x}^{-1}\hat{x} - \hat{x}^{-1}A\hat{x})^{-1} = \hat{x}^{-1}(I - A)\hat{x}^{-1}$. Wie bereits erwähnt, gilt für reguläre Matrizen $(PQR)^{-1} = R^{-1}Q^{-1}P^{-1}$, woraus der Zusammenhang $(I - \Omega)^{-1} = \hat{x}^{-1}(I - A)^{-1}\hat{x}$ zwischen Ghosh- und Leontief-Inverse folgt.¹⁴⁹

Analog gilt für den Zusammenhang zwischen extrabetrieblicher Ghosh-Inverse und extrabetrieblicher Leontief-Inverse $(I - {}_{-U}\Omega)^{-1} = {}_{-U}\hat{x}^{-1}(I - {}_{-U}A)^{-1}{}_{-U}\hat{x}$. Schließlich lässt sich auch die extrabetriebliche intermediäre Verwendung sowohl über das Produkt der diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung mit den extrabetrieblichen Outputkoeffizienten als auch über das Produkt der extrabetrieblichen Inputkoeffizienten mit dem diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen beschreiben. Somit gilt ${}_{-U}Z = {}_{-U}\hat{x}{}_{-U}\Omega = {}_{-U}A{}_{-U}\hat{x}$, woraus wiederum der Zusammenhang ${}_{-U}\Omega = {}_{-U}\hat{x}^{-1}{}_{-U}A{}_{-U}\hat{x}$ zwischen extrabetrieblichen Outputkoeffizienten und extrabetrieblichen Inputkoeffizienten folgt. Dementsprechend gilt $(I - {}_{-U}\Omega)^{-1} = (I - {}_{-U}\hat{x}^{-1}{}_{-U}A{}_{-U}\hat{x})^{-1} = ({}_{-U}\hat{x}^{-1}{}_{-U}\hat{x} - {}_{-U}\hat{x}^{-1}{}_{-U}A{}_{-U}\hat{x})^{-1} = ({}_{-U}\hat{x}^{-1}(I - {}_{-U}A){}_{-U}\hat{x})^{-1}$. Wendet man nun die Regel $(PQR)^{-1} = R^{-1}Q^{-1}P^{-1}$ zum Auflösen des invertierten Produkts von regulären Matrizen an, so folgt der Zusammenhang $(I - {}_{-U}\Omega)^{-1} = {}_{-U}\hat{x}^{-1}(I - {}_{-U}A)^{-1}{}_{-U}\hat{x}$ zwischen extrabetrieblicher Ghosh- und extrabetrieblicher Leontief-Inverse.

Ferner kann ein Zusammenhang zwischen der extrabetrieblichen Ghosh-Inverse und der weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen Leontief-Inverse beschrieben werden. Da die weiterverarbeitungs bereinigte extrabetriebliche intermediäre Verwendung über das Produkt aus der diagonalisierten weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung mit den extrabetrieblichen Outputkoeffizienten ermittelt wird, gilt ${}_{-U}^{\eta}Z = {}_{-U}^{\eta}\hat{x}{}_{-U}\Omega$. Zur Bestimmung der weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen Inputkoeffizienten wird die weiterverarbeitungs bereinigte extrabetriebliche intermediäre Verwendung mit dem invertierten diagonalisierten weiterverarbeitungs bereinigten extrabe-

¹⁴⁹ Siehe hierzu *ibid.*, 547-548.

trieblichen gesamten Güteraufkommen multipliziert, so dass ${}_{-U}^{-\eta}A = {}_{-U}^{-\eta}Z {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1}$ gilt, woraus wiederum ${}_{-U}^{-\eta}Z = {}_{-U}^{-\eta}A {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}$ folgt. Dies führt zu ${}_{-U}^{-\eta}\hat{x} {}_{-U}\Omega = {}_{-U}^{-\eta}A {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}$ und ${}_{-U}\Omega = {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1} {}_{-U}^{-\eta}A {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}$. Dementsprechend gilt $(I - {}_{-U}\Omega)^{-1} = (I - {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1} {}_{-U}^{-\eta}A {}_{-U}^{-\eta}\hat{x})^{-1} = ({}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1} {}_{-U}^{-\eta}\hat{x} - {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1} {}_{-U}^{-\eta}A {}_{-U}^{-\eta}\hat{x})^{-1} = ({}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1} (I - {}_{-U}^{-\eta}A) {}_{-U}^{-\eta}\hat{x})^{-1}$. Wendet man nun die Regel $(PQR)^{-1} = R^{-1}Q^{-1}P^{-1}$ zum Auflösen des invertierten Produkts von regulären Matrizen an, so folgt der Zusammenhang $(I - {}_{-U}\Omega)^{-1} = {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1} (I - {}_{-U}^{-\eta}A)^{-1} {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}$ zwischen extrabetrieblicher Ghosh- und weiterverarbeitungsbereinigter extrabetrieblicher Leontief-Inverse.

Berücksichtigt man in Gl. 5-58 bei der ersten Komponente den Zusammenhang zwischen extrabetrieblicher Ghosh-Inverse und extrabetrieblicher Leontief-Inverse sowie bei der zweiten Komponente den Zusammenhang zwischen extrabetrieblicher Ghosh-Inverse und weiterverarbeitungsbereinigter extrabetrieblicher Leontief-Inverse, so erhält man Gl. 5-59:

Gl. 5-59

$$\begin{aligned} b'_e \left(({}_{-U}X - c {}_{-U}^{\eta}X) \left(({}_{-U}\hat{x} - c {}_{-U}^{\eta}\hat{x}) {}_{-U}\hat{\omega}({}_{U}y^D) \right) \right) = \\ {}_{-U}q'(1 - c) {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\hat{x}^{-1} (I - {}_{-U}A)^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\hat{\omega}({}_{U}y^D) \\ + {}_{-U}q'c {}_{-U}^{-\eta}\hat{x} {}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1} (I - {}_{-U}^{-\eta}A)^{-1} {}_{-U}^{-\eta}\hat{x} {}_{-U}\hat{\omega}({}_{U}y^D) \end{aligned}$$

In Gl. 5-59 heben sich linkerhand der extrabetrieblichen Leontief-Inverse ${}_{-U}\hat{x}$ und ${}_{-U}\hat{x}^{-1}$ auf. Dasselbe gilt für ${}_{-U}^{-\eta}\hat{x}$ und ${}_{-U}^{-\eta}\hat{x}^{-1}$ links von der weiterverarbeitungsbereinigten extrabetrieblichen Leontief-Inverse. Es verbleibt Gl. 5-60:

Gl. 5-60

$$\begin{aligned} b'_e \left(({}_{-U}X - c {}_{-U}^{\eta}X) \left(({}_{-U}\hat{x} - c {}_{-U}^{\eta}\hat{x}) {}_{-U}\hat{\omega}({}_{U}y^D) \right) \right) = \\ {}_{-U}q'(1 - c) (I - {}_{-U}A)^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\hat{\omega}({}_{U}y^D) + {}_{-U}q'c (I - {}_{-U}^{-\eta}A)^{-1} {}_{-U}^{-\eta}\hat{x} {}_{-U}\hat{\omega}({}_{U}y^D) \end{aligned}$$

In Gl. 5-60 steht rechts der extrabetrieblichen Leontief-Inverse das Produkt aus der diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung mit den diagonalisierten extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten der Unternehmensnachfrage. Gemäß Gl. 5-32 werden die extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten der Unternehmensnachfrage über ${}_{-U}\omega({}_U y^D) = {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_U y^D$ bestimmt. Daraus folgt ${}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\omega({}_U y^D) = {}_U y^D$ bzw. ${}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\hat{\omega}({}_U y^D) = {}_U \hat{y}^D$, so dass ${}_{-U}\hat{x} {}_{-U}\hat{\omega}({}_U y^D)$ in Gl. 5-60 durch ${}_U \hat{y}^D$ ersetzt werden kann.

Die weiterverarbeitungs bereinigte Unternehmensnachfrage ${}^{-\eta}{}_U y^D$ wird gemäß Gl. 5-34 über das Produkt aus der diagonalisierten weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung mit den extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten der Unternehmensnachfrage bestimmt, so dass ${}^{-\eta}{}_U \hat{x} {}_{-U}\omega({}_U y^D) = {}^{-\eta}{}_U y^D$ bzw. ${}^{-\eta}{}_U \hat{x} {}_{-U}\hat{\omega}({}_U y^D) = {}^{-\eta}{}_U \hat{y}^D$ gilt. Folglich kann das Produkt der diagonalisierten weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung mit den diagonalisierten extrabetrieblichen Allokationskoeffizienten der Unternehmensnachfrage rechts der weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen Leontief-Inverse aus Gl. 5-60 durch ${}^{-\eta}{}_U \hat{y}^D$ ersetzt werden. Nach Durchführung dieser beiden Ersetzungen erhält man Gl. 5-61:

Gl. 5-61

$$b'_e \left(({}_{-U}X - c {}_{-U}^{\eta}X) \left(({}_{-U}\hat{x} - c {}_{-U}^{\eta}\hat{x}) {}_{-U}\hat{\omega}({}_U y^D) \right) \right) = \\ {}_{-U}q'(1 - c)(I - {}_{-U}A)^{-1} {}_U \hat{y}^D + {}_{-U}q'c(I - {}_{-U}^{\eta}A)^{-1} {}^{-\eta}{}_U \hat{y}^D$$

Verschiebt man in Gl. 5-61 die Skalare $(1 - c)$ bzw. c an den Beginn der jeweiligen Komponente, so erhält man Gl. 5-62:

Gl. 5-62

$$b'_e \left(({}_{-U}X - c {}_{-U}^{\eta}X) \left(({}_{-U}\hat{x} - c {}_{-U}^{\eta}\hat{x}) {}_{-U}\hat{\omega}({}_U y^D) \right) \right) = \\ (1 - c) {}_{-U}q'(I - {}_{-U}A)^{-1} {}_U \hat{y}^D + c {}_{-U}q'(I - {}_{-U}^{\eta}A)^{-1} {}^{-\eta}{}_U \hat{y}^D$$

In Gl. 5-62 wird ersichtlich, dass $b_e' \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right)$ als gewichtetes Mittel zwischen $_{-U} q' (I - {}_{-U} A)^{-1} {}_U \hat{y}^D$ und $_{-U} q' (I - {}_{-U}^{\eta} A)^{-1} {}_{-U}^{\eta} \hat{y}^D$ bestimmt wird. Gemäß Gl. 4-14 gilt $_{-U} q' (I - {}_{-U} A)^{-1} {}_U \hat{y}^D = b_e' \left({}_{-U} X ({}_U \hat{y}^D) \right)$ und Gl. 5-44 definiert $_{-U} q' (I - {}_{-U}^{\eta} A)^{-1} {}_{-U}^{\eta} \hat{y}^D$ als $b_e' \left({}_{-U}^{\eta} X ({}_{-U}^{\eta} \hat{y}^D) \right)$. Somit verkörpert $b_e' \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right)$ das mit $(1 - c)$ und c gewichtete Mittel aus den extrabetrieblichen vorgelagerten Emissionen $b_e' ({}_U \hat{y}^D)$ und den weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen Emissionen $b_e' ({}_{-U}^{\eta} X ({}_{-U}^{\eta} \hat{y}^D))$:

Gl. 5-63

$$b_e' \left((-_U X - c_{-U}^{\eta} X) \left((-_U \hat{x} - c_{-U}^{\eta} \hat{x})_{-U} \hat{\omega} ({}_U y^D) \right) \right) = \\ (1 - c) b_e' \left({}_{-U} X ({}_U \hat{y}^D) \right) + c b_e' \left({}_{-U}^{\eta} X ({}_{-U}^{\eta} \hat{y}^D) \right)$$

Gl. 5-63 zeigt nun die zentrale Erkenntnis der Ausführungen von Gl. 5-45 bis Gl. 5-63. Wird die Position des Unternehmens normativ auf eine Position $c \in [0; 1]$ im intermediären Produktionskreislauf festgelegt, wobei $c = 0$ die Vorleistungsproduktion und $c = 1$ die Unternehmensproduktion als Beginn des intermediären Produktionskreislaufs definiert, so setzen sich die vorgelagerten Emissionen zu einem Anteil $(1 - c)$ aus den extrabetrieblichen vorgelagerten Emissionen und zu einem Anteil c aus den weiterverarbeitungs bereinigten extrabetrieblichen vorgelagerten Emissionen zusammen.

5.3.3 Bestimmung der nachgelagerten Emissionen

Sollen die nachgelagerten Emissionen entsprechend der normativ im intermediären Produktionskreislauf festgelegten Position des Unternehmens berechnet werden, so muss das ökologisch erweiterte Ghosh-Modell um den Anteil $(1 - c)$ des über die Vorleistungen hervorgerufenen gesamten Güteraufkommens bereinigt werden. Diese Bereinigung wirkt sich zusätzlich auf das Unternehmensangebot und die intermediäre Verwendung aus. Gl. 5-64 zeigt die Berechnung nachgelagerter Emissionen nach weiterverarbeitenden Sektoren in Abhängigkeit einer normativ festgelegten Position c des Unternehmens im intermediären Produktionskreislauf:

Gl. 5-64

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^v X) ({}_{-U} \hat{a} ({}_{U} v^s)' ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})) \right) =$$

$${}_{-U} \hat{a} ({}_{U} v^s)' ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x}) \left(I - ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})^{-1} ({}_{-U} Z - (1-c) {}_{-U}^v Z) \right)^{-1} {}_{-U} q$$

In Gl. 5-64 verkörpert ${}_{-U} \hat{a} ({}_{U} v^s)' ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})$ das für die Emissionsberechnung relevante Unternehmensangebot. Hierzu werden die diagonalisierten Inputkoeffizienten des Unternehmensangebots mit der Differenz aus dem diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen und dem Anteil $(1-c)$ des diagonalisierten, über die Vorleistungen des Unternehmens hervorgerufenen extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommens multipliziert. Als nächster Faktor verkörpert $\left(I - ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})^{-1} ({}_{-U} Z - (1-c) {}_{-U}^v Z) \right)^{-1}$ die für die Emissionsberechnung relevante Ghosh-Inverse. Die Outputkoeffizienten dieser Ghosh-Inverse werden über $({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})^{-1} ({}_{-U} Z - (1-c) {}_{-U}^v Z)$ beschrieben. Dabei wird sowohl die extrabetriebliche gesamte Güterverwendung als auch die extrabetriebliche intermediäre Verwendung um den Anteil $(1-c)$ jener Bestandteile bereinigt, welche in die Berechnung vorgelagerter Emissionen eingehen. Der Spaltenvektor extrabetrieblicher direkter Emissionsintensitäten nach Sektoren wird durch ${}_{-U} q$ beschrieben und bildet den letzten Faktor der Emissionsberechnung. Mangelt es an Daten zur Bestimmung der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten, so besteht analog zur Erläuterung aus Kapitel 1 die Möglichkeit auf die gesamtwirtschaftlichen direkten Emissionsintensitäten zurückzugreifen.

Die über die Unternehmensnachfrage hervorgerufene intermediäre Verflechtung ${}_{-U}^v Z$ entspricht der Differenz aus extrabetrieblicher intermediärer Verflechtung und vorleistungsbereinigter intermediärer Verflechtung ${}_{-U} Z - {}_{-U}^v Z$. Analog entspricht das über die Unternehmensnachfrage hervorgerufene diagonalisierte extrabetriebliche gesamte Güteraufkommen ${}_{-U}^v \hat{x}$ der Differenz aus dem diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen und dem diagonalisierten vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen ${}_{-U} \hat{x} - {}_{-U}^v \hat{x}$. Aufgrund der Input-Output-Identität entspricht gleichermaßen die über die Unternehmensnachfrage hervorgerufene diagonalisierte extrabetriebliche gesamte

Güterverwendung ${}_{-U}^{\nu}\hat{x}$ der Differenz aus diagonalisierter extrabetrieblicher gesamter Güterverwendung und diagonalisierter vorleistungsbereinigter extrabetrieblicher gesamter Güterverwendung ${}_{-U}\hat{x} - {}_{-U}^{\nu}\hat{x}$. Setzt man diese Entsprechungen in Gl. 5-64 ein, so erhält man Gl. 5-65:

Gl. 5-65

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^{\nu}X) \left({}_{-U}\hat{a} ({}_{UV}v^{S'}) ({}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} ({}_{UV}v^{S'}) \left({}_{-U}\hat{x} - (1-c) ({}_{-U}\hat{x} - {}_{-U}^{\nu}\hat{x}) \right)$$

$$\left(I - ({}_{-U}\hat{x} - (1-c) ({}_{-U}\hat{x} - {}_{-U}^{\nu}\hat{x}))^{-1} ({}_{-U}Z - (1-c) ({}_{-U}Z - {}_{-U}^{\nu}Z)) \right)^{-1} {}_{-U}q$$

Löst man in Gl. 5-65 die neu entstandenen Klammern auf, so erhält man Gl. 5-66:

Gl. 5-66

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^{\nu}X) \left({}_{-U}\hat{a} ({}_{UV}v^{S'}) ({}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} ({}_{UV}v^{S'}) \left({}_{-U}\hat{x} - ((1-c) {}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x}) \right)$$

$$\left(I - ({}_{-U}\hat{x} - ((1-c) {}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x}))^{-1} ({}_{-U}Z - ((1-c) {}_{-U}Z - (1-c) {}_{-U}^{\nu}Z)) \right)^{-1} {}_{-U}q$$

Durch Auflösen der neu entstanden Klammern aus Gl. 5-66 erhält man Gl. 5-67:

Gl. 5-67

$$b_e \left(\left({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^{\nu}X \right) \left({}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left({}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left({}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}\hat{x} + (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right)$$

$$\left(I - \left({}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}\hat{x} + (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right)^{-1} \left({}_{-U}Z - (1-c) {}_{-U}Z + (1-c) {}_{-U}^{\nu}Z \right) \right)^{-1} {}_{-U}q$$

Löst man in Gl. 5-67 die Skalare $(1-c)$ bezüglich der rein extrabetrieblichen Größen ${}_{-U}\hat{x}$ und ${}_{-U}Z$ auf, so erhält man:

Gl. 5-68

$$b_e \left(\left({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^{\nu}X \right) \left({}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left({}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left({}_{-U}\hat{x} - {}_{-U}\hat{x} + c {}_{-U}\hat{x} + (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right)$$

$$\left(I - \left({}_{-U}\hat{x} - {}_{-U}\hat{x} + c {}_{-U}\hat{x} + (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right)^{-1} \left({}_{-U}Z - {}_{-U}Z + c {}_{-U}Z + (1-c) {}_{-U}^{\nu}Z \right) \right)^{-1} {}_{-U}q$$

Entfernt man in Gl. 5-68 alle Größen, die sich gegenseitig aufheben, so verbleibt Gl. 5-69:

Gl. 5-69

$$b_e \left(\left({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^{\nu}X \right) \left({}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left({}_{-U}\hat{x} - (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left(c {}_{-U}\hat{x} + (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right)$$

$$\left(I - \left(c {}_{-U}\hat{x} + (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right)^{-1} \left(c {}_{-U}Z + (1-c) {}_{-U}^{\nu}Z \right) \right)^{-1} {}_{-U}q$$

Wird in Gl. 5-69 die Identitätsmatrix I durch $\left(c {}_{-U}\hat{x} + (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right)^{-1} \left(c {}_{-U}\hat{x} + (1-c) {}_{-U}^{\nu}\hat{x} \right)$ ersetzt, so erhält man Gl. 5-70:

Gl. 5-70

$$\begin{aligned}
b_e \left(\left({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^v X \right) \left({}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right) \right) \right) = \\
{}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right) \\
\left(\left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right)^{-1} \left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right) \right. \\
\left. - \left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right)^{-1} \left(c {}_{-U} Z + (1-c) {}_{-U}^v Z \right) \right)^{-1} {}_{-U} q
\end{aligned}$$

Ausgehend von Gl. 5-70 kann daraufhin $\left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right)^{-1} \left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right) - \left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right)^{-1} \left(c {}_{-U} Z + (1-c) {}_{-U}^v Z \right)$ zu $\left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right)^{-1} \left(\left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right) - \left(c {}_{-U} Z + (1-c) {}_{-U}^v Z \right) \right)$ zusammengefasst und somit auf eine gemeinsame inverse Matrix gebracht werden:

Gl. 5-71

$$\begin{aligned}
b_e \left(\left({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^v X \right) \left({}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right) \right) \right) = \\
{}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) \left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right) \\
\left(\left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right)^{-1} \left(\left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right) - \left(c {}_{-U} Z + (1-c) {}_{-U}^v Z \right) \right) \right)^{-1} {}_{-U} q
\end{aligned}$$

Löst man nun die Klammer des Minuenden $\left(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} \right)$ und des Subtrahenden $\left(c {}_{-U} Z + (1-c) {}_{-U}^v Z \right)$ auf, so erhält man:

Gl. 5-72

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^v X) \left({}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})$$

$$\left((c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})^{-1} (c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} - c {}_{-U} Z - (1-c) {}_{-U}^v Z) \right)^{-1} {}_{-U} q$$

In Gl. 5-73 wird daraufhin die extrabetriebliche intermediäre Verflechtung ${}_{-U} Z$ als Produkt der Matrix der extrabetrieblichen Inputkoeffizienten ${}_{-U} A$ und des diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommens ${}_{-U} \hat{x}$ beschrieben. Die vorleistungsbereinigte extrabetriebliche intermediäre Verflechtung ${}_{-U}^v Z$ wird in Anlehnung an Gl. 5-15 über das Produkt der Matrix der extrabetrieblichen Inputkoeffizienten ${}_{-U} A$ und der diagonalisierten vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung ${}_{-U}^v \hat{x}$ ermittelt. Dementsprechend wird in Gl. 5-73 ferner ${}_{-U}^v Z$ durch ${}_{-U} A {}_{-U}^v \hat{x}$ ersetzt:

Gl. 5-73

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^v X) \left({}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})$$

$$\left((c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})^{-1} (c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} - c {}_{-U} A {}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U} A {}_{-U}^v \hat{x}) \right)^{-1} {}_{-U} q$$

Ausgehend von Gl. 5-73 kann daraufhin $c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} - c {}_{-U} A {}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U} A {}_{-U}^v \hat{x}$ zu $c({}_{-U} \hat{x} - {}_{-U} A {}_{-U} \hat{x}) + (1-c)({}_{-U}^v \hat{x} - {}_{-U} A {}_{-U}^v \hat{x})$ umgeformt werden:

Gl. 5-74

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^v X) \left({}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})$$

$$\left((c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})^{-1} \left(c ({}_{-U} \hat{x} - {}_{-U} A {}_{-U} \hat{x}) + (1-c) ({}_{-U}^v \hat{x} - {}_{-U} A {}_{-U}^v \hat{x}) \right) \right)^{-1} {}_{-U} q$$

Aus Gl. 5-74 ist ersichtlich, dass $c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x} - c {}_{-U} A {}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U} A {}_{-U}^v \hat{x}$ auch als $c(I - {}_{-U} A) {}_{-U} \hat{x} + (1-c)(I - {}_{-U} A) {}_{-U}^v \hat{x}$ ausgedrückt werden kann:

Gl. 5-75

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^v X) \left({}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})$$

$$\left((c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})^{-1} \left(c(I - {}_{-U} A) {}_{-U} \hat{x} + (1-c)(I - {}_{-U} A) {}_{-U}^v \hat{x} \right) \right)^{-1} {}_{-U} q$$

Anschließend wird $c(I - {}_{-U} A) {}_{-U} \hat{x} + (1-c)(I - {}_{-U} A) {}_{-U}^v \hat{x}$ durch $(I - {}_{-U} A)(c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})$ ersetzt:

Gl. 5-76

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c) {}_{-U}^v X) \left({}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U} \hat{x} - (1-c) {}_{-U}^v \hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U} \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})$$

$$\left((c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x})^{-1} (I - {}_{-U} A) (c {}_{-U} \hat{x} + (1-c) {}_{-U}^v \hat{x}) \right)^{-1} {}_{-U} q$$

Für reguläre Matrizen gilt $(PQR)^{-1} = R^{-1}Q^{-1}P^{-1}$.¹⁵⁰ In Gl. 5-76 kann folglich $\left((c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})^{-1}(I - {}_{-U}A)(c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x}) \right)^{-1}$ durch $(c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})^{-1}(I - {}_{-U}A)^{-1}(c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})$ ersetzt werden und man erhält Gl. 5-56:

Gl. 5-77

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c)_{-U}^vX) \left({}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U}\hat{x} - (1-c)_{-U}^v\hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})(c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})^{-1}$$

$$(I - {}_{-U}A)^{-1}(c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})_{-U}q$$

In Gl. 5-77 kürzt sich der Term $(c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})(c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})^{-1}$ heraus. Es verbleibt Gl. 5-78:

Gl. 5-78

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c)_{-U}^vX) \left({}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U}\hat{x} - (1-c)_{-U}^v\hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (I - {}_{-U}A)^{-1}(c_{-U}\hat{x} + (1-c)_{-U}^v\hat{x})_{-U}q$$

Gl. 5-78 kann nun in zwei Komponenten zerlegt werden:

Gl. 5-79

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1-c)_{-U}^vX) \left({}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U}\hat{x} - (1-c)_{-U}^v\hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (I - {}_{-U}A)^{-1} c_{-U}\hat{x}_{-U}q + {}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (I - {}_{-U}A)^{-1} (1-c)_{-U}^v\hat{x}_{-U}q$$

Die intermediäre Verwendung Z eines Input-Output-Modells kann sowohl über das Produkt der Inputkoeffizienten mit dem diagonalisierten gesamten Güteraufkommen als auch über das Produkt der diagonalisierten gesamten Güterverwendung mit den Outputkoeffizienten beschrieben werden. Somit gilt $Z = A\hat{x} = \hat{x}\Omega$, woraus wiederum der Zusammenhang $A = \hat{x}\Omega\hat{x}^{-1}$ zwischen Input- und Outputkoeffizienten folgt. Dementsprechend gilt $(I - A)^{-1} =$

¹⁵⁰ Siehe hierzu *ibid.*, 548 und 696.

$(I - \hat{x}\Omega\hat{x}^{-1})^{-1} = (\hat{x}\hat{x}^{-1} - \hat{x}\Omega\hat{x}^{-1})^{-1} = (\hat{x}(I - \Omega)\hat{x}^{-1})^{-1}$. Wie bereits erwähnt, gilt für reguläre Matrizen $(PQR)^{-1} = R^{-1}Q^{-1}P^{-1}$, woraus der Zusammenhang $(I - A)^{-1} = \hat{x}(I - \Omega)^{-1}\hat{x}^{-1}$ zwischen Leontief- und Ghosh-Inverse folgt.¹⁵¹

Analog gilt für den Zusammenhang zwischen extrabetrieblicher Leontief-Inverse und extrabetrieblicher Ghosh-Inverse $(I - {}_U A)^{-1} = {}_U \hat{x}(I - {}_U \Omega)^{-1} {}_U \hat{x}^{-1}$. Schließlich lässt sich auch die extrabetriebliche intermediäre Verwendung sowohl über das Produkt der extrabetrieblichen Inputkoeffizienten mit dem diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen als auch über das Produkt der diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güterverwendung mit den extrabetrieblichen Outputkoeffizienten beschreiben. Somit gilt ${}_U Z = {}_U A {}_U \hat{x} = {}_U \hat{x} {}_U \Omega$, woraus wiederum der Zusammenhang ${}_U A = {}_U \hat{x} {}_U \Omega {}_U \hat{x}^{-1}$ zwischen extrabetrieblichen Inputkoeffizienten und extrabetrieblichen Outputkoeffizienten folgt. Dementsprechend gilt $(I - {}_U A)^{-1} = (I - {}_U \hat{x} {}_U \Omega {}_U \hat{x}^{-1})^{-1} = ({}_U \hat{x} {}_U \hat{x}^{-1} - {}_U \hat{x} {}_U \Omega {}_U \hat{x}^{-1})^{-1} = ({}_U \hat{x}(I - {}_U \Omega) {}_U \hat{x}^{-1})^{-1}$. Wendet man nun die Regel $(PQR)^{-1} = R^{-1}Q^{-1}P^{-1}$ zum Auflösen des invertierten Produkts von regulären Matrizen an, so folgt der Zusammenhang $(I - {}_U A)^{-1} = {}_U \hat{x}(I - {}_U \Omega)^{-1} {}_U \hat{x}^{-1}$ zwischen extrabetrieblicher Leontief- und extrabetrieblicher Ghosh-Inverse.

Ferner kann ein Zusammenhang zwischen der extrabetrieblichen Leontief-Inversen und der vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen Ghosh-Inversen beschrieben werden. Da die vorleistungsbereinigte extrabetriebliche intermediäre Verwendung über das Produkt aus den extrabetrieblichen Inputkoeffizienten und dem diagonalisierten vorleistungsbereinigten Güteraufkommen ermittelt wird, gilt ${}_U^V Z = {}_U A {}_U^V x$. Zur Bestimmung der vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen Outputkoeffizienten wird die invertierte diagonalisierte vorleistungsbereinigte extrabetriebliche gesamte Güterverwendung mit der vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen intermediären Verwendung multipliziert. Somit gilt ${}_U^V \Omega = {}_U^V \hat{x}^{-1} {}_U^V Z$, woraus wiederum ${}_U^V Z = {}_U^V \hat{x} {}_U^V \Omega$ folgt. Dies führt zu ${}_U A {}_U^V x = {}_U^V \hat{x} {}_U^V \Omega$ und ${}_U A = {}_U^V \hat{x} {}_U^V \Omega {}_U^V \hat{x}^{-1}$. Dementsprechend gilt $(I - {}_U A)^{-1} = (I - {}_U^V \hat{x} {}_U^V \Omega {}_U^V \hat{x}^{-1})^{-1} = ({}_U^V \hat{x} {}_U^V \hat{x}^{-1} - {}_U^V \hat{x} {}_U^V \Omega {}_U^V \hat{x}^{-1})^{-1} = ({}_U^V \hat{x}(I - {}_U^V \Omega) {}_U^V \hat{x}^{-1})^{-1}$. Wendet man nun die Regel $(PQR)^{-1} = R^{-1}Q^{-1}P^{-1}$ zum Auflösen des invertierten Produkts von regulären Matrizen an,

¹⁵¹ Siehe hierzu *ibid.*, 547-548.

so folgt der Zusammenhang $(I - {}_{-U}A)^{-1} = {}_{-U}^v\hat{x}(I - {}_{-U}^v\Omega)^{-1}{}_{-U}^v\hat{x}^{-1}$ zwischen extrabetrieblicher Leontief- und vorleistungsbereinigter extrabetrieblicher Ghosh-Inverse. Berücksichtigt man in Gl. 5-79 beim ersten Summanden den Zusammenhang zwischen extrabetrieblicher Leontief-Inverse und extrabetrieblicher Ghosh-Inverse sowie beim zweiten Summanden den Zusammenhang zwischen extrabetrieblicher Leontief-Inverse und vorleistungsbereinigter extrabetrieblicher Ghosh-Inverse, so erhält man Gl. 5-80:

Gl. 5-80

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1 - c) {}_{-U}^vX) \left({}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U}\hat{x} - (1 - c) {}_{-U}^v\hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) {}_{-U}\hat{x} (I - {}_{-U}\Omega)^{-1} {}_{-U}\hat{x}^{-1} c {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}q$$

$$+ {}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) {}_{-U}^v\hat{x} (I - {}_{-U}^v\Omega)^{-1} {}_{-U}^v\hat{x}^{-1} (1 - c) {}_{-U}^v\hat{x} {}_{-U}q$$

In Gl. 5-80 heben sich rechterhand der extrabetrieblichen Ghosh-Inversen ${}_{-U}\hat{x}^{-1}$ und ${}_{-U}\hat{x}$ gegenseitig auf. Dasselbe gilt für ${}_{-U}^v\hat{x}^{-1}$ und ${}_{-U}^v\hat{x}$ rechts von der vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen Ghosh-Inversen. Es verbleibt Gl. 5-81:

Gl. 5-81

$$b_e \left(({}_{-U}X - (1 - c) {}_{-U}^vX) \left({}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) ({}_{-U}\hat{x} - (1 - c) {}_{-U}^v\hat{x}) \right) \right) =$$

$${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) {}_{-U}\hat{x} (I - {}_{-U}\Omega)^{-1} c {}_{-U}q + {}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) {}_{-U}^v\hat{x} (I - {}_{-U}^v\Omega)^{-1} (1 - c) {}_{-U}q$$

In Gl. 5-81 steht links der extrabetrieblichen Ghosh-Inversen das Produkt aus den diagonalisierten extrabetrieblichen Inputkoeffizienten des Unternehmensangebots mit dem diagonalisierten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen. Gemäß Gl. 5-16 werden die extrabetrieblichen Inputkoeffizienten des Unternehmensangebots über ${}_{-U}a'({}_U v^{S'}) = {}_U v^{S'} {}_{-U}\hat{x}^{-1}$ bestimmt. Daraus folgt ${}_{-U}a'({}_U v^{S'}) {}_{-U}\hat{x} = {}_U v^{S'}$ bzw. ${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) {}_{-U}\hat{x} = {}_U \hat{v}^S$, so dass ${}_{-U}\hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) {}_{-U}\hat{x}$ in Gl. 5-81 durch ${}_U \hat{v}^S$ ersetzt werden kann. Das vorleistungsbereinigte Unternehmensangebot ${}_{-U}^v v^{S'}$ wird gemäß Gl. 5-18 über das Produkt der extrabetrieblichen Inputkoeffizienten des Unternehmensangebots mit dem diagonalisierten vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen be-

stimmt, so dass ${}_{-U}a'({}_U v^{S'}) {}_{-U} \hat{x} = {}_{-U} v^{S'}$ bzw. ${}_{-U} \hat{a}({}_U v^{S'}) {}_{-U} \hat{x} = {}_{-U} \hat{v}^S$ gilt. Folglich kann das Produkt der diagonalisierten extrabetrieblichen Inputkoeffizienten des Unternehmensangebots mit dem diagonalisierten vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen gesamten Güteraufkommen links der vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen Ghosh-Inversen aus Gl. 5-81 durch ${}_{-U} \hat{v}^S$ ersetzt werden. Nach Durchführung dieser beiden Ersetzungen erhält man Gl. 5-82:

Gl. 5-82

$$b_e \left(({}_{-U} X - (1 - c) {}_{-U} X) ({}_{-U} \hat{a}({}_U v^{S'}) ({}_{-U} \hat{x} - (1 - c) {}_{-U} \hat{x})) \right) = {}_{-U} \hat{v}^S (I - {}_{-U} \Omega)^{-1} c {}_{-U} q + {}_{-U} \hat{v}^S (I - {}_{-U} \Omega)^{-1} (1 - c) {}_{-U} q$$

Verschiebt man in Gl. 5-82 die Skalare c bzw. $(1 - c)$ an den Beginn der jeweiligen Komponente, so erhält man Gl. 5-83:

Gl. 5-83

$$b_e \left(({}_{-U} X - (1 - c) {}_{-U} X) ({}_{-U} \hat{a}({}_U v^{S'}) ({}_{-U} \hat{x} - (1 - c) {}_{-U} \hat{x})) \right) = c {}_{-U} \hat{v}^S (I - {}_{-U} \Omega)^{-1} {}_{-U} q + (1 - c) {}_{-U} \hat{v}^S (I - {}_{-U} \Omega)^{-1} {}_{-U} q$$

In Gl. 5-83 wird ersichtlich, dass $b_e \left((-_U X - (1 - c)_{-U}^v X) \left(-_U \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (-_U \hat{x} - (1 - c)_{-U}^v \hat{x}) \right) \right)$ als gewichtetes Mittel zwischen ${}_U \hat{v}^S (I - {}_U \Omega)^{-1} {}_U q$ und ${}_{-U}^v \hat{v}^S (I - {}_{-U}^v \Omega)^{-1} {}_U q$ bestimmt wird. Gemäß Gl. 4-23 gilt ${}_U \hat{v}^S (I - {}_U \Omega)^{-1} {}_U q = b_e \left(-_U X ({}_U \hat{v}^S) \right)$ und Gl. 5-44 definiert ${}_{-U}^v \hat{v}^S (I - {}_{-U}^v \Omega)^{-1} {}_U q$ als $b_e \left({}_{-U}^v X ({}_{-U}^v \hat{v}^S) \right)$. Somit werden die nachgelagerten Emissionen $b_e \left((-_U X - (1 - c)_{-U}^v X) \left(-_U \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (-_U \hat{x} - (1 - c)_{-U}^v \hat{x}) \right) \right)$ über das mit c und $(1 - c)$ gewichtete Mittel aus den extrabetrieblichen nachgelagerten Emissionen $b_e \left(-_U X ({}_U \hat{v}^S) \right)$ und den vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen nachgelagerten Emissionen $b_e \left({}_{-U}^v X ({}_{-U}^v \hat{v}^S) \right)$ beschrieben:

Gl. 5-84

$$b_e \left((-_U X - (1 - c)_{-U}^v X) \left(-_U \hat{a} \left({}_U v^{S'} \right) (-_U \hat{x} - (1 - c)_{-U}^v \hat{x}) \right) \right) = \\ c b_e \left(-_U X ({}_U \hat{v}^S) \right) + (1 - c) b_e \left({}_{-U}^v X ({}_{-U}^v \hat{v}^S) \right)$$

Gl. 5-84 zeigt nun die zentrale Erkenntnis der Ausführungen von Gl. 5-64 bis Gl. 5-84. Wird die Position des Unternehmens normativ auf eine Position $c \in [0; 1]$ im intermediären Produktionskreislauf festgelegt, wobei $c = 0$ die Vorleistungsproduktion und $c = 1$ die Unternehmensproduktion als Beginn des intermediären Produktionskreislaufs definiert, so setzen sich die nachgelagerten Emissionen zu einem Anteil c aus den extrabetrieblichen nachgelagerten Emissionen und zu einem Anteil $(1 - c)$ aus den vorleistungsbereinigten extrabetrieblichen nachgelagerten Emissionen zusammen.

5.3.4 Irrelevanz der Unternehmenspositionierung

Für die Summe der vor- und nachgelagerten Emissionen ist es beim beschriebenen Modell irrelevant, an welche Stelle im intermediären Produktionskreislauf das Unternehmen positioniert wird. Im Folgenden wird deshalb gezeigt, dass die Summe vor- und nachgelagerter Emissionen unabhängig vom Skalar c dargestellt werden kann. Die Summe vor- und nachgelagerter Emissionen entspricht der Summe aus Gl. 5-73 und Gl. 5-84 ohne jegliche Vektordi-

agonalisierungen. Der Verzicht auf die Vektordiagonalisierungen führt zu einem Verlust der Ergebnisaufgliederung nach vorgelagerten und nachgelagerten Sektoren. Für den Beweis der Ausgangsthese dieses Abschnittes sind diese Aufgliederungen überflüssig. Schließlich soll und kann lediglich die Irrelevanz der Unternehmenspositionierung bezüglich der Summe vor- und nachgelagerter Emissionen gezeigt werden. Ausgangspunkt ist hierbei die Summe vor- und nachgelagerter Emissionen entsprechend Gl. 5-85.

Gl. 5-85

$$b_e \left(c, \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \eta x \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \eta y^D \right), \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u x \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u y^D \right), \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} v x' \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} v v^S \right), \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u x' \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u v^S \right) \right) = \\ (1 - c) \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u q' (I - \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u A)^{-1} \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u y^D + c \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u q' (I - \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u A)^{-1} \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \eta y^D \\ + c \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u v^S (I - \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u \Omega)^{-1} \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u q + (1 - c) \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} v v^S (I - \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} v \Omega)^{-1} \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u q$$

Die Summe vor- und nachgelagerter Emissionen entsprechend Gl. 5-85 ist in Abhängigkeit des Skalars der arbiträren Unternehmenspositionierung c , des durch die weiterverarbeitungsbereinigte Unternehmensnachfrage verursachten Güteraufkommens $\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \eta x \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \eta y^D \right)$, des durch die Unternehmensnachfrage verursachten extrabetrieblichen Güteraufkommens $\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u x \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u y^D \right)$, der mit dem vorleistungsbereinigten Unternehmensangebot verbundenen Güterverwendung $\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} v x' \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} v v^S \right)$ und der mit dem Unternehmensangebot verbundenen extrabetrieblichen Güterverwendung $\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u x' \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u v^S \right)$ formuliert. Ferner sind die vorgelagerten Emissionen vom Vektor der extrabetrieblichen direkten Emissionsintensitäten $\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u q$ abhängig, was jedoch für alle hier vorgestellten Emissionsberechnungen der Fall ist und deshalb nicht gesondert aufgeführt wird. Ausgehend von Gl. 5-85 werden zunächst die Zusammenhänge zwischen weiterverarbeitungs-bereinigter Leontief-Inverse und extrabetrieblicher Ghosh-Inverse sowie zwischen vorleistungsbereinigter Ghosh-Inverse und extrabetrieblicher Leontief-Inverse berücksichtigt. Ferner werden die weiterverarbeitungs-bereinigte Unternehmensnachfrage und das vorleistungsbereinigte Unternehmensangebot in Abhängigkeit der entsprechend Input- und Outputkoeffizienten dargestellt. Durch Einsetzen von $(I - \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u A)^{-1} = \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \hat{x} (I - \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u \Omega)^{-1} \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \hat{x}^{-1}$ und $\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \eta y^D = \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u b \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u y^D \right)$ sowie $(I - \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} v \Omega)^{-1} = \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \hat{x}^{-1} (I - \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u A)^{-1} \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \hat{x}$ und $\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} v v^S = \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u a' \left(\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} u v^S \right) \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \hat{x}$ erhält man Gl. 5-86:

Gl. 5-86

$$\begin{aligned}
& b_e \left(c, \underset{-U}{\overset{-\eta}{x}}(\underset{-U}{\overset{-\eta}{y^D}}), \underset{-U}{x}(\underset{-U}{y^D}), \underset{-U}{\overset{-v}{x}'}(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}), \underset{-U}{\overset{-v}{x}'}(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}) \right) = \\
& (1-c) \underset{-U}{q}'(I - \underset{-U}{A})^{-1} \underset{-U}{y^D} + c \underset{-U}{q}' \underset{-U}{\overset{-\eta}{\hat{x}}}(I - \underset{-U}{\Omega})^{-1} \underset{-U}{\overset{-\eta}{\hat{x}}^{-1}} \underset{-U}{\overset{-\eta}{\hat{x}}} \underset{-U}{b}(\underset{-U}{y^D}) \\
& + c \underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}'(I - \underset{-U}{\Omega})^{-1} \underset{-U}{q} + (1-c) \underset{-U}{a}'(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}) \underset{-U}{\overset{-v}{\hat{x}}}(I - \underset{-U}{A})^{-1} \underset{-U}{\overset{-v}{\hat{x}}} \underset{-U}{q}
\end{aligned}$$

In Gl. 5-86 heben sich daraufhin rechts der neu eingefügten extrabetrieblichen Ghosh-Inversen $\underset{-U}{\overset{-\eta}{\hat{x}}^{-1}}$ und $\underset{-U}{\overset{-\eta}{\hat{x}}}$ sowie links der neu eingefügten extrabetrieblichen Leontief-Inversen $\underset{-U}{\overset{-v}{\hat{x}}}$ und $\underset{-U}{\overset{-v}{\hat{x}}^{-1}}$ auf. Es verbleibt Gl. 5-87:

Gl. 5-87

$$\begin{aligned}
& b_e \left(c, \underset{-U}{\overset{-\eta}{x}}(\underset{-U}{\overset{-\eta}{y^D}}), \underset{-U}{x}(\underset{-U}{y^D}), \underset{-U}{\overset{-v}{x}'}(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}), \underset{-U}{\overset{-v}{x}'}(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}) \right) = \\
& (1-c) \underset{-U}{q}'(I - \underset{-U}{A})^{-1} \underset{-U}{y^D} + c \underset{-U}{q}' \underset{-U}{\overset{-\eta}{\hat{x}}}(I - \underset{-U}{\Omega})^{-1} \underset{-U}{b}(\underset{-U}{y^D}) \\
& + c \underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}'(I - \underset{-U}{\Omega})^{-1} \underset{-U}{q} + (1-c) \underset{-U}{a}'(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}})(I - \underset{-U}{A})^{-1} \underset{-U}{\overset{-v}{\hat{x}}} \underset{-U}{q}
\end{aligned}$$

Ausgehend von Gl. 5-87 wird daraufhin beim zweiten und vierten Summanden der Zusammenhang zwischen extrabetrieblicher Leontief-Inverse und extrabetrieblicher Ghosh-Inverse berücksichtigt. Ersetzt man im zweiten Summanden $(I - \underset{-U}{\Omega})^{-1}$ durch $\underset{-U}{\hat{x}}^{-1}(I - \underset{-U}{A})^{-1} \underset{-U}{\hat{x}}$ und im vierten Summanden $(I - \underset{-U}{A})^{-1}$ durch $\underset{-U}{\hat{x}}(I - \underset{-U}{\Omega})^{-1} \underset{-U}{\hat{x}}^{-1}$, so erhält man Gl. 5-88:

Gl. 5-88

$$\begin{aligned}
& b_e \left(c, \underset{-U}{\overset{-\eta}{x}}(\underset{-U}{\overset{-\eta}{y^D}}), \underset{-U}{x}(\underset{-U}{y^D}), \underset{-U}{\overset{-v}{x}'}(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}), \underset{-U}{\overset{-v}{x}'}(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}) \right) = \\
& (1-c) \underset{-U}{q}'(I - \underset{-U}{A})^{-1} \underset{-U}{y^D} + c \underset{-U}{q}' \underset{-U}{\overset{-\eta}{\hat{x}}} \underset{-U}{\hat{x}}^{-1}(I - \underset{-U}{A})^{-1} \underset{-U}{\hat{x}} \underset{-U}{b}(\underset{-U}{y^D}) \\
& + c \underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}'(I - \underset{-U}{\Omega})^{-1} \underset{-U}{q} + (1-c) \underset{-U}{a}'(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}) \underset{-U}{\hat{x}}(I - \underset{-U}{\Omega})^{-1} \underset{-U}{\hat{x}}^{-1} \underset{-U}{\overset{-v}{\hat{x}}} \underset{-U}{q}
\end{aligned}$$

In Gl. 5-88 kann nun im zweiten Summanden $\underset{-U}{\hat{x}} \underset{-U}{b}(\underset{-U}{y^D})$ durch $\underset{-U}{y^D}$ und im vierten Summanden $\underset{-U}{a}'(\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}) \underset{-U}{\hat{x}}$ durch $\underset{-U}{\overset{-v}{v^{S'}}}'$ ersetzt werden. Es verbleibt Gl. 5-89:

Gl. 5-89

$$b_e \left(c, \overset{-\eta}{-U}x(\overset{-\eta}{U}y^D), \overset{-U}{-}x(\overset{U}{U}y^D), \overset{-v}{-U}x(\overset{-v}{U}v^S), \overset{-U}{-}x'(\overset{U}{U}v^{S'}) \right) =$$

$$(1 - c) \overset{-U}{-}q'(I - \overset{-U}{-}A)^{-1} \overset{U}{U}y^D + c \overset{-U}{-}q' \overset{-\eta}{-U}\hat{x} \overset{-U}{-}\hat{x}^{-1} (I - \overset{-U}{-}A)^{-1} \overset{U}{U}y^D$$

$$+ c \overset{U}{U}v^{S'} (I - \overset{-U}{-}\Omega)^{-1} \overset{-U}{-}q + (1 - c) \overset{U}{U}v^{S'} (I - \overset{-U}{-}\Omega)^{-1} \overset{-U}{-}\hat{x}^{-1} \overset{-v}{-U}\hat{x} \overset{-U}{-}q$$

In Gl. 5-89 enden nun der erste und der zweite Summand mit dem Faktor $(I - \overset{-U}{-}A)^{-1} \overset{U}{U}y^D$, welcher zur Bestimmung des unternehmensabhängigen Vorleistungsaufkommens $\overset{-v}{-U}x$ dient. Der dritte und der vierte Summand beginnen mit dem Faktor $\overset{U}{U}v^{S'} (I - \overset{-U}{-}\Omega)^{-1}$, welcher zur Bestimmung der unternehmensabhängigen Weiterverarbeitungsverwendung $\overset{\eta}{-U}x'$ dient. Ferner gilt $\overset{-\eta}{-U}\hat{x} = \overset{-U}{-}\hat{x} - \overset{\eta}{-U}\hat{x}$ und $\overset{-v}{-U}\hat{x} = \overset{-U}{-}\hat{x} - \overset{v}{-U}\hat{x}$. Ersetzt man diese Identitäten, so erhält man Gl. 5-90:

Gl. 5-90

$$b_e \left(c, \overset{-\eta}{-U}x(\overset{-\eta}{U}y^D), \overset{-U}{-}x(\overset{U}{U}y^D), \overset{-v}{-U}x(\overset{-v}{U}v^S), \overset{-U}{-}x'(\overset{U}{U}v^{S'}) \right) =$$

$$(1 - c) \overset{-U}{-}q' \overset{-v}{-U}x + c \overset{-U}{-}q' (\overset{-U}{-}\hat{x} - \overset{\eta}{-U}\hat{x}) \overset{-U}{-}\hat{x}^{-1} \overset{-v}{-U}x + c \overset{\eta}{-U}x' \overset{-U}{-}q$$

$$+ (1 - c) \overset{\eta}{-U}x' \overset{-U}{-}\hat{x}^{-1} (\overset{-U}{-}\hat{x} - \overset{v}{-U}\hat{x}) \overset{-U}{-}q$$

Löst man in Gl. 5-90 die neu entstandenen Klammern auf, so erhält man Gl. 5-91:

Gl. 5-91

$$b_e \left(c, \overset{-\eta}{-U}x(\overset{-\eta}{U}y^D), \overset{-U}{-}x(\overset{U}{U}y^D), \overset{-v}{-U}x(\overset{-v}{U}v^S), \overset{-U}{-}x'(\overset{U}{U}v^{S'}) \right) =$$

$$(1 - c) \overset{-U}{-}q' \overset{-v}{-U}x + c \overset{-U}{-}q' \overset{-U}{-}\hat{x} \overset{-U}{-}\hat{x}^{-1} \overset{-v}{-U}x - c \overset{-U}{-}q' \overset{\eta}{-U}\hat{x} \overset{-U}{-}\hat{x}^{-1} \overset{-v}{-U}x + c \overset{\eta}{-U}x' \overset{-U}{-}q$$

$$+ (1 - c) \overset{\eta}{-U}x' \overset{-U}{-}\hat{x}^{-1} \overset{-U}{-}\hat{x} \overset{-U}{-}q - (1 - c) \overset{\eta}{-U}x' \overset{-U}{-}\hat{x}^{-1} \overset{v}{-U}\hat{x} \overset{-U}{-}q$$

In Gl. 5-91 heben sich die beiden Produkte aus $\overset{-U}{-}\hat{x}$ und $\overset{-U}{-}\hat{x}^{-1}$ auf. Es verbleibt Gl. 5-92:

Gl. 5-92

$$b_e \left(c, \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} y^D \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} y^D \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} v^S \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} v^{S'} \right) = \\ (1 - c) \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x + c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x - c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x}^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x + c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q \\ + (1 - c) \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q - (1 - c) \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x}^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q$$

Werden daraufhin in Gl. 5-92 die Klammern $(1 - c)$ aufgelöst, so erhält man Gl. 5-93:

Gl. 5-93

$$b_e \left(c, \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} y^D \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} y^D \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} v^S \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} v^{S'} \right) = \\ -\begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x - c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x + c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x - c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x}^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x + c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q + \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q \\ - c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q - \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x}^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q + c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x}^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q$$

In Gl. 5-93 wird nun ersichtlich, dass sich $-c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x$ und $+c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x$ gegenseitig aufheben.

Dasselbe gilt für $+c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q$ und $-c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q$. Es verbleibt Gl. 5-94:

Gl. 5-94

$$b_e \left(c, \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} y^D \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} y^D \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} v^S \right), \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{pmatrix} -\eta \\ U \end{pmatrix} v^{S'} \right) = \\ -\begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x - c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x}^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x + \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q - \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x}^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q + c \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} x' \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x}^{-1} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} \hat{x} \begin{matrix} -\eta \\ -U \end{matrix} q$$

In Gl. 5-94 sind nur noch die Terme $-c_{-U}q'_{-U}\hat{x}_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}x$ und $+c_{-U}x'_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}\hat{x}_{-U}q$ abhängig vom Skalar c . Transponiert man das Produkt mehrerer Matrizen, so gilt $(AB)' = B'A'$.¹⁵² Dementsprechend gilt für den zweiten der beiden genannten Terme $c_{-U}x'_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}\hat{x}_{-U}q)' = c_{-U}q'_{-U}\hat{x}'_{-U}(\hat{x}_{-U})^{-1}_{-U}x$. Wird eine Diagonalmatrix transponiert, so erhält man wieder dieselbe Diagonalmatrix.¹⁵³ Insofern gilt auch $(c_{-U}x'_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}\hat{x}_{-U}q)' = c_{-U}q'_{-U}\hat{x}_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}x$. Beim Produkt zweier Diagonalmatrizen gilt im Gegensatz zur allgemeinen Matrizenmultiplikation das Kommutativgesetz, da eine Diagonalmatrix abgesehen von ihrer Diagonalen ausschließlich aus Nullen besteht. Folglich gilt $c_{-U}q'_{-U}\hat{x}_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}x = c_{-U}q'_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}\hat{x}_{-U}x$. Ferner gilt für das Produkt $\hat{x}_{-U}x = \hat{x}_{-U}x$, so dass $c_{-U}q'_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}\hat{x}_{-U}x = c_{-U}q'_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}\hat{x}_{-U}x = c_{-U}q'_{-U}\hat{x}_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}x$. Somit heben sich auch die Terme $-c_{-U}q'_{-U}\hat{x}_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}x$ und $+c_{-U}x'_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}\hat{x}_{-U}q$ aus Gl. 5-94 auf und es verbleibt Gl. 5-95:

Gl. 5-95

$$b_e \left(c, -x_{-U}(-y^D), -x_{-U}(y^D), -x_{-U}(-v^S), -x'_{-U}(v^S) \right) = \\ -Uq'_{-U}x + -Ux'_{-U}q - -Ux'_{-U}\hat{x}^{-1}_{-U}\hat{x}_{-U}q$$

Mit Gl. 5-85 bis Gl. 5-95 wurde gezeigt, dass es für die Summe an indirekten vor- und nachgelagerten Emissionen irrelevant ist, an welcher Stelle im intermediären Produktionskreislauf die Position des Unternehmens angenommen wird. Eine Festlegung der Position des Unternehmens im intermediären Produktionskreislauf ist folglich nur dann von Bedeutung, wenn die vorgelagerten und nachgelagerten Emissionen nach Sektoren aufgliedert werden sollen und/oder die Zusammensetzung aus vor- und nachgelagerten Emissionen untersucht werden soll.

Gl. 5-95 zeigt, dass sich die Berechnung der indirekten Emissionen aus drei Komponenten zusammensetzt, wobei es sich um zwei Summanden und einen Subtrahenden handelt. Der erste Summand $-Uq'_{-U}x$ verkörpert die durch die Unternehmensnachfrage hervorgerufenen Emissionen aus dem extrabetrieblichen nachfrageseitigen Modell. Über den zweiten Summanden $-Ux'_{-U}q$ werden jene Emissionen abgebildet, die im extrabetrieblichen ange-

¹⁵² Siehe hierzu beispielsweise *ibid.*, 691.

¹⁵³ Siehe hierzu beispielsweise *ibid.*, 697.

botsseitigen Modell mit dem Unternehmensangebot verbunden sind. Jeder der beiden Summanden teilt per se bereits alle im Modell verfügbaren extrabetrieblichen Emissionen zwischen dem Unternehmen und der übrigen Wirtschaft auf. Beim ersten Summanden geschieht dies über die Unternehmensnachfrage und die extrabetriebliche letzte Verwendung und beim zweiten Summanden über das Unternehmensangebot und die extrabetriebliche Wertschöpfung. Der Subtrahend ${}_{-U}x' {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}q$ zeigt folglich das Ausmaß der Doppelzählungen aus dem intermediären Produktionskreislauf, um welchen die Summe aus den ersten beiden Komponenten bereinigt werden muss. Das Produkt aus dem zweiten und dritten Faktor ${}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x}$ verkörpert den Anteil des Vorleistungsaufkommens am extrabetrieblichen Aufkommen. Um diesen Anteil wird die Weiterverarbeitungsverwendung ${}_{-U}x'$ reduziert. Dies wird insbesondere dann deutlich, wenn Gl. 6-95 folgendermaßen umgeformt wird:

Gl. 5-96

$$b_e \left(c, {}_{-U}x' ({}_{-U}y^D), {}_{-U}x' ({}_{-U}y^D), {}_{-U}x' ({}_{-U}v^S), {}_{-U}x' ({}_{-U}v^S) \right) =$$

$${}_{-U}q' {}_{-U}x + {}_{-U}x' {}_{-U}q - {}_{-U}x' {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}q = {}_{-U}x' {}_{-U}q + {}_{-U}x' {}_{-U}q - {}_{-U}x' {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}q =$$

$${}_{-U}x' {}_{-U}q + {}_{-U}x' (I - {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x}) {}_{-U}q = \left({}_{-U}x' + {}_{-U}x' (I - {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x}) \right) {}_{-U}q$$

Mit den Umformungen aus Gl. 5-96 wird das Ergebnis auf die Form der vollständigen Weiterverarbeitungsberreinigung gebracht. Gl. 5-95 kann jedoch auch auf die Form der vollständigen Vorleistungsberreinigung umgeformt werden:

Gl. 5-97

$$b_e \left(c, {}_{-U}x' ({}_{-U}y^D), {}_{-U}x' ({}_{-U}y^D), {}_{-U}x' ({}_{-U}v^S), {}_{-U}x' ({}_{-U}v^S) \right) =$$

$${}_{-U}q' {}_{-U}x + {}_{-U}x' {}_{-U}q - {}_{-U}x' {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}q = {}_{-U}q' {}_{-U}x + {}_{-U}q' {}_{-U}x - {}_{-U}q' {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}x =$$

$${}_{-U}q' {}_{-U}x + {}_{-U}q' {}_{-U}x - {}_{-U}q' {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}x = {}_{-U}q' {}_{-U}x - {}_{-U}q' {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}x + {}_{-U}q' {}_{-U}x =$$

$${}_{-U}q' \left({}_{-U}x - {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x} {}_{-U}x + {}_{-U}x \right) = {}_{-U}q' \left((I - {}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}\hat{x}) {}_{-U}x + {}_{-U}x \right)$$

Nach den Umformungen aus Gl. 5-97 wird deutlich, wie die Vorleistungsverwendung ${}_{-U}x$ um den Anteil der Weiterverarbeitungsverwendung an der extrabetrieblichen Verwendung re-

duziert wird. Letzterer wird durch das Produkt ${}_{-U}\hat{x}^{-1} {}_{-U}^{\eta}\hat{x}$ verkörpert. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Irrelevanz der Unternehmenspositionierung auf die Irrelevanz der Abgeltungsreihenfolge bereits bilanzierter Emissionen zurückzuführen ist.

6. Empirische Relevanz des modifizierten Modells

6.1 Vorbemerkung zu den empirischen Untersuchungen

Die Grundlagen der Treibhausgasbilanzierung mittels ökologisch erweiterter Input-Output-Modellierungen wurden in Kapitel 3 sowohl in ihrer nachfrageseitigen als auch in ihrer angebotsseitigen Form erläutert. Anhand von *Emissions Pure Linkages* wurde gezeigt, wie bei der Treibhausbilanzierung einzelner Sektoren die Doppelzählung des jeweiligen Sektors entweder nachfrage- oder angebotsseitig behoben werden kann.

Im Hinblick auf die erkenntnisleitende Fragestellung, ob und gegebenenfalls wie Input-Output-Modellierungen zur Quantifizierung vor- und nachgelagerter Emissionen geeignet sind, wurde in Kapitel 1 die Doppelzählung des eigenen Unternehmensbeitrags bei den Standardformen der ökologisch erweiterten Input-Output-Modelle kritisiert. In Anlehnung an die *Emissions Pure Linkages* wurde ein Verfahren zur Exogenisierung des Unternehmens eingeführt. Als exogene Größe steht das Unternehmen einer endogenen übrigen Wirtschaft gegenüber. Mit der Exogenisierung des Unternehmens wurde die Doppelzählung direkter Emissionen des Unternehmens behoben. Es verblieben jedoch Doppelzählungen innerhalb der indirekten Emissionen, da sowohl das nachfrageseitige als auch das angebotsseitige Modell auf dieselbe übrige Wirtschaft zurückgreift.

Wie Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen behoben werden können, wurde in Kapitel 5 untersucht. Hierzu wurde das Unternehmen als Teil eines intermediären Produktionskreislaufs interpretiert, wobei die Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Unternehmen genau auf diesen Kreislauf zurückzuführen sind. Zur Behebung dieser Doppelzählungen wurde zunächst in Anlehnung an die Definition der Wertschöpfungskette aus der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung die Vorleistungsproduktion als Beginn des Produktionsprozesses angenommen. Auf Grundlage dieser Annahme wurde die übrige Wirtschaft in zwei Teile zerlegt, wobei der eine Teil die vorleistungsrelevante übrige Wirtschaft und der andere Teil die vorleistungsirrelevante übrige Wirtschaft abbildet. Der vorleistungsirrelevante Teil enthält nur noch jene Güter, die weder direkt noch indirekt in die Produktion der Vorleistungen des Unternehmens eingeflossen sind. Sollen die nachgela-

gerten Emissionen ohne Doppelzählungen bilanziert werden, so darf dabei nur der vorleistungsirrelevante Teil berücksichtigt werden.

Alternativ wurde mit Verweis auf den periodischen Bezug einer Treibhausgasbilanz das Unternehmen als Beginn des Produktionsprozesses angenommen. Diese Annahme führt erneut zu einer Zerlegung der übrigen Wirtschaft, wobei der eine Teil die weiterverarbeitungsrelevante und der andere Teil die weiterverarbeitungsirrelevante übrige Wirtschaft abbildet. Der weiterverarbeitungsirrelevante Teil enthält jene Güter, die weder direkt noch indirekt aus dem Unternehmen stammen. Sollen die vorgelagerten Emissionen ohne Doppelzählungen bilanziert werden, so darf dabei nur noch der weiterverarbeitungsirrelevante Teil der übrigen Wirtschaft berücksichtigt werden.

Bei den beiden genannten Perspektiven wurden zwei Extrema angenommen. So werden in der periodischen Betrachtung zum Beginn einer Periode manche Güter vom Unternehmen an die übrige Wirtschaft und andere Güter von der übrigen Wirtschaft an das Unternehmen geliefert. Deshalb wurde eine Synthese der beiden Ansätze eingeführt. Dabei kann ein beliebiger Punkt zwischen den beiden Ansätzen als Beginn des Produktionsprozesses interpretiert werden. Letztendlich konnte im Modell gezeigt werden, dass es für die Summe der vor- und nachgelagerten Emissionen eines Unternehmens irrelevant ist, ob das Unternehmen, die übrige Wirtschaft oder ein beliebiger Punkt zwischen den beiden Extremen als Beginn des Produktionsprozesses angenommen wird. Zur Untersuchung der empirischen Relevanz der vorgestellten Modellmodifizierungen verbleibt somit der Vergleich von drei Ansätzen:

1. Standard Input-Output-Ansatz: Verwendung der herkömmlichen ökologisch erweiterten nachfrage- und angebotsseitigen Input-Output-Modellierungen aus Kapitel 3 zur Schätzung vor- und nachgelagerter Emissionen
2. Unternehmensbereinigter Ansatz: Verwendung der in Kapitel 1 beschriebenen extrabetrieblichen Modifizierungen der beiden Modelle
3. Vollständig rückkopplungsbereinigter Ansatz: Verwendung des Mittelwertes aus dem vorleistungsbereinigten und dem weiterverarbeitungsbereinigten Ansatz mit Verweis auf die Irrelevanz der Unternehmenspositionierung entsprechend den Erläuterungen in Kapitel 5

Im Folgenden werden die drei Ansätze miteinander verglichen, wobei der vollständig rückkopplungsbereinigte Ansatz die Referenzwerte liefert. Ziel ist es, anhand empirischer Daten zu untersuchen, welcher Fehler bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber dem vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatz entsteht und auf welche Gegebenheiten das Ausmaß dieses Fehlers zurückzuführen ist.

6.2 Verwendete Datenbanken

Für globale Modellierungen wird die WIOD zugrunde gelegt.¹⁵⁴ In der Datenbank werden globale Input-Output-Daten nach 40 Ländern und der übrigen Welt zu je 35 Sektoren disaggregiert ausgewiesen.¹⁵⁵ Diese Input-Output-Daten sind für die Berichtsjahre 1995 bis 2011 verfügbar.¹⁵⁶ Emissionsdaten für die Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O sind für die Berichtsjahre 1995 bis 2009 in kongruenter Disaggregation verfügbar.¹⁵⁷ Die Datenbank ermöglicht somit ökologisch erweiterte Input-Output-Modellierungen für drei Kyoto-Gase im Zeitraum von 1995 bis 2009. Als aktuellstes Berichtsjahr steht folglich 2009 zur Verfügung. Tabelle 6-1 zeigt die regionale Untergliederung der WIOD in ihrer höchsten Disaggregationsstufe auf der rechten Seite und in einer zu sieben Weltregionen aggregierten Form auf der linken Seite.

¹⁵⁴ Siehe hierzu World Input-Output Database (Hrsg.) (2013b): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

¹⁵⁵ Vgl. Dietzenbacher, Erik/Los, Bart/Stehrer, Robert et al. (2013): „The Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project“, in: Economic System Research, 25. Jg., Heft 1, 94.

¹⁵⁶ Siehe hierzu World Input-Output Database (Hrsg.) (2014): World Input-Output Tables. Internet: http://www.wiod.org/new_site/database/wiots.htm, 19.11.2014.

¹⁵⁷ Siehe hierzu World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): Environmental Accounts. Internet: http://www.wiod.org/new_site/database/eas.htm, 19.11.2014, -> AIR.

Tabelle 6-1: Regionen der World Input-Output Database

7-Regionen-Tabelle	41-Regionen-Tabelle			
Eurozone	Belgien	Deutschland	Estland	Finnland
	Frankreich	Griechenland	Irland	Italien
	Luxemburg	Malta	Niederlande	Österreich
	Portugal	Slowakei	Slowenien	Spanien
	Zypern			
Übrige EU-27	Bulgarien	Dänemark	Lettland	Litauen
	Polen	Rumänien	Schweden	Tschechische Republik
	Ungarn	Vereinigtes Königreich (UK)		
Nordamerikanisches Freihandelsabkommen (NAFTA)	Kanada	Mexiko	USA	
China	China			
Ostasien	Japan	Südkorea	Taiwan	
Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, Australien und Türkei (BRIIAT)	Brasilien	Russland	Indien	Indonesien
	Australien	Türkei		
Übrige Welt	Übrige Welt			

Eigene Darstellung auf Basis von Dietzenbacher, Erik/Los, Bart/Stehrer, Robert et al. (2013): „The Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project“, in: Economic System Research, 25. Jg., Heft 1, 95.

Die Input-Output-Tabellen der WIOD sind von Wirtschaftsbereich nach Wirtschaftsbereich gegliedert.¹⁵⁸ Damit handelt es sich um sogenannte institutionelle Input-Output-Tabellen. In solchen Tabellen werden Produktionseinheiten mit genügend gemeinsamen Merkmalen zusammengefasst. Gemeinsame Merkmale können beispielsweise ähnliche Produktionsverfahren, die Verwendung des gleichen Rohstoffs oder die Produktion ähnlicher Güter sein. Einzelne Organisationseinheiten können mehrere Produkte fabrizieren, die auf unterschiedlichen Rohstoffen und Produktionsverfahren basieren. Um die Organisationseinheiten ein-

¹⁵⁸ Vgl. Dietzenbacher, Erik/Los, Bart/Stehrer, Robert et al. (2013), op. cit., 90.

deutig einem bestimmten Sektor zuordnen zu können, findet in der praktischen Umsetzung das sogenannte Schwerpunktprinzip Anwendung. Auf Basis der Wertschöpfung oder der Anzahl an Beschäftigten wird die Haupttätigkeit einer Organisationseinheit identifiziert, die dann unter Vernachlässigung möglicher Heterogenitäten als Zuordnungsgrundlage dient. Organisationseinheiten können Unternehmen, Betriebe, fachliche Unternehmenseinheiten und Betriebsteile sein. Als Betrieb wird dabei beispielsweise die Produktionsniederlassung eines Unternehmens in einer Stadt verstanden, als Betriebsteil eine Produktionsstätte für elektronische Bauteile. Institutionelle Input-Output-Tabellen sind nach Produktionsorganisationen ausgerichtet und bilden somit die Marktverflechtung der über den Markt gelaufenen Transaktionen ab.¹⁵⁹ Gliederungsgrundlage für die Wirtschaftsbereiche ist die *erste Überarbeitung der Statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft* (NACE Rev. 1).¹⁶⁰ Deutsches Äquivalent zu dieser Gliederung ist die *Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993*.¹⁶¹ Tabelle 6-2 zeigt die sektorale Input-Output-Gliederung der WIOD mit Codes und den deutschen Bezeichnungen der Wirtschaftsbereiche.

¹⁵⁹ Vgl. Holub, Hans-Werner/Schnabl, Hermann (1994b): Input-Output-Rechnung: Input-Output-Tabellen. München: Oldenbourg, 34-35.

¹⁶⁰ Vgl. Timmer, Marcel (Hrsg.) (2012): The World Input-Output Database (WIOD) - Contents, Sources and Methods. Internet: http://www.wiod.org/publications/source_docs/WIOD_sources.pdf, 17.01.2013, 9.

¹⁶¹ Siehe hierzu Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2003): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen - Ausgabe 2003. Internet:

https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2003_ertl.pdf?__blob=publicationFile, 15.05.2013, 11 und Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2002): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993 (WZ 93). Internet:

https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz93.pdf?__blob=publicationFile, 28.11.2014.

Tabelle 6-2: Input-Output-Wirtschaftsbereiche der World Input-Output Database

Code	Wirtschaftsbereich
AtB	Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht
C	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden
15t16	Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung
17t18	Textil- und Bekleidungsgewerbe
19	Ledergewerbe
20	Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)
21t22	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe
23	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen
24	Chemische Industrie
25	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
26	Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
27t28	Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen
29	Maschinenbau
30t33	Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik
34t35	Fahrzeugbau
36t37	Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten und sonstigen Erzeugnissen; Recycling
E	Energie- und Wasserversorgung
F	Baugewerbe
50	Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen
51	Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)
52	Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern
H	Gastgewerbe
60	Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen
61	Schifffahrt
62	Luftfahrt
63	Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung
64	Nachrichtenübermittlung
J	Kredit- und Versicherungsgewerbe
70	Grundstück- und Wohnungswesen
71t74	Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen
L	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung
M	Erziehung und Unterricht
N	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen
O	Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen
P	Private Haushalte

Eigene Darstellung auf Basis von Marcel Timmer (Hrsg.) (2012): The World Input-Output Database (WIOD) - Contents, Sources and Methods. Internet: http://www.wiod.org/publications/source_docs/WIOD_sources.pdf, 17.01.2013, 70 und Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2002): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993 (WZ 93). Internet: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz93.pdf?__blob=publicationFile, 28.11.2014.

Zur Bestimmung der zu erwartenden Fehler bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber dem vollständig rückkopplungsbereinigten Referenzansatz werden neben einer Input-Output-Tabelle und Emissionsdaten auch Unternehmensdaten benötigt. Je höher der Umsatz eines Unternehmens ist, desto stärker wird durch den unternehmensbereinigten Ansatz die ursprüngliche Input-Output-Tabelle verändert. Zur Ermittlung von Obergrenzen der Fehler soll folglich ein möglichst umsatzstarkes Unternehmen simuliert werden.

Ein globales Ranking von Unternehmen nach Umsätzen wird von der Zeitschrift Fortune seit 1995 jährlich unter dem Titel *Global 500* veröffentlicht. Das Ranking bezieht sich auf Umsätze von Geschäftsjahren, die zwischen dem 1. April des Vorjahres und dem 31. März des Veröffentlichungsjahres enden. Das Ranking beinhaltet nur Unternehmen, die ihre Finanzdaten veröffentlichen müssen.¹⁶² Ein globales Ranking der größten Unternehmen, die keiner Veröffentlichungspflicht unterliegen, wurde von der Financial Times unter dem Titel *FT Non-Public 150* im Jahr 2006 anhand geschätzter Marktwerte für Dezember 2005 veröffentlicht.¹⁶³ Für börsennotierte Unternehmen veröffentlicht die Financial Times seit dem dritten Quartal 2003 vierteljährlich Daten zu Marktwerten und Umsätzen.¹⁶⁴ Ferner veröffentlicht Forbes seit 2003 für die größten börsennotierten Unternehmen der Welt sowohl Umsätze als auch Marktwerte unter dem Titel *Global 2000*.¹⁶⁵ Marktwerte werden entsprechend der Handelschlusspreise eines Stichtages erfasst. Die Umsatzdaten beziehen sich auf die Verkäufe aus dem letzten abgeschlossenen Geschäftsjahr. Die Liste wird jährlich veröffentlicht.¹⁶⁶ Sollten Unternehmen mit einbezogen werden, welche keiner Veröffentlichungspflicht unterliegen, so müssten zunächst deren Umsätze geschätzt werden. Um die Relevanz jener Unternehmen

¹⁶² Siehe hierzu Fortune (Hrsg.) (2014): GLOBAL 500 2014. Internet: <http://fortune.com/global500/>, 20.11.2014, -> See our Methodology.

¹⁶³ Siehe hierzu Financial Times (Hrsg.) (2006): FT Non-Public 150 - the full list. Internet: <http://www.ft.com/intl/cms/s/2/5de6ef96-8b95-11db-a61f-0000779e2340.html#axzz3JbVPLbuh>, 20.11.2014.

¹⁶⁴ Siehe hierzu Financial Times (Hrsg.) (2014): Quarterly Updates. Internet: <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/91486938-2586-11dc-b338-000b5df10621.html#axzz3JbVPLbuh>, 21.11.2014.

¹⁶⁵ Siehe hierzu Forbes v. 21.07.2003, 108-110: The Global 2000 - Rankings: Our Tabulation of the Biggest, Most Powerful Companies in the World, Based on a Composite Ranking of Sales, Profits, Assets and Market Values.

¹⁶⁶ Siehe hierzu Forbes (Hrsg.) (2014): Global 2000: How We Crunch the Numbers. Internet: <http://www.forbes.com/sites/andreamurphy/2014/05/07/global-2000-how-we-crunch-the-numbers/>, 20.11.2014.

einzuschätzen, werden in Tabelle 6-3 die Marktwertschätzungen den Marktwerten der größten börsennotierten Unternehmen gegenübergestellt.¹⁶⁷

Tabelle 6-3: Die zehn größten Unternehmen nach Marktwert im Dezember 2005

Ranking	Unternehmen	Land	Sektor	Marktwert in Milliarden USD	Börsennotierung
1	Saudi Aramco	Saudi Arabien	Öl und Gas	781	Nein
2	Petróleos Mexicanos (Pemex)	Mexiko	Öl und Gas	415	Nein
3	Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima (S.A.)	Venezuela	Öl und Gas	388	Nein
4	Kuwait Petroleum Corporation	Kuwait	Öl und Gas	378	Nein
5	General Electric	USA	Mischkonzern	370	Ja
6	ExxonMobil	USA	Öl und Gas	350	Ja
7	Microsoft	USA	Software- und Computerdienstleistungen	278	Ja
8	Citigroup	USA	Banken	246	Ja
9	Petroliam Nasional Berhad (Petronas)	Malaysia	Öl und Gas	232	Nein
10	Sonatrach	Algerien	Öl und Gas	224	Nein

Eigene Darstellung auf Basis von Financial Times (Hrsg.) (2006): FT Non-Public 150 - the full list. Internet: <http://www.ft.com/intl/cms/s/2/5de6ef96-8b95-11db-a61f-0000779e2340.html#axzz3JbVPLbuh>, 20.11.2014 und Financial Times (Hrsg.) (2010): Quarterly Updates. Internet: http://web.archive.org/web/20100926113431/http://www.ft.com/cms/s/0/91486938-2586-11dc-b338-000b5df10621,dwp_uid=012d2b08-4c54-11de-a6c5-00144feabdc0.html, 24.11.2014.

¹⁶⁷ Siehe hierzu Financial Times (Hrsg.) (2010): Quarterly Updates. Internet: http://web.archive.org/web/20100926113431/http://www.ft.com/cms/s/0/91486938-2586-11dc-b338-000b5df10621,dwp_uid=012d2b08-4c54-11de-a6c5-00144feabdc0.html, 24.11.2014.

Tabelle 6-3 zeigt ein kombiniertes Ranking aus Marktwertschätzungen für Unternehmen ohne Börsennotierung und Marktwerten für börsennotierte Unternehmen. In diesem kombinierten Ranking gibt es vier Unternehmen, welche den Marktwert des größten börsennotierten Unternehmens überschreiten. Dabei handelt es sich um Unternehmen der Öl- und Gasförderung, wobei der geschätzte Marktwert von Saudi Aramco mit 781 Milliarden US-Dollar alle anderen Werte deutlich übersteigt. In einem jüngeren Artikel der Financial Times aus dem Jahr 2010 wird der Marktwert von Saudi Aramco in Anlehnung an die in Barrel Öl-Äquivalenten gemessene Reserve des Unternehmens im Vergleich zu jener des börsennotierten Unternehmens ExxonMobil auf 7 Billionen US-Dollar geschätzt.¹⁶⁸ Wie belastbar derartige Schätzungen sind, soll hier nicht weiter diskutiert werden. Im Hinblick auf die empirische Relevanz der modifizierten Input-Output-Modellierung zur Schätzung betrieblicher Treibhausgasbilanzen ist lediglich von Interesse, wie groß der Umsatz eines Unternehmens sein kann. In Tabelle 6-4 werden die Unternehmen aus Tabelle 6-3 deshalb nach ihren Umsätzen geordnet. Die Umsatzdaten werden dabei für alle börsennotierten Unternehmen sowie Petróleos de Venezuela SA und Petroliam Nasional Berhad aus dem *Global 500* Ranking der Zeitschrift Fortune von 2012 übernommen. Die Umsätze von Petróleos Mexicanos und Sonatrach wurden direkt deren Jahresberichten entnommen.¹⁶⁹ Zur Umrechnung in US-Dollar wurde das Jahresmittel des Wechselkurses vom *Internal Revenue Service* übernommen.¹⁷⁰ Die Umsätze der übrigen Unternehmen entstammen dem Ranking *DS100* von Dinar Standard aus dem Jahr 2012, welches die 100 umsatzstärksten Unternehmen aus den Mitgliedsländern der *Organization of Islamic Conference* ausweist.¹⁷¹ Dieses Ranking enthält auch Umsatzdaten von Petroliam Nasional Berhad und Sonatrach, die jedoch beide von den Werten der Jahresberichte abweichen.

¹⁶⁸ Siehe hierzu Financial Times v. 05.02.2010, 18: Really Pumped Up.

¹⁶⁹ Siehe hierzu PEMEX (Hrsg.) (o.J.): 2011 - Annual Report. Internet:

<http://www.ri.pemex.com/files/content/Annual%20Report%202011.pdf>, 26.11.2014, 5 und Sonatrach (Hrsg.) (o.J.): Rapport Annuel 2011. Internet: http://www.sonatrach.com/PDF/Rapport_Financier_2011.pdf, 26.11.2014, 27.

¹⁷⁰ Siehe hierzu Internal Revenue Service (Hrsg.) (2014): Yearly Average Currency Exchange Rates Translating foreign currency into U.S. dollars. Internet: <http://www.irs.gov/Individuals/International-Taxpayers/Yearly-Average-Currency-Exchange-Rates>, 26.11.2014.

¹⁷¹ Siehe hierzu Dinar Standard (Hrsg.) (2012): 2012 DS100 - Top 100 Companies of the OIC* Countries. Internet: <http://www.dinarstandard.com/ds100-top-100-companies-oic-organization-islamic-cooperation-countries/>, 26.11.2014.

Tabelle 6-4: Umsätze der Unternehmen mit den höchsten Marktwerten

Ranking	Unternehmen	Land	Sektor	Umsatz in Milliarden USD	Börsennotierung
1	ExxonMobil	USA	Öl und Gas	453	Ja
2	Saudi Aramco	Saudi Arabien	Öl und Gas	365	Nein
3	General Electric	USA	Mischkonzern	148	Ja
4	Petróleos de Venezuela, S.A.	Venezuela	Öl und Gas	125	Nein
5	Petróleos Mexicanos (Pemex)	Mexiko	Öl und Gas	111	Nein
6	Kuwait Petroleum Corporation	Kuwait	Öl und Gas	105	Nein
7	Citigroup	USA	Banken	103	Ja
8	Petroliam Nasional Berhad (Petronas)	Malaysia	Öl und Gas	97	Nein
9	Sonatrach	Algerien	Öl und Gas	75	Nein
10	Microsoft	USA	Software- und Computerdienstleistungen	70	Ja

Eigene Darstellung auf Basis von Fortune (Hrsg.) (2014): GLOBAL 500 2014. Internet: <http://fortune.com/global500/>, 20.11.2014, -> Global 500 2012, Dinar Standard (Hrsg.) (o.J.): 2012 DS100 – Top Companies of the OIC Countries. Internet: <http://www.dinarstandard.com/ds100-top-100-companies-oic-organization-islamic-cooperation-countries/>, 25.11.2014, PEMEX (Hrsg.) (o.J.): 2011 – Annual Report, Internet: <http://www.ri.pemex.com/files/content/Annual%20Report%202011.pdf>, 25.11.2014, 5, Sonatrach (Hrsg.) (o.J.): Rapport Annuel 2011, Internet: http://www.sonatrach.com/PDF/Rapport_Financier_2011.pdf, 26.11.2014, 27 und Internal Revenue Service (Hrsg.) (2014) Yearly Average Currency Exchange Rates Translating foreign currency into U.S. dollars, Internet: <http://www.irs.gov/Individuals/International-Taxpayers/Yearly-Average-Currency-Exchange-Rates>, 26.11.2014.*

Sortiert man die Unternehmen mit den höchsten Marktwerten nach ihren Umsätzen, so zeigt sich, dass nicht mehr Saudi Aramco, sondern das börsennotierte Unternehmen ExxonMobil die Liste anführt. Zur Einschätzung der empirischen Relevanz der modifizierten Model-

lierung sind die größtmöglichen Umsätze von Bedeutung. Da diese offensichtlich bei börsennotierten Unternehmen zu finden sind, werden die empirischen Untersuchungen auf ein Unternehmen des *Global 500* Ranking von Fortune beschränkt.

In der WIOD sind Emissionsdaten nur für die Berichtsjahre 1995 bis 2009 verfügbar. Aktuellste Datengrundlage für um Treibhausgasemissionen erweiterte Input-Output-Modellierungen ist somit das Berichtsjahr 2009. Dementsprechend soll auch jenes *Global 500* Ranking für Umsätze zugrunde gelegt werden, das sich auf Geschäftsjahre bezieht, die am ehesten in dieses Berichtsjahr passen. Dies ist für das Ranking 2010 der Fall, welches Umsätze aus Geschäftsjahren enthält, die zwischen dem 1. April 2009 und dem 31. März 2010 endeten. Tabelle 6-5 zeigt die Top 5 der börsennotierten Unternehmen nach Umsätzen aus den entsprechenden Geschäftsjahren.

Tabelle 6-5: Top 5 der börsennotierten Unternehmen nach Umsätzen aus Geschäftsjahren, die zwischen dem 1. April 2009 und dem 31. März 2010 endeten

Ranking	Unternehmen	Land	Sektor	Umsatz in Milliarden US-Dollar
1	Wal-Mart Stores	USA	Einzelhandel	408
2	Royal Dutch Shell	Niederlande	Öl und Gas	278
3	ExxonMobil	USA	Öl und Gas	276
4	BP	UK	Öl und Gas	239
5	Toyota Motor	Japan	Langlebige Gebrauchsgüter	211

Eigene Darstellung auf Basis von Fortune (Hrsg.) (2014): GLOBAL 500 2014. Internet: <http://fortune.com/global500/>, 27.11.2014, -> Global 500 2010 und Forbes (Hrsg.) (2010): The Global 2000. Internet: http://www.forbes.com/lists/2010/18/global-2000-10_The-Global-2000_Sales.html, 27.11.2014.

Globaler Umsatzführer der börsennotierten Unternehmen für das Berichtsjahr 2009 ist der Einzelhändler Wal-Mart Stores mit einem Umsatz von 408 Milliarden US-Dollar. Handelsun-

ternehmen können jedoch aufgrund der in den Input-Output-Tabellen vorgenommenen Umbuchung der Handelsspannen nicht direkt in eine Input-Output-Tabelle integriert werden.¹⁷² Zur Integration eines Handelsunternehmens in eine Input-Output-Tabelle müsste die Input-Output-Tabelle auf eine Form gebracht werden, in der alle übrigen Sektoren fast ausschließlich mit den Handelssektoren verknüpft wären, was der hier angestrebten Modellierung vor- und nachgelagerter Lieferketten widersprechen würde und deshalb nicht weiter verfolgt wird. An zweiter Stelle des Ranking steht das niederländische Unternehmen Royal Dutch Shell der Öl- und Gasförderung mit 278 Milliarden US-Dollar Umsatz. In Anlehnung an den Jahresbericht 2009 der Royal Dutch Shell wird für die folgenden Untersuchungen zur Relevanz ein Unternehmensbeispiel konstruiert. Im Ranking folgen die Unternehmen ExxonMobil und BP, die beide ebenfalls in der Öl- und Gasförderung tätig sind. Als nächstes Unternehmen einer anderen Branche folgt Toyota Motor an fünfter Stelle des Ranking mit einem Umsatz von 221 Milliarden US-Dollar. Daten der direkten Emissionen eines Unternehmens werden über das Carbon Disclosure Project abgerufen. Als gemeinnützige Organisation verwaltet das Carbon Disclosure Project von Unternehmen berichtete Daten aus den Programmen Klimawandel, Wald und Wasser. Die Datenbank ist die größte ihrer Art.¹⁷³

6.3 Einschätzung der empirischen Relevanz anhand eines konstruierten Unternehmensbeispiels

6.3.1 Grundlage der monetären Unternehmensdaten

Eine Grundlage für das hier konstruierte Unternehmensbeispiel bietet der Jahresbericht 2009 des Royal Dutch Shell. Als multinationaler Konzern ist Royal Dutch Shell sowohl in mehreren Regionen als auch in mehreren Wirtschaftsbereichen tätig. Zahlen nach funktionalen und regionalen Segmenten werden in der Segmentberichterstattung eines Jahresberichtes offengelegt. Royal Dutch Shell wird dabei funktional in die Segmente Upstream, Downstream und Corporate zerlegt. Als Upstream werden hierbei die Suche nach Erdöl und Erdgas, die Gewinnung von Erdöl, Erdgas, Ölsanden und Bitumen, die Erdgasverflüssigung durch Kühlung und die Rückführung in den Gaszustand, die Konvertierung von Erdgas in flüssige Produkte sowie die Erzeugung von Windenergie bezeichnet. Abgesehen von der Wind-

¹⁷² Siehe hierzu Raqué, Clemens (2012): „Treibhausgasemissionen, Einkaufsdaten und Preiskonzepte“, in: Horizonte, Nr. 39.

¹⁷³ Siehe hierzu Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2013): CDP 2014 Klimawandel Informationsanfrage. Internet: <https://www.cdp.net/CDP%20Questionnaire%20Documents/CDP-climate-change-information-request-2014-german.pdf>, 04.12.2014, 20.

energieerzeugung entspricht das Segment Upstream dem Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* aus der WIOD. Die Erzeugung von Windenergie ist Bestandteil des Wirtschaftsbereiches *Energie- und Wasserversorgung*.¹⁷⁴

Als Downstream wird das Raffinieren von Erdöl in Treib- und Brennstoffe, die Herstellung von Petrochemikalien, die Entwicklung von Biokraftstoffen, der Vertrieb und die Lieferung von Produkten sowie das Management von Kohlendioxidemissionen bezeichnet. Diese Tätigkeiten finden sich in mehreren Wirtschaftsbereichen der WIOD wieder. Das Segment Downstream beinhaltet somit bereits in seinen verarbeitenden Bestandteilen sowohl Tätigkeiten des Wirtschaftsbereiches *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* als auch des Wirtschaftsbereiches *Chemische Industrie*. Der Vertrieb und die Lieferung sowie das Management der Kohlendioxidemissionen entsprechen den Wirtschaftsbereichen des Handels und des Transportes.¹⁷⁵

Das Segment Corporate verkörpert entscheidende Unterstützungstätigkeiten wie die Vermögensverwaltung, die Konzernzentrale sowie Versicherungen und andere zentrale Bereiche. Diese Tätigkeiten finden sich sowohl in den Wirtschaftsbereichen *Kredit- und Versicherungsgewerbe* und *Grundstücks- und Wohnungswesen* als auch im Wirtschaftsbereich *Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen*.¹⁷⁶ Weder der Konzern Royal Dutch Shell noch die einzelnen funktionalen Segmente lassen sich somit auf Basis des Jahresberichtes eindeutig bestimmten Wirtschaftsbereichen zuordnen. Tabelle 6-6 zeigt die Umsätze nach funktionalen Segmenten. Der Umsatz des Unternehmens wird dabei durch Verkäufe an externe Kunden bestimmt. Nachrichtlich werden jedoch ferner die Verkäufe an andere Segmente sowie die Summe aus Verkäufen an externe Kunden und Verkäufen an andere Segmente ausgewiesen. Für die weiteren Ausführungen sind jedoch hauptsächlich die Verkäufe an externe Kunden von Bedeutung. Schließlich bilden diese in der extrabetrieblichen Input-Output-Modellierung die Interaktion mit der übrigen Wirtschaft ab. Deshalb wird zusätzlich die Verteilung der Verkäufe an externe Kunden nach funktionalen Segmenten ausgewiesen. Anhand der Verteilung wird deutlich, dass sich die

¹⁷⁴ Siehe hierzu Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009. Internet: <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, „OUR BUSINESSES“ und 11.

¹⁷⁵ Siehe hierzu *ibid.*, „OUR BUSINESSES“.

¹⁷⁶ Siehe hierzu *ibid.*, 11.

Generierung von Umsatz mit 90% hauptsächlich auf das Segment Downstream konzentriert. Im Segment Upstream werden 10% des Umsatzes produziert. Das Segment Corporate fällt mit 0,03% kaum ins Gewicht.

Tabelle 6-6: Umsätze der Royal Dutch Shell nach funktionalen Segmenten im Jahr 2009

Funktionales Segment	Umsatz in Milliarden US-Dollar			Verteilung der Verkäufe an externe Kunden
	Nachrichtlich		Verkäufe an externe Kunden	
	Verkäufe an andere Segmente und externe Kunden	Verkäufe an andere Segmente		
Upstream	55,140	27,144	27,996	10,06%
Downstream	250,362	0,258	250,104	89,90%
Corporate	0,088	0	0,088	0,03%
Summe	305,59	27,402	278,188	100,00%

Eigene Darstellung und Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12.

Im Folgenden wird anhand der geografischen Segmentberichterstattung untersucht, welche regionalen Disaggregationsmöglichkeiten gegeben sind. Im Geschäftsbericht 2009 wird der Umsatz nach vier globalen Regionen aufgeschlüsselt. Dabei handelt es sich jedoch nicht um Produktionsregionen, sondern Absatzregionen. Insofern kann diese regionale Aufschlüsselung eigentlich nicht für die Schätzung von Produktionsaufkommen nach Regionen verwendet werden. Eine regionale Aufschlüsselung nach Produktionsregionen wird im Jahresbericht allerdings nicht veröffentlicht. Deshalb wird im Folgenden angenommen, dass der Umsatz so nah wie möglich am Kunden produziert wird, und die regionale Umsatzaufschlüsselung nach Absatzregionen als Grundlage für die weitere Datenaufbereitung verwendet. Tabelle 6-7 zeigt die regionale Umsatzzusammensetzung von Royal Dutch Shell im Jahr 2009.

Tabelle 6-7: Umsätze der Royal Dutch Shell nach Regionen im Jahr 2009

Region	Umsatz in Milliarden US-Dollar
Europa	103,424
Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	80,398
USA	60,721
Übriges Amerika	33,645
Summe	278,188

Eigene Darstellung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12.

Eine kombinierte Aufschlüsselung des Umsatzes in funktionale und regionale Segmente wird im Jahresbericht nicht veröffentlicht. Dies führt zu der Fragestellung, wie die Umsätze innerhalb der funktionalen Segmente auf die regionalen Segmente verteilt werden sollen. Innerhalb des Upstream-Segments werden für die Produkte Rohöl und Flüssiggase, Erdgas, synthetisches Rohöl, Bitumen und Ölsande für den Verkauf bestimmte Produktionsmengen und Verkaufspreise nach Regionen ausgewiesen. Als Produktionsmengen enthalten diese Daten jedoch sowohl zwischen den Segmenten gehandelte Produkte als auch an externe Kunden verkaufte Produkte. Für die Anwendung im extrabetrieblichen Input-Output-Modell sind allerdings nur jene Produkte von Interesse, die an externe Kunden verkauft werden. Umsätze aus der Suche nach Erdöl und Erdgas und der Förderung von Erdöl und Erdgas werden jenseits der Segmentberichterstattung im Rahmen von Zusatzinformationen sowohl nach Regionen als auch nach Verkäufen an Tochterunternehmen und Verkäufen an externe Kunden untergliedert veröffentlicht. Die Umsätze dienen hierbei als Ausgangspunkt zur Ermittlung der regionalen Jahresergebnisse, so dass es sich um in den Regionen produzierte Umsätze handeln muss. In den Umsatzdaten aus der Suche nach Erdöl und Erdgas und der Förderung von Erdöl und Erdgas ist explizit auch die Produktion von synthetischem Rohöl enthalten. Die Zusatzinformationen unterliegen keiner externen Wirtschaftsprüfung. Mangels Verfügbarkeit regional aufgeschlüsselter geprüfter Umsatzdaten für das Upstream-Segment werden die ungeprüften Umsätze aus der Suche nach Erdöl und Erdgas und der Förderung von Erdöl und Erdgas als Grundlage für die Schätzung der regional aufgeschlüsselten Umsatzdaten des Upstream-Segments verwendet. Letztendlich geht es hier nicht um eine lückenlose Aufschlüsselung der Umsatzdaten des Jahresberichts, sondern vielmehr um mög-

lichst plausible Testdaten für die extrabetriebliche Input-Output-Modellierung. Tabelle 6-8 zeigt die geschätzten Upstream-Umsätze in Milliarden US-Dollar nach Regionen. Dabei wird anhand der ungeprüften Umsätze aus Verkäufen an externe Kunden eine regionale Verteilung ermittelt. Auf Grundlage dieser Verteilung wird die regionale Zusammensetzung des gesamten Upstream-Umsatzes geschätzt. Die ungeprüften Umsätze aus der Suche nach Erdöl und Erdgas und der Förderung von Erdöl und Erdgas verkörpern mit 24,315 Milliarden US-Dollar etwa 87% der insgesamt 27,996 Milliarden US-Dollar Umsatz aus Verkäufen an externe Kunden im gesamten Upstream-Segment. Somit werden circa 13% der regionalen Zusammensetzung des gesamten Upstream-Umsatzes geschätzt und die restlichen 87% auf Grundlage ungeprüfter Daten bestimmt.

Tabelle 6-8: Geschätzte Upstream-Umsätze in Milliarden US-Dollar nach Regionen

Region	Ungeprüfte Umsätze aus Verkäufen an externe Kunden in Milliarden US-Dollar	Regionale Verteilung der ungeprüften Umsätze aus Verkäufen an externe Kunden	Geschätzte Upstream-Umsätze in Milliarden US-Dollar nach Regionen
Europa	7,91	33%	9,107
Asien	7,411	30%	8,533
Australien/Ozeanien	2,054	8%	2,365
Afrika	1,613	7%	1,857
USA	4,668	19%	5,375
Kanada	0,348	1%	0,401
Südamerika	0,311	1%	0,358
Summe	24,315	100%	27,996

Eigene Darstellung und Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und 155-156.

Nach Schätzung der regionalen Zusammensetzung des Upstream-Umsatzes verbleibt die Frage, wie die Umsätze der Segmente Downstream und Corporate auf die Regionen verteilt werden sollen. Im Jahresbericht werden hierzu keine Daten veröffentlicht. In Anbetracht der Tatsache, dass das Segment Corporate lediglich mit 0,03% zum gesamten Umsatz beiträgt, wird die Untergliederung in Downstream und Corporate im Folgenden aufgegeben und das

Segment Corporate als Teil des Segments Downstream interpretiert. Die Umsätze dieses geringfügig erweiterten Downstream-Segments entsprechen den Differenzen zwischen dem gesamten regionalen Umsätzen aus Tabelle 6-7 und den regionalen Upstream-Umsätzen aus Tabelle 6-8. Da die regionale Aufgliederung in Tabelle 6-8 tiefer als jene aus Tabelle 6-7 ist, müssen in Tabelle 6-8 die Regionen *Asien, Australien/Ozeanien* und *Afrika* zur Region *Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* und die Regionen *Kanada und Südamerika* zur Region *Übriges Amerika* aggregiert werden. Tabelle 6-9 zeigt auf dieser regionalen Disaggregationsebene die angenommenen Umsätze im Jahr 2009.

Tabelle 6-9: Angenommene Umsätze nach funktionalen und regionalen Segmenten im Jahr 2009

Region	Umsatz in Milliarden USD		
	Upstream	Downstream und Corporate	Summe
Europa	9,107	94,317	103,424
Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	12,755	67,643	80,398
USA	5,375	55,346	60,721
Übriges Amerika	0,759	32,886	33,645
Summe	27,996	250,192	278,188

Eigene Darstellung und Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und 155-156.

Die angenommenen Umsätze nach funktionalen und regionalen Segmenten aus Tabelle 6-9 werden im Folgenden als monetäre Unternehmensdaten für die extrabetriebliche Input-Output-Modellierung verwendet. Die Ausführungen zur Gewinnung der Umsatzdaten nach funktionalen Segmenten und Regionen haben verdeutlicht, dass es sich dabei nicht um eine exakte betriebliche Treibhausgasbilanzierung der Royal Dutch Shell handeln kann. Vielmehr soll anhand einigermaßen plausibler Testdaten die Anwendung der unterschiedlichen Ansätze evaluiert werden.

6.3.2 Input-Output-Modellierung auf Grundlage monetärer Unternehmensdaten

Sollen die angenommenen Umsatzdaten nach funktionalen und regionalen Segmenten in ein unternehmens- und rückkopplungsbereinigtes Input-Output-Modell auf Grundlage der

WIOD integriert werden, so müssen zunächst Äquivalenzen zwischen den funktionalen Segmenten und Wirtschaftsbereichen definiert werden. Hierbei wird unterstellt, dass das Upstream-Segment ausschließlich im Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* und das erweiterte Downstream-Segment ausschließlich im Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* agiert. Ohne diese Unterstellung müssten Wirtschaftsbereiche entsprechend der funktionalen Segmente aggregiert werden. Dies würde wiederum die Aussagekraft der Input-Output-Verflechtungen reduzieren.

Ferner müssen die Regionen einander angepasst werden. Da die Region *Übrige Welt* der WIOD sowohl Staaten der Umsatzregion *Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* als auch der Umsatzregion *Übriges Amerika* sowie der Umsatzregion *Europa* enthält, müssten diese Umsatzregionen für eine konsistente Berechnung aggregiert werden. In der Umsatzregion *Europa* ist Shell in 25 Ländern tätig, von denen 21 Länder über die Regionen *Eurozone* und *Übrige EU-27* abgedeckt werden. Bei den fehlenden Ländern handelt es sich um Gibraltar, Norwegen, die Schweiz und die Ukraine. Um die Region *Europa* als umsatzstärkste Region in der Testmodellierung aufrecht zu erhalten, wird über diese Inkonsistenz hinweggesehen und die Umsatzregion *Europa* als äquivalent zu den Regionen *Eurozone* und *Übrige EU-27* definiert. Die Umsatzregion *Übriges Amerika* umfasst 17 Länder, von denen die drei Länder Kanada, Mexiko und Brasilien als separate Regionen in der WIOD ausgewiesen werden. Von insgesamt 56 Ländern, die in der Umsatzregion *Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* enthalten sind, werden in der WIOD die acht Länder China, Indien, Indonesien, Japan, Russland, Taiwan, die Türkei und Australien separat ausgewiesen.¹⁷⁷ Aufgrund der zahlreichen Länder der Umsatzregionen *Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* und *Übriges Amerika*, die in der WIOD im Aggregat *Übrige Welt* enthalten sind, werden die beiden Umsatzregionen aggregiert. Es verbleibt somit ein globales Drei-Regionen-Modell mit den Regionen *Europa, USA* und allen übrigen Ländern der Welt als dritte Region. Tabelle 6-10 zeigt eine Zuordnungstabelle zwischen Umsatzregionen und Input-Output-Regionen sowie die entsprechenden Umsätze der funktionalen Segmente.

¹⁷⁷ Siehe hierzu *ibid.*, 5.

Tabelle 6-10: Zuordnungstabelle zwischen Umsatzregionen und Input-Output-Regionen sowie die entsprechenden Umsätze der funktionalen Segmente

Royal Dutch Shell	World Input-Output Database		Umsatz in Milliarden US-Dollar	
	7-Regionen-Tabelle	41-Regionen-Tabelle	Upstream	Downstream und Corporate
Europa	Eurozone; Übrige EU-27		9,107	94,317
USA		USA	5,375	55,346
Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	China; Ostasien; BRIIAT; Übrige Welt	Kanada; Mexiko	13,514	100,529

Eigene Darstellung und Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und Dietzenbacher, Erik/Los, Bart/Stehrer, Robert et al. (2013): „The Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project“, in: Economic System Research, 25. Jg., Heft 1, 95.

Werden die Daten der WIOD entsprechend Tabelle 6-10 aggregiert, so ist eine gesamtwirtschaftliche Datengrundlage für die Input-Output-Verflechtungen und Treibhausgasemissionen geschaffen. Um diese in ein extrabetriebliches Modell überzuleiten, muss der Unternehmensoutput nach Abnehmern und der Unternehmensinput nach Lieferanten integriert werden. Zur Schätzung des Unternehmensoutput nach Abnehmern werden die Umsätze mit den Outputkoeffizienten der entsprechenden Wirtschaftsbereiche und Regionen multipliziert. Die Schätzung des Unternehmensinputs nach Lieferanten erfolgt analog durch Multiplikation der Umsätze mit den Inputkoeffizienten der entsprechenden Wirtschaftsbereiche und Regionen. Durch Multiplikation der Umsätze mit den direkten Emissionsintensitäten der entsprechenden Wirtschaftsbereiche und Regionen werden die Emissionen des betrachteten Unternehmens geschätzt.

Die Royal Dutch Shell hat für das Jahr 2009 im Rahmen des Carbon Disclosure Projects Treibhausgasemissionsdaten veröffentlicht. Die Darstellung in CO₂-e basiert dabei auf den Treibhauspotentialen für einen Zeithorizont von 100 Jahren, die im zweiten Sachstandbericht des

Intergovernmental Panel on Climate Change im Jahr 1995 veröffentlicht wurden.¹⁷⁸ Obgleich inzwischen mehrere Aktualisierungen der Treibhauspotentiale erfolgt sind, werden auch hier die Treibhauspotentiale aus dem Jahr 1995 verwendet, um die später erfolgende Integration der Emissionsdaten der Royal Dutch Shell in die Modellierungen zu ermöglichen. Somit werden Methanemissionen mit dem Faktor 21 und Distickstoffmonoxidemissionen mit dem Faktor 310 gewichtet.¹⁷⁹

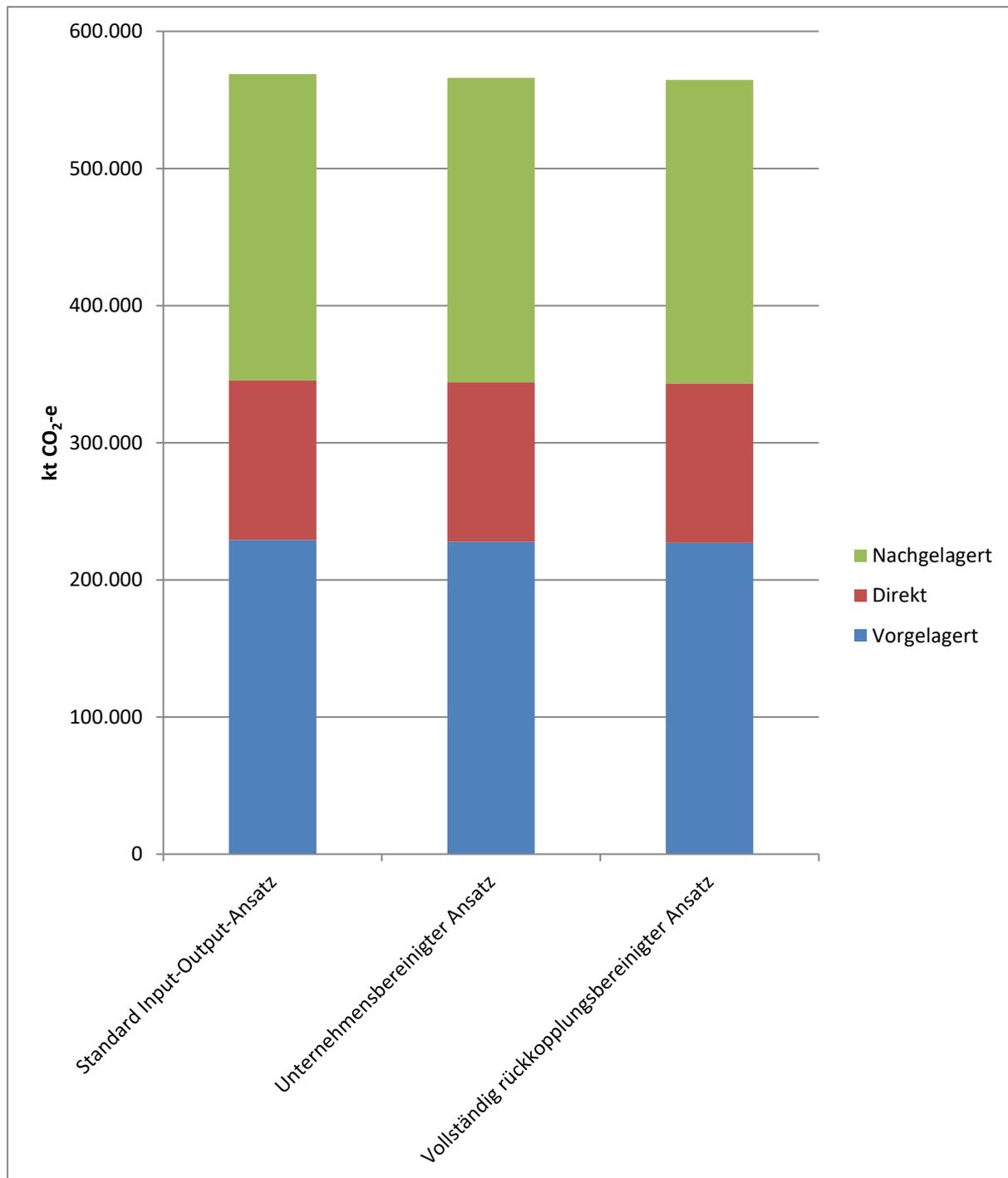
Auf Grundlage der getroffenen Annahmen bezüglich Wirtschaftsbereichen, Regionen, Umsatzverteilung und Treibhauspotentialen können schließlich Treibhausgasbilanzen nach den drei zu vergleichenden Ansätzen berechnet werden. Abbildung 6-1 stellt die Ergebnisse dieser Berechnungen grafisch dar.

¹⁷⁸ Siehe hierzu Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet:

<https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014.

¹⁷⁹ Siehe hierzu United Nations Framework Convention on Climate Change (Hrsg.) (2014): Global Warming Potentials. Internet: http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php, 30.04.2015.

Abbildung 6-1: Ergebnisse der Ansätze im Vergleich



Eigene Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Abbildung 6-1 verdeutlicht vor allem, dass mit bloßem Auge keine Fehler bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber

des als Referenz gewählten vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes zu erkennen sind. Die zugrundeliegenden Zahlen sind in Tabelle 6-11 aufgelistet.

Tabelle 6-11: Ergebnisse der Ansätze in Kilotonnen (kt) Kohlendioxidäquivalenten (CO₂-e)

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz	Vollständig rückkopplungsbereinigter Ansatz
Vorgelagert	229.251	227.804	227.084
Direkt	116.200	116.200	116.200
Nachgelagert	223.340	222.034	221.314
Summe	568.791	566.038	564.598

Eigene Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Die Zahlen aus Tabelle 6-11 bestätigen, dass sich die Ergebnisse unter Anwendung der drei verglichenen Ansätze kaum unterscheiden. Insgesamt werden unter Anwendung des Standard Input-Output-Ansatzes 568.791, unter Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes 566.038 und unter Anwendung des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes 564.598 kt CO₂-e ausgewiesen. Bei Emissionen von mehr als einer halben Million kt CO₂-e unterscheiden sich die Ergebnisse der drei Ansätze somit lediglich um etwa 3.000 bis 4.000 kt CO₂-e. Auch innerhalb der Bereiche können keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden. Je nach Ansatz variieren die vorgelagerten Emissionen lediglich zwischen 227.084 und 229.251 sowie die nachgelagerten Emissionen lediglich zwischen 221.314 und 223.340 kt CO₂-e. Bei vor- und nachgelagerten Emissionen in einer Größenordnung von je etwa 200.000 kt CO₂-e unterscheiden sich die Ergebnisse der drei Ansätze somit lediglich um etwa 1.000 bis 2.000 kt CO₂-e. Die prozentualen Fehler werden in Tabelle 6-12 aufgelistet.

Tabelle 6-12: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes in Prozent

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Vorgelagert	0,95%	0,32%
Nachgelagert	0,92%	0,33%
Vorgelagert, direkt und nachgelagert	0,74%	0,26%

Eigene Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Die Zahlen in Tabelle 6-12 zeigen, dass die Überschätzung der vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes lediglich 0,74% und bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes lediglich 0,26% beträgt. Innerhalb der vorgelagerten Emissionen werden die Ergebnisse bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes um 0,95% und bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes um 0,32% überschätzt. Die Ergebnisse der nachgelagerten Emissionen werden unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes um 0,92% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes um 0,33% überschätzt. Somit können die Fehler bereits durch Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes fast auf ein Drittel reduziert werden. Sollen die Ergebnisse zur Identifikation von Hot Spots nach liefernden und empfangenden Wirtschaftsbereichen und Regionen aufgliedert werden, so stellt sich die Frage, für welche dieser Handelspartnergruppen die Fehler am höchsten ausfallen. In Tabelle 6-13 werden deshalb zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen aufgelistet, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-13: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	4,05%	0,78%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	Europa	3,71%	0,62%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Europa	3,23%	0,44%
Luftfahrt	USA	3,03%	1,01%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	Europa	2,94%	0,53%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	USA	2,85%	0,41%
Chemische Industrie	Europa	2,66%	0,50%
Baugewerbe	USA	2,47%	0,31%
Luftfahrt	Europa	2,45%	0,98%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	USA	2,39%	0,60%

Eigene Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-13 zeigt, dass bei Aufgliederung nach liefernden Handelspartnergruppen die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zur Berechnung vorgelagerter Emissionen zu Fehlern unterhalb von 5% führt. Im Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa* ist der Fehler mit 4,05% am höchsten. Da das Beispielunternehmen in diesem Bereich selbst stark vertreten ist, hat die Bereinigung um den eigenen Unternehmensbeitrag hier eine stärkere Auswirkung. Im weite-

ren Verlauf der Auflistung finden sich auffällig viele Handelspartnergruppen aus dem Transportwesen sowie die Handelspartnergruppen *Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)*, *Chemische Industrie* und *Baugewerbe*. Die Konzentration von Handelspartnergruppen aus dem Transportwesen und Handel ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass in den Input-Output-Tabellen der WIOD sowohl Handels- als auch Transportspannen von den Handelspartnergruppen der gehandelten und transportierten Güter auf die Handelspartnergruppen aus dem Transportwesen und Handel umgebucht werden.¹⁸⁰ Somit liefert das Beispielunternehmen nicht nur seine verkauften Produkte an den Abnehmer, sondern auch die Handelsspanne an den Großhandel und die Transportspanne an das Transportwesen. Als Mineralölproduzent ist das Beispielunternehmen im Transportwesen zusätzlich ein essentieller Lieferant von Inputs. Letzteres gilt ebenfalls für die Handelspartnergruppen *Chemische Industrie* in *Europa* und *Baugewerbe* in den *USA*. Innerhalb der zehn Handelspartnergruppen sind ausschließlich Wirtschaftsbereiche aus *Europa* und den *USA* vertreten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Beispielunternehmen in diesen beiden Regionen im Verhältnis zur übrigen Wirtschaft stärker vertreten ist als in der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*. Insgesamt zeigt sich, dass die höchsten Fehler bei Handelspartnergruppen auftreten, die wesentliche Abnehmer vom Beispielunternehmen sind. Im Vergleich der Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes mit jenen des unternehmensbereinigten Ansatzes wird deutlich, dass ein Ranking nach Fehlern unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes offenbar zu einer abweichenden Liste führen würde. Tabelle 6-14 zeigt deshalb das Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen.

¹⁸⁰ Vgl. Timmer, Marcel (Hrsg.) (2012), op. cit., 37.

Tabelle 6-14: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Luftfahrt	USA	3,03%	1,01%
Schifffahrt	USA	2,38%	0,99%
Luftfahrt	Europa	2,45%	0,98%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	4,05%	0,78%
Luftfahrt	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,61%	0,66%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	Europa	3,71%	0,62%
Schifffahrt	Europa	2,22%	0,61%
Schifffahrt	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,38%	0,61%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	USA	2,39%	0,60%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	Europa	2,94%	0,53%

Eigene Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-14 zeigt, dass die zehn höchsten Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes innerhalb der vorgelagerten Emissionen alle in Wirtschaftsbereichen des Transportwesens liegen. Der höchste Fehler entsteht mit 1,01% in der Handelspartnergruppe *Luftfahrt* in *Europa*. Die Konzentration des Transportwesens ist darauf zurückzuführen, dass im Transportwesen Mineralölprodukte ein wesentlicher Input sind, welche dort zu neuen Emissionen führen. Werden diese Emissionen vollständig als nachgelagerte Emissionen quantifiziert, so fallen die Doppelzählungen bei den Inputs aus dem Transportwesen entsprechend hoch aus. Mit Tabelle 6-13 und Tabelle 6-14 wurde gezeigt, für welche Handelspartnergruppen die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

In Tabelle 6-15 werden zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen aufgelistet, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-15: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensberechtigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Europa	6,48%	1,59%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	USA	3,57%	1,39%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	2,97%	0,86%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	2,93%	0,63%
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	Europa	1,88%	0,24%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Europa	1,83%	0,25%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,61%	0,30%
Maschinenbau	Europa	1,58%	0,32%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	Europa	1,50%	0,27%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	Europa	1,50%	0,26%

Eigene Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-15 zeigt, dass bei Aufgliederung nach liefernden Handelspartnergruppen die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zur Berechnung nachgelagerter Emissionen zu Fehlern unterhalb von 7% führt. Die höchsten Fehler entstehen bei den Handelspartnergruppen des Wirtschaftsbereichs *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in allen drei Regionen, wobei der Fehler in *Europa* bei 6,48%, in den *USA* bei 3,57% und in der Region

Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien bei 2,97% liegt. Das Beispielunternehmen ist in diesen Handelspartnergruppen selbst stark vertreten. Darüber hinaus sind die Handelspartnergruppen wichtige Lieferanten des Beispielunternehmens. Insofern entstehen hier bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes neben verhältnismäßig starken Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrages auch verhältnismäßig starke Doppelzählungen aufgrund der bezogenen Vorleistungen. Gefolgt wird das Ranking von der Handelspartnergruppe *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa* mit einem Fehler von 2,93% unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes. Dabei gilt ebenfalls, dass das Beispielunternehmen in dieser Handelspartnergruppe selbst stark vertreten ist und die Handelspartnergruppe ein wichtiger Lieferant des Beispielunternehmens ist. Dementsprechend kommt es auch hier zu verhältnismäßig hohen Doppelzählungen aufgrund des eigenen Unternehmensbeitrages und der bezogenen Vorleistungen.

Darauf folgt die Handelspartnergruppe *Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern* in *Europa* mit einem Fehler von 1,88% sowie die Handelspartnergruppen *Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)* in *Europa* mit einem Fehler von 1,83% und in der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* mit einem Fehler von 1,61% unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes. Diese drei Handelspartnergruppen haben gemeinsam, dass sie sowohl Lieferanten als auch Empfänger der umgebuchten Handelsspannen sind. Deshalb entstehen über die Input-Output-Verflechtungen relativ starke Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrags und bezogener Vorleistungen. Obwohl das Beispielunternehmen in der Region *USA* im Verhältnis zur übrigen Wirtschaft stärker als in der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* vertreten ist, entsteht beim Großhandel offensichtlich ein höherer Fehler in der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* als in den *USA*. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Handelspartnergruppen des Wirtschaftsbereiches *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in allen drei Regionen, in denen das Beispielunternehmen mit dem funktionalen Segment *Downstream und Corporate* stark vertreten ist, sehr hohe Inputs aus dem Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* beziehen. Über die umgebuchten Handels-

spannen sind auch die Inputs des Wirtschaftsbereiches *Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)* entsprechend hoch.

Im Ranking folgen die Handelspartnergruppen *Maschinenbau in Europa* mit einem Fehler von 1,58%, *Kredit- und Versicherungsgewerbe in Europa* mit einem Fehler von 1,50% und *Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen in Europa* mit einem Fehler von 1,50% unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes. Auch diese Handelspartnergruppen haben gemeinsam, dass sie wesentliche Vorleister des Beispielunternehmens sind und die Doppelzählungen dementsprechend hoch ausfallen. Innerhalb der zehn aufgelisteten Handelspartnergruppen sinken die Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes mit den Fehlern unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes. Bei den vorgelagerten Emissionen hat sich jedoch gezeigt, dass ein Ranking nach Fehlern unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes abweichen kann. Tabelle 6-16 zeigt deshalb das Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-16: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Europa	6,48%	1,59%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	USA	3,57%	1,39%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	2,97%	0,86%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	2,93%	0,63%
Energie- und Wasserversorgung	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	0,55%	0,38%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,44%	0,38%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,25%	0,38%
Maschinenbau	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,30%	0,38%
Schifffahrt	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	0,69%	0,35%
Private Haushalte	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,33%	0,35%

Eigene Berechnung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Die ersten vier Handelspartnergruppen aus Tabelle 6-16 entsprechen jenen, die auch unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zu den höchsten Fehlerbeträgen führten. Die Fehler des unternehmensbereinigten Ansatzes liegen bei Werten zwischen 1,59% und 0,63%. Somit entstehen die höchsten Fehlerwerte bei Handelspartnern des Wirtschaftsbereiches *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in allen drei Regionen. Das

Downstream-Segment bezieht einen wesentlichen Teil seiner Inputs von diesen Handelspartnergruppen, so dass ein relativ hohes Ausmaß vorgelagerter Emissionen quantifiziert wird. Wird dies bei Lieferungen an diese Handelspartnergruppen nicht berücksichtigt, so entstehen verhältnismäßig höhere Fehler bei der Quantifizierung nachgelagerter Emissionen. Der Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa* ist wichtiger direkter Lieferant im Downstream-Segment, der darüber hinaus noch einen wesentlichen Anteil seiner eigenen Inputs aus dem Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in allen drei Regionen bezieht. Dementsprechend hoch ist das Ausmaß quantifizierter vorgelagerter Emissionen, welches zu Fehlern bei der Quantifizierung nachgelagerter Emissionen führt.

An fünfter bis zehnter Stelle folgen hingegen Handelspartnergruppen, die unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes jenseits der zehn Handelspartnergruppen mit den höchsten Fehlerbeträgen liegen. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nehmen die Fehler bei diesen Handelspartnergruppen Werte zwischen 0,38% und 0,35% ein. Letztere stammen alle aus der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*, in denen das Beispielunternehmen im Verhältnis zur übrigen Wirtschaft am schwächsten vertreten ist, und umfassen die Wirtschaftsbereiche *Energie- und Wasserversorgung, Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen, Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen, Maschinenbau, Schifffahrt* und *Private Haushalte*. Offensichtlich sind diese Wirtschaftsbereiche aus der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* emissionsrelevante indirekte Vorleister des Beispielunternehmens, so dass bei Lieferung an diese Handelspartner verhältnismäßig hohe Doppelzählungen entstehen.

Bislang wurde die Bereinigung nur anhand der monetären Daten durchgeführt. Dabei wurde gezeigt, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes die vorgelagerten Emissionen um 0,95%, die nachgelagerten Emissionen um 0,92% sowie die Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen um 0,74% überschätzt werden. Die Überschätzungen der Bereiche *vorgelagert* und *nachgelagert* sowie der Summe aus *vorgelagert, direkt und nachgelagert* liegen somit alle unterhalb von 1%. Durch Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes werden diese Fehler im Bereich *vorgelagert* auf 0,32%, im Bereich *nachgelagert* auf 0,33% und in der Summe aus *vorgelagert, direkt und nachgela-*

gert auf 0,26% reduziert. Somit können die Fehler hier durch Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bereits auf etwa ein Drittel reduziert werden. In der detaillierteren Betrachtung der vorgelagerten Emissionen nach Handelspartnergruppen hat sich gezeigt, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes der höchste Fehler bei 4,05% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes der höchste Fehler bei 1,01% liegt. Im Bereich der vorgelagerten Emissionen entstehen vor allem bei jenen Handelspartnergruppen hohe Fehler, die direkt oder indirekt wesentliche Abnehmer der Produkte des betrachteten Unternehmens sind. In der detaillierteren Betrachtung der nachgelagerten Emissionen nach Handelspartnergruppen hat sich gezeigt, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes der höchste Fehler bei 6,48% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes der höchste Fehler bei 1,59% liegt. Im Bereich der nachgelagerten Emissionen entstehen vor allem bei jenen Handelspartnergruppen hohe Fehler, die direkt oder indirekt wesentliche Vorleister des betrachteten Unternehmens sind. Insgesamt hat sich in der detaillierten Betrachtung gezeigt, dass hohe Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nicht zwangsläufig mit hohen Fehlern unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes einhergehen. Beim Standard Input-Output-Ansatz überwiegt offenbar die Doppelzählung des eigenen Unternehmensbeitrages, so dass im Bereich der vorgelagerten Emissionen das Ausmaß der direkten oder indirekten Abnahme der Produkte des Beispielunternehmens und im Bereich der nachgelagerten Emissionen das Ausmaß der direkten oder indirekten Vorleistungen an das Beispielunternehmen ausschlaggebend für hohe Fehlerwerte ist. Beim unternehmensbereinigten Ansatz wird das Ausmaß der Fehler hingegen zusätzlich durch die Emissionsintensität der Weiterverarbeitung bei den vorgelagerten Emissionen und die Emissionsintensität der Vorleistungen bei den nachgelagerten Emissionen bestimmt. Um zu untersuchen, inwiefern sich die unternehmensspezifischen direkten Emissionen auf die Ergebnisse auswirken, werden im folgenden Abschnitt spezifische Emissionswerte für das Beispielunternehmen unterstellt und in die unterschiedlichen Ansätze integriert.

6.3.3 Unternehmensspezifische Emissionsdaten

Zur Gewährleistung einer plausiblen Evaluierung wird auch bei der Integration unternehmensspezifischer Emissionen zunächst auf Emissionsdaten der Royal Dutch Shell zurückgegriffen. Diese werden dem Carbon Disclosure Project entnommen. Für das Berichtsjahr 2009

werden dabei 67 Millionen Tonnen (t) CO₂-e als direkte Emissionen ausgewiesen.¹⁸¹ Während die Emissionsdaten der WIOD nur CO₂, CH₄ und N₂O enthalten, umfassen die Emissionsdaten der Royal Dutch Shell darüber hinaus Emissionen aus HFCs, PFCs und SF₆ in Höhe von insgesamt 32.080 t CO₂-e. Dies entspricht lediglich 0,05% der insgesamt ausgewiesenen direkten Emissionen und wird deshalb im Folgenden vernachlässigt. Die Emissionen werden entweder nach funktionalen Segmenten oder nach Regionen aufgeschlüsselt. Eine kombinierte Aufschlüsselung nach funktionalen Segmenten und Regionen wird nicht veröffentlicht. Funktional werden die Emissionen in die Segmente *Downstream*, *Upstream (other than flaring)*, *Upstream flaring* und *Shipping* untergliedert. Aggregiert man *Upstream (other than flaring)* und *Upstream flaring* zum Jahresberichtsegment *Upstream* sowie *Downstream* und *Shipping* zum Jahresberichtsegment *Downstream*, welches auch den Transport per Schifffahrt enthält, so erhält man eine Aufgliederung der Emissionen in funktionale Segmente, welche abgesehen vom Segment *Corporate* jener aus dem Jahresbericht entspricht. Im Segment *Corporate* werden keine wesentlichen Umsätze erwirtschaftet, so dass das Segment bereits bei der Umsatzdatenaufbereitung zum Segment *Downstream und Corporate* aggregiert wurde. Tabelle 6-17 zeigt die direkten Emissionen der Royal Dutch Shell nach funktionalen Segmenten auf jener Aggregationsebene, die bei der Aufbereitung der monetären Daten verwendet wurde. Dabei werden die veröffentlichten direkten Emissionen den direkten Emissionen gegenübergestellt, die aus den Umsatzdaten entsprechend der direkten Emissionsintensitäten nach Regionen und Sektoren berechnet wurden und in die Ergebnisse der rein monetären Bereinigung eingeflossen sind. Die letzte Spalte zeigt das Ausmaß der Fehler, welche bei Berechnung anhand angenommener Umsatzverteilung entstehen.

¹⁸¹ Siehe hierzu Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010), op. cit.

Tabelle 6-17: Direkte Emissionen der Royal Dutch Shell nach funktionalen Segmenten im Jahr 2009

Funktionales Segment	Direkte Emissionen in kt CO ₂ -e		Fehler der Berechnung anhand der angenommenen Umsatzverteilung
	Veröffentlichung von Royal Dutch Shell	Berechnung anhand der angenommenen Umsatzverteilung	
Upstream	22.500	17.777	-21%
Downstream und Corporate	44.500	98.422	121%
Summe	67.000	116.200	73%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-17 zeigt, dass die direkten Emissionen aus dem Upstream-Segment entsprechend der direkten Emissionsintensitäten um 21% unterschätzt und die direkten Emissionen aus dem Segment *Downstream und Corporate* entsprechend der direkten Emissionsintensitäten um 121% überschätzt wurden. Somit ist die Schätzung der direkten Emissionen aus dem Upstream-Segment deutlich besser als jene aus dem Segment *Downstream und Corporate*. Insgesamt wurden die direkten Emissionen um 73% überschätzt. Regional werden die direkten Emissionen der Royal Dutch Shell des Jahres 2009 im Carbon Disclosure Project nicht kongruent zu den regionalen Segmenten aus dem Jahresbericht veröffentlicht.¹⁸² Direkte Emissionen aus den USA werden in der Region *Nordamerika* subsummiert, in welcher Royal Dutch Shell neben den USA im Jahr 2009 in neun weiteren Ländern tätig war.¹⁸³ Für einen Vergleich der regionalen direkten Emissionen entsprechend Veröffentlichung mit den direkten Emissionen entsprechend Berechnung anhand der Umsätze und direkten Emissionsintensitäten müssen die Regionen *USA und Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* deshalb aggregiert werden, so dass letztendlich nur zwei Regionen für den Ver-

¹⁸² Siehe hierzu *ibid.*

¹⁸³ Siehe hierzu Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.), *op. cit.*, 5.

gleich verbleiben. Hinzu kommt, dass bei der geografischen Aufschlüsselung 3.500 kt CO₂-e der Region *Hohe See* zugewiesen werden. Die entspricht etwa 5% der 67.000 kt CO₂-e, die insgesamt als direkte Emissionen ausgewiesen werden. Eine Einbindung in die Input-Output-Tabellen der WIOD würde zur Auflösung der Region *Hohe See* führen. Der WIOD liegt das System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen 1993 zugrunde.¹⁸⁴ Entsprechend des Systems Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen 1993 werden Aktivitäten auf Hoher See territorial jener Volkswirtschaft des Betreibers der Aktivität zugeordnet.¹⁸⁵ Im regionalen Vergleich werden die direkten Emissionen der Region *Hohe See* deshalb entsprechend der proportionalen regionalen Zusammensetzung der übrigen direkten Emissionen auf die Regionen verteilt. Tabelle 6-18 stellt die veröffentlichten direkten Emissionen nach Verteilung der Region *Hohe See* den berechneten direkten Emissionen gegenüber und zeigt das Ausmaß der Fehler, welche bei Berechnung mittels direkter Emissionsintensitäten entstehen.

Tabelle 6-18: Direkte Emissionen der Royal Dutch Shell nach Regionen im Jahr 2009

Region	Direkte Emissionen in kt CO ₂ -e		Fehler der Berechnung anhand der angenommenen Umsatzverteilung
	Veröffentlichung von Royal Dutch Shell	Berechnung anhand der angenommenen Umsatzverteilung	
Europa	21.630	35.249	63%
Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	45.370	80.951	78%
Summe	67.000	116.200	73%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-18 wird ersichtlich, dass die direkten Emissionen mittels Berechnung anhand der angenommenen Umsatzverteilung in Europa um 63% und die direkten Emissionen der

¹⁸⁴ Siehe hierzu Dietzenbacher, Erik/Los, Bart/Stehrer, Robert et al. (2013), op. cit., 78.

¹⁸⁵ Siehe hierzu Inter-Secretariat Working Group on National Accounts (Hrsg.) (1993): System of National Accounts 1993. Brüssel/Luxemburg, New York, Paris, Washington, D.C.: Commission of the European Communities - Eurostat, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations, World Bank, 405.

übrigen Regionen um 78% überschätzt wurden. Während bei den funktionalen Segmenten die direkten Emissionen im Upstream-Segment um 21% unterschätzt und die direkten Emissionen im Segment *Downstream und Corporate* um 121% überschätzt wurden, zeigt sich beim regionalen Vergleich für die beiden abbildbaren Regionen eine Überschätzung. Die regionalen Fehler liegen mit 63% und 78% auch näher am Fehler von 73%, welcher bei der Summe der direkten Emissionen entsteht.

Zur Bereinigung der Input-Output-Ansätze um die veröffentlichten direkten Emissionen müssen letztere nach funktionalen und regionalen Segmenten aufgliedert werden. Bekannt sind hierbei einerseits die Summen nach funktionalen und regionalen Segmenten aus den veröffentlichten Emissionsdaten und andererseits die Zusammensetzung der angenommenen Emissionen in kombinierter Aufgliederung nach funktionalen und regionalen Segmenten. Zur Schätzung direkter Emissionen nach funktionalen und regionalen Segmenten, deren Summen den veröffentlichten Daten entsprechen, werden die veröffentlichten direkten Emissionen wie beim RAS-Verfahren auf die funktionalen und regionalen Segmente verteilt. Der Begriff RAS verkörpert keine Abkürzung, sondern basiert auf der mathematischen Formulierung der Methodik unter Anwendung der üblicherweise verwendeten Notation.¹⁸⁶ Im Folgenden wird das iterative Annäherungsverfahren direkt anhand der Anwendung erklärt und auf die Einführung zusätzlicher Notation verzichtet. Tabelle 6-19 zeigt die Ausgangssituation zur Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente. In der Zentralmatrix werden dabei die direkten Emissionen aus der Berechnung anhand Umsatzdaten und direkter Emissionsintensitäten in kt CO₂-e dargestellt. Rechts der Zentralmatrix werden die Zeilensummen sowie deren Anteil an der angestrebten Zeilensumme aufgeführt. Unterhalb der Zentralmatrix werden analog die Spaltensummen sowie deren Anteil an den angestrebten Spaltensummen aufgelistet.

¹⁸⁶ Siehe hierzu Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 313-315.

Tabelle 6-19: Ausgangsbasis zur Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente

Region\Funktion	Upstream	Downstream und Corporate	Zeilensumme	Anteil an der angestrebten Zeilensumme
Europa	4.029	31.220	35.249	163%
Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	13.748	67.202	80.951	178%
Spaltensumme	17.777	98.422		
Anteil an der angestrebten Spaltensumme	79%	221%		

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

In der Ausgangssituation decken die Zeilensummen 163% der veröffentlichten direkten Emissionen in der Region *Europa* und 178% der veröffentlichten direkten Emissionen in der Region *Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* ab. Die Spaltensummen entsprechen 79% der veröffentlichten direkten Emissionen im Upstream-Segment und 221% der veröffentlichten direkten Emissionen im Segment *Downstream und Corporate*. Eine Korrektur der Werte in der Zentralmatrix kann entweder zeilenweise oder spaltenweise erfolgen. Da die regionale Aufgliederung der Fehler deutlich näher am gesamten Fehler als die funktionale Aufgliederung liegt, hat in der Ausgangssituation die Spaltenkorrektur einen größeren Effekt als die Zeilenkorrektur. Deshalb werden hier in der ersten Iterationsstufe die Spalten korrigiert. Dazu werden die Werte der Zentralmatrix durch die jeweiligen Anteile an der erzielten Spaltensumme dividiert. Tabelle 6-20 zeigt das Ergebnis nach der ersten Iteration.

Tabelle 6-20: Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente nach der ersten Iteration

Region\Funktion	Upstream	Downstream und Corporate	Zeilensumme	Anteil an der angestrebten Zeilensumme
Europa	5.099	14.116	19.215	89%
Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	17.401	30.384	47.785	105%
Spaltensumme	22.500	44.500		

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Mit der ersten Iteration wurden die Werte der Zentralmatrix bezüglich der angestrebten Spaltensummen korrigiert. Die Zeilensummen weichen jedoch immer noch von den angestrebten Werten ab. Im zweiten Iterationsschritt werden deshalb die Werte der Zentralmatrix durch die jeweiligen Anteile an den angestrebten Zeilensummen dividiert. Tabelle 6-21 zeigt das Ergebnis nach der zweiten Iteration.

Tabelle 6-21: Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente nach der zweiten Iteration

Region\Funktion	Upstream	Downstream und Corporate	Zeilensumme
Europa	5.740	15.890	21.630
Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	16.521	28.849	45.370
Spaltensumme	22.262	44.738	
Anteil an der angestrebten Spaltensumme	99%	101%	

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Mit der zweiten Iteration wurden die Werte der Zentralmatrix bezüglich der angestrebten Zeilensummen korrigiert. Daraufhin weichen jedoch wiederum die Spaltensummen von ih-

ren Sollwerten ab. Die Werte der Zentralmatrix werden deshalb solange abwechselnd bezüglich der Spalten- und Zeilensummen korrigiert bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt wird. Als zufriedenstellendes Ergebnis werden hier auf ganze Zahlen gerundete Werte festgelegt, was wiederum kt CO₂-e entspricht. Dieses zufriedenstellende Ergebnis wird nach der fünften Iteration erreicht und in Tabelle 6-22 gezeigt.

Tabelle 6-22: Verteilung der veröffentlichten Emissionen auf funktionale und regionale Segmente nach der fünften Iteration

Region\Funktion	Upstream	Downstream und Corporate	Zeilensumme
Europa	5.809	15.821	21.630
Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	16.691	28.679	45.370
Spaltensumme	22.500	44.500	

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Sollen die Werte aus Tabelle 6-22 in die Input-Ansätze integriert werden, so müssen entweder die Input-Output-Daten auf ein Zwei-Regionen-Modell aggregiert oder die direkten Emissionen der zweiten Region anhand einer Annahme disaggregiert werden. Im Folgenden soll das Drei-Regionen-Modell erhalten bleiben. Dazu wird auf die direkten Emissionen zurückgegriffen, welche anhand der angenommenen Umsätze und der direkten Emissionsintensitäten für die Regionen *USA* und *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* nach funktionalen Segmenten berechnet wurden. Tabelle 6-23 zeigt die Verteilung der anhand angenommener Umsätze und direkter Emissionsintensitäten berechneten direkten Emissionen der Region *Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* auf die Regionen *USA* und *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* nach funktionalen Segmenten. Dabei werden links die absoluten Werte und rechts die prozentualen Verteilungen auf die Regionen in den funktionalen Segmenten aufgeführt.

Tabelle 6-23: Verteilung der anhand angenommener Umsätze und direkter Emissionsintensitäten berechneten direkten Emissionen der Region *Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* auf die Regionen *USA* und *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* nach funktionalen Segmenten

Region	Direkte Emissionen in kt CO ₂ -e		Regionale Verteilung der direkten Emissionen	
	Upstream	Downstream und Corpora- te	Upstream	Downstream und Corpo- rate
USA	5.637	21.970	41%	33%
Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	8.111	45.232	59%	67%
Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	13.748	67.202	100%	100%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Entsprechend der regionalen Verteilung aus Tabelle 6-23 entfallen innerhalb der Region *Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* im Upstream-Segment 41% der direkten Emissionen auf die *USA* und 59% auf die Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*. Im Segment *Downstream und Corporate* entfallen 33% der direkten Emissionen auf die *USA* und 67% auf die Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*. Unterstellt man diese Verteilungen für die regionale Zusammensetzung der Emissionen innerhalb der funktionalen Segmente der Region *Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* in Tabelle 6-22, so erhält man Tabelle 6-24, welche die veröffentlichten direkten Emissionen kongruent zu den bisherigen Input-Output-Berechnungen disaggregiert.

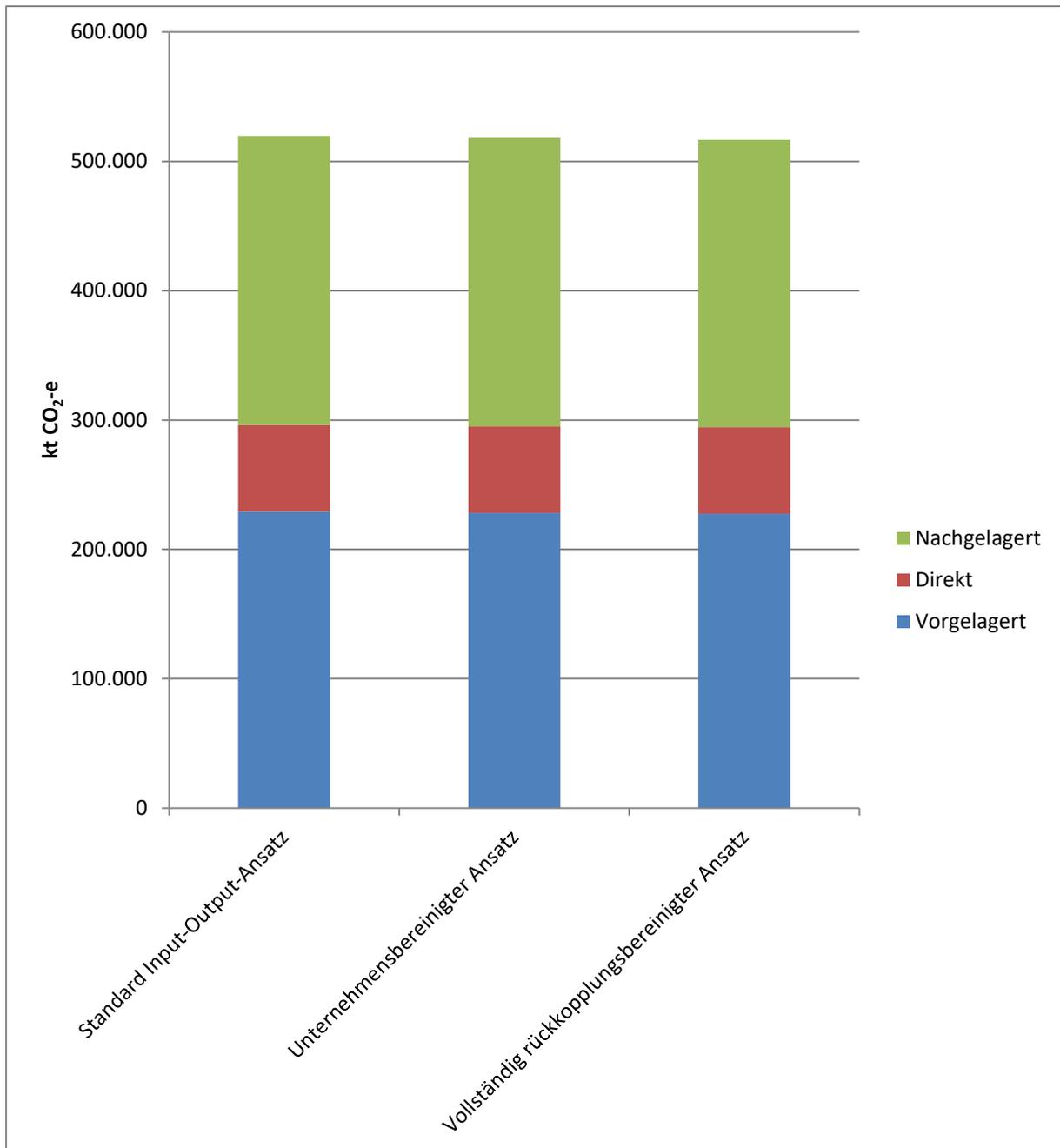
Tabelle 6-24: Angenommene regionale und funktionale Zusammensetzung der direkten Emissionen im konstruierten Unternehmensbeispiel

Region	Direkte Emissionen in kt CO ₂ -e		
	Upstream	Downstream und Corporate	Summe
Europa	5.809	15.821	21.630
USA	6.844	9.376	16.220
Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	9.847	19.303	29.150
Summe	22.500	44.500	67.000

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Die angenommene regionale und funktionale Zusammensetzung der direkten Emissionen aus Tabelle 6-24 wird nun in den unternehmensbereinigten und den vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatz integriert. Die absoluten Ergebnisse werden in Abbildung 6-2 grafisch dargestellt. Dabei wird bei allen Ergebnissen unterstellt, dass die unternehmensspezifischen direkten Emissionen bekannt sind. Bei den Ergebnissen des Standard Input-Output-Ansatzes basieren somit lediglich die vor- und nachgelagerten Emissionen auf unveränderten totalen Emissionsintensitäten. Andernfalls würde die Korrektur der direkten Emissionen einen erheblichen Teil des Fehlers ausmachen.

Abbildung 6-2: Ergebnisse der Ansätze nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen



Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Abbildung 6-2 zeigt, dass auch nach Integration der unternehmensspezifischen direkten Emissionen mit bloßem Auge keine Unterschiede in den Ergebnissen der Ansätze erkennbar sind. Die zugrundeliegenden Zahlen werden in Tabelle 6-25 aufgelistet.

Tabelle 6-25: Ergebnisse der Ansätze nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen in kt CO₂-e

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz	Vollständig rückkopplungsbereinigter Ansatz
Vorgelagert	229.251	228.219	227.492
Direkt	67.000	67.000	67.000
Nachgelagert	223.340	223.002	222.275
Summe	519.591	518.221	516.767

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Die Zahlen aus Tabelle 6-25 bestätigen, dass sich die Ergebnisse unter Anwendung der drei verglichenen Ansätze auch nach Integration der unternehmensspezifischen Emissionen kaum unterscheiden. Insgesamt werden unter Anwendung des Standard Input-Output-Ansatzes 519.591, unter Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes 518.221 und unter Anwendung des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes 516.767 kt CO₂-e ausgewiesen. Bei Emissionen von mehr als einer halben Million kt CO₂-e unterscheiden sich die Ergebnisse der drei Ansätze somit lediglich um etwa 1.000 bis 3.000 kt CO₂-e. Auch innerhalb der Bereiche können keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden. Je nach Ansatz variieren die vorgelagerten Emissionen lediglich zwischen 227.492 und 229.251 sowie die nachgelagerten Emissionen lediglich zwischen 222.275 und 223.340 kt CO₂-e. Bei vor- und nachgelagerten Emissionen in einer Größenordnung von je etwa 200.000 kt CO₂-e, unterscheiden sich die Ergebnisse der drei Ansätze somit lediglich um etwa 1.000 bis 2.000 kt CO₂-e. Die prozentualen Fehler werden in Tabelle 6-26 aufgelistet.

Tabelle 6-26: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen in Prozent

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Vorgelagert	0,77%	0,32%
Nachgelagert	0,48%	0,33%
Vorgelagert, direkt und nachgelagert	0,55%	0,28%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Die Zahlen in Tabelle 6-26 zeigen, dass die Überschätzung der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes lediglich 0,55% und bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes lediglich 0,28% beträgt. Ohne Integration unternehmensspezifischer Emissionen lag der Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bei 0,74% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bei 0,26%. Innerhalb der vorgelagerten Emissionen werden die Ergebnisse bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes um 0,77% und bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes um 0,32% überschätzt. Ohne Integration unternehmensspezifischer Emissionen lag der Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bei 0,95% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes ebenfalls bei 0,32%. Innerhalb der nachgelagerten Emissionen werden die Ergebnisse bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes um 0,48% und bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes um 0,32% überschätzt. Ohne Integration unternehmensspezifischer Emissionen lag der Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bei 0,92% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes ebenfalls bei 0,33%.

Nach Integration der unternehmensspezifischen Emissionen in den unternehmensbereinigten und den vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatz sinkt hier der Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die di-

rekten Emissionen unterhalb jenen direkten Emissionen liegen, die ihren Umsätzen und den direkten Emissionsintensitäten des Input-Output-Modells entsprechen. Deshalb steigen hier die Emissionen der übrigen Wirtschaft, während weniger direkte Emissionen verfügbar sind, die Doppelzählungen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes hervorrufen. Tabelle 6-27 zeigt das Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-27: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	Europa	3,27%	0,63%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Europa	2,85%	0,45%
Luftfahrt	USA	2,71%	1,01%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Europa	2,70%	0,35%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	Europa	2,61%	0,54%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	USA	2,46%	0,41%
Chemische Industrie	Europa	2,38%	0,50%
Luftfahrt	Europa	2,24%	0,98%
Schifffahrt	USA	2,16%	0,99%
Baugewerbe	USA	2,16%	0,31%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-27 zeigt, dass innerhalb der vorgelagerten Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes im Wirtschaftsbereich *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen* in *Europa* mit 3,27% der höchste Fehler entsteht. Ohne Integration unternehmens-

spezifischer direkter Emissionen in die vollständige Rückkopplungsbereinigung führt die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes in dieser Handelspartnergruppe zu einem Fehler von 3,71%, wobei der höchste Fehler im Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen in Europa* mit 4,05% liegt. Nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen in die vollständige Rückkopplungsbereinigung ist diese Handelspartnergruppe in der Liste der zehn höchsten Fehler nicht mehr vertreten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Beispielunternehmen in dieser Handelspartnergruppe selbst sehr stark vertreten ist und dort mit unterdurchschnittlichen direkten Emissionen produziert. Dadurch steigt die unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensität dieser Handelspartnergruppe verhältnismäßig stark, welche in der vollständigen Rückkopplungsbereinigung zur Bewertung jener Güter verwendet wird, die nicht vom betrachteten Unternehmen stammen. Im Vergleich zum Standard Input-Output-Ansatz werden folglich weniger Güter mit höheren Emissionsintensitäten bewertet. Im Umkehrschluss gilt, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zu viele Güter mit zu niedrigen Emissionsintensitäten bewertet werden. Dadurch kannibalisiert sich der Fehler hier zumindest teilweise.

Hinzugekommen ist hingegen die Handelspartnergruppe *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden in Europa*. In dieser Handelspartnergruppe ist das Beispielunternehmen mit überdurchschnittlichen direkten Emissionen stark vertreten. Dadurch sinkt die unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensität dieser Handelspartnergruppe relativ stark. Im Vergleich zum Standard Input-Output-Ansatz werden unter der vollständigen Rückkopplungsbereinigung folglich weniger Güter mit niedrigeren Emissionsintensitäten bewertet. Im Umkehrschluss gilt, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zu viele Güter mit zu hohen Emissionsintensitäten bewertet werden, was wiederum zu einem verhältnismäßig hohen Fehler führt. Hinzugekommen ist außerdem die Handelspartnergruppe *Schifffahrt in den USA*, welche die Handelspartnergruppe *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen in den USA* aus der Liste verdrängt. Die Konzentration von Handelspartnergruppen aus dem Transportwesen und den Regionen *Europa* und *USA* bleibt jedoch auch nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen bestehen. Tabelle 6-28 zeigt das Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unterneh-

mensbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-28: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Luftfahrt	USA	2,71%	1,01%
Schifffahrt	USA	2,16%	0,99%
Luftfahrt	Europa	2,24%	0,98%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	0,05%	0,81%
Luftfahrt	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,45%	0,66%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	Europa	3,27%	0,63%
Schifffahrt	Europa	1,98%	0,61%
Schifffahrt	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,25%	0,61%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	USA	2,11%	0,60%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	Europa	2,61%	0,54%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Im Vergleich von Tabelle 6-28 mit Tabelle 6-14 wird deutlich, dass sich am Ranking der zehn höchsten Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen hier kaum etwas ändert. Es werden dieselben Handelspartnergruppen in derselben Reihenfolge aufgelistet und auch die Fehler unterscheiden sich mit Werten zwischen 1,01% und 0,54% kaum. Interessanter ist hingegen die

Handelspartnergruppe *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen in Europa*, welche mit 0,81% zum vierthöchsten Fehler führt. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes entstand in dieser Handelspartnergruppe vor Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen mit 4,05% der höchste Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen nach Handelspartnergruppen. Nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen entsteht bei dieser Handelspartnergruppe unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nur noch ein Fehler von 0,05%. Das Ausmaß der Kannibalisierung des Fehlers ist in dieser Handelspartnergruppe so stark, dass die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zu einem niedrigeren Fehler als die Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes führt. Tabelle 6-29 zeigt das Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-29: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungs-bereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Europa	6,33%	1,57%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	USA	3,21%	1,39%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	2,63%	0,86%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	-2,61%	0,65%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	USA	-2,38%	0,31%
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	Europa	1,59%	0,24%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Europa	1,56%	0,26%
Maschinenbau	Europa	1,43%	0,32%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,39%	0,30%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	Europa	1,32%	0,28%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Im Vergleich von Tabelle 6-29 mit Tabelle 6-15 zeigt sich, dass sowohl vor als auch nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes im Bereich der nachgelagerten Emissionen die höchsten Fehler im Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in allen drei Regionen entstehen. Die Fehler sind hier mit 6,33% in *Europa*, 3,21% in den *USA* und 2,63% in der Re-

gion *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* etwas geringer als ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen. An vierter Stelle folgt sowohl mit als auch ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen der Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa*. Nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen entsteht unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes jedoch eine Unterschätzung von 2,61%. Folglich ist die Unterschätzung der Emissionsintensität unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes so stark, dass sie die Überschätzung doppelt gezählter Güter überwiegt. Dasselbe gilt für diesen Wirtschaftsbereich in den *USA*, welcher im Ranking mit einer Unterschätzung von 2,38% folgt und ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen überhaupt nicht in der Liste der zehn höchsten Fehlerbeträge auftaucht. Im weiteren Verlauf des Ranking folgen nur noch Handelspartnergruppen, die auch ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen im Ranking der zehn höchsten Fehlerbeträge aufgelistet sind. Die Reihenfolge ändert sich dabei kaum. Tabelle 6-30 zeigt das Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-30: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes mit Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Europa	6,33%	1,57%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	USA	3,21%	1,39%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	2,63%	0,86%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	-2,61%	0,65%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,26%	0,38%
Energie- und Wasserversorgung	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	0,52%	0,38%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	-0,27%	0,38%
Maschinenbau	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,17%	0,38%
Schifffahrt	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	0,64%	0,35%
Private Haushalte	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,18%	0,35%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Im Vergleich von Tabelle 6-30 mit Tabelle 6-16 wird deutlich, dass sich am Ranking der zehn höchsten Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nach Integration

unternehmensspezifischer direkter Emissionen kaum etwas ändert. Es werden dieselben Handelspartnergruppen aufgelistet und auch die Fehler unterscheiden sich mit Werten zwischen 1,57% und 0,35% kaum. Lediglich die Reihenfolge ändert sich geringfügig. Mit Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen nimmt der Wirtschaftsbereich *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen* der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* den fünften Platz des Ranking ein und verdrängt damit den Wirtschaftsbereich *Energie- und Wasserversorgung* derselben Region auf den sechsten Rang. Ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen nimmt der Wirtschaftsbereich *Energie- und Wasserversorgung* der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* den fünften Rang und der Wirtschaftsbereich *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen* derselben Region den sechsten Rang des Ranking ein. Auf zwei Dezimalstellen gerundet werden die Fehler beider Handelspartnergruppen hier sowohl vor als auch nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen mit 0,38% ausgewiesen, so dass diese Änderung der Reihenfolge lediglich auf minimale Änderungen unwesentlicher Fehler zurückzuführen ist und deshalb nicht weiter untersucht wird.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass eine Verbesserung der vollständigen Rückkopplungsereinigung durch Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen nicht zwangsläufig zu einer Verschlechterung des Standard Input-Output-Ansatzes führen. Bei unterdurchschnittlichen unternehmensspezifischen direkten Emissionen kommt es unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zu einer partiellen Kannibalisierung zwischen zu niedrig angesetzten direkten Emissionsintensitäten der übrigen Wirtschaft und zu hoch angesetzten totalen Gütervolumina in der indirekten Verflechtung. Diese Kannibalisierung kann unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes sogar zu einer Unterschätzung indirekter Emissionen führen, was hier vor allem im Bereich der nachgelagerten Emissionen bei Handelspartnergruppen, in denen das Beispielunternehmen unterdurchschnittliche direkte Emissionen aufweist und selbst stark vertreten ist, gezeigt wurde. Dabei stellt sich die Frage, ob die Fehler bereits durch Integration der unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten im Standard Input-Output-Ansatz reduziert werden können, welche im Folgenden näher untersucht wird. Deshalb werden hier zusätzlich die vor- und nachgelagerten totalen Emissionsintensitäten des Standard Input-Output-Ansatzes unter Verwendung der unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten berechnet. Die Ergebnisse des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne Verwendung

unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten werden in Tabelle 6-31 den Ergebnissen des vollständig rückkopplungs bereinigten Ansatzes gegenübergestellt.

Tabelle 6-31: Ergebnisse des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigte totale Emissionsintensitäten sowie des vollständig rückkopplungs bereinigten Ansatzes in kt CO₂-e

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz		Vollständig rückkopplungs bereinigter Ansatz
	Mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten	Ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten	
Vorgelagert	229.693	229.251	227.492
Direkt	67.000	67.000	67.000
Nachgelagert	224.349	223.340	222.275
Summe	521.042	519.591	516.767

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-31 zeigt, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten höhere Emissionen berechnet werden als unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten. Somit führt die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten hier auch zu höheren Fehlern als die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten. In Tabelle 6-32 werden die Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigten direkte Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungs bereinigten Ansatzes aufgelistet.

Tabelle 6-32: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen in Prozent

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	
	Mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten	Ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten
Vorgelagert	0,97%	0,77%
Nachgelagert	0,93%	0,48%
Vorgelagert, direkt und nachgelagert	0,83%	0,55%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-32 zeigt, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten insgesamt ein Fehler von 0,83% entstehen würde, während der Fehler ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur bei 0,55% liegt. Innerhalb der vorgelagerten Emissionen liegt der Fehler mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten bei 0,97%, während er ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur bei 0,77% liegt. Bei den nachgelagerten Emissionen liegt der Fehler mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten bei 0,93% und ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur bei 0,48%.

Somit zeigt sich, dass hier die intuitiv vermutete Korrektur durch unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten zu einer Verschlechterung der Ergebnisse führt. Aufgrund der verhältnismäßig niedrigeren Emissionen des betrachteten Unternehmens steigen die direkten Emissionsintensitäten der übrigen Wirtschaft. Im Standard Input-Output-Ansatz werden diese höheren direkten Emissionsintensitäten dann jedoch auf doppelt gezählte Güter angewendet. Tabelle 6-33 zeigt das Ranking der zehn Handelspartnergruppen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-33: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungs bereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	4,04%	0,81%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	Europa	3,81%	0,63%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Europa	3,32%	0,45%
Luftfahrt	USA	3,07%	1,01%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	Europa	3,02%	0,54%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	USA	2,89%	0,41%
Chemische Industrie	Europa	2,72%	0,50%
Baugewerbe	USA	2,52%	0,31%
Luftfahrt	Europa	2,50%	0,98%
Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen	Europa	2,44%	0,39%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Im Vergleich von Tabelle 6-33 mit Tabelle 6-13 und Tabelle 6-27 wird deutlich, dass das Ranking der zehn Handelspartnergruppen mit den höchsten Fehlern unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten dem Ranking bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen entspricht. Lediglich die Fehler weichen mit Werten zwischen 4,04% und 2,44% gering-

fällig davon ab. Während der Fehler im Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa* mit 4,04% marginal geringer als bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen ausfällt, entstehen bei allen Handelspartnergruppen von Rang zwei bis zehn höhere Fehler als bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen. Nach Berücksichtigung unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten im Standard Input-Output-Ansatz überwiegt hier folglich wieder das Ausmaß doppelt gezählter Güter. Tabelle 6-34 zeigt das Ranking der zehn Handelspartnergruppen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-34: Ranking der zehn Handelspartnergruppen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungs bereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Region	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Europa	6,70%	1,57%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	USA	3,63%	1,39%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	3,02%	0,86%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	Europa	2,94%	0,65%
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	Europa	1,96%	0,24%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Europa	1,90%	0,26%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien	1,64%	0,30%
Maschinenbau	Europa	1,62%	0,32%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	Europa	1,55%	0,26%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	Europa	1,55%	0,28%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 5, 12 und 155-156 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Im Vergleich von Tabelle 6-34 mit Tabelle 6-14 und Tabelle 6-28 wird deutlich, dass das Ranking der zehn Handelspartnergruppen mit den höchsten Fehlern unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten von Rang eins bis acht dem Ranking bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen entspricht. Auf Rang neun und zehn folgen die Handelspartner-

gruppen *Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen in Europa* und *Kredit- und Versicherungsgewerbe in Europa*, welche bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen dieselben beiden Ränge in umgekehrter Reihenfolge einnehmen. Mit Werten zwischen 6,70% und 1,55% sind die Fehler von Rang eins bis zehn unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten geringfügig höher als unter völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen. Eine Übereinstimmung mit dem Ranking nach Fehlern unter Verwendung des Input-Output-Ansatzes ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten gegenüber der vollständigen Rückkopplungsbereinigung nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen ist hingegen nur von Rang eins bis vier gegeben. Somit überwiegt auch innerhalb der nachgelagerten Emissionen nach Berücksichtigung unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten im Standard Input-Output-Ansatz das Ausmaß doppelt gezählter Güter die Korrektur der direkten Emissionsintensitäten.

An dieser Stelle kann festgehalten werden, dass eine Unternehmensbereinigung der direkten Emissionsintensitäten ohne Bereinigung der Input-Output-Verflechtungen bei unterdurchschnittlichen Emissionen des betrachteten Unternehmens zu einer Verschlechterung der Ergebnisse führt. Im Umkehrschluss lohnt sich somit eine Unternehmensbereinigung der direkten Emissionsintensitäten im Standard Input-Output-Modell nur bei Unternehmen mit überdurchschnittlichen Emissionen. Der Erkenntnisgewinn durch Anwendung des unternehmensbereinigten und vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes steigt, je höher die Emissionen des betrachteten Unternehmens sind. Im Folgenden wird die Frage untersucht, wie sich eine Aggregation der zugrundeliegenden Input-Output-Verflechtung auf die Fehler auswirkt.

6.3.4 Aggregation zum globalen Eine-Region-Modell

In den vorangegangenen Abschnitten wurde unter Zuhilfenahme zahlreicher Annahmen eine gemeinsame regionale Disaggregationsstufe zwischen den Berichterstattungen der Royal Dutch Shell und der WIOD gesucht. Letztendlich verblieb dabei ein Drei-Regionen-Modell. Darauf basierend wurden die Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber dem vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatz untersucht. Dies wurde zunächst ausschließlich anhand der monetären Daten und anschlie-

ßend unter zusätzlicher Berücksichtigung der unternehmensspezifischen direkten Emissionen vollzogen. Im Folgenden wird untersucht, welches Ausmaß die Fehler bei Aggregation zum globalen Eine-Region-Modell annehmen. Tabelle 6-35 zeigt die globalen veröffentlichten Umsätze und direkten Emissionen der Royal Dutch Shell im Jahr 2009 nach funktionalen Segmenten.

Tabelle 6-35: Veröffentlichte Umsätze und direkte Emissionen der Royal Dutch Shell im Jahr 2009 nach funktionalen Segmenten

Funktionales Segment	Umsatz in Milliarden US-Dollar	Direkte Emissionen in kt CO ₂ -e
Upstream	27,996	22.500
Downstream und Corporate	250,104	44.500

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014 und Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12.

Um die Ursachen möglicher Veränderungen der Fehler durch die Aggregation einzuschätzen, werden in einem ersten Schritt nur die Umsätze in das globale Eine-Region-Modell integriert und mit den entsprechenden Fehlern des Drei-Regionen-Modells verglichen. Tabelle 6-36 zeigt die Ergebnisse der Ansätze ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen.

Tabelle 6-36: Ergebnisse der Ansätze in kt CO₂-e im globalen Eine-Region-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz	Vollständig rückkopplungsbereinigter Ansatz
Vorgelagert	226.309	224.830	224.058
Direkt	121.139	121.139	121.139
Nachgelagert	243.596	242.079	241.308
Summe	591.045	588.048	586.505

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-36 wird ersichtlich, dass sich die Ergebnisse der drei Ansätze auch im globalen Eine-Region-Modell kaum unterscheiden. Insgesamt werden unter Anwendung des Standard Input-Output-Ansatzes 591.045, unter Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes 588.048 und unter Anwendung des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes 586.505 kt CO₂-e ausgewiesen. Im Drei-Regionen-Modell wurden unter Anwendung des Standard Input-Output-Ansatzes 568.791, unter Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes 566.038 und unter Anwendung des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes insgesamt 564.598 kt CO₂-e berechnet. Somit entsteht hier aufgrund der Aggregationsebene mit jeweils etwa 22.000 kt CO₂-e eine deutlich stärkere Abweichung als aufgrund der verglichenen Ansätze. Letztere unterscheiden sich lediglich um etwa 2.000 bis 5.000 kt CO₂-e. Die Abweichungen zwischen den unterschiedlichen Aggregationsebenen sind mit etwa 5.000 kt CO₂-e auf abweichende direkte Emissionen zurückzuführen, welche im globalen Eine-Region-Modell auf 121.139 und im Drei-Regionen-Modell auf 116.200 kt CO₂-e geschätzt werden. Auch innerhalb der Bereiche können keine wesentlichen Unterschiede der verglichenen Ansätze festgestellt werden. Je nach Ansatz variieren die vorgelagerten Emissionen lediglich zwischen 224.054 und 226.309 sowie die nachgelagerten Emissionen lediglich zwischen 241.308 und 243.596 kt CO₂-e. Im Drei-Regionen-Modell variieren die vorgelagerten Emissionen zwischen 227.084 und 229.251 sowie die nachgelagerten Emissionen zwischen 221.314 und 223.340 kt CO₂-e. Somit werden die vorgelagerten Emissionen im Drei-Regionen-Modell etwa 3.000 kt CO₂-e höher und die nachgelagerten Emissionen etwa

20.000 kt CO₂-e niedriger als im globalen Eine-Region-Modell geschätzt. Die Ergebnisse der verglichenen Ansätze unterscheiden sich hingegen lediglich um etwa 1.000 bis 2.000 kt CO₂-e. Im vorliegenden Beispiel wirkt sich somit die Frage nach der Aggregationsebene deutlich stärker als die Frage nach der Bereinigung um Doppelzählungen auf die Ergebnisse aus. Die prozentualen Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes ohne Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell werden in Tabelle 6-37 aufgelistet.

Tabelle 6-37: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungs bereinigten Ansatzes ohne Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell in Prozent

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Vorgelagert	1,00%	0,34%
Nachgelagert	0,95%	0,32%
Vorgelagert, direkt und nachgelagert	0,77%	0,26%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-37 zeigt, dass im globalen Eine-Region-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes insgesamt ein Fehler von 0,77% entsteht, während der Fehler im Drei-Regionen-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen nur bei 0,74% liegt. Der Fehler des unternehmensbereinigten Ansatzes liegt für die Ergebnisse aller Bereiche, sowohl im globalen Eine-Region-Modell als auch im Drei-Regionen-Modell, ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen bei 0,26%. Innerhalb der vorgelagerten Emissionen liegt der Fehler im globalen Eine-Region-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bei 1,00% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bei 0,34%. Im Drei-Regionen-Modell lagen die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bei 0,95% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bei 0,32%. Die nachgelagerten Emissionen werden im globalen Eine-Region-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes um 0,95% und unter Verwendung des unternehmensberei-

nigten Ansatzes um 0,32% überschätzt. Im Drei-Regionen-Modell lagen die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei 0,92% unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und bei 0,33% unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes.

Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes entstehen hier im globalen Eine-Region-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen in allen Bereichen geringfügig höhere Fehler als im Drei-Regionen-Modell. Der Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes ist im globalen Eine-Region-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen innerhalb der vorgelagerten Emissionen geringfügig höher und innerhalb der nachgelagerten Emissionen geringfügig niedriger als im Drei-Regionen-Modell. Die scheinbar identischen Abweichungen der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes liegen nach Berücksichtigung einer zusätzlichen Dezimalstelle bei 0,263% im globalen Eine-Region-Modell und bei 0,255% im Drei-Regionen-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen. Somit entstehen hier in der Summenbetrachtung bei beiden Ansätzen im globalen Eine-Region-Modell geringfügig höhere Fehler als im Drei-Regionen-Modell ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen. Lediglich die Quantifizierung nachgelagerter Emissionen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes führt auf der höheren Aggregationsebene zu einem geringfügig niedrigeren Fehler. Tabelle 6-38 zeigt, in welchen zehn Wirtschaftsbereichen die Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes innerhalb der vorgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-38: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes im globalen Eine-Region-Modell am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	2,43%	0,52%
Luftfahrt	2,14%	0,84%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	2,09%	0,41%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	2,07%	0,49%
Chemische Industrie	1,86%	0,48%
Schifffahrt	1,77%	0,72%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1,68%	0,39%
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	1,59%	0,34%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	1,53%	0,34%
Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen	1,43%	0,36%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-38 zeigt, dass bei Aufgliederung nach liefernden Wirtschaftsbereichen die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zur Berechnung vorgelagerter Emissionen hier zu Fehlern von maximal 2,43% führt. In der Aufgliederung des Drei-Regionen-Modells werden hingegen Fehler von bis zu 4,05% aufgelistet. Die niedrigeren Fehler im globalen Eine-Region-Modell sind hier teilweise auf die geringere Anzahl möglicher Handelspartnergruppen zurückzuführen. Jede Handelspartnergruppe des globalen Eine-Region-Modells repräsentiert drei Handelspartnergruppen des Drei-Regionen-Modells. Im globalen Eine-Region-Modell entstehen die höchsten Fehler in den Wirtschaftsbereichen *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen*, *Luftfahrt* und *Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung*. Der Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen*, dessen europäischer Teil im Drei-Regionen-Modell unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes den höchsten Fehler mit sich bringt, folgt im globalen Eine-Region-Modell erst an vierter Stelle mit einem Fehler von 2,07%. Da jeder Wirtschaftsbereich des globalen Eine-Region-Modells drei Handelspartnergruppen im Drei-

Regionen-Modell repräsentiert, läuft der Vergleich hiermit bereits über die zehn höchsten Fehler des Drei-Regionen-Modells hinaus, wobei an zehnter Stelle des Ranking im Drei-Regionen-Modell noch ein Fehler von 2,39% entsteht. Im Vergleich lässt sich somit hauptsächlich feststellen, dass eine Konzentration hoher Fehler bei den Handelspartnergruppen des Transportwesens auch im globalen Eine-Region-Modell festgestellt wird. Im globalen Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* ist das Beispielunternehmen hingegen in Relation zur übrigen Wirtschaft weniger stark vertreten als in dessen europäischen Teil, so dass sich der direkte Beitrag des betrachteten Unternehmens im globalen Eine-Region-Modell geringer auf den Fehler auswirkt als im Drei-Regionen-Modell. Tabelle 6-39 zeigt, in welchen zehn Wirtschaftsbereichen die Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes innerhalb der vorgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-39: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Luftfahrt	2,14%	0,84%
Schifffahrt	1,77%	0,72%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	2,43%	0,52%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	2,07%	0,49%
Chemische Industrie	1,86%	0,48%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	2,09%	0,41%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	1,26%	0,40%
Energie- und Wasserversorgung	0,60%	0,40%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1,68%	0,39%
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	0,78%	0,38%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-39 zeigt, dass bei Aufgliederung nach liefernden Wirtschaftsbereichen die Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes zur Berechnung vorgelagerter Emissionen hier

zu Fehlern von maximal 0,84% führt. In der Aufgliederung des Drei-Regionen-Modells werden Fehler von bis zu 1,01% aufgelistet. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes entstehen im globalen Eine-Region-Modell mit Werten zwischen 0,84% und 0,49% die vier höchsten Fehler in den Wirtschaftsbereichen *Luftfahrt, Schifffahrt, Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen* sowie *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen*. Mit Werten zwischen 1,01% und 0,53% entstehen im Drei-Regionen-Modell die zehn höchsten Fehler bei den Wirtschaftsbereichen *Luftfahrt und Schifffahrt* in allen drei Regionen, im Wirtschaftsbereich *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen* in *Europa* und den *USA*, im Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa* sowie jenseits der Wirtschaftsbereiche mit den vier höchsten Fehlern des globalen Eine-Region-Modells bei der Handelspartnergruppe *Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung* in *Europa*, deren Wirtschaftsbereich im globalen Eine-Region-Modell auf Rang neun gelistet ist. Somit wirkt sich hier die höhere Aggregationsstufe innerhalb der vorgelagerten Emissionen weniger stark auf die Fehler des unternehmensbereinigten Ansatzes als auf die Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes aus. Tabelle 6-40 zeigt, in welchen zehn Wirtschaftsbereichen die Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes innerhalb der nachgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-40: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	3,51%	0,97%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1,65%	0,26%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	1,52%	0,38%
Maschinenbau	1,39%	0,35%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	1,28%	0,34%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	1,14%	0,29%
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	1,13%	0,22%
Private Haushalte	1,11%	0,26%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	1,04%	0,27%
Grundstück- und Wohnungswesen	1,03%	0,26%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-40 zeigt, dass bei Aufgliederung nach empfangenden Wirtschaftsbereichen die Berechnung nachgelagerter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes hier zu Fehlern von maximal 3,51% führt. In der Aufgliederung des Drei-Regionen-Modells werden hingegen Fehler von bis zu 6,48% aufgelistet. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes entstehen im globalen Eine-Region-Modell mit Werten zwischen 3,51% und 1,39% die vier höchsten Fehler in den Wirtschaftsbereichen *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden*, *Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)*, *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* sowie *Maschinenbau*. Mit Werten zwischen 6,48% und 1,50% entstehen im Drei-Regionen-Modell die zehn höchsten Fehler beim Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in allen drei Regionen, beim Wirtschaftsbereich *Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)* in den Regionen *Europa* und *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*, bei den Wirtschaftsbereichen *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* und *Maschinenbau* in *Europa* sowie jenseits der Wirtschaftsbereiche mit den vier höchsten Fehlern

des globalen Eine-Region-Modells bei den Handelspartnergruppen *Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern, Kredit- und Versicherungsgewerbe und Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen in Europa*, deren Wirtschaftsbereiche alle in den Rängen fünf bis zehn des globalen Eine-Region-Modells enthalten sind. Somit lässt sich hier die Identifikation der Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Fehlern abgesehen von den Fehlerwerten relativ gut auf das Drei-Regionen-Modell übertragen. Tabelle 6-41 zeigt, in welchen zehn Wirtschaftsbereichen die Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes innerhalb der nachgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-41: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	3,51%	0,97%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	1,52%	0,38%
Maschinenbau	1,39%	0,35%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	1,28%	0,34%
Schifffahrt	0,73%	0,33%
Energie- und Wasserversorgung	0,46%	0,31%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	1,14%	0,29%
Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	0,92%	0,29%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	1,03%	0,27%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	1,04%	0,27%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-41 zeigt, dass bei Aufgliederung nach empfangenden Wirtschaftsbereichen die Berechnung nachgelagerter Emissionen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes hier zu Fehlern von maximal 0,97% führt. In der Aufgliederung des Drei-Regionen-Modells werden Fehler von bis zu 1,59% aufgelistet. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes entstehen im globalen Eine-Region-Modell mit Werten zwischen 0,97%

und 0,34% die vier höchsten Fehler in den Wirtschaftsbereichen *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen, Maschinenbau sowie Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen*. Mit Werten zwischen 1,59% und 0,35% entstehen im Drei-Regionen-Modell die zehn höchsten Fehler beim Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in allen drei Regionen, beim Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa*, bei den Wirtschaftsbereichen *Maschinenbau und Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen* in der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* sowie jenseits der Wirtschaftsbereiche mit den vier höchsten Fehlern des globalen Eine-Region-Modells bei den Handelspartnergruppen *Energie- und Wasserversorgung, Schifffahrt und Private Haushalte* in der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*, deren Wirtschaftsbereiche mit Ausnahme von *Private Haushalte* in den Rängen fünf bis zehn des globalen Eine-Region-Modells enthalten sind. Somit lässt sich hier die Identifikation der Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Fehlern relativ gut auf das Drei-Regionen-Modell übertragen, wobei auch die Fehler weniger stark abweichen als unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes.

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, wie sich im vorliegenden Beispiel die höhere Aggregationsebene bei Integration der unternehmensspezifischen direkten Emissionen auf die Fehler der beiden Ansätze auswirkt. Beim Standard Input-Output-Ansatz wird dabei zunächst unterstellt, dass die tatsächlichen direkten Emissionen bekannt sind und als direkte Emissionen ausgewiesen werden. Eine Unternehmensbereinigung der direkten Emissionsintensitäten findet dabei allerdings nicht statt. In Tabelle 6-42 werden diese Ergebnisse den unternehmensbereinigten und vollständig rückkopplungsbereinigten Ergebnissen nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen gegenübergestellt.

Tabelle 6-42: Ergebnisse der Ansätze in kt CO₂-e im globalen Eine-Region-Modell nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz	Vollständig rückkopplungsbereinigter Ansatz
Vorgelagert	226.309	225.261	224.485
Direkt	67.000	67.000	67.000
Nachgelagert	243.596	242.992	242.216
Summe	536.905	535.253	533.701

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Die Zahlen aus Tabelle 6-42 zeigen, dass sich die Ergebnisse unter Anwendung der drei verglichenen Ansätze im globalen Eine-Region-Modell auch nach Integration der unternehmensspezifischen direkten Emissionen kaum unterscheiden. Insgesamt werden unter Anwendung des Standard Input-Output-Ansatzes 536.905, unter Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes 535.253 und unter Anwendung des vollständig rückkopplungs bereinigten Ansatzes 533.701 kt CO₂-e ausgewiesen. Im Drei-Regionen-Modell wurden nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen mit dem Standard Input-Output-Ansatz 519.591, mit dem unternehmensbereinigten Ansatz 518.221 und mit der vollständigen Rückkopplungs bereinigung insgesamt 516.767 kt CO₂-e berechnet. Somit entsteht hier aufgrund der Aggregationsebene mit jeweils etwa 17.000 kt CO₂-e eine deutlich stärkere Abweichung als aufgrund der verglichenen Ansätze. Die Ergebnisse des Standard Input-Output-Ansatzes unterscheiden sich von jenen der vollständigen Rückkopplungs bereinigung hingegen lediglich um etwa 3.000 kt CO₂-e. Auch innerhalb der Bereiche können keine wesentlichen Unterschiede der verglichenen Ansätze festgestellt werden. Je nach Ansatz variieren die vorgelagerten Emissionen lediglich zwischen 224.485 und 226.309 sowie die nachgelagerten Emissionen lediglich zwischen 242.216 und 243.596 kt CO₂-e. Im Drei-Regionen-Modell variieren die vorgelagerten Emissionen zwischen 227.492 und 229.251 sowie die nachgelagerten Emissionen zwischen 222.275 und 223.340 kt CO₂-e. Somit werden die vor-

gelagerten Emissionen im Drei-Regionen-Modell etwa 3.000 kt CO₂-e höher und die nachgelagerten Emissionen etwa 20.000 kt CO₂-e niedriger als im globalen Eine-Region-Modell geschätzt. Die Ergebnisse der verglichenen Ansätze unterscheiden sich hingegen lediglich um etwa 1.000 bis 2.000 kt CO₂-e. Im vorliegenden Beispiel wirkt sich somit auch nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen die Frage nach der Aggregationsebene deutlich stärker als die Frage nach der Bereinigung um Doppelzählungen auf die Ergebnisse aus. Die prozentualen Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes mit Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell werden in Tabelle 6-43 aufgelistet.

Tabelle 6-43: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen im globalen Eine-Region-Modell in Prozent

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Vorgelagert	0,81%	0,35%
Nachgelagert	0,57%	0,32%
Vorgelagert, direkt und nachgelagert	0,60%	0,29%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-43 zeigt, dass im globalen Eine-Region-Modell mit Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes insgesamt ein Fehler von 0,60% entsteht, während der Fehler im Drei-Regionen-Modell mit Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen nur bei 0,55% liegt. Der Fehler des unternehmensbereinigten Ansatzes mit Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen liegt für die Ergebnisse aller Bereiche im globalen Eine-Region-Modell bei 0,29% und im Drei-Regionen-Modell bei 0,28%. Innerhalb der vorgelagerten Emissionen liegt der Fehler im globalen Eine-Region-Modell mit Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bei 0,81% und unter

Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bei 0,35%. Im Drei-Regionen-Modell liegen die Fehler nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen innerhalb der vorgelagerten Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bei 0,77% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bei 0,32%. Die nachgelagerten Emissionen werden im globalen Eine-Region-Modell mit Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes um 0,57% und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes um 0,32% überschätzt. Im Drei-Regionen-Modell liegen die Fehler nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei 0,48% unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und bei 0,28% unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes. Nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen entstehen hier im globalen Eine-Region-Modell in allen Bereichen sowohl unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes als auch unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes höhere Fehler als im entsprechenden Drei-Regionen-Modell. Tabelle 6-44 zeigt, in welchen zehn Wirtschaftsbereichen die Fehlerbeträge unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen innerhalb der vorgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-44: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	2,10%	0,53%
Luftfahrt	1,92%	0,84%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	1,80%	0,41%
Chemische Industrie	1,65%	0,48%
Schifffahrt	1,59%	0,72%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1,47%	0,39%
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	1,39%	0,34%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	1,33%	0,34%
Baugewerbe	1,28%	0,38%
Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen	1,26%	0,36%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-44 zeigt, dass bei Aufgliederung nach liefernden Wirtschaftsbereichen die Berechnung vorgelagerter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes hier zu Fehlern von maximal 2,10% führt. In der Aufgliederung des Drei-Regionen-Modells werden Fehler von bis zu 3,27% aufgelistet. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes entstehen im globalen Eine-Region-Modell mit Werten zwischen 2,10% und 1,65% die vier höchsten Fehler in den Wirtschaftsbereichen *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen*, *Luftfahrt*, *Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung* sowie *Chemische Industrie*. Mit Werten zwischen 3,27% und 2,16% entstehen im Drei-Regionen-Modell die zehn höchsten Fehler beim Wirtschaftsbereich *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen* in *Europa*, beim Wirtschaftsbereich *Luftfahrt* in den *USA* und *Europa*, beim Wirtschaftsbereich *Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung* in *Europa* und den *USA*, beim Wirtschaftsbereich *Chemische Industrie* in *Europa* und jenseits der Wirtschaftsbereiche mit den vier höchsten Fehlern des globalen Eine-Region-Modells bei der

Handelspartnergruppe *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in *Europa* sowie den Handelspartnergruppen *Schifffahrt* und *Baugewerbe* in den *USA*, deren Wirtschaftsbereiche mit Ausnahme von *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in den Rängen fünf bis zehn des globalen Eine-Region-Modells enthalten sind. Somit lässt sich hier auch nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen die Identifikation der Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Fehlern relativ gut auf das Drei-Regionen-Modell übertragen. Tabelle 6-45 zeigt, in welchen zehn Wirtschaftsbereichen die Fehlerbeträge unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen innerhalb der vorgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-45: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Luftfahrt	1,92%	0,84%
Schifffahrt	1,59%	0,72%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	2,10%	0,53%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	-0,43%	0,50%
Chemische Industrie	1,65%	0,48%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	1,80%	0,41%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	1,13%	0,40%
Energie- und Wasserversorgung	0,58%	0,40%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1,47%	0,39%
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	0,73%	0,38%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-45 zeigt, dass bei Aufgliederung nach liefernden Wirtschaftsbereichen die Berechnung vorgelagerter Emissionen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes hier zu Fehlern von maximal 0,84% führt. In der Aufgliederung des Drei-Regionen-Modells

werden Fehler von bis zu 1,01% aufgelistet. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes entstehen im globalen Eine-Region-Modell mit Werten zwischen 0,84% und 0,50% die vier höchsten Fehler in den Wirtschaftsbereichen *Luftfahrt, Schifffahrt, Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen sowie Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen*. Mit Werten zwischen 1,01% und 0,54% entstehen im Drei-Regionen-Modell die zehn höchsten Fehler bei den Wirtschaftsbereichen *Luftfahrt und Schifffahrt* in allen drei Regionen, beim Wirtschaftsbereich *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen* in *Europa* und den *USA*, beim Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa* sowie jenseits der Wirtschaftsbereiche mit den vier höchsten Fehlern des globalen Eine-Region-Modells bei der Handelspartnergruppe *Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung* in *Europa*, deren Wirtschaftsbereich auf Rang sechs des globalen Eine-Region-Modells gelistet ist. Somit lässt sich hier auch nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen die Identifikation der Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Fehlern relativ gut auf das Drei-Regionen-Modell übertragen. Tabelle 6-46 zeigt, in welchen zehn Wirtschaftsbereichen die Fehlerbeträge unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen innerhalb der nachgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-46: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	3,11%	0,97%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1,41%	0,26%
Maschinenbau	1,25%	0,35%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	-1,13%	0,38%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	1,12%	0,34%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	1,01%	0,29%
Private Haushalte	0,98%	0,26%
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	0,98%	0,22%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	0,92%	0,27%
Grundstück- und Wohnungswesen	0,92%	0,26%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-46 zeigt, dass bei Aufgliederung nach empfangenden Wirtschaftsbereichen die Berechnung nachgelagerter Emissionen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes hier zu Fehlern von maximal 3,11% führt. In der Aufgliederung des Drei-Regionen-Modells werden Fehler von bis zu 6,33% aufgelistet. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes entstehen im globalen Eine-Region-Modell mit Werten zwischen 3,11% und 1,13% die vier höchsten Fehlerbeträge in den Wirtschaftsbereichen *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden*, *Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)*, *Maschinenbau* sowie *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen*, wobei in letzterem eine Unterschätzung und in den anderen drei eine Überschätzung zu den Fehlerbeträgen führt. Mit Werten zwischen 6,33% und 1,32% entstehen im Drei-Regionen-Modell die zehn höchsten Fehlerbeträge beim Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in allen drei Regionen, beim Wirtschaftsbereich *Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)* in

den Regionen *Europa* und *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*, beim Wirtschaftsbereich *Maschinenbau* in *Europa*, beim Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in *Europa* und den *USA* sowie jenseits der Wirtschaftsbereiche mit den vier höchsten Fehlern des globalen Eine-Region-Modells bei den Handelspartnergruppen *Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern* und *Kredit- und Versicherungsgewerbe* in *Europa*, deren Wirtschaftsbereiche auf Rang acht und sechs des globalen Eine-Region-Modells gelistet sind. Somit lässt sich hier auch nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen die Identifikation der Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Fehlern relativ gut auf das Drei-Regionen-Modell übertragen. Tabelle 6-47 zeigt, in welchen zehn Wirtschaftsbereichen die Fehlerbeträge unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen innerhalb der nachgelagerten Emissionen am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-47: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehlerbeträge innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	3,11%	0,97%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	-1,13%	0,38%
Maschinenbau	1,25%	0,35%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	1,12%	0,34%
Schifffahrt	0,67%	0,33%
Energie- und Wasserversorgung	0,44%	0,31%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	1,01%	0,29%
Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	0,83%	0,29%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	0,90%	0,27%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	0,92%	0,27%
Grundstück- und Wohnungswesen	0,92%	0,26%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-47 zeigt, dass bei Aufgliederung nach empfangenden Wirtschaftsbereichen die Berechnung nachgelagerter Emissionen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes hier zu Fehlern von maximal 0,97% führt. In der Aufgliederung des Drei-Regionen-Modells werden Fehler von bis zu 1,57% aufgelistet. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes entstehen im globalen Eine-Region-Modell mit Werten zwischen 0,97 und 0,34% die vier höchsten Fehler in den Wirtschaftsbereichen *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden*, *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen*, *Maschinenbau* sowie *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen*. Mit Werten zwischen 1,57% und 0,35% entstehen im Drei-Regionen-Modell die zehn höchsten Fehlerbeträge beim Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in allen drei Regionen, beim Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung*

und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen in den Regionen *Europa* und *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*, bei den Wirtschaftsbereichen *Maschinenbau* und *Landverkehr*; *Transport in Rohrfernleitungen* in der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien* sowie jenseits der Wirtschaftsbereiche mit den vier höchsten Fehlern des globalen Eine-Region-Modells bei den Handelspartnergruppen *Energie- und Wasserversorgung, Schifffahrt* und *Private Haushalte* in der Region *Übriges Amerika, Afrika, Asien, Australien und Ozeanien*, deren Wirtschaftsbereiche mit Ausnahme der *Privaten Haushalte* innerhalb der Ränge fünf bis zehn des globalen Eine-Region-Modells gelistet sind. Somit lässt sich hier auch nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen die Identifikation der Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Fehlern relativ gut auf das Drei-Regionen-Modell übertragen.

Im Folgenden wird untersucht, wie sich die Aggregation zum globalen Eine-Region-Modell bei Integration unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten in den Standard Input-Output-Ansatz auf die Fehler auswirkt. Die Ergebnisse des Standard Input-Output-Ansatzes im globalen Eine-Region-Modell mit und ohne Verwendung unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten werden in Tabelle 6-48 den Ergebnissen des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes gegenübergestellt.

Tabelle 6-48: Ergebnisse des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigte totale Emissionsintensitäten sowie des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes im globalen Eine-Region-Modell in kt CO₂-e

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz		Vollständig rückkopplungsbereinigter Ansatz
	Mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten	Ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten	
Vorgelagert	226.768	226.309	224.485
Direkt	67.000	67.000	67.000
Nachgelagert	244.546	243.596	242.216
Summe	538.314	536.905	533.701

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request – Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-48 zeigt erwartungsgemäß, dass auch im globalen Eine-Region-Modell unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten höhere Emissionen berechnet werden als unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten. Schließlich produziert das Beispielunternehmen auch im globalen Eine-Region-Modell mit unterdurchschnittlichen direkten Emissionen, so dass beim Standard Input-Output-Ansatz mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten nach oben korrigierte Emissionsintensitäten der übrigen Wirtschaft auf zu viele Güter angewendet werden. In Tabelle 6-49 werden die Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten einander gegenübergestellt.

Tabelle 6-49: Fehler des Standard Input-Output-Ansatzes mit und ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell in Prozent

Bereich	Standard Input-Output-Ansatz	
	Mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten	Ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten
Vorgelagert	1,02%	0,81%
Nachgelagert	0,96%	0,57%
Vorgelagert, direkt und nachgelagert	0,86%	0,60%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-49 zeigt, dass im globalen Eine-Region-Modell unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten insgesamt ein Fehler von 0,86% entstehen würde, während der Fehler ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur bei 0,60% liegt. Innerhalb der vorgelagerten Emissionen liegt der Fehler mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten bei 1,02%, während er ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur bei 0,81% liegt. Bei den nachgelagerten Emissionen liegt der Fehler mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten bei 0,96% und ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur bei 0,57%. Im Drei-Regionen-Modell entsteht unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten insgesamt ein Fehler von 0,83%, während er ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur 0,55% beträgt. Innerhalb der vorgelagerten Emissionen liegt der Fehler im Drei-Regionen-Modell mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten bei 0,97%, während er ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur bei 0,77% liegt. Bei den nachgelagerten Emissionen liegt der Fehler im Drei-Regionen-Modell mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten bei 0,93% und ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten nur bei 0,48%. Während unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsinten-

sitäten hier auf beiden Aggregationsebenen die Fehler steigen, wirkt sich dieser Anstieg im Drei-Regionen-Modell auf die gesamten Emissionen und die nachgelagerten Emissionen stärker als im globalen Eine-Region-Modell aus. Im Bereich der vorgelagerten Emissionen ist der Anstieg des Fehlers unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten auf beiden Aggregationsebenen fast identisch. Bei genauer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass der Fehler hier im globalen Eine-Region-Modell etwas stärker als im Drei-Regionen-Modell ansteigt. Tabelle 6-50 zeigt das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen im globalen Eine-Region-Modell bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-50: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	2,47%	0,53%
Luftfahrt	2,17%	0,84%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	2,12%	0,41%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	2,06%	0,50%
Chemische Industrie	1,89%	0,48%
Schifffahrt	1,79%	0,72%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1,71%	0,39%
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	1,62%	0,34%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	1,55%	0,34%
Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen	1,45%	0,36%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request – Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Im Vergleich von Tabelle 6-50 mit Tabelle 6-38 und Tabelle 6-44 wird deutlich, dass das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Fehlern unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten dem Ranking bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen auch im globalen Eine-Region-Modell entspricht. Lediglich die Fehler weichen mit Werten zwischen 2,47% und 1,45% geringfügig von jenen unter völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen ab. Während der Fehler im Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* mit 2,06% marginal geringer als bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen ausfällt, entstehen bei allen übrigen Wirtschaftsbereichen auf den Rängen eins bis zehn höhere Fehler als bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter

Emissionen. Beim entsprechenden Vergleich im Drei-Regionen-Modells zeigt sich, dass bei der Handelspartnergruppe *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* in Europa der Fehler marginal geringer als bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen ausfällt, während bei allen übrigen Wirtschaftsbereichen auf den Rängen eins bis zehn höhere Fehler als bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen entstehen. Tabelle 6-51 zeigt das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten im globalen Eine-Region-Modell am höchsten ausfallen.

Tabelle 6-51: Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, für welche die Fehler innerhalb der nachgelagerten Emissionen bei Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten gegenüber des vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes nach Integration unternehmensspezifischer Emissionen im globalen Eine-Region-Modell am höchsten ausfallen

Wirtschaftsbereich	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	3,56%	0,97%
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1,68%	0,26%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	1,53%	0,38%
Maschinenbau	1,42%	0,35%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	1,30%	0,34%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	1,16%	0,29%
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	1,16%	0,22%
Private Haushalte	1,13%	0,26%
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	1,06%	0,27%
Grundstück- und Wohnungswesen	1,05%	0,26%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet: <https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014, Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009, <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014, 12 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Im Vergleich von Tabelle 6-51 mit Tabelle 6-40 und Tabelle 6-46 wird deutlich, dass im globalen Eine-Region-Modell auch innerhalb der nachgelagerten Emissionen das Ranking der zehn

Wirtschaftsbereiche mit den höchsten Fehlern unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten dem Ranking bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen entspricht. Lediglich die Fehler sind mit Werten zwischen 3,56% und 1,05% geringfügig höher als unter völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen. Eine Übereinstimmung mit dem Ranking nach Fehlern unter Verwendung des Input-Output-Ansatzes ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten gegenüber der vollständigen Rückkopplungsbereinigung nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen ist hingegen nur von Rang eins bis zwei gegeben. Somit überwiegt auch im globalen Eine-Region-Modell innerhalb der nachgelagerten Emissionen nach Berücksichtigung unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten im Standard Input-Output-Ansatz das Ausmaß doppelt gezählter Güter die Korrektur der direkten Emissionsintensitäten.

Im vorliegenden Beispiel führt die Aggregation der Datengrundlage vom Drei-Regionen-Modell zum globalen Eine-Region-Modell unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zu höheren Fehlern bei der Berechnung der vorgelagerten und nachgelagerten Emissionen sowie auch der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen. Werden unternehmensspezifische direkte Emissionen integriert, so gilt dies auch für die Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes. Ohne Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen bleibt der Fehler des unternehmensbereinigten Ansatzes auf beiden Aggregationsebenen bei den vorgelagerten Emissionen in etwa gleich, während er bei den nachgelagerten Emissionen leicht sinkt und für die Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen wieder fast identisch ist. Die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionen führt hier auf beiden Aggregationsebenen zu höheren Fehlern als die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten und somit auch zu den höchsten Fehlern auf den Ebenen vorgelagerte Emissionen, nachgelagerte Emissionen sowie der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen. Dabei steigt der Fehler im globalen Eine-Region-Modell im Bereich der vorgelagerten Emissionen stärker als im Drei-Regionen-Modell. Im Bereich der nachgelagerten Emissionen sowie für die Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen ist dieser Anstieg im globalen Eine-Region-Modell hingegen geringer als im Drei-Regionen-Modell. Mit Werten von 1,02% bei den vorgelagerten Emissionen, 0,96% bei den nachgelagerten Emis-

onen und 0,86% bei der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen unterscheiden sich die Fehler im globalen Eine-Region-Modell kaum von jenen des Drei-Regionen-Modells. Im Drei-Regionen-Modell entstehen Fehler von 0,97% bei den vorgelagerten Emissionen, 0,93% bei den nachgelagerten Emissionen und 0,83% bei der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen.

Werden die Fehler bei den vor- und nachgelagerten Emissionen im globalen Eine-Region-Modell nach Wirtschaftsbereichen aufgegliedert, so entstehen bei den vorgelagerten Emissionen Fehler von maximal 2,47% und bei den nachgelagerten Emissionen Fehler von maximal 3,56%. Diese Werte lassen sich jedoch kaum mit den nach Handelspartnergruppen aufgegliederten Fehlern aus dem Drei-Regionen-Modell vergleichen. Schließlich repräsentiert jeder Wirtschaftsbereich drei Handelspartnergruppen, was zu geringeren Maxima bei den Fehlern führt. Gezeigt wurde hingegen, dass die Wirtschaftsbereiche der Handelspartnergruppen mit den höchsten Fehlern aus dem Drei-Regionen-Modell auch im globalen Eine-Region-Modell identifiziert werden konnten. Im Folgenden werden die essentiellen Erkenntnisse aus der empirischen Untersuchung anhand unternehmensspezifischer Umsatz- und Emissionsdaten zusammengefasst.

6.3.5 Essentielle Erkenntnisse aus der empirischen Untersuchung anhand unternehmensspezifischer Umsatz- und Emissionsdaten

In Anlehnung an die Umsatzdaten von Royal Dutch Shell aus dem Jahr 2009 wurde zunächst in einem globalen Drei-Regionen-Modell gezeigt, dass selbst bei einem der umsatzstärksten Unternehmen der Welt unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes das Gesamtergebnis der betrieblichen Treibhausgasbilanz lediglich um etwa 0,7% überschätzt wird. Die Überschätzung basiert zu etwa zwei Dritteln auf Doppelzählungen aus dem eigenen Unternehmensbeitrag und zu etwa einem Drittel auf Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen. Bei Aufgliederung der indirekten Emissionen nach Handelspartnergruppen werden mit Abweichungen bis zu 6,5% höhere Fehler festgestellt. Durch Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes können diese Fehler bereits auf Werte unterhalb 1,6% reduziert werden.

Nach Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen wurde festgestellt, dass die hervorgerufene Verbesserung der Ergebnisse der vollständigen Rückkopplungsbereinigung nicht zwangsläufig zu einer Verschlechterung der Ergebnisse unter Verwendung des Stan-

Standard Input-Output-Ansatzes führen müssen. Aufgrund der unterdurchschnittlichen direkten Emissionen des Beispielunternehmens führt die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nach Integration der unternehmensspezifischen direkten Emissionen zu geringeren Fehlern. Unterdurchschnittliche direkte Emissionen des Unternehmens führen zu höheren direkten Emissionen der übrigen Wirtschaft. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes kommt es deshalb zu einer partiellen Kannibalisierung zwischen zu niedrig angesetzten direkten Emissionsintensitäten der übrigen Welt und zu hoch angesetzten totalen Gütervolumina in der indirekten Verflechtung. Diese Kannibalisierung kann sogar zu einer Unterschätzung indirekter Emissionen führen, was im Bereich der nachgelagerten Emissionen bei Handelspartnergruppen, in denen das Beispielunternehmen selbst stark vertreten ist, gezeigt wurde. Die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes führt somit in der Regel zu höheren Fehlern, wenn das betrachtete Unternehmen selbst mit überdurchschnittlichen direkten Emissionen produziert.

Die Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen hat verdeutlicht, dass die Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes einerseits von doppelt gezählten Gütern und andererseits von falsch eingeschätzten Emissionen der übrigen Welt bestimmt werden. Während die doppelt gezählten Güter nur mit den vorgestellten Modifikationen der Input-Output-Modellierung beseitigt werden, können die falsch eingeschätzten Emissionen der übrigen Welt bereits im Standard Input-Output-Ansatz durch das Austauschen der direkten Emissionsintensitäten beseitigt werden. Am Beispiel hat sich jedoch gezeigt, dass die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten nicht zwangsläufig zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen muss. Die überdurchschnittlichen direkten Emissionen der übrigen Wirtschaft werden nun auch auf doppelt gezählte Güter angewendet, so dass die partielle Kannibalisierung der Fehler ausbleibt. Eine Verbesserung ist hingegen bei unterdurchschnittlichen direkten Emissionsintensitäten der übrigen Wirtschaft gegeben, weil dann keine Kannibalisierung der Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes ohne unternehmensbereinigte direkte Emissionsintensitäten entsteht. Die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten lohnt sich bei Unternehmen mit überdurchschnittlichen direkten Emissionen, während sie bei Unternehmen mit unterdurchschnittlichen direkten Emissionen mangels Kannibalisierung von Fehlern zu einer Verschlechterung der Ergebnisse führt. Der Erkenntnisgewinn durch Anwendung des unter-

nehmensbereinigten und vollständig rückkopplungsbereinigten Ansatzes steigt, je höher die Emissionen des betrachteten Unternehmens sind.

Aufgrund der zahlreichen Annahmen, welche die Integration der Daten des Beispielunternehmens in das globale Drei-Regionen-Modell überhaupt ermöglicht haben, wurden zur Vervollständigung betriebliche Treibhausgasbilanzen in einem globalen Eine-Region-Modell berechnet. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes wird das Gesamtergebnis im globalen Eine-Region-Modell um 0,77% überschätzt, während die Überschätzung im globalen Drei-Regionen-Modell lediglich 0,74% beträgt. In erster Linie kann somit festgehalten werden, dass sich der Fehler des Gesamtergebnisses durch die höhere Aggregationsebene kaum ändert. Interessant ist dabei jedoch, dass der Fehler sogar geringfügig steigt. Intuitiv hätte man angenommen, dass der eigene Unternehmensbeitrag auf der höheren Aggregationsebene geringer ins Gewicht fällt und somit auch der Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes abnimmt. Faktisch hat sich allerdings am Beispiel der unternehmensspezifischen Umsatzdaten das Gegenteil gezeigt. Als äußerst umsatzstarkes Unternehmen produziert das Beispielunternehmen auf der ganzen Welt, so dass der eigene Unternehmensbeitrag im globalen Eine-Region-Modell sogar stärker ins Gewicht fällt.

Größere Unterschiede zeigen sich hingegen bei der Aufgliederung der Ergebnisse. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass das Aufgliederungspotential im globalen Eine-Region-Modell 35 Wirtschaftsbereiche und im globalen Drei-Regionen-Modell 105 Handelspartnergruppen umfasst. Jedem Wirtschaftsbereich aus dem globalen Eine-Region-Modell stehen somit drei Handelspartnergruppen aus dem globalen Drei-Regionen-Modell gegenüber. Insofern ist es kaum verwunderlich, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes im globalen Eine-Region-Modell nur Fehler bis zu 3,5% und im globalen Drei-Regionen-Modell Fehler bis zu 6,5% entstehen. Mit Werten bis zu 1,0% im globalen Eine-Region-Modell und bis zu 1,6% im globalen Drei-Regionen-Modell wirkt sich die Aggregation hingegen schwächer auf Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes aus. Verdeutlicht wird allerdings, dass die Fehler der aufgegliederten Ergebnisse mit zunehmender Disaggregation steigen. Dennoch hat sich gezeigt, dass die Wirtschaftsbereiche der Handelspartnergruppen mit den höchsten Fehlern im globalen Drei-Region-Modell bereits im globalen Eine-Region-Modell relativ zuverlässig identifiziert werden können.

Die Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen im globalen Eine-Region-Modell führt zu keinen neuen Erkenntnissen. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes entsteht im globalen Eine-Region-Modell insgesamt ein geringfügig höherer Fehler als im globalen Drei-Regionen-Modell, der jedoch niedriger als bei völliger Vernachlässigung unternehmensspezifischer direkter Emissionen ausfällt. Die Fehler der aufgegliederten Ergebnisse haben geringere Maxima als im globalen Drei-Regionen-Modell, wobei auch hier die Unterschiede unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes deutlicher sind als unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes mit unternehmensbereinigten direkten Emissionsintensitäten steigt der Fehler der gesamten Treibhausgasbilanz im globalen Eine-Region-Modell etwas stärker als im globalen Drei-Regionen-Modell.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes die gesamte betriebliche Treibhausgasbilanz selbst bei einem der umsatzstärksten Unternehmen der Welt nur geringfügig überschätzt wird. Die regionale Aggregationsebene hat kaum Einfluss auf diesen Fehler. Höhere Fehler entstehen bei Aufgliederung der indirekten Emissionen nach Handelspartnergruppen, wobei mit zunehmender Disaggregation die Fehler steigen. Die Wirtschaftsbereiche der Handelspartnergruppen mit den höchsten Fehlern lassen sich bereits im globalen Eine-Region-Modell relativ gut identifizieren. Durch Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes werden die Fehler in der Regel erheblich reduziert. Die Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen führt nicht zwangsläufig zu höheren Fehlern unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes. Während die Überschätzung bei überdurchschnittlichen direkten Emissionen steigt, sinkt sie bei unterdurchschnittlichen Emissionen. Letzteres kann sogar zu einer Unterschätzung führen. Dementsprechend führt die Berücksichtigung unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten im Standard Input-Output-Ansatz auch nur bei überdurchschnittlichen direkten Emissionen zu einer Verbesserung, während sie bei unterdurchschnittlichen direkten Emissionen sogar zu höheren Fehlern führt.

Bislang wurden die Fehler unterschiedlicher Ansätze anhand eines konstruierten Unternehmensbeispiels auf Grundlage veröffentlichter Umsatz- und Emissionsdaten der Royal Dutch Shell untersucht. Damit konnte ein Einblick in die Größenordnung der Fehler bei einem der umsatzstärksten Unternehmen der Welt gewonnen werden. Um allgemeingültigere Aussa-

gen treffen zu können, wird im Folgenden anhand der WIOD untersucht, wie sich verschiedene Umsatzgrößenordnungen auf die Fehler auswirken. Da am konstruierten Unternehmensbeispiel bereits gezeigt wurde, dass eine höhere Aggregationsebene kaum Auswirkungen auf die Fehler der Gesamtergebnisse hat, wird den folgenden empirischen Untersuchungen das globale Eine-Region-Modell zugrunde gelegt.

6.4 Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes

6.4.1 Verteilung der Umsätze auf alle Wirtschaftsbereiche

In Kapitel 6.3 wurde anhand eines konstruierten Unternehmensbeispiels auf Grundlage veröffentlichter Umsatz- und Emissionsdaten der Royal Dutch Shell gezeigt, dass die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zur Schätzung betrieblicher Treibhausgasbilanzen selbst bei einem der umsatzstärksten Unternehmen der Welt lediglich zu einem Fehler von etwa 1% führt. Der Untersuchung wurde ein Unternehmen zugrunde gelegt, dessen Umsatz in den Wirtschaftsbereichen *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* sowie *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* in drei globalen Regionen erwirtschaftet wird. Um allgemeingültigere Aussagen zu treffen, wird zunächst die Konzentration der Produktionstätigkeit auf wenige Wirtschaftsbereiche aufgegeben. Im Folgenden wird für unterschiedliche Umsatzvolumina unterstellt, dass sich der Umsatz entsprechend des Güteraufkommens in der WIOD auf alle Wirtschaftsbereiche verteilt. Die EU definiert Unternehmen, deren Umsatz maximal 50 Millionen Euro beträgt, als kleine und mittlere Unternehmen (KMU).¹⁸⁷ Als kleinstes Umsatzvolumen wird deshalb ein Umsatz von 50 Millionen Euro gewählt. So geben die Ergebnisse einen Anhaltspunkt, in welcher Größenordnung sich die Fehler bei kleinen und mittleren Unternehmen bewegen. Darüber hinaus werden die Umsatzvolumina 500 Millionen Euro, 5.000 Millionen Euro, 50.000 Millionen Euro, 500.000 Millionen Euro und 5.000.000 Millionen Euro gewählt. Ein Euro entspricht im hier betrachteten Berichtsjahr 2009 in der WIOD 1,3948 US-Dollar.¹⁸⁸ Das vorletzte Umsatzvolumen von 500.000 Millionen Euro entspricht somit 697.400 Millionen US-Dollar und liegt bereits 71% oberhalb des höchsten veröffentlichten Umsatzes aus Tabelle 6-5. Um zu berücksichtigen, dass nicht alle Umsätze veröffentlicht werden, wurde zusätzlich das letzte

¹⁸⁷ Siehe hierzu Europäische Kommission (Hrsg.) (2003): Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen. Internet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:124:0036:0041:DE:PDF>, 26.01.2015, 4.

¹⁸⁸ Siehe hierzu World Input-Output Database (Hrsg.) (2013b), op. cit., -> World Input-Output Tables -> Exchange rates used to convert national values into US\$.

Umsatzvolumen in Höhe von 5.000.000 Millionen Euro gewählt, welches mehr als das Siebzehnfache des höchsten veröffentlichten Umsatzes beträgt. Tabelle 6-52 zeigt, welche Fehler bei den gewählten Umsatzvolumina im globalen Eine-Region-Modell entstehen.

Tabelle 6-52: Fehler im globalen Eine-Region-Modell nach Umsatzvolumina

Umsatz in Millionen Euro	Fehler					
	Vorgelagert, direkt und nachgelagert		Vorgelagert		Nachgelagert	
	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz	Standard Input-Output-Ansatz	Unternehmensbereinigter Ansatz
50	0,0001%	0,0000%	0,0001%	0,0000%	0,0001%	0,0000%
500	0,0008%	0,0003%	0,0011%	0,0004%	0,0012%	0,0005%
5.000	0,0082%	0,0030%	0,0110%	0,0036%	0,0117%	0,0048%
50.000	0,0820%	0,0299%	0,1096%	0,0362%	0,1167%	0,0477%
500.000	0,8232%	0,2994%	1,1035%	0,3625%	1,1753%	0,4786%
5.000.000	8,5822%	2,9898%	11,8389%	3,7189%	12,6374%	4,9411%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-52 wird deutlich, dass im globalen Eine-Region-Modell bei Umsätzen zwischen 50 und 5.000 Millionen Euro unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes lediglich Fehler jenseits des Promillebereiches entstehen. Bei 50.000 Millionen Euro Umsatz führt die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes für die Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen zu einem Fehler von 0,08%. Dabei werden die vorgelagerten Emissionen um 0,11% und die nachgelagerten Emissionen um 0,12% überschätzt. Die Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes reduziert den Fehler insgesamt auf 0,03%, wobei die vorgelagerten Emissionen um 0,04% und die nachgelagerten Emissionen um 0,05% überschätzt werden.

Bei 500.000 Millionen Euro Umsatz führt die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes für die Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen zu einem Fehler von 0,82%. Dabei werden die vorgelagerten Emissionen um 1,10% und die nachgelagerten Emissionen um 1,18% überschätzt. Die Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes reduziert den Fehler insgesamt auf 0,30%, wobei die vorgelagerten Emissionen um 0,36% und die nachgelagerten Emissionen um 0,48% überschätzt werden. Wie bereits

erwähnt, entspricht der Umsatz von 500.000 Millionen Euro hier 697.400 Millionen US-Dollar und beträgt somit mehr als das Doppelte des Umsatzes von Royal Dutch Shell, welcher als Grundlage für das konstruierte Unternehmensbeispiel diente. Die Fehler liegen jedoch nur geringfügig oberhalb der Fehler im konstruierten Unternehmensbeispiel. An späterer Stelle wird deshalb untersucht, wie sich die einzelnen Wirtschaftsbereiche auf die Fehler auswirken.

Bei 5.000.000 Millionen Euro Umsatz führt die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes für die Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen zu einem Fehler von 8,58%. Dabei werden die vorgelagerten Emissionen um 11,84% und die nachgelagerten Emissionen um 12,64% überschätzt. Die Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes reduziert den Fehler insgesamt auf 2,99%, wobei die vorgelagerten Emissionen um 3,72% und die nachgelagerten Emissionen um 4,94% überschätzt werden. Vergleicht man die Fehler der unterschiedlichen Umsatzvolumina miteinander, so zeigt sich, dass die Fehler stärker steigen als die Umsätze.

6.4.2 Konzentration der Umsätze auf einzelne Wirtschaftsbereiche

In Anlehnung an die Verteilung des globalen Güteraufkommens auf die einzelnen Wirtschaftsbereiche wurden im vorangegangenen Abschnitt ausgewählte Umsatzvolumina in das vollständig rückkopplungsbereinigte Modell integriert. Um zu untersuchen, welche Wirtschaftsbereiche besonders anfällig für Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes sind, werden im Folgenden die ausgewählten Umsatzvolumina vollständig den einzelnen Wirtschaftsbereichen zugeordnet. Tabelle 6-53 zeigt das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, bei denen der Standard Input-Output-Ansatz für die Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen bei einem Umsatz von 50 Millionen Euro zu den höchsten Fehlern führt. Die Fehler werden dabei für die alle ausgewählten Umsatzvolumina mit Ausnahme von 5.000.000 Millionen Euro aufgelistet. Letzteres war als konzentrierter Umsatz in keinem Wirtschaftsbereich realisierbar.

Tabelle 6-53: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind

Wirtschaftsbereich	Umsatz in Millionen Euro				
	50	500	5.000	50.000	500.000
Ledergewerbe	0,002%	0,018%	0,181%	2,169%	Nicht realisierbar
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	0,001%	0,010%	0,104%	1,118%	Nicht realisierbar
Textil- und Bekleidungsgewerbe	0,001%	0,010%	0,099%	1,016%	13,910%
Schifffahrt	0,001%	0,008%	0,080%	0,875%	Nicht realisierbar
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	0,001%	0,005%	0,052%	0,520%	5,605%
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,000%	0,004%	0,038%	0,390%	5,053%
Chemische Industrie	0,000%	0,004%	0,037%	0,375%	4,173%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	0,000%	0,004%	0,037%	0,380%	Nicht realisierbar
Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	0,000%	0,003%	0,033%	0,329%	3,578%
Fahrzeugbau	0,000%	0,003%	0,031%	0,311%	3,472%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-53 wird deutlich, dass auch bei Konzentration eines Umsatzes von 50 Millionen Euro auf einen einzelnen Wirtschaftsbereich keine wesentlichen Fehler entstehen. Dasselbe gilt für einen Umsatz von 500 Millionen Euro. Fehler im Promillebereich entstehen bei einem Umsatz von 5 Milliarden Euro und im Prozentbereich bei einem Umsatz von 50 Milliarden Euro. Am anfälligsten sind dabei die Wirtschaftsbereiche *Ledergewerbe, Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln), Textil- und Bekleidungsgewerbe, Schifffahrt* sowie *Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen*. Bei einem Umsatz von 50 Milliarden Euro entstehen in diesen Wirtschaftsbereichen Fehler von 2,2% bis 0,5%. Konzentriert sich ein Umsatz von 500 Milliarden Euro in einem einzelnen Wirtschaftsbereich, so kann für die

Wirtschaftsbereiche *Ledergewerbe, Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* und *Schifffahrt* kein Fehler mehr berechnet werden, da der Umsatz entsprechend der Input- und Outputkoeffizienten zu negativen Werten in der unternehmensbereinigten Input-Output-Tabelle führt. Im Wirtschaftsbereich *Textil- und Bekleidungsindustrie* entstünde hingegen ein Fehler von 14%, während in den Wirtschaftsbereichen *Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen, Papier-, Verlags- und Druckgewerbe, Chemische Industrie, Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik* und *Fahrzeugbau* Fehler zwischen 6% und 3% entstehen. Tabelle 6-54 zeigt das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, bei denen der unternehmensbereinigte Ansatz für die Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen bei einem Umsatz von 50 Millionen Euro zu den höchsten Fehlern führt.

Tabelle 6-54: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei der Summe aus vorgelagerten, direkten und nachgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind

Wirtschaftsbereich	Umsatz in Millionen Euro				
	50	500	5.000	50.000	500.000
Schifffahrt	0,000%	0,002%	0,022%	0,232%	Nicht realisierbar
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	0,000%	0,001%	0,013%	0,126%	1,269%
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,000%	0,001%	0,012%	0,124%	1,239%
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	0,000%	0,001%	0,012%	0,119%	Nicht realisierbar
Ledergewerbe	0,000%	0,001%	0,010%	0,110%	Nicht realisierbar
Chemische Industrie	0,000%	0,001%	0,009%	0,089%	0,923%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	0,000%	0,001%	0,009%	0,087%	Nicht realisierbar
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	0,000%	0,001%	0,008%	0,083%	0,845%
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	0,000%	0,001%	0,008%	0,079%	0,787%
Energie- und Wasserversorgung	0,000%	0,001%	0,007%	0,075%	0,832%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-54 wird deutlich, dass bereits mit dem unternehmensbereinigten Ansatz für Umsätze bis 5 Milliarden Euro die Fehler auf Werte jenseits des Promillebereiches reduziert werden können. Bei einem konzentrierten Umsatz von 50 Milliarden Euro entsteht im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* ein Fehler von etwa 0,2%. In den übrigen Wirtschaftsbereichen des Ranking liegen die Fehler bei etwa 0,1%. Fehler im Prozentbereich entstehen hingegen erst bei einem Umsatz von 500 Milliarden Euro. Mangels Realisierbarkeit eines Umsatzes von 500 Milliarden Euro im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* entsteht dabei der höchste Fehler mit 1,3% im Wirtschaftsbereich *Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen*. Darauf folgt der Wirtschaftsbereich *Textil- und Bekleidungsindustrie* mit einem Fehler von 1,2%. Während ein Umsatz von 500 Milliarden Euro in den Wirtschaftsbereichen *Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* und *Ledergewerbe* nicht realisierbar ist, entstehen in den Wirtschaftsbereichen *Chemische Industrie, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung* sowie *Energie- und Wasserversorgung* Fehler zwischen 0,9% und 0,8%. Die Fehler bei 500 Milliarden Euro Umsatz offenbaren, dass das Ranking bei diesem Umsatz abweichen würde. Jenseits der Auflistung entsteht jedoch in keinem Wirtschaftsbereich ein Fehler oberhalb der Listeneinträge. Tabelle 6-55 zeigt das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, bei denen der Standard Input-Output-Ansatz für vorgelagerte Emissionen bei einem Umsatz von 50 Millionen Euro zu den höchsten Fehlern führt.

Tabelle 6-55: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei den vorgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind

Wirtschaftsbereich	Umsatz in Millionen Euro				
	50	500	5.000	50.000	500.000
Ledergewerbe	0,002%	0,018%	0,178%	2,140%	Nicht realisierbar
Schifffahrt	0,002%	0,017%	0,172%	1,903%	Nicht realisierbar
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	0,001%	0,010%	0,105%	1,130%	Nicht realisierbar
Textil- und Bekleidungs-gewerbe	0,001%	0,010%	0,098%	1,009%	13,976%
Energie- und Wasserversorgung	0,001%	0,008%	0,075%	0,765%	9,090%
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	0,001%	0,006%	0,060%	0,601%	6,541%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	0,001%	0,005%	0,052%	0,521%	5,638%
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	0,000%	0,005%	0,048%	0,484%	5,335%
Chemische Industrie	0,000%	0,004%	0,044%	0,448%	5,027%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	0,000%	0,004%	0,042%	0,428%	Nicht realisierbar

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-55 wird deutlich, dass bei den vorgelagerten Emissionen erst bei Konzentration eines Umsatzes von 50 Milliarden Euro in einem einzelnen Wirtschaftsbereich Fehler im Prozentbereich entstehen. Am anfälligsten sind dabei die Wirtschaftsbereiche *Ledergewerbe*, *Schifffahrt*, *Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* sowie *Textil- und Bekleidungs-gewerbe* mit Fehlern zwischen 2,1% und 1,0%. Ein konzentrierter Umsatz von 500 Milliarden Euro lässt sich unter den soeben genannten Wirtschaftsbereichen nur im *Textil- und Beklei-dungsgewerbe* realisieren, wobei ein Fehler von 14% entsteht. In den Wirtschaftsbereichen *Energie- und Wasserversorgung*, *Metallerzeugung und -bearbeitung*, *Herstellung von Metall-erzeugnissen*, *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden*, *Land- und Forstwirtschaft*; *Fischerei und Fischzucht* sowie *Chemische Industrie* entstehen Fehler zwischen 9% und 5%. Bei einem Umsatz von 500 Milliarden Euro würde das Ranking abweichen. Jenseits der zehn aufgelisteten Wirtschaftsbereiche entsteht im Wirtschaftsbereich *Papier-, Verlags- und*

Druckgewerbe ein Fehler von 5,5%. Bei allen übrigen Wirtschaftsbereichen entstehen Fehler unterhalb 5%. Tabelle 6-56 zeigt das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, bei denen der unternehmensbereinigte Ansatz für vorgelagerte Emissionen bei einem Umsatz von 50 Millionen Euro zu den höchsten Fehlern führt.

Tabelle 6-56: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei den vorgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind

Wirtschaftsbereich	Umsatz in Millionen Euro				
	50	500	5.000	50.000	500.000
Schifffahrt	0,000%	0,005%	0,048%	0,523%	Nicht realisierbar
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	0,000%	0,002%	0,022%	0,224%	2,343%
Energie- und Wasserversorgung	0,000%	0,002%	0,020%	0,202%	2,355%
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	0,000%	0,001%	0,013%	0,132%	1,338%
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	0,000%	0,001%	0,010%	0,108%	Nicht realisierbar
Chemische Industrie	0,000%	0,001%	0,010%	0,101%	1,050%
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	0,000%	0,001%	0,010%	0,099%	1,096%
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	0,000%	0,001%	0,009%	0,093%	Nicht realisierbar
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	0,000%	0,001%	0,009%	0,088%	Nicht realisierbar
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	0,000%	0,001%	0,009%	0,088%	Nicht realisierbar

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-56 wird deutlich, dass mit dem unternehmensbereinigten Ansatz auch die Fehler der vorgelagerten Emissionen für Umsätze bis 5 Milliarden Euro auf Werte jenseits des Promillebereiches reduziert werden können. Bei einem konzentrierten Umsatz von 50 Milliarden Euro entsteht im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* ein Fehler von etwa 0,5%, in den Wirtschaftsbereichen *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* sowie *Energie- und Wasserversorgung* liegen die Fehler bei etwa 0,2% und in den übrigen sieben aufgelisteten Wirtschaftsbereichen bei etwa 0,1%. Ein konzentrierter Umsatz von 500 Milliarden Euro ist in

den Wirtschaftsbereichen *Schifffahrt* und *Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* nicht realisierbar. Die höchsten Fehler entstehen in den Wirtschaftsbereichen *Energie- und Wasserversorgung*, *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* sowie *Glasgewerbe*, *Keramik*, *Verarbeitung von Steinen und Erden* mit etwa 2%. In den übrigen fünf aufgelisteten Wirtschaftsbereichen liegen die Fehler bei etwa 1%. Die Fehler bei 500 Milliarden Euro Umsatz offenbaren, dass das Ranking bei diesem Umsatz abweichen würde. Die Fehler jenseits der Auflistung liegen jedoch bei maximal 0,88%, so dass sich an der Identifikation der höchsten Fehler nichts ändern würde. Tabelle 6-57 zeigt das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, bei denen der Standard Input-Output-Ansatz für nachgelagerte Emissionen bei einem Umsatz von 50 Millionen Euro zu den höchsten Fehlern führt.

Tabelle 6-57: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei den nachgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind

Wirtschaftsbereich	Umsatz in Millionen Euro				
	50	500	5.000	50.000	500.000
Ledergewerbe	0,002%	0,025%	0,250%	2,990%	Nicht realisierbar
Textil- und Bekleidungs-gewerbe	0,001%	0,014%	0,143%	1,473%	20,748%
Schifffahrt	0,001%	0,014%	0,141%	1,547%	Nicht realisierbar
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	0,001%	0,013%	0,129%	1,393%	Nicht realisierbar
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	0,001%	0,007%	0,074%	0,750%	8,247%
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	0,001%	0,007%	0,074%	0,768%	Nicht realisierbar
Energie- und Wasserversorgung	0,001%	0,007%	0,072%	0,733%	8,683%
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	0,001%	0,006%	0,060%	0,605%	6,748%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	0,001%	0,005%	0,052%	0,530%	Nicht realisierbar
Chemische Industrie	0,000%	0,005%	0,050%	0,502%	5,658%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-57 wird deutlich, dass bei den nachgelagerten Emissionen erst bei Konzentration eines Umsatzes von 50 Milliarden Euro in einem einzelnen Wirtschaftsbereich Fehler im

Prozentbereich entstehen. Am anfälligsten ist dabei mit Abstand der Wirtschaftsbereich *Leidergewerbe*, bei dem ein Fehler von 3,0% entsteht. Darauf folgen die Wirtschaftsbereiche *Schifffahrt* und *Textil- und Bekleidungsgewerbe* mit Fehlern von 1,5% sowie der Wirtschaftsbereich *Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* mit einem Fehler von 1,4%. In den übrigen sechs aufgelisteten Wirtschaftsbereichen entstehen hingegen nur Fehler zwischen 0,8% und 0,5%. Ein konzentrierter Umsatz von 500 Milliarden Euro lässt sich unter den genannten Wirtschaftsbereichen nur im *Textil- und Bekleidungsgewerbe* realisieren, wobei ein Fehler von 21% entsteht. Bei den übrigen vier aufgelisteten Wirtschaftsbereichen entstehen Fehler zwischen 9% und 6%. Die Fehler bei 500 Milliarden und 50 Milliarden Euro Umsatz offenbaren, dass die Rankings bei diesen Umsätzen abweichen würden. Bei 50 Milliarden Euro Umsatz entsteht jenseits der Auflistung im Wirtschaftsbereich *Luftfahrt* ein Fehler von 0,503%, so dass dieser hier den Wirtschaftsbereich *Chemische Industrie* vom zehnten Rang verdrängen würde. In allen übrigen Wirtschaftsbereichen jenseits der Auflistung entstehen jedoch nur noch geringere Fehler. Ein konzentrierter Umsatz von 500 Milliarden Euro ist im Wirtschaftsbereich *Luftfahrt* nicht realisierbar. Allerdings entsteht im Wirtschaftsbereich *Papier-, Verlags- und Druckgewerbe* ein Fehler von 6,2%, so dass dieser den Wirtschaftsbereich *Chemische Industrie* aus der Auflistung verdrängen würde. In allen übrigen Wirtschaftsbereichen jenseits der Auflistung entstehen jedoch nur noch geringere Fehler als im Wirtschaftsbereich *Chemische Industrie*. Tabelle 6-58 zeigt das Ranking der zehn Wirtschaftsbereiche, bei denen der unternehmensbereinigte Ansatz für nachgelagerte Emissionen bei einem Umsatz von 50 Millionen Euro zu den höchsten Fehlern führt.

Tabelle 6-58: Fehler der zehn Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes und einem Umsatz von 50 Millionen Euro bei den nachgelagerten Emissionen am fehleranfälligsten sind

Wirtschaftsbereich	Umsatz in Millionen Euro				
	50	500	5.000	50.000	500.000
Ledergewerbe	0,000%	0,004%	0,038%	0,415%	Nicht realisierbar
Schifffahrt	0,000%	0,004%	0,037%	0,396%	Nicht realisierbar
Textil- und Bekleidungsgewerbe	0,000%	0,003%	0,030%	0,301%	3,183%
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	0,000%	0,002%	0,023%	0,229%	2,333%
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	0,000%	0,002%	0,022%	0,224%	Nicht realisierbar
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	0,000%	0,002%	0,021%	0,213%	Nicht realisierbar
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	0,000%	0,002%	0,020%	0,203%	2,092%
Energie- und Wasserversorgung	0,000%	0,002%	0,019%	0,192%	2,229%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	0,000%	0,001%	0,014%	0,137%	Nicht realisierbar
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	0,000%	0,001%	0,013%	0,130%	1,454%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Aus Tabelle 6-58 wird deutlich, dass mit dem unternehmensbereinigten Ansatz auch die Fehler der nachgelagerten Emissionen für Umsätze bis 5 Milliarden Euro auf Werte jenseits des Promillebereiches reduziert werden können. Bei einem konzentrierten Umsatz von 50 Milliarden Euro entstehen in den Wirtschaftsbereichen *Ledergewerbe* und *Schifffahrt* mit Werten von etwa 0,4% die höchsten Fehler. Im Wirtschaftsbereich *Textil- und Bekleidungsgewerbe* entsteht ein Fehler von 0,3% und in den übrigen sieben aufgelisteten Wirtschaftsbereichen liegen die Fehler zwischen 0,2% und 0,1%. Ein konzentrierter Umsatz von 500 Milliarden Euro ist in den Wirtschaftsbereichen *Ledergewerbe*, *Schifffahrt* und *Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* nicht realisierbar. Der höchste Fehler entsteht im Wirtschaftsbereich *Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden* mit einem Wert von etwa 4%. Ein Fehler von etwa 3% entsteht im Wirtschaftsbereich *Textil- und Bekleidungsgewerbe*. In den übrigen fünf aufgelisteten Wirtschaftsbereichen liegen die Fehler bei Werten zwischen 2%

und 1%. Die Fehler bei 500 Milliarden Euro Umsatz offenbaren, dass das Ranking bei diesem Umsatz abweichen würde. Jenseits der Auflistung liegen die Fehler jedoch bei maximal 1,3%, so dass sich an der Identifikation der höchsten Fehler nichts ändern würde.

Toleriert man für die Summenbetrachtung Fehler bis zu 1%, so stellt sich die Frage der Notwendigkeit einer Bereinigung um Doppelzahlungen lediglich bei Umsätzen ab 5 Milliarden Euro. Bei Umsätzen bis 50 Milliarden Euro werden die Fehler mit dem unternehmensbereinigten Ansatz bereits so weit reduziert, dass sich die Frage der Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsbereinigung sogar erst bei Umsätzen ab 50 Milliarden Euro stellt. Die Notwendigkeit einer Bereinigung um Doppelzahlungen hängt stark vom Produktionsschwerpunkt des Unternehmens ab. Um zu untersuchen, ab welchen Umsätzen in den einzelnen Wirtschaftsbereichen eine Unternehmensbereinigung oder sogar eine vollständige Rückkopplungsbereinigung angebracht ist, werden im Folgenden die Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes grafisch analysiert.

6.4.3 Notwendigkeit einer Bereinigung um Doppelzahlungen

Im vorangegangenen Abschnitt wurde bereits festgestellt, dass selbst bei Konzentration auf einzelne Wirtschaftsbereiche unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bis zu einem Umsatz von 5 Milliarden Euro und unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bis zu einem Umsatz von 50 Milliarden Euro in der Summenbetrachtung nur Fehler unterhalb von 1% entstehen. Wird ein Fehler von 1% toleriert, so stellt sich folglich ab Umsätzen von 5 Milliarden Euro die Frage, für welche Wirtschaftsbereiche ab welchen Umsätzen die Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nicht mehr angebracht ist. Im Folgenden werden die Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes deshalb grafisch analysiert.

Zur verständlichen Darstellung wird die Untersuchung dieser Frage auf relevante Wirtschaftsbereiche und Umsätze beschränkt. Da ein Umsatz von 500 Milliarden Euro den höchsten veröffentlichten Umsatz bereits um 71% übersteigt, werden lediglich Umsätze bis zu 300 Milliarden Euro abgebildet. Letzterer überschreitet den höchsten veröffentlichten Umsatz nur um etwa 3%, so dass die bekannten realisierten Umsätze abgedeckt werden. Wirtschaftsbereiche werden hier als relevant definiert, sofern sie bei einem Umsatz von 300 Milliarden Euro zu einem Fehler von mindestens 1% führen oder im Ranking nach Fehlern bei Umsätzen von 50 Millionen Euro oberhalb des ersten Wirtschaftsbereiches gelistet sind, der bei einem Umsatz von 300 Milliarden Euro einen Fehler unterhalb von 1% hervorruft. Tabel-

le 6-59 zeigt die Liste der fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes.

Tabelle 6-59: Identifikation der fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes

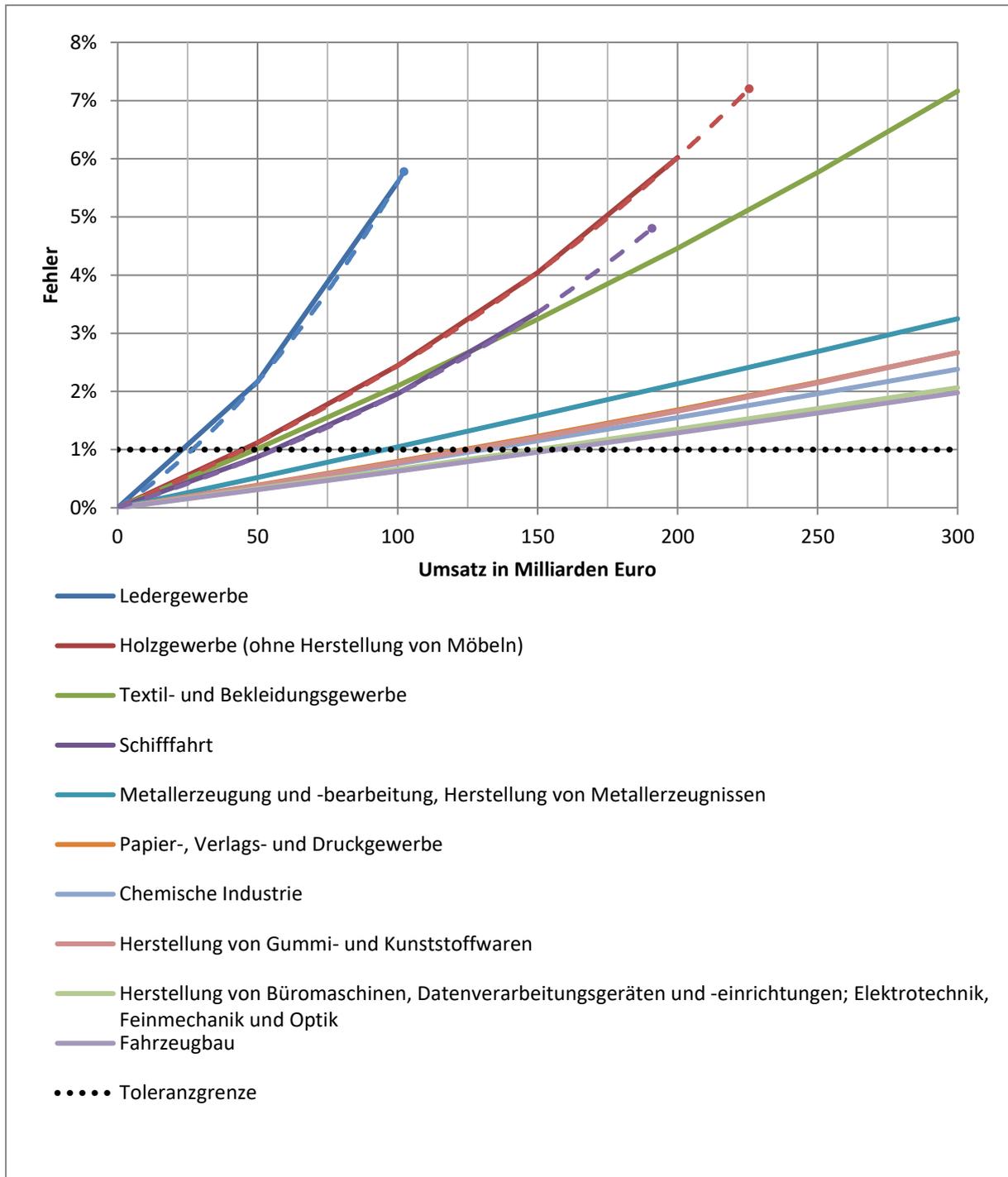
Wirtschaftsbereich	Umsatz in Millionen Euro	
	50	300.000
Ledergewerbe	0,0018%	Nicht realisierbar
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	0,0010%	Nicht realisierbar
Textil- und Bekleidungsindustrie	0,0010%	7,16%
Schifffahrt	0,0008%	Nicht realisierbar
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	0,0005%	3,25%
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,0004%	2,67%
Chemische Industrie	0,0004%	2,38%
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	0,0004%	2,67%
Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	0,0003%	2,06%
Fahrzeugbau	0,0003%	1,98%
Energie- und Wasserversorgung	0,0003%	1,83%
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	0,0002%	1,98%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	0,0002%	1,52%
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	0,0002%	1,23%
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	0,0002%	1,29%
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	0,0002%	1,09%
Maschinenbau	0,0002%	1,10%
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	0,0002%	1,02%
Luftfahrt	0,0001%	Nicht realisierbar
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten und sonstigen Erzeugnissen; Recycling	0,0001%	1,05%
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	0,0001%	0,65%

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

In Tabelle 6-59 werden 21 der insgesamt 35 Wirtschaftsbereiche aufgelistet. Während die ersten zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche bereits in Tabelle 6-53 aufgelistet wurden, folgen jenseits dieser zehn Wirtschaftsbereiche zehn weitere fehlerrelevante Wirtschaftsbe-

reiche und der Wirtschaftsbereich *Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen*, welcher bei einem Umsatz von 300 Milliarden Euro nur einen Fehler von 0,65% hervorruft und somit nicht mehr als fehlerrelevanter Wirtschaftsbereich definiert wird. Die grafische Analyse beschränkt sich folglich auf 20 Wirtschaftsbereiche. Zur verständlichen Darstellung wird die grafische Analyse in zwei Diagramme aufgeteilt, wobei die Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes im ersten Diagramm für die ersten zehn gelisteten fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche und im zweiten Diagramm für die darauf folgenden zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche abgebildet werden. Abbildung 6-3 zeigt die Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes für die ersten zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche.

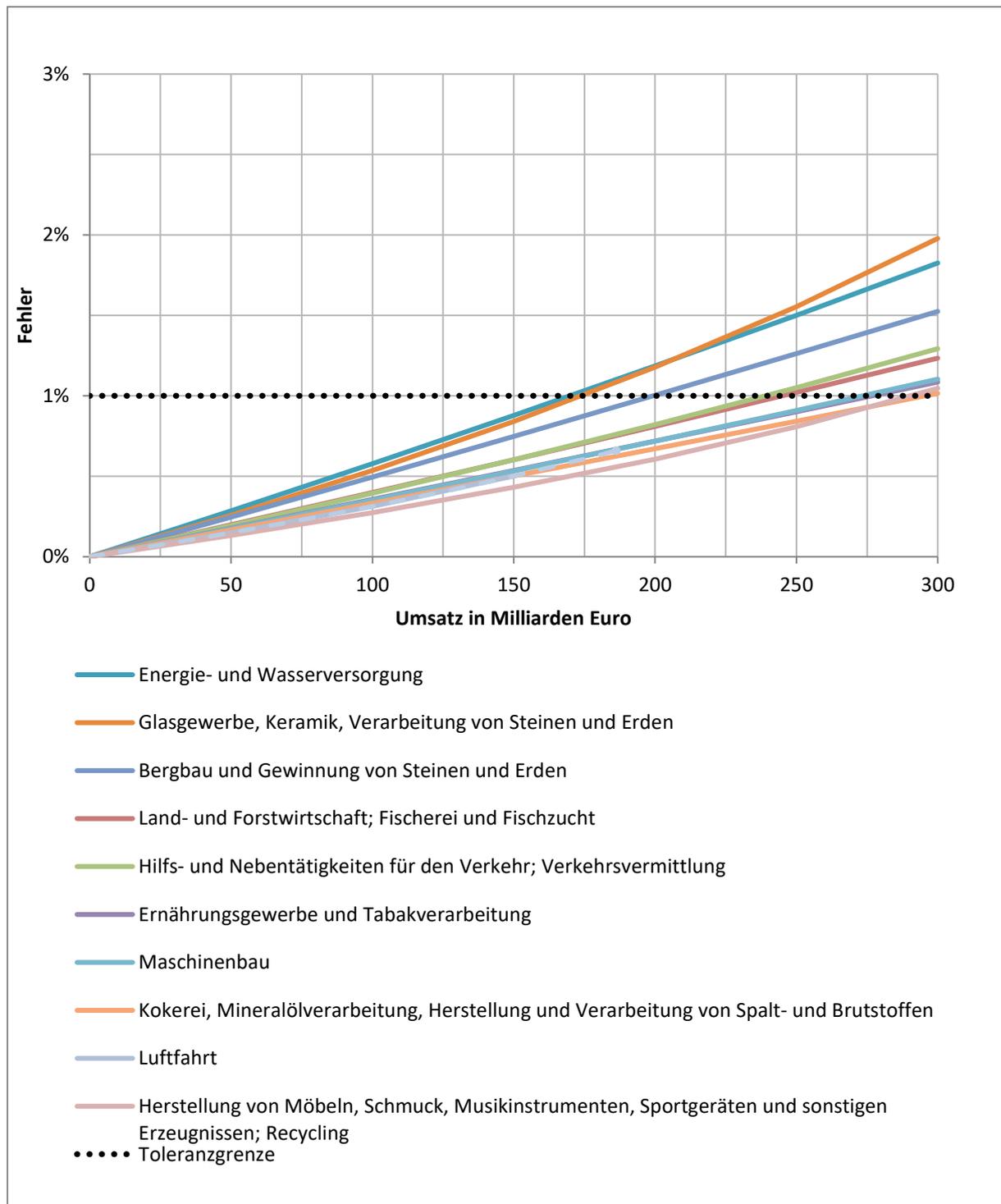
Abbildung 6-3: Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes (1. Teil)



Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014. Die Fehler werden in 50-Milliarden-Euro-Intervallen berechnet. Sofern ein Umsatz von 300 Milliarden Euro jenseits der Realisierbarkeit liegt, werden die Fehler aus den vorherigen in 50-Milliarden-Euro-Intervallen berechneten Fehlern über Polynomfunktionen dritten Grades mit Bestimmtheitsmaßen von mindestens 99,99% bis zum höchsten realisierbaren Umsatz extrapoliert und gestrichelt mit abschließendem Punkt dargestellt.

Aus Abbildung 6-3 wird ersichtlich, bei welchen Umsätzen in den ersten zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereichen mit welchen Fehlern gerechnet werden muss. Ein Fehler von 1% entsteht im Wirtschaftsbereich *Ledergewerbe* ab etwa 25 Milliarden Euro Umsatz, im Wirtschaftsbereich *Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* ab etwa 45 Milliarden Euro Umsatz, im Wirtschaftsbereich *Textil- und Bekleidungsgewerbe* ab etwa 50 Milliarden Euro Umsatz, im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* ab etwa 55 Milliarden Euro Umsatz, im Wirtschaftsbereich *Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen* ab etwa 95 Milliarden Euro Umsatz, in den Wirtschaftsbereichen *Papier-, Verlags- und Druckgewerbe, Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren* und *Chemische Industrie* ab etwa 125 Milliarden Euro Umsatz sowie in den Wirtschaftsbereichen *Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik* und *Fahrzeugbau* ab etwa 150 Milliarden Euro Umsatz. Abbildung 6-4 zeigt die Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes für die übrigen zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche.

Abbildung 6-4: Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes (2. Teil)



Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014. Die Fehler werden in 50-Milliarden-Euro-Intervallen berechnet. Sofern ein Umsatz von 300 Milliarden Euro jenseits der Realisierbarkeit liegt, werden die Fehler aus den vorherigen in 50-Milliarden-Euro-Intervallen berechneten Fehlern über Polynomfunktionen dritten Grades mit Bestimmtheitsmaßen von mindestens 99,99% bis zum höchsten realisierbaren Umsatz extrapoliert und gestrichelt mit abschließendem Punkt dargestellt.

Aus Abbildung 6-4 wird ersichtlich, bei welchen Umsätzen in den übrigen zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereichen mit welchen Fehlern gerechnet werden muss. Ein Fehler von 1% entsteht im Wirtschaftsbereich *Energie- und Wasserversorgung* ab etwa 170 Milliarden Euro Umsatz, im Wirtschaftsbereich *Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden* ab etwa 175 Milliarden Euro Umsatz, im Wirtschaftsbereich *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* ab etwa 200 Milliarden Euro Umsatz, im Wirtschaftsbereich *Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung* ab etwa 240 Milliarden Euro Umsatz, im Wirtschaftsbereich *Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht* ab etwa 245 Milliarden Euro Umsatz, in den Wirtschaftsbereichen *Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung* sowie *Maschinenbau* ab etwa 275 Milliarden Euro, im Wirtschaftsbereich *Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten und sonstigen Erzeugnissen; Recycling* ab etwa 280 Milliarden Euro Umsatz und im Wirtschaftsbereich *Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen* ab etwa 290 Milliarden Euro. Im Wirtschaftsbereich *Luftfahrt* entsteht selbst beim höchsten realisierbaren Umsatz nur ein Fehler innerhalb des definierten Toleranzbereiches, so dass die Toleranzgrenze überhaupt nicht überschritten wird. Die Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes lassen sich über Polynomfunktionen dritten Grades mit Bestimmtheitsmaßen von mehr als 99,99% beschreiben. Tabelle 6-60 zeigt diese Polynomfunktionen sowie die höchsten realisierbaren Umsätze. Die Wirtschaftsbereiche sind absteigend nach Höhe des zu erwartenden Fehlers bei einem Umsatz von 50 Millionen Euro geordnet.

Tabelle 6-60: Polynomfunktionen zur Ermittlung der Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes nach Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes

Wirtschaftsbereich	Polynomfunktion ($y = \text{Fehler in Prozent}$; $x = \text{Umsatz in Milliarden Euro}$)	Höchster realisierbarer Umsatz in Milliarden Euro
Ledergewerbe	$y = 10^{-6}x^3 + 10^{-4}x^2 + 0,036x - 0,0008$	102
Holzwirtschaft (ohne Herstellung von Möbeln)	$y = 10^{-7}x^3 + 2 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0209x - 0,0012$	226
Textil- und Bekleidungsindustrie	$y = 10^{-8}x^3 + 9 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,02x - 0,0029$	536
Schifffahrt	$y = 10^{-7}x^3 + 2 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,016x - 0,0005$	191
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	$y = 4 \cdot 10^{-10}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0103x - 2 \cdot 10^{-5}$	1.657
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	$y = 4 \cdot 10^{-9}x^3 + 3 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0077x - 0,0009$	640
Chemische Industrie	$y = 6 \cdot 10^{-10}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0074x - 6 \cdot 10^{-5}$	1.212
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	$y = 8 \cdot 10^{-9}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0076x - 0,0018$	467
Herstellung von Büro- und Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	$y = 3 \cdot 10^{-10}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0,0065x - 2 \cdot 10^{-5}$	1.493
Fahrzeugbau	$y = 5 \cdot 10^{-10}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0,0061x - 5 \cdot 10^{-5}$	1.279
Energie- und Wasserversorgung	$y = 7 \cdot 10^{-10}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0,0056x - 9 \cdot 10^{-5}$	1.089
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	$y = 10^{-8}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0051x - 0,0019$	407
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	$y = 2 \cdot 10^{-10}x^3 + 6 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0049x - 8 \cdot 10^{-6}$	1.389
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	$y = 2 \cdot 10^{-10}x^3 + 5 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0039x - 8 \cdot 10^{-6}$	1.393
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	$y = 3 \cdot 10^{-9}x^3 + 8 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0038x - 0,0004$	485
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	$y = 6 \cdot 10^{-11}x^3 + 2 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0035x - 2 \cdot 10^{-6}$	1.772
Maschinenbau	$y = 5 \cdot 10^{-10}x^3 + 6 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0034x - 2 \cdot 10^{-5}$	870
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Bruttstoffen	$y = 2 \cdot 10^{-10}x^3 + 2 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0033x - 2 \cdot 10^{-5}$	799
Luftfahrt	$y = 10^{-8}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0,0029x - 5 \cdot 10^{-5}$	186
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten und sonstigen Erzeugnissen; Recycling	$y = 6 \cdot 10^{-9}x^3 + 10^{-6}x^2 + 0,0026x - 0,0002$	302
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	$y = 7 \cdot 10^{-11}x^3 + 9 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0021x - 10^{-5}$	1.030
Kredit- und Versicherungsgewerbe	$y = 4 \cdot 10^{-11}x^3 + 2 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0019x - 2 \cdot 10^{-6}$	2.314
Nachrichtenübermittlung	$y = 4 \cdot 10^{-10}x^3 + 3 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0018x - 7 \cdot 10^{-5}$	832
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	$y = 10^{-11}x^3 + 3 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0017x - 3 \cdot 10^{-7}$	3.207
Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen	$y = 9 \cdot 10^{-11}x^3 + 2 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0014x - 10^{-5}$	1.324
Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen	$y = 10^{-10}x^3 + 10^{-8}x^2 + 0,0012x - 10^{-5}$	379
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	$y = 2 \cdot 10^{-12}x^3 + 8 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0009x + 2 \cdot 10^{-7}$	1.908
Gastgewerbe	$y = 2 \cdot 10^{-12}x^3 + 4 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0007x - 4 \cdot 10^{-7}$	1.058
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	$y = 5 \cdot 10^{-13}x^3 + 2 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0006x + 9 \cdot 10^{-8}$	1.452
Baugewerbe	$y = 2 \cdot 10^{-12}x^3 + 10^{-8}x^2 + 0,0005x - 2 \cdot 10^{-7}$	3.076
Grundstück- und Wohnungswesen	$y = 10^{-12}x^3 + 5 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0004x - 6 \cdot 10^{-8}$	2.526
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	$y = 9 \cdot 10^{-14}x^3 + 5 \cdot 10^{-10}x^2 + 0,0002x - 2 \cdot 10^{-7}$	2.522
Erziehung und Unterricht	$y = 10^{-11}x^3 + 10^{-8}x^2 + 0,0002x - 2 \cdot 10^{-6}$	954
Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	$y = 4 \cdot 10^{-12}x^3 + 10^{-8}x^2 + 0,0001x - 6 \cdot 10^{-7}$	1.808
Private Haushalte	$y = 5 \cdot 10^{-12}x^3 + 10^{-10}x^2 + 2 \cdot 10^{-5}x - 3 \cdot 10^{-7}$	38

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Anhand der Polynomfunktionen aus Tabelle 6-60 können Unternehmen in Abhängigkeit ihres Umsatzes und ihres Wirtschaftsbereiches schätzen, welcher Fehler aufgrund von Doppelzählungen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zu erwarten ist. Sind Unternehmen in mehreren Wirtschaftsbereichen tätig, so kann anhand des Wirtschaftsbereiches, in dem der Hauptteil des Umsatzes erwirtschaftet wird, eine erste Einschätzung des zu erwartenden Fehlers erlangt werden. In Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4 wurde bereits grafisch untersucht, ab welchen Umsätzen in den einzelnen Wirtschaftsbereichen ein Fehler von 1% erreicht wird. Um diese Umsätze genauer zu bestimmen, werden Schätzfunktionen für den Umsatz in Abhängigkeit des erwarteten Fehlers benötigt. Diese lassen sich ebenfalls über Polynome dritten Grades mit Bestimmtheitsmaßen von mehr als 99,99% beschreiben. Tabelle 6-61 zeigt diese Polynomfunktionen, die höchsten realisierbaren Fehler sowie die Umsätze bei einem erwarteten Fehler von 1%. Die Wirtschaftsbereiche sind absteigend nach Höhe des zu erwartenden Fehlers bei einem Umsatz von 50 Millionen Euro geordnet.

Tabelle 6-61: Polynomfunktionen zur Ermittlung der Umsätze in Abhängigkeit des Fehlers nach Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes

Wirtschaftsbereich	Polynomfunktion ($y = \text{Umsatz in Milliarden Euro; } x = \text{Fehler in Prozent}$)	Höchster realisierbarer Fehler	Umsatz in Milliarden Euro bei einem Fehler von 1%
Ledergewerbe	$y = 0,1374x^3 - 2,5761x^2 + 27,983x + 0,0112$	5,798%	25,556
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	$y = 0,1317x^3 - 3,2809x^2 + 48,185x + 0,0328$	7,229%	45,069
Textil- und Bekleidungsgewerbe	$y = 0,0216x^3 - 1,3357x^2 + 50,349x + 0,0947$	15,391%	49,130
Schifffahrt	$y = 0,4598x^3 - 6,9788x^2 + 62,902x + 0,0101$	4,853%	56,393
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	$y = 0,0165x^3 - 1,466x^2 + 96,911x + 0,0007$	23,489%	95,462
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	$y = 0,2583x^3 - 7,6442x^2 + 130,99x + 0,0229$	7,187%	123,627
Chemische Industrie	$y = 0,0678x^3 - 3,879x^2 + 134,81x + 0,0005$	12,608%	130,999
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	$y = 0,2912x^3 - 9,3939x^2 + 135,41x - 0,0228$	4,816%	126,285
Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	$y = 0,0711x^3 - 4,0811x^2 + 153,45x + 0,0004$	13,552%	149,440
Fahrzeugbau	$y = 0,148x^3 - 5,8896x^2 + 162,68x + 0,0023$	11,326%	156,941
Energie- und Wasserversorgung	$y = 0,1498x^3 - 7,3918x^2 + 177,32x - 0,0016$	8,761%	170,076
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	$y = 2,2756x^3 - 29,876x^2 + 201,81x + 0,0574$	3,105%	174,267
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	$y = -0,0299x^3 - 4,8532x^2 + 204,24x - 0,0009$	8,603%	199,356
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	$y = -0,0195x^3 - 8,6447x^2 + 253,81x - 0,0012$	7,239%	245,145
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	$y = -0,2879x^3 - 24,23x^2 + 263,85x - 0,0375$	2,363%	239,295
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	$y = -0,1117x^3 - 5,5755x^2 + 282,55x - 3 \cdot 10^{-5}$	7,544%	276,863
Maschinenbau	$y = -0,1949x^3 - 16,579x^2 + 290,36x - 0,006$	3,874%	273,580
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	$y = -1,0681x^3 - 5,4969x^2 + 302,11x + 0,0054$	2,888%	295,550
Luftfahrt	$y = -27,899x^3 - 85,445x^2 + 348,83x - 0,002$	0,664%	Nicht realisierbar
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten und sonstigen Erzeugnissen; Recycling	$y = 10,206x^3 - 114,78x^2 + 395,52x - 0,0412$	1,057%	290,905
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	$y = -2,2656x^3 - 10,495x^2 + 472,01x + 0,0023$	2,381%	459,252
Kredit- und Versicherungsgewerbe	$y = 0,4321x^3 - 27,094x^2 + 525,57x - 0,0003$	6,060%	498,908
Nachrichtenübermittlung	$y = -1,0733x^3 - 66,603x^2 + 550,3x - 0,0088$	2,000%	482,615
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	$y = -0,3607x^3 - 14,529x^2 + 597,06x - 0,0001$	6,554%	582,170
Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen	$y = -2,0257x^3 - 68,389x^2 + 711,3x - 0,0016$	2,460%	640,884
Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen	$y = -57,509x^3 - 10,962x^2 + 853,41x + 0,01$	0,453%	Nicht realisierbar
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	$y = -1,9238x^3 - 9,4131x^2 + 1065,9x - 0,0002$	1,836%	1.054,563
Gastgewerbe	$y = -7,9595x^3 - 10,829x^2 + 1453,6x + 0,0005$	0,734%	Nicht realisierbar
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	$y = -3,2675x^3 - 10,542x^2 + 1657,6x - 0,0001$	0,883%	Nicht realisierbar
Baugewerbe	$y = -18,249x^3 - 97,942x^2 + 1931,1x + 0,0002$	1,827%	1.814,909
Grundstück- und Wohnungswesen	$y = -46,017x^3 - 99,501x^2 + 2697,6x + 9 \cdot 10^{-5}$	0,997%	Nicht realisierbar
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	$y = -103,75x^3 - 105x^2 + 5957x + 0,0009$	0,429%	Nicht realisierbar
Erziehung und Unterricht	$y = -7708,8x^3 - 2557,4x^2 + 6066,7x + 0,0045$	0,178%	Nicht realisierbar
Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	$y = -2810,8x^3 - 7560x^2 + 8547,1x + 0,0007$	0,287%	Nicht realisierbar
Private Haushalte	$y = -4 \cdot 10^7x^3 - 13862x^2 + 51831x - 0,0176$	0,001%	Nicht realisierbar

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

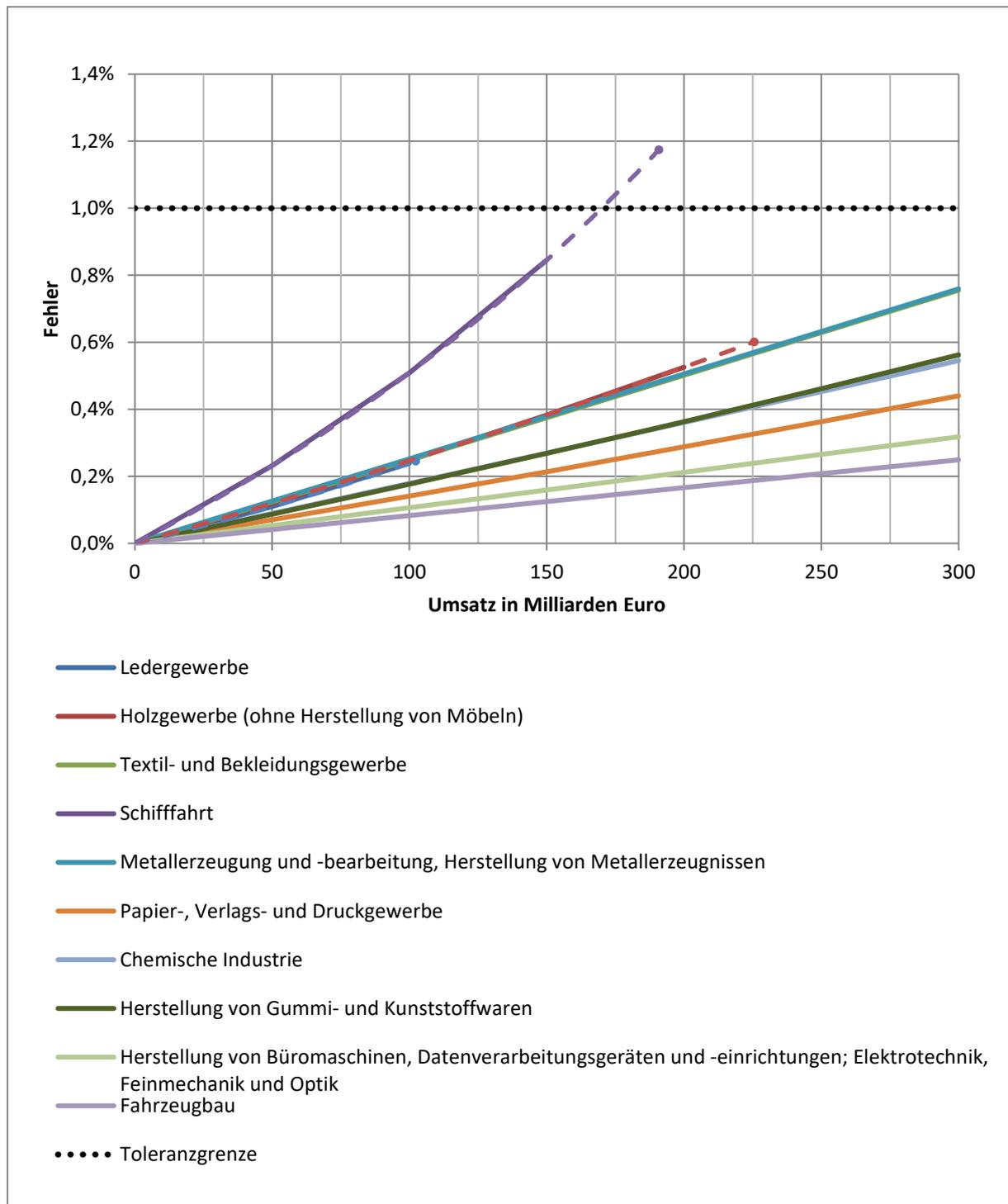
Aus Tabelle 6-61 wird ersichtlich, dass bei einigen Wirtschaftsbereichen ein Fehler von 1% unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes jenseits des höchsten realisierbaren Umsatzes liegt. Sollen die kritischen Umsätze für andere tolerierte Fehler berechnet werden, so ist dies in jedem Wirtschaftsbereich nur bis zum jeweils höchsten realisierbaren Fehler

möglich. Überschreiten die Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes den tolerierten Fehler von 1%, so stellt sich zunächst die Frage, ob der unternehmensbereinigte Ansatz bereits zu Fehlern unterhalb von 1% führt. Deshalb wird im folgenden Abschnitt untersucht, für welche Wirtschaftsbereiche ab welchen Umsätzen bis zu 300 Milliarden Euro der unternehmensbereinigte Ansatz zu Fehlern oberhalb von 1% führt.

6.4.4 Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsbereinigung

Im vorangegangenen Abschnitt wurde ein Fehler von 1% als Toleranzgrenze definiert und untersucht, für welche Wirtschaftsbereiche ab welchen Umsätzen diese Toleranzgrenze unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes überschritten wird. Ist der Standard Input-Output-Ansatz nicht mehr zur Schätzung innerhalb dieser Fehlertoleranz geeignet, so stellt sich die Frage, ob bereits der unternehmensbereinigte Ansatz oder erst die vollständige Rückkopplungsbereinigung zur Wahrung der Toleranzgrenze ausreicht. Für jene Wirtschaftsbereiche, die unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes bei Umsätzen bis zu 300 Milliarden Euro zu Fehlern oberhalb von 1% geführt haben, wird deshalb im Folgenden untersucht, welche Fehler bei welchen Umsätzen bis 300 Milliarden Euro unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes entstehen würden. Zur verständlichen Darstellung wird die grafische Analyse analog zu Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4 in zwei Diagramme aufgeteilt. Abbildung 6-5 zeigt die Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes für die ersten zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche.

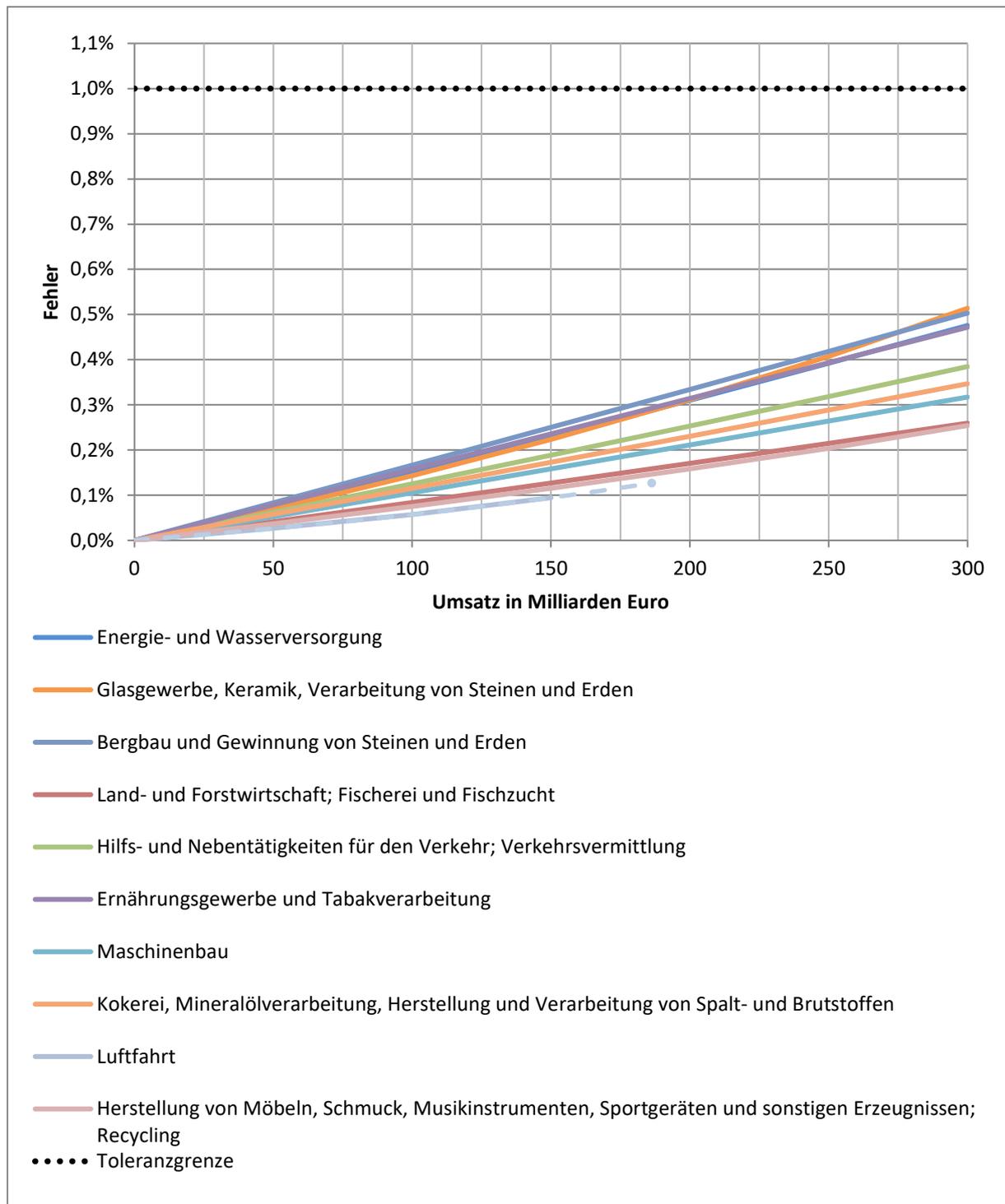
Abbildung 6-5: Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes (1. Teil)



Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014. Die Fehler werden in 50-Milliarden-Euro-Intervallen berechnet. Sofern ein Umsatz von 300 Milliarden Euro jenseits der Realisierbarkeit liegt, werden die Fehler aus den vorherigen in 50-Milliarden-Euro-Intervallen berechneten Fehlern über Polynomfunktionen dritten Grades mit Bestimmtheitsmaßen von mindestens 99,99% bis zum höchsten realisierbaren Umsatz extrapoliert und gestrichelt mit abschließendem Punkt dargestellt.

Aus Abbildung 6-5 wird deutlich, dass innerhalb der ersten zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche bei Umsätzen bis zu 300 Milliarden Euro lediglich der Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* ab einem Umsatz von etwa 170 Milliarden Euro die Toleranzgrenze von 1% überschreitet. Der höchste realisierbare Umsatz wird in diesem Wirtschaftsbereich bereits bei etwa 190 Milliarden Euro erreicht, welcher aufgrund der Umsatzverteilung anhand von Input- und Outputkoeffizienten der Hälfte des gesamten Aufkommens in diesem Wirtschaftsbereich entspricht. Somit müsste ein einziges Unternehmen auch knapp die Hälfte des Schifffahrtmarktes beherrschen, damit unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes ein Fehler von 1% entstünde. In den übrigen Wirtschaftsbereichen aus Abbildung 6-5 entstehen bei Umsätzen bis zu 300 Milliarden Euro unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes lediglich Fehler unterhalb 0,8%. Abbildung 6-6 zeigt die Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes für die übrigen zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereiche.

Abbildung 6-6: Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes (2. Teil)



Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014. Die Fehler werden in 50-Milliarden-Euro-Intervallen berechnet. Sofern ein Umsatz von 300 Milliarden Euro jenseits der Realisierbarkeit liegt, werden die Fehler aus den vorherigen in 50-Milliarden-Euro-Intervallen berechneten Fehlern über Polynomfunktionen dritten Grades mit Bestimmtheitsmaßen von mindestens 99,99% bis zum höchsten realisierbaren Umsatz extrapoliert und gestrichelt mit abschließendem Punkt dargestellt.

Aus Abbildung 6-6 wird deutlich, dass in den übrigen zehn fehlerrelevanten Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bei Umsätzen bis zu 300 Milliarden Euro die Toleranzgrenze von 1% nicht mehr überschritten wird. Selbst bei einem Umsatz von 300 Milliarden Euro betragen die Fehler dieser Wirtschaftsbereiche alle weniger als 0,6%. Die Fehler unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes in Abhängigkeit des Umsatzes lassen sich über Polynomfunktionen dritten Grades mit Bestimmtheitsmaßen von mehr als 99,99% beschreiben. Tabelle 6-62 zeigt diese Polynomfunktionen sowie die höchsten realisierbaren Umsätze. Zur Vergleichbarkeit sind die Wirtschaftsbereiche dabei entsprechend Tabelle 6-60 geordnet.

Tabelle 6-62: Polynomfunktionen zur Ermittlung der Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes nach Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes

Wirtschaftsbereich	Polynomfunktion ($y = \text{Fehler in Prozent}$; $x = \text{Umsatz in Milliarden Euro}$)	Höchster realisierbarer Umsatz in Milliarden Euro
Ledergewerbe	$y = 3 \cdot 10^{-10}x^3 + 4 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,002x + 10^{-5}$	102
Holzwirtschaft (ohne Herstellung von Möbeln)	$y = -7 \cdot 10^{-10}x^3 + 2 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0023x + 4 \cdot 10^{-5}$	226
Textil- und Bekleidungsindustrie	$y = -10^{-9}x^3 + 6 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0024x + 0,0004$	536
Schifffahrt	$y = 2 \cdot 10^{-8}x^3 + 6 \cdot 10^{-6}x^2 + 0,0043x - 5 \cdot 10^{-5}$	191
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	$y = -4 \cdot 10^{-11}x^3 + 7 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0025x + 5 \cdot 10^{-6}$	1.657
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	$y = 3 \cdot 10^{-11}x^3 + 3 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0014x + 3 \cdot 10^{-5}$	640
Chemische Industrie	$y = -7 \cdot 10^{-13}x^3 + 10^{-7}x^2 + 0,0018x + 5 \cdot 10^{-6}$	1.212
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	$y = 4 \cdot 10^{-10}x^3 + 4 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0017x - 3 \cdot 10^{-5}$	467
Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	$y = -10^{-11}x^3 - 10^{-8}x^2 + 0,0011x + 10^{-6}$	1.493
Fahrzeugbau	$y = -10^{-11}x^3 + 6 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0008x + 2 \cdot 10^{-6}$	1.279
Energie- und Wasserversorgung	$y = 10^{-10}x^3 + 3 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0015x - 9 \cdot 10^{-6}$	1.089
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	$y = 2 \cdot 10^{-9}x^3 + 6 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0014x - 0,0002$	407
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	$y = 10^{-11}x^3 + 6 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0017x + 3 \cdot 10^{-8}$	1.389
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	$y = 4 \cdot 10^{-11}x^3 + 10^{-7}x^2 + 0,0008x - 3 \cdot 10^{-6}$	1.393
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	$y = 2 \cdot 10^{-10}x^3 + 7 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0012x - 3 \cdot 10^{-5}$	485
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	$y = -10^{-12}x^3 + 7 \cdot 10^{-9}x^2 + 0,0016x + 6 \cdot 10^{-8}$	1.772
Maschinenbau	$y = 3 \cdot 10^{-12}x^3 + 10^{-8}x^2 + 0,0011x - 2 \cdot 10^{-7}$	870
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	$y = 2 \cdot 10^{-11}x^3 + 10^{-8}x^2 + 0,0011x - 5 \cdot 10^{-6}$	799
Luftfahrt	$y = 3 \cdot 10^{-9}x^3 + 4 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,0005x - 10^{-5}$	186
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten und sonstigen Erzeugnissen; Recycling	$y = 9 \cdot 10^{-10}x^3 + 10^{-7}x^2 + 0,0007x - 6 \cdot 10^{-5}$	302
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	$y = 10^{-11}x^3 + 10^{-8}x^2 + 0,0007x - 2 \cdot 10^{-6}$	1.030
Kredit- und Versicherungsgewerbe	$y = -3 \cdot 10^{-13}x^3 - 6 \cdot 10^{-11}x^2 + 0,0004x + 3 \cdot 10^{-7}$	2.314
Nachrichtenübermittlung	$y = 2 \cdot 10^{-11}x^3 + 2 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0006x - 3 \cdot 10^{-6}$	832
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	$y = -6 \cdot 10^{-14}x^3 - 8 \cdot 10^{-11}x^2 + 0,0006x + 10^{-7}$	3.207
Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen	$y = 2 \cdot 10^{-11}x^3 + 4 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0004x - 2 \cdot 10^{-6}$	1.324
Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen	$y = 6 \cdot 10^{-12}x^3 + 9 \cdot 10^{-10}x^2 + 0,0006x - 7 \cdot 10^{-7}$	379
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	$y = 4 \cdot 10^{-14}x^3 + 8 \cdot 10^{-10}x^2 + 0,0005x + 3 \cdot 10^{-7}$	1.908
Gastgewerbe	$y = 10^{-13}x^3 + 3 \cdot 10^{-10}x^2 + 0,0003x - 10^{-7}$	1.058
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	$y = 4 \cdot 10^{-14}x^3 + 6 \cdot 10^{-10}x^2 + 0,0004x + 7 \cdot 10^{-8}$	1.452
Baugewerbe	$y = 6 \cdot 10^{-14}x^3 + 7 \cdot 10^{-10}x^2 + 0,0003x - 6 \cdot 10^{-7}$	3.076
Grundstück- und Wohnungswesen	$y = 3 \cdot 10^{-14}x^3 + 3 \cdot 10^{-10}x^2 + 0,0002x - 10^{-7}$	2.526
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	$y = 10^{-14}x^3 + 10^{-10}x^2 + 0,0001x - 3 \cdot 10^{-7}$	2.522
Erziehung und Unterricht	$y = 10^{-12}x^3 + 10^{-9}x^2 + 0,0001x - 4 \cdot 10^{-7}$	954
Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	$y = 4 \cdot 10^{-13}x^3 + 10^{-9}x^2 + 5 \cdot 10^{-5}x - 5 \cdot 10^{-7}$	1.808
Private Haushalte	$y = 4 \cdot 10^{-13}x^3 + 10^{-11}x^2 + 2 \cdot 10^{-5}x + 3 \cdot 10^{-7}$	38

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Anhand der Polynomfunktionen aus Tabelle 6-62 können Unternehmen in Abhängigkeit ihres Umsatzes und Wirtschaftsbereiches schätzen, welcher Fehler aufgrund von Doppelzählungen bei Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes zu erwarten ist. Sind Unternehmen in mehreren Wirtschaftsbereichen tätig, so kann anhand des Wirtschaftsbereiches, in dem der Hauptteil des Umsatzes erwirtschaftet wird, eine erste Schätzung des zu erwartenden Fehlers erlangt werden. In Abbildung 6-5 und Abbildung 6-6 wurde bereits grafisch gezeigt, bei welchen Umsätzen in den einzelnen Wirtschaftsbereichen mit welchen Fehlern gerechnet werden muss. Um diese Umsätze genauer zu bestimmen, werden Schätzfunktionen für den Umsatz in Abhängigkeit des erwarteten Fehlers benötigt. Diese lassen sich ebenfalls über Polynome dritten Grades mit Bestimmtheitsmaßen von mehr als 99,99% beschreiben. Tabelle 6-63 zeigt diese Polynomfunktionen, die höchsten realisierbaren Fehler sowie die Umsätze bei einem erwarteten Fehler von 1%. Zur Vergleichbarkeit sind die Wirtschaftsbereiche dabei entsprechend Tabelle 6-61 geordnet.

Tabelle 6-63: Polynomfunktionen zur Ermittlung der Umsätze in Abhängigkeit des Fehlers nach Wirtschaftsbereichen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes

Wirtschaftsbereich	Polynomfunktion ($y = \text{Umsatz in Milliarden Euro; } x = \text{Fehler in Prozent}$)	Höchster realisierbarer Fehler	Umsatz in Milliarden Euro bei einem Fehler von 1%
Ledergewerbe	$y = 450,18x^3 - 448,39x^2 + 499,55x - 0,0009$	0,2454%	Nicht realisierbar
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	$y = 55,821x^3 - 129,53x^2 + 433,18x - 0,0073$	0,5998%	Nicht realisierbar
Textil- und Bekleidungsindustrie	$y = 26,487x^3 - 39,508x^2 + 411,84x - 0,1666$	1,3176%	398,652
Schifffahrt	$y = 19,776x^3 - 83,379x^2 + 233,78x + 0,0061$	1,1772%	170,183
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	$y = 0,9275x^3 - 4,3075x^2 + 397,83x - 0,0017$	4,0807%	394,448
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	$y = 14,721x^3 - 97,333x^2 + 721,37x - 0,0161$	0,9997%	Nicht realisierbar
Chemische Industrie	$y = 1,9883x^3 - 25,532x^2 + 563,5x - 0,0019$	2,3337%	539,954
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	$y = 0,7705x^3 - 87,278x^2 + 582,28x - 0,0248$	0,9301%	Nicht realisierbar
Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	$y = 10,855x^3 + 11,801x^2 + 938,81x - 0,0014$	1,5005%	961,465
Fahrzeugbau	$y = 25,117x^3 - 9,7181x^2 + 1204,3x - 0,0019$	1,0350%	1.219,697
Energie- und Wasserversorgung	$y = 7,9161x^3 - 93,57x^2 + 673,51x - 0,0011$	2,1318%	587,855
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	$y = 105,52x^3 - 377,91x^2 + 750,2x + 0,0365$	0,7839%	Nicht realisierbar
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	$y = -0,9448x^3 - 12,827x^2 + 603,04x - 0,0004$	2,4495%	589,268
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht	$y = 5,8144x^3 - 200,54x^2 + 1207,7x - 0,0016$	1,4964%	1.012,973
Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung	$y = -43,158x^3 - 49,821x^2 + 805,31x + 0,0078$	0,6416%	Nicht realisierbar
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	$y = 0,234x^3 - 1,7631x^2 + 636,69x - 3E-05$	2,7904%	635,161
Maschinenbau	$y = -2,4389x^3 - 9,2722x^2 + 948,88x + 0,0002$	0,9272%	Nicht realisierbar
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	$y = -12,138x^3 - 9,6806x^2 + 870,11x + 0,0033$	0,9409%	Nicht realisierbar
Luftfahrt	$y = 1126x^3 - 4392,6x^2 + 1992x - 0,0051$	0,1281%	Nicht realisierbar
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten und sonstigen Erzeugnissen; Recycling	$y = -589,35x^3 - 638,09x^2 + 1380,7x - 0,0086$	0,2562%	Nicht realisierbar
Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen	$y = -44,605x^3 - 40,311x^2 + 1452,3x + 0,0018$	0,7387%	Nicht realisierbar
Kredit- und Versicherungsgewerbe	$y = 9,781x^3 + 0,8312x^2 + 2344,2x - 0,0008$	0,9786%	Nicht realisierbar
Nachrichtenübermittlung	$y = -117,47x^3 - 117,07x^2 + 1777,9x + 0,0024$	0,4922%	Nicht realisierbar
Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	$y = 0,5968x^3 + 0,4442x^2 + 1770,8x - 0,0003$	1,8044%	1.771,841
Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen	$y = -152,3x^3 - 643,57x^2 + 2510,5x - 0,0007$	0,6477%	Nicht realisierbar
Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen	$y = -54,688x^3 - 4,5913x^2 + 1712,2x + 0,0012$	0,2218%	Nicht realisierbar
Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	$y = -0,5178x^3 - 5,6794x^2 + 1952,8x - 0,0005$	0,9803%	Nicht realisierbar
Gastgewerbe	$y = -10,452x^3 - 6,3497x^2 + 2957,6x + 0,0005$	0,3581%	Nicht realisierbar
Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern	$y = -2,5895x^3 - 12,959x^2 + 2852,9x - 0,0002$	0,5104%	Nicht realisierbar
Baugewerbe	$y = -9,3635x^3 - 33,863x^2 + 3637,5x + 0,002$	0,8547%	Nicht realisierbar
Grundstück- und Wohnungswesen	$y = -12,963x^3 - 31,375x^2 + 4708,5x + 0,0005$	0,5392%	Nicht realisierbar
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	$y = -79,193x^3 - 92,682x^2 + 9119,7x + 0,0032$	0,2777%	Nicht realisierbar
Erziehung und Unterricht	$y = -10075x^3 - 1219,1x^2 + 9899,1x + 0,0055$	0,0987%	Nicht realisierbar
Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	$y = -3555x^3 - 7795,8x^2 + 18227x + 0,0087$	0,1071%	Nicht realisierbar
Private Haushalte	$y = -4 \cdot 10^6 x^3 - 1867,5x^2 + 56338x - 0,0177$	0,0007%	Nicht realisierbar

Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Tabelle 6-63 bestätigt die Feststellung aus der grafischen Analyse, dass unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes bei Umsätzen bis zu 300 Milliarden Euro lediglich im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* ein Fehler von 1% erreicht wird. In den meisten Wirtschaftsbereichen ist ein Fehler von 1% unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes

überhaupt nicht realisierbar. In den Wirtschaftsbereichen *Textil- und Bekleidungsindustrie* sowie *Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen* würden ab Umsätzen von knapp 400 Milliarden Euro unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes Fehler von 1% entstehen. Bei den Wirtschaftsbereichen *Chemische Industrie, Energie- und Wasserversorgung* sowie *Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden* würden bereits Umsätze zwischen 500 Milliarden und 600 Milliarden Euro benötigt, damit unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes Fehler von mindestens 1% entstünden. Etwas mehr als 600 Milliarden Euro Umsatz würden im Wirtschaftsbereich *Ernährungsindustrie und Tabakverarbeitung* unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes zu einem Fehler von 1% führen. In den Wirtschaftsbereichen *Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik* sowie *Land- und Forstwirtschaft; Fischerei und Fischzucht* würden bereits Umsätze von etwa einer Billion Euro benötigt, damit unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes ein Fehler von 1% entstünde. Im Wirtschaftsbereich Fahrzeugbau entstünde erst ab einem Umsatz von mehr als 1,2 Billionen Euro ein Fehler von 1% und im Wirtschaftsbereich *Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen* würde dafür sogar ein Umsatz von knapp 1,8 Milliarden Euro benötigt. Sollen die kritischen Umsätze für andere tolerierte Fehler berechnet werden, so ist dies in jedem Wirtschaftsbereich nur bis zum jeweils höchsten realisierbaren Fehler möglich.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes kaum Fehler von 1% oder mehr zu erwarten sind. In den meisten Wirtschaftsbereichen werden Fehler von 1% erst ab Umsätzen jenseits der höchsten veröffentlichten Umsätze erreicht. In Abschnitt 6.2 wurde bereits festgestellt, dass die höchstmöglichen Umsätze bei Unternehmen mit Veröffentlichungspflicht gefunden werden. Insofern haben die Umsätze jenseits der höchsten veröffentlichten Umsätze höchstwahrscheinlich keinerlei Bedeutung. Innerhalb der höchsten veröffentlichten Umsätze wird lediglich im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* ab einem Umsatz von etwa 170 Milliarden Euro ein Fehler von 1% erreicht, wobei ein einziges Unternehmen knapp die Hälfte des Schifffahrtmarktes beherrschen müsste. Dieser Extremfall könnte somit auch höchstens zwei Unternehmen auf der Welt betreffen. Mit Ausnahme dieses Extremfalls entstehen unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes innerhalb der höchsten veröffentlichten Umsätze nur Fehler unterhalb von 1%. Wird ein Fehler von 1% toleriert, reicht es in der Re-

gel folglich den unternehmensbereinigten Ansatz anstelle des vollständig rückkopplungsbeinigten Ansatzes zu verwenden.

6.4.5 Essentielle Erkenntnisse aus der empirischen Untersuchung zu den Fehlern in Abhängigkeit des Umsatzes

Die empirischen Untersuchungen in Abhängigkeit des Umsatzes haben gezeigt, dass bei Umsätzen bis zu 5 Milliarden Euro doppelt gezählte Emissionen vernachlässigbar sind. Somit lässt sich an dieser Stelle bereits festhalten, dass kleine und mittlere Unternehmen, deren Umsätze in der EU definitionsgemäß maximal 50 Millionen Euro betragen, ohne Bedenken den Standard Input-Output-Ansatz verwenden können.¹⁸⁹ Im Allgemeinen ist dies mit einem Fehler von etwa 0,1% sogar für Umsätze bis 50 Milliarden Euro der Fall. Wird der Umsatz jedoch konzentriert in den Wirtschaftsbereichen *Ledergewerbe, Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* oder *Textil- und Bekleidungsindustrie* generiert, so entstehen bei 50 Milliarden Euro bereits Fehler zwischen 1,0% und 2,2%. Das *Ledergewerbe* ist sowohl vor- als auch nachgelagert eng mit dem Wirtschaftsbereich *Textil- und Bekleidungsindustrie* verknüpft. Deshalb entstehen in den beiden Wirtschaftsbereichen verhältnismäßig hohe Doppelzählungen. Beschränkt man die Betrachtung auf vorgelagerte Emissionen, so entstehen in den bereits genannten Wirtschaftsbereichen zuzüglich des Wirtschaftsbereiches *Schifffahrt* Fehler zwischen 1,0% und 2,1%. Bei separater Betrachtung der nachgelagerten Emissionen entstehen die höchsten Fehler in denselben vier Wirtschaftsbereichen, wobei die Überschätzungen Werte zwischen 1,4% und 3,0% annehmen. Durch Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes werden die Fehler für die gesamte betriebliche Treibhausgasbilanz auf Werte unterhalb 0,3% reduziert. Bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen führt der unternehmensbereinigte Ansatz innerhalb der vorgelagerten Emissionen zu Fehlern unterhalb 0,6% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen zu Fehlern unterhalb 0,5%.

Als nächste Stufe wurde ein Umsatz von 500 Milliarden Euro gewählt, der bereits jenseits der Liste mit den höchsten veröffentlichten Umsätzen liegt. Im Allgemeinen entstünde selbst bei diesem Umsatz unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes lediglich ein Fehler von 0,8%. Bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen führt der Standard Input-Output-Ansatz innerhalb der vorgelagerten Emissionen zu einem Fehler von etwa

¹⁸⁹ Siehe hierzu Europäische Kommission (Hrsg.) (2003), op. cit., 4.

1,1% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen zu einem Fehler von etwa 1,2%. Durch Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes lässt sich der Fehler in der Summenbetrachtung auf etwa 0,3% reduzieren. Bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen wird der Fehler durch Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes innerhalb der vorgelagerten Emissionen auf etwa 0,4% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen auf etwa 0,5% reduziert.

Als konzentrierte Größe lässt sich ein Umsatz von 500 Milliarden Euro in einigen Wirtschaftsbereichen nicht realisieren. Davon betroffen sind auch die Wirtschaftsbereiche *Leidergewerbe, Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)* und *Schifffahrt*. Der mit Abstand höchste Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes entstünde mit 14% im Wirtschaftsbereich *Textil- und Bekleidungsindustrie*. Darauf folgen die Wirtschaftsbereiche *Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen, Papier-, Verlags- und Druckgewerbe, Chemische Industrie, Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen; Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik* und *Fahrzeugbau* mit Fehlern zwischen 6% und 3%. Durch Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes lassen sich die Fehler hier auf Werte unterhalb 1,3% reduzieren. Bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen entstehen unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes innerhalb der vorgelagerten Emissionen Fehler bis zu 14% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen Fehler bis zu 21%. An Bedeutung gewinnt dabei der Wirtschaftsbereich *Energie- und Wasserversorgung*. Aufgrund verhältnismäßig hoher direkter Emissionen fallen bei diesem Wirtschaftsbereich die Fehler bei der Summenbetrachtung weniger ins Gewicht. Bei der separaten Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen zeigt sich jedoch, dass dieser Wirtschaftsbereich mit der höchsten direkten Emissionsintensität produziert, welche durch die Verknüpfung mit der übrigen Wirtschaft zu relativ hohen Doppelzählungen aus Vorleistungen und Weiterverarbeitungen führt. Die Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes reduziert die Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen auf Werte unterhalb 2,4% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen auf Werte unterhalb 3,9%.

Ein hypothetischer Umsatz von 5 Billionen Euro ließe sich in keinem der einzelnen Wirtschaftsbereiche als konzentrierte Größe realisieren. Im Allgemeinen würde dieser Umsatz unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes zu einem Fehler von 8,6% führen,

der sich unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes auf 3,0% reduzieren ließe. Bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen entstünde innerhalb der vorgelagerten Emissionen ein Fehler von etwa 12% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen ein Fehler von etwa 13%. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes ließen sich diese Fehler innerhalb der vorgelagerten Emissionen auf etwa 3,7% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen auf etwa 4,9% reduzieren. Es zeigt sich somit, dass nachgelagerte Emissionen anfälliger für Doppelzählungen sind als vorgelagerte Emissionen.

Zur allgemeinen Einschätzung der empirischen Relevanz wurde anschließend untersucht, in welchen Wirtschaftsbereichen ab welchen Umsätzen die gesamte Treibhausgasbilanz um mindestens 1% überschätzt würde. Unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes geschieht dies bei vielen Wirtschaftsbereichen schon ab Umsätzen, die in Anlehnung an die höchsten veröffentlichten Umsätze noch als plausibel eingestuft werden können. Verwendet man hingegen den unternehmensbereinigten Ansatz, so entstehen abgesehen vom Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* innerhalb plausibler Umsatzvolumina ausschließlich Fehler unterhalb von 1%. Im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* müsste ein Unternehmen fast den halben Schifffahrtsmarkt beherrschen, damit ein Fehler von 1% entstünde. Abgesehen von diesem Extremfall reicht in der Regel bereits der unternehmensbereinigte Ansatz anstelle der vollständigen Rückkopplungsbereinigung, um innerhalb plausibler Umsatzvolumina eine Fehler-toleranz von 1% zu wahren. Sowohl der Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes als auch der Umsatz in Abhängigkeit des Fehlers nach Wirtschaftsbereichen lassen sich mit Bestimmtheitsmaßen von mehr als 99,99% über Polynomfunktionen dritten Grades schätzen. Anhand dieser Polynomfunktionen können Unternehmen anhand ihres Umsatzes und Wirtschaftsbereiches den erwarteten Fehler unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes und des unternehmensbereinigten Ansatzes schätzen. Wird die hier untersuchte Fehlertoleranz von 1% als unpassend erachtet, so können anhand der Polynomfunktionen die kritischen Umsätze beliebiger Toleranzgrenzen berechnet werden.

Doppelzählungen in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung sind somit nur bei sehr großen Unternehmen relevant. Kleine und mittlere Unternehmen sowie auch alle übrigen Unternehmen mit einem Umsatz bis zu 5 Milliarden Euro können den Standard Input-Output-Ansatz zur Schätzung ihrer indirekten Emissionen verwenden, ohne dadurch wesentliche Doppelzählungen zu verursachen. Ein Umsatz von 50 Milliarden Euro führt unter Verwen-

dung des Standard Input-Output-Ansatzes in einzelnen Wirtschaftsbereichen zu höheren Fehlern, die insbesondere bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen Werte bis 3% annehmen. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes können diese jedoch auf Werte unterhalb 1% reduziert werden. Bei einer Fehlertoleranz von 1% stellt sich die Frage der Notwendigkeit einer Unternehmensbereinigung in der Input-Output-Modellierung somit frühestens ab Umsätzen zwischen 5 und 50 Milliarden Euro. Die nach Umsätzen geordneten *Global 500* des Jahres 2010 enden mit dem Unternehmen Dai Nippon Printing und einem Umsatz von 16,28 Milliarden US-Dollar, was etwa 11,67 Milliarden Euro entspricht.¹⁹⁰ Insofern dürfte sich die Notwendigkeit einer Unternehmensbereinigung in der Input-Output-Modellierung wohl auf die 500 umsatzstärksten Unternehmen der Welt beschränken.

Ein Umsatz von 500 Milliarden Euro, der bereits jenseits der Liste mit den höchsten veröffentlichten Umsätzen liegt, würde unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes in zahlreichen Wirtschaftsbereichen zu höheren Fehlern führen, die insbesondere bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen Werte bis 21% annehmen. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes würden diese Fehler auf Werte unterhalb 3,9% reduziert. Die Frage der Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsbereinigung stellt sich somit erst ab Umsätzen zwischen 50 und 500 Milliarden Euro. In Bezug auf das hier untersuchte Berichtsjahr 2009 sind davon weltweit die 77 umsatzstärksten Unternehmen mit Veröffentlichungspflicht betroffen.¹⁹¹ In Deutschland erwirtschafteten im Jahr 2009 die folgenden acht Unternehmen mit Veröffentlichungspflicht Umsätze oberhalb 50 Milliarden Euro: Volkswagen, E.ON, Daimler, Siemens, Metro, Deutsche Telekom, BASF und BMW.¹⁹² In der Untersuchung zur Notwendigkeit einer vollständigen Unternehmensbereinigung wurde allerdings festgestellt, dass im Rahmen realistischer Umsatzvolumina unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes in der Regel keine Fehler von 1% und mehr zu erwarten sind. Lediglich im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* wäre unter Verwendung des unterneh-

¹⁹⁰ Siehe hierzu Fortune (Hrsg.) (2014), op. cit., -> Global 500 2010; Forbes (Hrsg.) (2010): The Global 2000. Internet: http://www.forbes.com/lists/2010/18/global-2000-10_The-Global-2000_Sales_5.html, 05.02.2014 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013b), op. cit., -> World Input-Output Tables -> Exchange rates used to convert national values into US\$.

¹⁹¹ Siehe hierzu Forbes (Hrsg.) (2010), op. cit., -> Page 1 und World Input-Output Database (Hrsg.) (2013b), op. cit., -> Exchange rates used to convert national values into US\$.

¹⁹² Siehe hierzu Handelsblatt (Hrsg.) (2011): Die größten Unternehmen Deutschlands. Internet: <http://tool.handelsblatt.com/tabelle/?id=36&so=4d&pc=25>, 06.02.2015, -> Umsatzerlöse lt. GuV 2009.

mensbereinigten Ansatzes ein Fehler von 1% und mehr realisierbar, wobei ein Unternehmen fast die Hälfte des globalen Schifffahrtsmarktes beherrschen müsste.

Am Beispiel von Saudi Aramco wurde erläutert, dass es auch sehr große Unternehmen gibt, die keiner Veröffentlichungspflicht ihrer Umsätze unterliegen. Deshalb wurden zusätzlich die zu erwartenden Fehler bei einem Umsatz von 5 Billionen Euro untersucht, wobei dieser Umsatz in keinem Wirtschaftsbereich als konzentrierte Größe realisierbar war. Im Allgemeinen entstünde unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes für die gesamte betriebliche Treibhausgasbilanz ein Fehler von 8,6%, innerhalb der vorgelagerten Emissionen ein Fehler von 12% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen ein Fehler von 13%. Diese ließen sich unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes für die gesamte betriebliche Treibhausgasbilanz auf 3,0%, innerhalb der vorgelagerten Emissionen auf 3,7% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen auf 4,9% reduzieren. Während sich die Frage der Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsbereinigung bereits bei Umsätzen oberhalb von 50 Milliarden Euro stellt, wird beim hypothetischen Umsatz von 5 Billionen Euro deutlich, dass im Allgemeinen innerhalb der nachgelagerten Emissionen offensichtlich höhere Fehler als innerhalb der vorgelagerten Emissionen entstehen.

6.5 Essentielle Erkenntnisse der empirischen Untersuchungen

Die empirischen Untersuchungen zum Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung haben gezeigt, dass Doppelzählungen das Gesamtergebnis einer betrieblichen Treibhausgasbilanz in den meisten Fällen kaum verändern. Anhand eines konstruierten Unternehmensbeispiels auf Grundlage veröffentlichter Daten von Royal Dutch Shell wurde zunächst gezeigt, dass unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes die gesamte betriebliche Treibhausgasbilanz selbst bei einem der umsatzstärksten Unternehmen der Welt nur geringfügig überschätzt wird. Die regionale Aggregationsebene hat kaum Einfluss auf diesen Fehler. Höhere Fehler entstehen bei Aufgliederung der indirekten Emissionen nach Handelspartnergruppen, wobei mit zunehmender Disaggregation die Fehler steigen. Die Wirtschaftsbereiche der Handelspartnergruppen mit den höchsten Fehlern lassen sich bereits im globalen Eine-Region-Modell relativ gut identifizieren. Durch Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes werden die Fehler in der Regel erheblich reduziert. Die Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen führt nicht zwangsläufig zu höheren Fehlern unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes. Während die

Überschätzung bei überdurchschnittlichen direkten Emissionen steigt, sinkt sie bei unterdurchschnittlichen direkten Emissionen. Letzteres kann sogar zu einer Unterschätzung führen. Dementsprechend führt die Berücksichtigung unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten im Standard Input-Output-Ansatz auch nur bei überdurchschnittlichen direkten Emissionen zu einer Verbesserung, während sie bei unterdurchschnittlichen direkten Emissionen sogar zu höheren Fehlern führt.

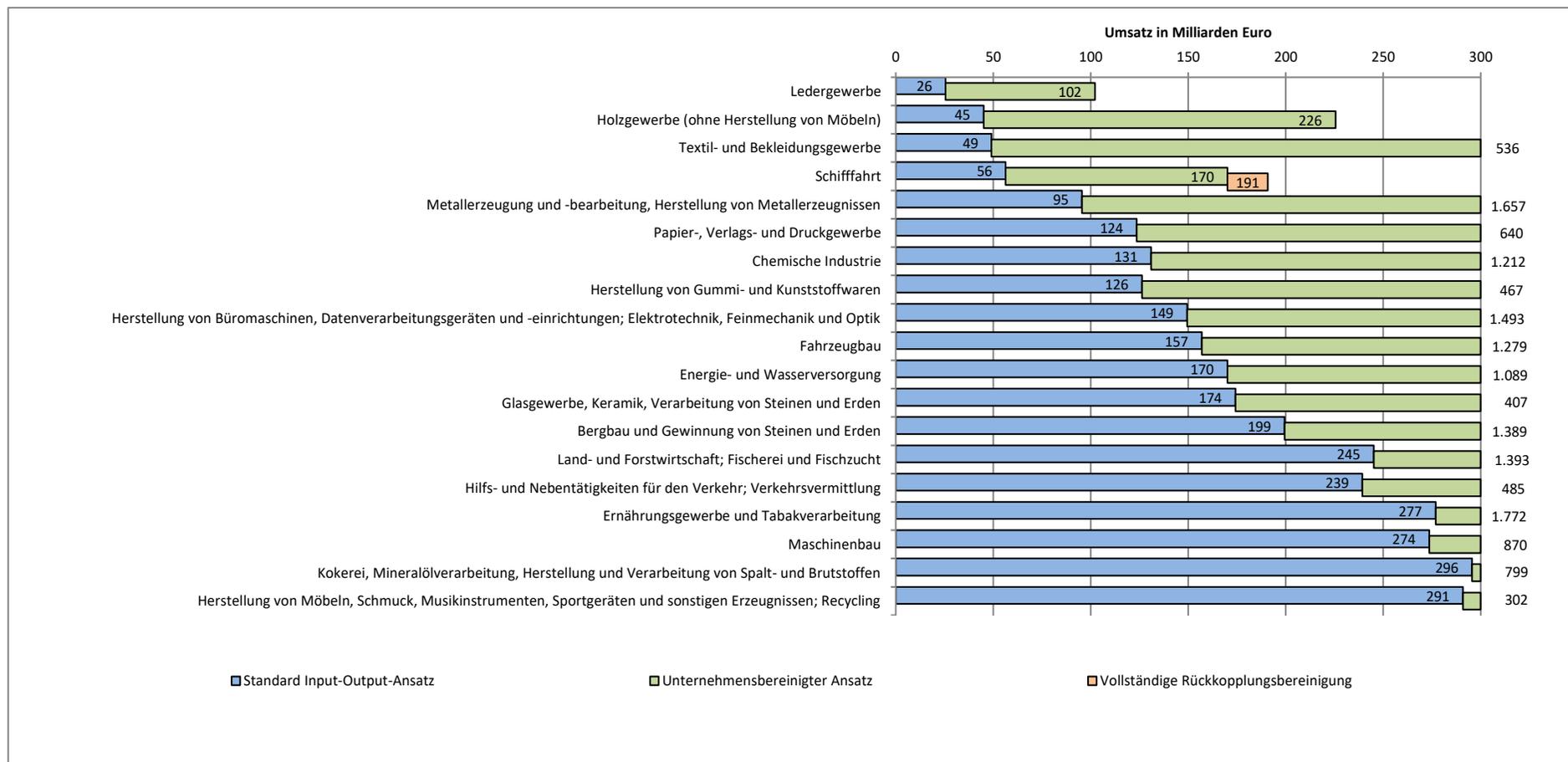
Anschließend wurde mit den empirischen Untersuchungen in Abhängigkeit des Umsatzes gezeigt, dass Doppelzählungen in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung nur bei sehr großen Unternehmen relevant sind. Kleine und mittlere Unternehmen sowie auch alle übrigen Unternehmen mit einem Umsatz bis zu 5 Milliarden Euro können den Standard Input-Output-Ansatz zur Schätzung ihrer indirekten Emissionen verwenden, ohne dadurch wesentliche Doppelzählungen zu verursachen. Ein Umsatz von 50 Milliarden Euro führt unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes in einzelnen Wirtschaftsbereichen zu höheren Fehlern, die bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen Werte bis 3% annehmen. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes können diese jedoch auf Werte unterhalb 1% reduziert werden. Toleriert man Fehler bis zu 1%, so stellt sich die Frage der Notwendigkeit einer Unternehmensbereinigung in der Input-Output-Modellierung somit frühestens ab Umsätzen zwischen 5 und 50 Milliarden Euro. Ein Umsatz von 500 Milliarden Euro, der bereits jenseits der Liste mit den höchsten veröffentlichten Umsätzen liegt, würde unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes in zahlreichen Wirtschaftsbereichen zu höheren Fehlern führen, die bei separater Betrachtung vor- und nachgelagerter Emissionen Werte bis 21% annehmen. Unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes würden diese Fehler auf Werte unterhalb 3,9% reduziert. Die Frage der Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsbereinigung stellt sich somit erst ab Umsätzen zwischen 50 und 500 Milliarden Euro.

Um zu berücksichtigen, dass der höchst anzunehmende Unternehmensumsatz aufgrund der Existenz von sehr großen Unternehmen ohne Veröffentlichungspflicht ihrer Umsätze auch jenseits der 500 Milliarden Euro liegen könnte, wurden zusätzlich die zu erwartenden Fehler bei einem Umsatz von 5 Billionen Euro untersucht. Ein Umsatz dieser Größenordnung ließ sich in keinem Wirtschaftsbereich als konzentrierte Größe darstellen. Deshalb beschränkte sich die Untersuchung auf die proportionale Verteilung des Umsatzes in der gesamten Wirt-

schaft. Dabei entstände unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes für die gesamte betriebliche Treibhausgasbilanz ein Fehler von 8,6%, innerhalb der vorgelagerten Emissionen ein Fehler von 12% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen ein Fehler von 13%. Diese ließen sich unter Verwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes für die gesamte betriebliche Treibhausgasbilanz auf 3,0%, innerhalb der vorgelagerten Emissionen auf 3,7% und innerhalb der nachgelagerten Emissionen auf 4,9% reduzieren. Während sich die Frage der Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsreinigung bereits bei Umsätzen oberhalb von 50 Milliarden Euro stellt, wird beim hypothetischen Umsatz von 5 Billionen Euro deutlich, dass im Allgemeinen innerhalb der nachgelagerten Emissionen offensichtlich höhere Fehler als innerhalb der vorgelagerten Emissionen entstehen.

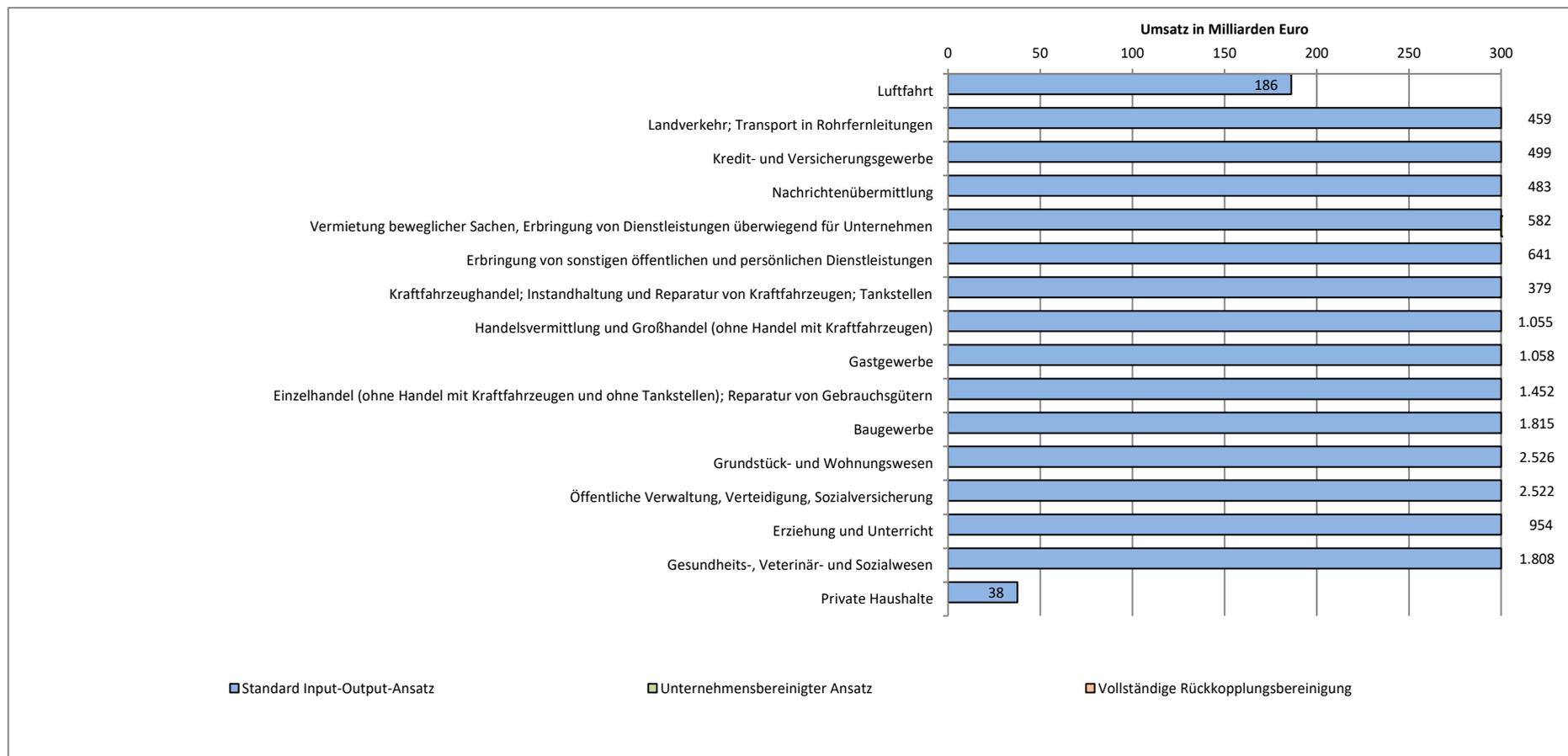
Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die Frage der Notwendigkeit einer Bereinigung um Doppelzählungen lediglich für die 500 umsatzstärksten Unternehmen der Welt stellt. Mit dem unternehmensbereinigten Ansatz werden die Fehler dabei bereits so weit reduziert, dass sich die Frage der Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsreinigung sogar lediglich für weniger als die 100 umsatzstärksten Unternehmen der Welt stellt. Zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% kann innerhalb plausibler Umsatzvolumina von bis zu 300 Milliarden Euro in 16 von 35 Wirtschaftsbereichen ohne Bedenken der Standard Input-Output-Ansatz zur Schätzung indirekter Emissionen verwendet werden. Bei 19 von 35 Wirtschaftsbereichen ist dazu ab Umsätzen zwischen 26 und 296 Milliarden Euro der unternehmensbereinigte Ansatz erforderlich. Die vollständige Rückkopplungsreinigung ist innerhalb plausibler Umsatzvolumina lediglich im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* ab Umsätzen von 170 Milliarden Euro zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% erforderlich. Zum Abschluss zeigt Abbildung 6-7 Wirtschaftsbereiche, bei denen Umsätze bis zu 300 Milliarden Euro unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes einen erwarteten Fehler von 1% hervorrufen. Außerdem wird dargestellt, bis zu welchen Umsätzen welcher Ansatz zur Wahrung der Fehlertoleranz von 1% verwendet werden kann. In Abbildung 6-7 werden die übrigen Wirtschaftsbereiche aufgelistet, bei denen Umsätze bis zu 300 Milliarden Euro oder die höchsten realisierbaren Umsätze keinen erwarteten Fehler von 1% hervorrufen. Führen die höchsten realisierbaren Umsätze zu Fehlern unterhalb von 1%, so wird ihr Wert als Zahl angegeben. Andernfalls zeigen die Zahlen bis zu welchen Umsätzen jenseits von 300 Milliarden Euro die Fehlertoleranz von 1% unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes eingehalten wird.

Abbildung 6-7: Notwendiger Ansatz zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% nach Wirtschaftsbereichen und Umsätzen (1. Teil)



Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

Abbildung 6-8: Notwendiger Ansatz zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% nach Wirtschaftsbereichen und Umsätzen (2. Teil)



Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis von World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.

7. Schlussbetrachtungen

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ausgehend von der Fragestellung, welche Modifikationen beim Einsatz der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung zur Behebung von Doppelzählungen erforderlich sind, wurden in dieser Arbeit zunächst die Ursachen der Doppelzählungen identifiziert. Diese finden sich einerseits in der Repräsentation des betrachteten Unternehmens in der Input-Output-Verflechtung und andererseits in der Verwendung derselben Input-Output-Verflechtung bei der Quantifizierung vor- und nachgelagerter Emissionen. Dementsprechend wurde die Modifikation der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung in zwei Stufen unterteilt. In der ersten Stufe wurde das betrachtete Unternehmen aus den Input-Output-Daten extrahiert und als exogener Bestandteil des Modells betrachtet. Diese extrabetriebliche Modifizierung ist sowohl in der nachfrageseitigen als auch in der angebotsseitigen Input-Output-Modellierung möglich. Behoben werden damit allerdings nur Doppelzählungen des eigenen Unternehmensbeitrages aus der Input-Output-Verflechtung. Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen entstehen nach wie vor, da sowohl die nachfrageseitige als auch die angebotsseitige Input-Output-Modellierung auf dieselbe übrige Verflechtung zurückgreift.

Unter Einbeziehung bestehender Forschungsarbeiten zu Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen wurde anschließend die Frage diskutiert, ob die vor- und nachgelagerten Emissionen bei der Quantifizierung mittels nachfrage- und angebotsseitiger Input-Output-Modellierung jeweils halbiert werden müssen. Eine Halbierung der vor- und nachgelagerten Emissionen wahrt die Summe aller Treibhausgasemissionen. Letztere wird bei der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung allerdings bereits dadurch überschritten, dass sowohl direkte als auch indirekte Emissionen bilanziert werden. Ziel einer doppelzählungsfreien betrieblichen Treibhausgasbilanzierung ist deshalb nicht die Wahrung der Summe aller Treibhausgasemissionen, sondern die Vermeidung von Doppelzählungen innerhalb der einzelnen betrieblichen Treibhausgasbilanz. In Bezug auf die Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen bedeutet dies, dass vorgelagerte Emissionen des betrachteten Unternehmens nicht in dessen nachgelagerten Emissionen bzw. nachgelagerte Emissionen des betrachteten Unternehmens nicht in dessen vorgelagerten Emissionen enthalten

sein dürfen. Diese Erkenntnis führte zu einer kreislaufförmigen Betrachtung der Interaktion des betrachteten Unternehmens mit der übrigen Wirtschaft.

In der kreislaufförmigen Betrachtung der Interaktion des betrachteten Unternehmens mit der übrigen Wirtschaft kann einerseits unterstellt werden, dass zuerst Vorleistungen von der übrigen Wirtschaft bereitgestellt werden, anschließend im betrachteten Unternehmen weiterverarbeitet werden und letztendlich wieder als Vorleistungen in die übrige Wirtschaft eingehen. Andererseits kann jedoch auch unterstellt werden, dass zuerst Vorleistungen vom betrachteten Unternehmen an die übrige Wirtschaft geliefert werden, die dort weiterverarbeitet werden und letztendlich wieder als Vorleistungen in das betrachtete Unternehmen eingehen. Je nach Perspektive muss die übrige Wirtschaft entweder um die Vorleistungen des betrachteten Unternehmens oder um die Weiterverarbeitung von Gütern aus dem betrachteten Unternehmen bereinigt werden. Realistischer ist jedoch eine Mischform der beiden extremen Perspektiven, bei dem Unternehmen quasi simultan Vorleistungen aus der übrigen Wirtschaft erhalten und Vorleistungen an die übrige Wirtschaft liefern.

Modelltheoretisch wurde die Bereinigung um Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen zunächst für die beiden extremen Perspektiven ausgearbeitet, woraus anschließend in Form einer Synthese eine Mischform erarbeitet wurde. Betrachtet man die übrige Wirtschaft als Beginn eines intermediären Produktionskreislaufes, so wird im extrabetrieblichen nachfrageseitigen Input-Output-Modell ein Teil des extrabetrieblichen Güteraufkommens dem betrachteten Unternehmen zugewiesen und der Rest verbleibt in der übrigen Wirtschaft. Anhand des verbleibenden Güteraufkommens und der extrabetrieblichen Inputkoeffizienten wird eine neue Input-Output-Tabelle erstellt, welche die extrabetrieblichen Inputs und Outputs ohne die Vorleistungen des betrachteten Unternehmens abbildet. Wird diese Input-Output-Tabelle in ein angebotsseitiges Modell übergeleitet, so werden mit dem vorleistungsbereinigten Unternehmensangebot als Bestandteil der exogenen Modellgrößen nur noch jene Güter quantifiziert, die noch nicht als Vorleistungen in die Produktion des betrachteten Unternehmens eingegangen sind. In der ökologisch erweiterten Form bedeutet dies, dass nur jene Güter bei der Quantifizierung nachgelagerter Emissionen berücksichtigt werden, die noch nicht in die Quantifizierung vorgelagerter Emissionen eingegangen sind.

Interpretiert man hingegen das betrachtete Unternehmen als Beginn des intermediären Produktionskreislaufes, so wird im extrabetrieblichen angebotsseitigen Input-Output-Modell

ein Teil der extrabetrieblichen Güterverwendung dem betrachteten Unternehmen zugeordnet und der Rest verbleibt in der übrigen Wirtschaft. Anhand der verbleibenden Güterverwendung und der extrabetrieblichen Outputkoeffizienten wird eine Input-Output-Tabelle erstellt, welche die extrabetrieblichen Inputs und Outputs ohne die Weiterverarbeitung des betrachteten Unternehmens abbildet. Wird diese Input-Output-Tabelle in ein nachfrageseitiges Modell übergeleitet, so werden mit der weiterverarbeitungs bereinigten Unternehmensnachfrage als Bestandteil der exogenen Modellgrößen nur noch jene Güter als Vorleistungen quantifiziert, die nicht als Weiterverarbeitung in die Produktion der übrigen Wirtschaft eingehen. In der ökologisch erweiterten Form bedeutet dies, dass nur jene Güter bei der Quantifizierung vorgelagerter Emissionen berücksichtigt werden, die nicht in die Quantifizierung nachgelagerter Emissionen eingehen.

In der Synthese wurden über die Einführung eines Skalars zwischen Null und Eins beliebige Mischformen der beiden extremen Perspektiven ermöglicht. Dabei zeigte sich einerseits, dass die vorgelagerten Emissionen über das gewichtete Mittel aus extrabetrieblichen vorgelagerten Emissionen und weiterverarbeitungs bereinigten vorgelagerten Emissionen sowie die nachgelagerten Emissionen über das gewichtete Mittel aus extrabetrieblichen nachgelagerten Emissionen und vorleistungsbereinigten nachgelagerten Emissionen beschrieben werden. Andererseits zeigte sich, dass es für die Summe der vor- und nachgelagerten Emissionen irrelevant ist, an welcher Stelle im intermediären Produktionskreislauf das Unternehmen positioniert wird. Zur Bewertung der empirischen Relevanz von Doppelzählungen in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung verblieben somit drei zu vergleichende Ansätze:

1. Der Standard Input-Output-Ansatz mit sämtlichen Doppelzählungen
2. Der unternehmensbereinigte Ansatz ohne Doppelzählungen aus dem direkten Unternehmensbeitrag
3. Die vollständige Rückkopplungsbereinigung ohne Doppelzählungen aus dem direkten Unternehmensbeitrag und ohne Doppelzählungen zwischen vor- und nachgelagerten Emissionen

Bei der Bewertung der empirischen Relevanz von Doppelzählungen in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung wurde die vollständige Rückkopplungsbereinigung für die Berechnung vollkommen doppelzählungsfreier Referenzwerte verwendet. Aufgrund der Irrelevanz der Unternehmenspositionierung für die Summe an vor- und nachgelagerten Emissionen

wurde ein Skalar von 0,5 gewählt. Dementsprechend wurden die vorgelagerten Emissionen über den Mittelwert aus extrabetrieblichen vorgelagerten Emissionen und weiterverarbeitungs-bereinigten vorgelagerten Emissionen sowie die nachgelagerten Emissionen über den Mittelwert aus extrabetrieblichen nachgelagerten Emissionen und vorleistungsbereinigten nachgelagerten Emissionen bestimmt.

Als Input-Output-Datengrundlage dienten die Input-Output-Daten und aktuellsten Emissionsdaten der WIOD des Berichtsjahres 2009. Zur Ermittlung von Obergrenzen der Fehler durch Doppelzählungen sollte ein möglichst umsatzstarkes Unternehmen simuliert werden. Anhand unterschiedlicher Unternehmensrankings wurde festgestellt, dass im Jahr 2009 Umsätze bis 300 Milliarden Euro als realistisch erachtet werden können und jenseits veröffentlichungspflichtiger Unternehmen keine höheren Umsätze zu vermuten sind. Als umsatzstärkstes Unternehmen des Berichtsjahres wurde der Einzelhandelskonzern Wal-Mart Stores mit einem Umsatz von 408 Milliarden US-Dollar identifiziert. Buchungstechnische Besonderheiten bei den Handelssektoren in Input-Output-Tabellen hätten bei der Simulierung eines möglichst umsatzstarken Unternehmens anhand veröffentlichter Daten von Wal-Mart Stores zu Verzerrungen geführt. Deshalb wurden veröffentlichte Daten der Royal Dutch Shell verwendet, die mit einem Umsatz von 278 Milliarden US-Dollar an zweiter Stelle des Ranking gelistet war. Als Datengrundlage für das konstruierte Unternehmensbeispiel dienten der Jahresbericht und Daten des Carbon Disclosure Project.

Nach Abgleich der regionalen Disaggregationsmöglichkeiten der WIOD mit jenen des Jahresberichtes und der Daten des Carbon Disclosure Project zeigte sich, dass die Simulation ohne größere Verzerrungen auf die Ebene eines globalen Drei-Regionen-Modells disaggregiert werden kann. Die gesamte betriebliche Treibhausgasbilanz wurde unter Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes nur geringfügig überschätzt. Im Vergleich mit den Ergebnissen in einem globalen Eine-Region-Modell zeigte sich, dass die regionale Aggregationsebene kaum Einfluss auf die Doppelzählungen hat. Höhere Fehler entstehen bei Aufgliederung der indirekten Emissionen nach Handelspartnergruppen, wobei mit zunehmender Disaggregation die Fehler steigen. Die Handelspartnergruppen mit den höchsten Fehlern lassen sich bereits im globalen Eine-Region-Modell relativ gut identifizieren. Durch Anwendung des unternehmensbereinigten Ansatzes werden die Fehler erheblich reduziert. Die Integration unternehmensspezifischer direkter Emissionen führt nicht zwangsläufig zu höheren Fehlern unter

Verwendung des Standard Input-Output-Ansatzes. Während die Überschätzung bei überdurchschnittlichen direkten Emissionen steigt, sinkt sie bei unterdurchschnittlichen direkten Emissionen. Letzteres kann sogar zu einer Unterschätzung führen. Dementsprechend führt die Berücksichtigung unternehmensbereinigter direkter Emissionsintensitäten im Standard Input-Output-Ansatz auch nur bei überdurchschnittlichen direkten Emissionen zu einer Verbesserung, während sie bei unterdurchschnittlichen direkten Emissionen sogar zu höheren Fehlern führt.

Um allgemeingültigere empirische Erkenntnisse zu erlangen, wurden anschließend die erwarteten Fehler in Abhängigkeit des Umsatzes nach Wirtschaftsbereichen im globalen Ein-Region-Modell untersucht. Dabei zeigte sich, dass Doppelzählungen in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung nur bei sehr großen Unternehmen relevant sind. Kleine und mittlere Unternehmen sowie auch die meisten anderen Unternehmen können den Standard Input-Output-Ansatz verwenden, ohne dadurch wesentliche Doppelzählungen zu verursachen. Toleriert man Fehler bis zu 1%, so stellt sich die Frage der Notwendigkeit einer Bereinigung um Doppelzählungen lediglich für die 500 umsatzstärksten Unternehmen der Welt. Mit dem unternehmensbereinigten Ansatz werden die Fehler dabei bereits so weit reduziert, dass sich die Frage der Notwendigkeit einer vollständigen Rückkopplungsbereinigung sogar lediglich für weniger als die 100 umsatzstärksten Unternehmen der Welt stellt.

Zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% kann innerhalb plausibler Umsatzvolumina von bis zu 300 Milliarden Euro in 16 von 35 Wirtschaftsbereichen ohne Bedenken der Standard Input-Output-Ansatz zur Schätzung indirekter Emissionen verwendet werden. Bei den verbleibenden 19 Wirtschaftsbereichen ist dazu ab Umsätzen zwischen 26 und 296 Milliarden Euro der unternehmensbereinigte Ansatz erforderlich. Die vollständige Rückkopplungsbereinigung ist innerhalb plausibler Umsatzvolumina lediglich im Wirtschaftsbereich *Schifffahrt* ab Umsätzen von 170 Milliarden Euro zur Wahrung einer Fehlertoleranz von 1% erforderlich. Die Zusammenhänge zwischen Umsatz und erwartetem Fehler lassen sich sehr gut mit Polynomfunktionen schätzen. Darüber bekommen Unternehmen auch ohne die beschriebenen Modellmodifikationen einen Einblick in den erwarteten Fehler durch Doppelzählungen.

7.2 Fazit

Mit einer zweistufigen Modifikation wurde die ökologisch erweiterte Input-Output-Modellierung von Doppelzählungen aus dem eigenen Unternehmensbeitrag sowie zwischen

vor- und nachgelagerten Emissionen befreit. Anhand globaler Input-Output-Daten wurde schließlich die empirische Relevanz dieser Doppelzählungen untersucht. Dabei wurde gezeigt, dass Doppelzählungen selbst bei den größten Unternehmen der Welt kaum zu Fehlern in der betrieblichen Treibhausgasbilanz führen. Damit geht einerseits die Erkenntnis einher, dass kleine und mittlere Unternehmen sowie auch die meisten anderen Unternehmen den Standard Input-Output-Ansatz in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung verwenden können, ohne dadurch wesentliche Doppelzählungen zu verursachen. Andererseits wirft dies die Frage auf, welche Relevanz die Treibhausgasbilanzierung von kleinen und mittleren Unternehmen überhaupt haben kann. Schließlich reflektiert das Ausmaß der Doppelzählungen die Relevanz des betrachteten Unternehmens in der übrigen Wirtschaft. Das Potential, die Treibhausgasbilanzierung entlang der Wertschöpfungskette anzuschieben, hängt letztendlich wiederum von der Relevanz eines Unternehmens in der übrigen Wirtschaft ab.

Anhand veröffentlichter Umsatz- und Emissionsdaten der Royal Dutch Shell wurde die Treibhausgasbilanz eines konstruierten Beispielunternehmens ähnlichen Profils auf ungefähr eine halbe Gt CO₂-e geschätzt. Dies entspricht etwa 1% der 49 Gt CO₂-e, die im Jahr 2010 insgesamt an anthropogenen Treibhausgasen emittiert wurden. Die direkten Emissionen der Royal Dutch Shell betragen im Jahr 2009 lediglich 67 Megatonnen CO₂-e, so dass die halbe Gt insgesamt bilanzierter Treibhausgasemissionen im konstruierten Unternehmensbeispiel zum größten Teil aus indirekten Emissionen besteht. Über die Einbeziehung der indirekten Emissionen erhöht sich somit die bilanzierte Emissionsmenge, in welcher Minderungspotentiale identifiziert werden können, von 1‰ auf 1% der globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen. Die effizienteste Form zur Identifikation von Emissionsminderungspotentialen, die eine messbare Minderung der globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen mit sich bringt, wird somit in der Analyse von Wertschöpfungsketten der weltweit größten Unternehmen liegen.

Mittels totaler Emissionsintensitäten werden sämtliche vorgelagerte Emissionen auf die unmittelbar vorangehende Wertschöpfungsstufe und sämtliche nachgelagerte Emissionen auf die unmittelbar folgende Wertschöpfungsstufe projiziert. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Emissionsminderungsverantwortung – etwa durch Marktmacht – auf unmittelbar vorangehende oder folgende Handelspartner abgewälzt werden soll. Ähnlich sieht es bei der Erhebung von Primärdaten auf der unmittelbar vorangehenden oder folgenden Wertschöp-

fungsstufe aus. Der Unterschied zur Verwendung totaler Emissionsintensitäten liegt vor allem darin, dass vermeintlich exaktere Emissionsdaten gewonnen werden können. Damit geht die Frage einher, ob betriebliche Ressourcen für eine Verbesserung der Datenqualität oder eine Verminderung der globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen eingesetzt werden sollen.

Die Input-Output-Modellierung bietet in ihrer ursprünglichen Form jedoch eine weitreichendere Analysemöglichkeit. Unabhängig von Wertschöpfungsstufen lässt sich mit der Input-Output-Modellierung analysieren, in welchem Ausmaß Wirtschaftsbereiche nach Regionen mit der Güterproduktion eines betrachteten Unternehmens verbunden sind. In der ökologischen Erweiterung bedeutet dies, dass unabhängig von Wertschöpfungsstufen jene Emissionen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen identifiziert werden, die mit der Produktion eines betrachteten Unternehmens verbunden sind. Dementsprechend können Unternehmen analysieren, in welchem Wirtschaftsbereich und welcher Region die höchsten direkten Emissionen in der Wertschöpfungskette entstehen. Auf dieser Grundlage können Unternehmen untersuchen, in welchen dieser Wirtschaftsbereiche und Regionen die höchsten Emissionsminderungspotentiale liegen, um dort gezielte Maßnahmen einzuleiten, welche die Emissionsintensität der unternehmenstypischen Wertschöpfungskette mindern.

Emissionsminderungsmaßnahmen jenseits der unmittelbar vorangehenden oder folgenden Wertschöpfungsstufe können jedoch kaum noch durch Ausübung von Marktmacht umgesetzt werden. Stattdessen können Unternehmen – beispielsweise durch Beteiligungen in den jeweiligen Wirtschaftsbereichen und Regionen – Maßnahmen zur Minderung der Emissionsintensität ihrer unternehmenstypischen Wertschöpfungskette einleiten. Ein solches Vorgehen ermöglicht – im Gegensatz zur Kompensation von Treibhausgasemissionen – die Verknüpfung einer Emissionsminderung mit einer Minderung der Bedrohungen im unternehmensstrategischen Sinne. Durch Vorbereitungen in der unternehmenstypischen Wertschöpfungskette wird schließlich potentiellen exogenen Schocks in Form regulatorischer Maßnahmen vorgebeugt. Aufgrund der Rückrechnungsvorschriften in der betrieblichen Treib-

hausgasbilanzierung verbessert eine solche Beteiligung sogar die Emissionsentwicklung des Unternehmens.¹⁹³

Im Gegensatz zu einer sukzessiven Verantwortungsverschiebung in alle Richtungen der Wertschöpfungskette können über die Identifikation der mittelbaren Handelspartnergruppen mit den höchsten direkten Emissionen nach Wirtschaftsbereichen und Regionen innerhalb der Wertschöpfungskette gezielt Emissionsminderungsmaßnahmen eingeleitet werden, welche zur Minderung der globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen führen. Ob diese Emissionsminderungsmaßnahmen tatsächlich bei mittelbaren Vorleistungslieferanten oder mittelbar weiterverarbeitenden Empfängern des betrachteten Unternehmens umgesetzt werden, ist letztendlich nur dann relevant, wenn die Emissionsminderungsmaßnahmen durch Marktmacht erzwungen werden sollen. Dabei kommen jedoch wieder genau jene Systemgrenzen ins Spiel, deren Überwindung bereits bei der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung die Einbeziehung der Input-Output-Modellierung erfordert.

Abschließend wird deshalb für eine komplementäre Koexistenz scheinbar konkurrierender Quantifizierungsansätze plädiert. Während mit der Erhebung von Primärdaten unmittelbar vorangehende und nachfolgende Handelspartner zur Minderung ihrer Treibhausgasemissionen motiviert werden, ermöglicht die ökologische Input-Output-Modellierung eine Identifikation sämtlicher Emissionsminderungspotentiale. Werden diese Emissionsminderungspotentiale durch Beteiligungen des betrachteten Unternehmens ausgeschöpft, so leistet die betriebliche Treibhausgasbilanzierung einen Beitrag zur Minderung der globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen, welcher über die sukzessive Verschiebung von Verantwortung hinausgeht.

7.3 Ausblick

Mit den vorstehenden Ausführungen konnte eine zweistufige Modifizierung der nachfrage- und angebotsseitigen ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung zum doppelzählungsfreien Einsatz in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung entwickelt und empirisch evaluiert werden. Zur nachvollziehbaren Beschreibung der methodischen Erweiterungen wurde unterstellt, dass Kongruenz zwischen Unternehmensdaten und Input-Output-Daten besteht oder hergestellt werden kann. Möglichkeiten zur Herstellung dieser Kongruenz

¹⁹³ Siehe hierzu World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2011), op. cit., 104.

konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht näher untersucht werden und verbleiben somit im weiteren Forschungsbedarf. Dieser Ausblick beleuchtet deshalb zunächst die Frage, an welchen Forschungsarbeiten zur Herstellung dieser Kongruenz angeknüpft werden kann. Darüber hinaus werden jedoch auch Weiterverwertungsmöglichkeiten der beschriebenen Modifizierung angerissen.

Die Kongruenz zwischen Unternehmens- und Input-Output-Daten lässt sich in zwei Aspekte unterteilen. Einerseits sollten die Unternehmensdaten den liefernden und empfangenden Handelspartnergruppen der Input-Output-Tabelle zugeordnet werden können. Andererseits sollten der Input-Output-Tabelle und den Unternehmensdaten dieselben Preiskonzepte zugrunde liegen. Im empirischen Teil wurde diese Kongruenz über den Rückgriff auf Input- und Outputkoeffizienten hergestellt. Mit diesem Vorgehen scheinen zunächst beide Aspekte bedient zu werden. Der Unternehmensumsatz wird auf empfangende und liefernde Handelspartnergruppen verteilt, wobei der Verteilung das Preiskonzept der Input-Output-Tabelle zugrunde liegt. Allerdings offenbarte der empirische Teil auch zwei Einschränkungen dieser Vorgehensweise. Erstens können nur Umsätze bis zu 50% des gesamten Aufkommens eines Sektors simuliert werden und zweitens kann der Ansatz nicht ohne weiteres auf Handelsunternehmen angewendet werden. Im Folgenden wird zunächst der Frage nachgegangen, anhand welcher Vorarbeiten auch Konzepte zur Verteilung höherer Umsätze ausgearbeitet werden können.

Umsätze von mehr als 50% des Güteraufkommens eines Sektors lassen sich anhand der Input- und Outputkoeffizienten nicht auf liefernde und empfangende Handelspartnergruppen verteilen. Zurückzuführen ist dies auf die Diagonaleinträge der Input- und Outputkoeffizientenmatrizen, welche einander grundsätzlich entsprechen und deshalb bei Umsätzen von mehr als 50% des Güteraufkommens eines Sektors zu einem negativem Eintrag in der intermediären Verwendung der übrigen Wirtschaft führen. Verzerrungen der Ergebnisse sind jedoch bereits bei simulierbaren Umsätzen zu erwarten. Diese Verzerrungen beschränken sich nicht nur auf die simultane Anwendung von nachfrage- und angebotsseitiger extrabetrieblicher Input-Output-Modellierung. Obgleich erst die simultane Anwendung die Verzerrungen offenlegt, werden auch bei ausschließlicher Anwendung der nachfrageseitigen oder der angebotsseitigen extrabetrieblichen Input-Output-Modellierung die Ergebnisse verzerrt. Jedes der beiden Modelle unterstellt die Input-Output-Identität, so dass implizit bei der

nachfrageseitigen Exogenisierung des Unternehmens auch ein Teil des Angebots und bei der angebotsseitigen Exogenisierung des Unternehmens auch ein Teil der Nachfrage exogenisiert wird. Insofern besteht Forschungsbedarf, ob und gegebenenfalls wie diese Verzerrung und die Umsatzsimulationsbeschränkung auf 50% des sektoralen Güteraufkommens behoben werden können.

Anknüpfungspunkte zur adäquateren Verteilung des Unternehmensumsatzes auf liefernde und empfangende Sektoren bieten Arbeiten über die Aktualisierung und Schätzung von Input-Output-Tabellen. Gängige Aktualisierungs- und Schätzmethoden bauen größtenteils auf biproportionalen Verfahren auf. Aus einer gegebenen Input-Output-Tabelle und gegebenen exogenen Informationen werden dabei mit iterativen Verfahren neue Input-Output-Tabellen konstruiert. In der Ausgangssituation dieser Verfahren bestehen somit Parallelen zur Unternehmensbereinigung von Input-Output-Tabellen anhand des Unternehmensumsatzes. Die historische Entwicklung biproportionaler Techniken in der Input-Output-Modellierung wird bei Lahr und de Mesnard (2004) zusammengefasst.¹⁹⁴ Eine aktuellere Zusammenfassung der gängigen Aktualisierungs- und Schätzmethoden findet sich bei Miller und Blair (2009).¹⁹⁵ Einen weiteren Überblick bieten Temurshoev, Webb und Yamano (2011), wobei auch weniger bekannte Aktualisierungs- und Schätzmethoden erwähnt werden.¹⁹⁶ Neben der Suche nach geeigneten mathematischen Schätzverfahren stellt sich ferner die Frage, wie die Exogenisierung aus dem Diagonaleintrag ökonomisch interpretiert werden soll. Je nach Datengrundlage kann der Diagonaleintrag entweder nur die intrasektorale Verflechtung enthalten oder darüber hinaus die Eigenproduktion einschließen.

Lösungsansätze zu einer adäquateren Verteilung des Unternehmensumsatzes auf liefernde und empfangende Sektoren bergen auch Einsatzmöglichkeiten in der Disaggregation herkömmlicher Input-Output-Tabellen. Die Frage nach dem Umgang mit Diagonaleinträgen stellt sich schließlich sobald ein Sektor ohne spezifische Information über die Zusammensetzung der intrasektoralen Verflechtung weiter disaggregiert werden soll. Ein Unterschied besteht dabei allerdings in der Anzahl der Zielgrößen. Bei der Unternehmensbereinigung gibt es drei Zielgrößen. Die intrasektorale Verflechtung muss in eine extrabetriebliche intrasek-

¹⁹⁴ Siehe hierzu Lahr, Michael L./de Mesnard, Louis (2004): „Biproportional Techniques in Input-Output Analysis: Table Updating and Structural Analysis“, in: *Economic Systems Research*, 16. Jg., Heft 2, 115-134.

¹⁹⁵ Siehe hierzu Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009), op. cit., 303-346.

¹⁹⁶ Siehe hierzu Temurshoev, Umed/Webb, Colin/Yamano, Norihiko (2011): „Projections of Supply and Use Tables: Methods and their Empirical Assessment“, in: *Economic Systems Research*, 23. Jg., Heft 1, 91-108.

torale Verflechtung, die Unternehmensnachfrage aus dem extrabetrieblichen Teil des Sektors und das Unternehmensangebot an den extrabetrieblichen Teil des Sektors aufgliedert werden. Bei einer weiteren Disaggregation der intrasektoralen Verflechtung in der herkömmlichen Input-Output-Modellierung existieren hingegen vier Zielgrößen. Die intrasektorale Verflechtung muss schließlich in zwei intrasektorale Verflechtungen sowie die Lieferungen des einen Teils an den anderen Teil und des anderen Teils an den einen Teil untergliedert werden. Derartige Weiterverwertungspotentiale liegen jedoch jenseits der Frage, an welchen Forschungsarbeiten zur Herstellung der Kongruenz zwischen Unternehmens- und Input-Output-Daten angeknüpft werden kann. Im Folgenden wird deshalb deren zweiter Aspekt beleuchtet. Schließlich blieb bislang die Frage offen, anhand welcher Vorarbeiten auch Konzepte zur Treibhausgasbilanzierung von Handelsunternehmen ausgearbeitet werden könnten.

Die Simulierung eines Handelsunternehmens bedarf kongruenter Preiskonzepte. Mögliche Unterschiede der Preiskonzepte zwischen betrieblichen Daten und Input-Output-Daten blieben in dieser Arbeit unberücksichtigt. Die vorherrschende Bewertung zu Herstellungspreisen von Input-Output-Tabellen wirft allerdings die Frage auf, wie abweichend bewertete Unternehmensdaten konsistent in die vollständig rückkopplungsbereinigte Input-Output-Modellierung integriert werden. Aufgrund der Umbuchungen von Handels- und Transportspannen in Input-Output-Tabellen geht diese Frage über eine Anpassung bei den Unternehmensdaten hinaus. Anknüpfungspunkte für die Überwindung unterschiedlicher Preiskonzepte in der Input-Output-Modellierung finden sich bei Lenzen (2001) und Raqué (2012).¹⁹⁷ Der bisherige Teil dieses Ausblicks beschäftigte sich mit der Kongruenz zwischen Unternehmens- und Input-Output-Daten. Im weiteren Verlauf dieses Ausblicks werden Weiterverwertungsmöglichkeiten der Modellmodifizierung erwähnt.

Das Weiterverwertungspotential der vorgestellten Modellmodifizierung erstreckt sich auf mehrere Bereiche. Im weiteren Verlauf des Ausblicks wird zunächst eine Ausweitung der Exogenisierung von Unternehmen auf ganze Sektoren oder gar Volkswirtschaften thematisiert. Im Anschluss werden die regionalen und sektoralen Disaggregationsmöglichkeiten sowie der Umfang an Treibhausgasemissionsdaten und enthaltener Berichtsjahre verschiede-

¹⁹⁷ Siehe hierzu Lenzen, Manfred (2001): „A Generalized Input-Output Multiplier Calculus for Australia“, in: *Economic Systems Research*, 13. Jg., Heft 1, 71 und Raqué, Clemens (2012), op. cit., 42-44.

ner Input-Output-Datenbanken diskutiert. Zum Abschluss wird auf die Möglichkeit einer wertschöpfungsstufenabhängigen Untersuchung von Doppelzählungen eingegangen.

Eine Ausweitung der Exogenisierung ist vor allem für die grundsätzliche Beurteilung der Relevanz von Doppelzählungen sinnvoll. Nachdem der empirische Teil dieser Arbeit nur eine geringe Relevanz von Doppelzählungen in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung zeigte, stellt sich die Frage, welches Ausmaß an Doppelzählungen bei der Exogenisierung ganzer Sektoren oder gar Volkswirtschaften entlarvt wird. Denkbar wären hier beispielsweise Erweiterungen der *Emissions Pure Linkages* auf sektoraler Ebene oder in globalen Mehr-Regionen-Modellen auch auf volkswirtschaftlicher Ebene. In der bisherigen Forschung wurde die ökologische Verantwortung einer Volkswirtschaft entweder produzentenbasiert, konsumbasiert oder einkommensbasiert betrachtet.¹⁹⁸ Die Substitution des Unternehmens durch eine Volkswirtschaft in der extrabetrieblichen Input-Output-Modellierung eröffnet den Ausgangspunkt für eine Synthese der drei Ansätze zur Messung der ökologischen Verantwortung einer Volkswirtschaft. Aus dem Anknüpfungspotential bei *Emissions Pure Linkages* folgt unmittelbar die Einsatzmöglichkeit zur Identifikation von Schlüsselsektoren in Volkswirtschaften. Schließlich basieren die *Emissions Pure Linkages* auf den *Pure Linkages*, die ursprünglich zur Identifikation von Schlüsselsektoren verwendet wurden.¹⁹⁹

Die Ausschöpfung weiterer Disaggregationsmöglichkeiten verspricht vor allem eine treffsicherere Identifikation von Emissionsminderungspotentialen. Die empirische Relevanz von Doppelzählungen wurde in dieser Arbeit hauptsächlich in Bezug auf das Gesamtergebnis einer betrieblichen Treibhausgasbilanz untersucht. Um einen Vergleich mit dem Einsatz totaler Emissionsintensitäten zu ermöglichen, wurden bei den detaillierteren Aufgliederungen sämtliche vorgelagerte Emissionen auf die unmittelbar vorangehenden Handelspartnergruppen und sämtliche nachgelagerte Emissionen auf die unmittelbar nachfolgenden Handelspartnergruppen projiziert. Sollen mittels der ökologisch erweiterten Input-Output-Modellierung – wie im Fazit gefordert – Emissionsminderungspotentiale unabhängig von Wertschöpfungsstufen identifiziert werden, so stellt sich die Frage, inwieweit dabei Doppelzählungen in den einzelnen Wirtschaftsbereichen nach Regionen auftreten. Zur treffsicheren

¹⁹⁸ Siehe hierzu Marques, Alexandra/Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2013), op. cit., 162-169 und Marques, Alexandra/Rodrigues, João/Lenzen, Manfred et al. (2012): „Income-based environmental responsibility“, in: *Ecological Economics*, 84. Jg., 57-65.

¹⁹⁹ Siehe hierzu Sonis, Michael/Guilhoto, Joaquim J. M./Hewings, Geoffrey J. D. et al. (1995), op. cit.

Identifikation dieser Potentiale gewinnt auch die Disaggregation der zugrundeliegenden Input-Output-Daten an Bedeutung. In dieser Arbeit wurde der Schwerpunkt auf die methodische Weiterentwicklung gelegt und die Untersuchung der empirischen Relevanz auf eine globale Input-Output-Tabelle mit 35 Wirtschaftsbereichen und maximal drei Regionen beschränkt. Weiteres Disaggregationspotential auf der regionalen Ebene bietet bereits die hier verwendete WIOD mit 41 Regionen.²⁰⁰ Ferner kann das zeitliche Potential der WIOD ausgeschöpft werden. Schließlich umfasst die WIOD neben dem hier verwendeten Berichtsjahr 2009 auch die Berichtsjahre 1995 bis 2008.²⁰¹

Die Input-Output-Datenbank des *Global Trade Analysis Project* (GTAP) in ihrer achten Version bietet weitere Disaggregationsmöglichkeiten. Über eine Erweiterung sind auch zusätzliche Treibhausgasemissionsdaten verfügbar. Dies geht jedoch mit Einbußen in den enthaltenen Berichtsjahren einher. Für die Berichtsjahre 2004 und 2007 kann auf 129 Regionen mit jeweils 57 Sektoren zurückgegriffen werden.²⁰² Über ältere Versionen werden auch die Referenzjahre 1990, 1992, 1995, 1997, und 2001 abgebildet. Allerdings nimmt die Anzahl der Regionen mit jeder älteren Version ab. Die erste Version beinhaltet beispielsweise nur 15 Regionen. Während die Versionen fünf bis acht alle 57 Sektoren beinhalten, werden in der vierten Version nur 50 und in den vorherigen Versionen nur 37 Sektoren nachgewiesen.²⁰³ Kohlendioxidemissionen sind in Version acht integriert.²⁰⁴ Als Erweiterung zur achten Version werden für das Jahr 2007 Treibhausgasemissionsdaten für CH₄, N₂O, CF₄, SF₆ und HFCs ausgewiesen.²⁰⁵

Die Input-Output-Datenbank *Eora* übertrifft die bisher genannten regionalen Disaggregationspotentiale, verfügbaren Berichtsjahre und Umfänge an Treibhausgasemissionsdaten. Dabei müssen jedoch Einschränkungen der sektoralen Disaggregationsmöglichkeiten hingenommen werden. Für die Berichtsjahre 1990 bis 2010 sind Input-Output-Daten nach 187 einzelnen Ländern verfügbar. In kongruenter Klassifikation lassen sich die einzelnen Länder

²⁰⁰ Siehe hierzu Dietzenbacher, Erik/Los, Bart/Stehrer, Robert et al. (2013), op. cit., 94.

²⁰¹ Siehe hierzu World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a), op. cit., -> AIR.

²⁰² Siehe hierzu Center for Global Trade Analysis (Hrsg.) (2015): Global Trade Analysis Project (GTAP). Internet: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/default.asp>, 18.03.2015, -> GTAP 8 Data Base.

²⁰³ Siehe dazu Center for Global Trade Analysis (Hrsg.) (2011): GTAP Data Bases - GTAP Data Base Archives. Im Internet: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/archives.asp>, letzter Zugriff: 18.05.2011.

²⁰⁴ Siehe hierzu Center for Global Trade Analysis (Hrsg.) (2015), op. cit., -> GTAP 8 Data Base.

²⁰⁵ Siehe hierzu Ahmed, S. Amer/Rose, Steven K./Hertel, Thomas et al. (2014): Development of the Version 8 Non-CO₂ GHG Emissions Dataset - Public Release - Documentation Accompanying Dataset. Internet: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/6686.pdf>, 18.03.2015, 2.

jedoch nur nach 25 Sektoren disaggregieren. Darüber hinaus gibt es allerdings heterogene sektorale Disaggregationsmöglichkeiten.²⁰⁶ Diese variieren je nach Land zwischen 26 und 511 Sektoren.²⁰⁷ Die 187 einzelnen Länder werden bei Eora nicht um eine übrige Welt ergänzt. Die Entwickler der Datenbank betrachten die 187 Länder „praktisch“ als vollständige Abbildung der Welt, obwohl im United Nations System of National Accounts 252 geografische Einheiten aufgelistet werden. Zur Begründung wird angeführt, dass in den 65 unberücksichtigten geografische Einheiten kleine Länder (der Vatikanstaat, Monaco, Niue Tokelau und Nauru), umstrittene Territorien (Westsahara) und kleine abhängige Gebiete (Mayotte, Amerikanisch-Samoa, Guam und Gibraltar) enthalten sind.²⁰⁸ Neben CO₂, CH₄ und N₂O werden auch einige HFCs, einige PFCs inklusive CF₄ sowie SF₆ und Stickstofftrifluorid (NF₃) als Emissionen ausgewiesen.²⁰⁹ Somit übertrifft auch die Vielfalt an ausgewiesenen Treibhausgasemissionen jene der bisher genannten Datenbanken.

Die Input-Output-Datenbank des Projekts „*A New Environmental Accounting Framework Using Externality Data and Input-Output-Tools for Policy Analysis*“ (EXIOBASE) erlaubt mit 129 Sektoren die tiefsten sektoralen Disaggregationen in kongruenter Klassifikation. Dieses Potential geht jedoch mit Beschränkungen in den übrigen Aspekten einher. Die regionalen Disaggregationsmöglichkeiten beschränken sich auf 44 Regionen, zeitlich werden nur die Berichtsjahre 2000 und 2007 ausgewiesen und Treibhausgasemissionsdaten sind nur für CO₂, CH₄ und N₂O verfügbar.²¹⁰

Die vier genannten Input-Output-Datenbanken zeigen, dass keine davon eindeutig in allen Aspekten überlegen ist. Besteht Interesse an einer möglichst tiefen sektoralen Disaggregation in kongruenter Klassifikation, so eignet sich EXIOBASE am besten. Wird hingegen eine

²⁰⁶ Vgl. Integrated Sustainability Analysis (Hrsg.) (o.J.-a): Eora - Home. Internet: <http://worldmrio.com/>, 19.03.2015.

²⁰⁷ Vgl. Inomata, Satoshi/Owen, Anne (2014): „Comparative Evaluation of MRIO Databases“, in: Economic Systems Research, 26. Jg., Heft 3, 240.

²⁰⁸ Vgl. Lenzen, Manfred/Moran, Daniel/Kanemoto, Keiichiro et al. (2013): „Building Eora: A Global Multi-Region Input-Output Database at High Country and Sector Resolution“, in: Economic Systems Research, 25. Jg., Heft 1, 25.

²⁰⁹ Siehe hierzu Integrated Sustainability Analysis (Hrsg.) (o.J.-b): Notes on Eora indicator definitions. Internet: <http://worldmrio.com/IndicatorNotes.doc>, 19.03.2015, 4.

²¹⁰ Siehe hierzu Inomata, Satoshi/Owen, Anne (2014), op. cit., 240 und de Koning Arrjan/Heijungs, Reinout/Tukker, Arnold (2011): TECHNICAL REPORT: Full EXIOBASE database management system including agreed scripts operational. Internet: http://www.feem-project.net/exiopol/M45/EXIOPOL_D.III.4b-5_FINAL.pdf, 13.04.2015, i und Tukker, Arnold/Bulavskaya, Tatyana/Giljum, Stefan et al. (2014): The Global Resource Footprint of Nations. Internet: http://www.exiobase.eu/downloads/exiobase-year-2000commercial-files/doc_download/72-creea-booklet-high-resolution, 19.03.2015, 9.

möglichst hohe regionale Vielfalt sowie ein möglichst großer Umfang berücksichtigter Treibhausgasemissionen und verfügbarer Berichtsjahre benötigt, so ist Eora am besten geeignet. Die tiefste regionale Disaggregation bei einer globalen Abdeckung bietet GTAP. Ist hingegen ein möglichst aktuelles Berichtsjahr in Kombination mit einer globalen Datenabdeckung von Interesse, so ist die WIOD am besten geeignet. Darüber hinaus gibt es weitere Input-Output-Datenbanken auf der Mehr-Regionen-Ebene, welche jedoch mangels Veröffentlichung, globaler Abdeckung oder Berücksichtigung von Treibhausgasemissionen keinen Erkenntnisgewinn gegenüber den genannten Datenbanken bieten. Die wichtigsten Input-Output-Datenbanken auf der Mehr-Regionen-Ebene werden bei Tukker und Dietzenbacher (2013) sowie Inomata und Owen (2014) aufgelistet.²¹¹

Inwieweit sich die tieferen Disaggregationsebenen auf das Ausmaß an Doppelzählungen gesamter betrieblicher Treibhausgasbilanzen auswirken ist fraglich. Andrew und Peters (2013) vergleichen nationale konsumbasierte Treibhausgasbilanzen unter Verwendung unterschiedlicher Disaggregationsebenen. Auf Grundlage der achten Version der Input-Output-Datenbank des GTAP wurden einerseits 57 Sektoren zu 8 Sektoren und andererseits 129 Regionen zu 41 Regionen aggregiert. Während die Abweichungen in der sektoralen Aggregation bis zu 27% betragen, erreichen sie in der regionalen Aggregation nur Beträge bis zu 5%.²¹² Der Erkenntnisgewinn durch die Verwendung tieferer Aggregationsebenen sollte deshalb weniger in der Bewertung gesamter betrieblicher Treibhausgasbilanzen, sondern vielmehr in der treffsicheren Identifikation wertschöpfungsstufenunabhängiger Emissionsminderungspotentiale gesucht werden. Sind hingegen die Umweltwirkungen einzelner Wertschöpfungsstufen von Interesse, so sollte die Modellmodifizierung auf wertschöpfungsstufenabhängige Untersuchungen angewendet werden.

Wertschöpfungsstufenabhängige Untersuchungen basieren auf den Potenzreihendarstellungen der Leontief- und Ghosh-Inversen. Werden die Leontief-Inversen und die Ghosh-Inversen in der zweistufigen Modifikation als Potenzreihen dargestellt, so können auch vollständig rückkopplungsbereinigte Umweltwirkungen nach Wertschöpfungsstufen quantifiziert werden. Darauf basierend lässt sich untersuchen, inwieweit einzelne Wertschöpfungs-

²¹¹ Siehe hierzu Inomata, Satoshi/Owen, Anne (2014), op. cit., 240 und Tukker, Arnold/Dietzenbacher, Erik (2013): „Global Multiregional Input-Output Frameworks: An Introduction and Outlook“, in: Economic Systems Research, 25. Jg., Heft 1, 12.

²¹² Siehe hierzu Andrew, Robbie M./Peters, Glen P. (2013): „A Multi-Region Input-Output Table Based on the Global Trade Analysis Project Database“, in: Economic Systems Research, 25. Jg., Heft 1, 107 und 109.

stufen von Doppelzählungen betroffen sind. Ferner wird ein Kompromiss zwischen der Anwendung totaler Emissionsintensitäten und der Identifikation handelsstufenunabhängiger Potentiale ermöglicht. Daran anknüpfend können die Modellmodifikationen auch in der *Structural Path Analysis* angewendet werden.²¹³ Darüber ließen sich die Umweltwirkungen einzelner Pfade aus vollständig rückkopplungsbereinigten intermediären Verflechtungen quantifizieren. Dementsprechend ließe sich untersuchen, inwieweit einzelne Pfade von Doppelzählungen betroffen sind. Anknüpfungspunkte bieten Skelton et al. (2011), welche sich sowohl mit der *Structural Path Analysis* als auch mit dem *Emissions Pure Backward Linkage* beschäftigten.²¹⁴ Die *Structural Path Analysis* lässt sich jedoch nur für eine endliche Anzahl von Wertschöpfungsstufen und damit auch nur für eine endliche Anzahl an Pfaden durchführen, so dass die Analyse letztlich wieder durch Systemgrenzen eingeschränkt wird. Die Überwindung dieser Systemgrenzen basiert letztendlich wiederum auf dem Konzept totaler Emissionsintensitäten. Alle indirekten Umweltwirkungen jenseits der berücksichtigten Wertschöpfungsstufen werden auf die letzte berücksichtigte vorgelagerte bzw. nachgelagerte Wertschöpfungsstufe projiziert.

Diese Arbeit bildet ein solides Fundament für die soeben genannten Weiterverwertungspotentiale. Die Ursachen für Doppelzählungen beim Einsatz der Input-Output-Modellierung in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung konnten klar identifiziert werden. Auf dieser Grundlage konnte eine zweistufige Modellmodifizierung zur betrieblichen Treibhausgasbilanzierung ohne Doppelzählungen entwickelt werden. Anhand der zweistufigen Modellmodifizierung konnte die empirische Relevanz von Doppelzählungen evaluiert werden. Dabei konnte festgestellt werden, dass Doppelzählungen nur bei sehr großen Unternehmen relevant sind. Kleine und mittlere Unternehmen sowie die meisten übrigen Unternehmen können den Standard Input-Output-Ansatz ohne Verursachung wesentlicher Doppelzählungen verwenden. Der Zusammenhang zwischen erwartetem Fehler und Unternehmensumsatz konnte über Polynomfunktionen nach Wirtschaftsbereichen bestimmt werden, so dass sich das Ausmaß an Doppelzählungen auch ohne Input-Output-Modellierungen einschätzen lässt. Der Erkenntnisgewinn geht somit über methodische Erweiterungen der Input-Output-Modellierung hinaus. Die Arbeit leistet zusätzlich einen Beitrag zur allgemeinen Debatte über Doppelzählungen in der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung.

²¹³ Siehe hierzu beispielsweise Wood, Richard/Lenzen, Manfred (2003), op. cit., 370-371.

²¹⁴ Siehe hierzu Skelton, Andrew/Guan, Dabo/Peters, Glen P. et al. (2011), op. cit., 10516-10523.

Literatur

- Ahmed, S. Amer/Rose, Steven K./Hertel, Thomas et al. (2014): Development of the Version 8 Non-CO₂ GHG Emissions Dataset - Public Release - Documentation Accompanying Dataset. Internet:
<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/6686.pdf>, 18.03.2015.
- Andrew, R./Peters, G./Lennox, J. (2009): „Approximation and Regional Aggregation in Multi-Regional Input-Output Analysis for National Carbon Footprint Accounting“, in: Economic System Research, 21. Jg., Heft 3, 311-335.
- Andrew, Robbie M./Peters, Glen P. (2013): „A Multi-Region Input-Output Table Based on the Global Trade Analysis Project Database“, in: Economic Systems Research, 25. Jg., Heft 1, 99-121.
- Augustinovic, Maria (1970): „Methods of international and intertemporal comparison of structure“, in: Carter, Anne P./Bródy, Andrew (Hrsg.) (1970): Contributions to Input-Output Analysis - Published in honor of Wassily Leontief - Proceedings of the Fourth International Conference on Input-Output Techniques, Geneva, 8 - 12 January 1968 - Volume 1. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 249-269.
- Billings, R. B./Katz, J. L. (1982): „A technique to obtain accurate impact multipliers for individual firms by means of existing input-output models“, in: Environment and Planning A, 14. Jg., Heft 6, 739-744.
- Brümmerhoff, Dieter/Grömling, Michael (2011): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. München: Oldenbourg.
- Bullard, Clark W./Penner, Peter S./Pilati, David A. (1978): „Net Energy Analysis - Handbook for Combining Process and Input-Output Analysis“, in: Resources and Energy, 1. Jg., Heft 3, 267-313.
- Bureau of Intelligence and Research (Hrsg.) (2012): Independent States in the World. Internet: <http://www.state.gov/s/inr/rls/4250.htm>, 06.03.2012.
- Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2010): Investor CDP 2010 Information Request - Royal Dutch Shell. Internet:
<https://www.cdp.net/Sites/2010/12/16012/Investor%20CDP%202010/Pages/DisclosureView.aspx>, 04.12.2014.

- Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2013): CDP 2014 Klimawandel Informationsanfrage.
Internet: <https://www.cdp.net/CDP%20Questionnaire%20Documents/CDP-climate-change-information-request-2014-german.pdf>, 04.12.2014.
- Center for Global Trade Analysis (Hrsg.) (2011): GTAP Data Bases - GTAP Data Base Archives.
Im Internet: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/archives.asp>, letzter Zugriff: 18.05.2011.
- Center for Global Trade Analysis (Hrsg.) (2015): Global Trade Analysis Project (GTAP).
Internet: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/default.asp>, 18.03.2015.
- Chenery, Hollis B. (1953): „Regional Analysis“, in: Chenery, Hollis B./Clark, Paul G./Pinna, Vera Cao (Hrsg.) (1953): The Structure and Growth of the Italian Economy. Rome: US Mutual Security Agency, 97-129.
- De Koning Arrjan/Heijungs, Reinout/Tukker, Arnold (2011): TECHNICAL REPORT: Full EXIOBASE database management system including agreed scripts operational. Internt: http://www.feem-project.net/exiopool/M45/EXIOPOL_D.III.4b-5_FINAL.pdf, 13.04.2015.
- De Mesnard, Louis (2009): „Is the Ghosh Model Interesting?“, in: Journal of Regional Science, 49. Jg., Heft 2, 361-372.
- Dietzenbacher, Erik (1997): „In Vindication of the Ghosh Model: A Reinterpretation as a Price Model“, in: Journal of Regional Science, 37. Jg., Heft 4, 629-651.
- Dietzenbacher, Erik/Lenzen, Manfred/Los, Bart et al. (2013): „Input-Output-Analysis: The Next 25 Years“, in: Economic Systems Research, 25. Jg., Heft 4, 369-389.
- Dietzenbacher, Erik/Los, Bart/Stehrer, Robert et al. (2013): „The Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project“, in: Economic System Research, 25. Jg., Heft 1, 71-98.
- Dinar Standard (Hrsg.) (2012): 2012 DS100 - Top 100 Companies of the OIC* Countries.
Internet: <http://www.dinarstandard.com/ds100-top-100-companies-oic-organization-islamic-cooperation-countries/>, 26.11.2014.

Europäische Kommission (Hrsg.) (2003): Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen. Internet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:124:0036:0041:DE:PDF>, 26.01.2015.

Financial Times v. 05.02.2010, 18: „Really Pumped Up“.

Financial Times (Hrsg.) (2006): FT Non-Public 150 - the full list. Internet: <http://www.ft.com/intl/cms/s/2/5de6ef96-8b95-11db-a61f-0000779e2340.html#axzz3JbVPLbuh>, 20.11.2014.

Financial Times (Hrsg.) (2010): Quarterly Updates. Internet: http://web.archive.org/web/20100926113431/http://www.ft.com/cms/s/0/91486938-2586-11dc-b338-000b5df10621,dwp_uuid=012d2b08-4c54-11de-a6c5-00144feabdc0.html, 24.11.2014.

Financial Times (Hrsg.) (2014): Quarterly Updates. Internet: <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/91486938-2586-11dc-b338-000b5df10621.html#axzz3JbVPLbuh>, 21.11.2014.

Foran, Barney/Lenzen, Manfred/Dey, Christopher (2005): Balancing Act - A triple Bottom Line Analysis of the Australian Economy - Volume 1. Internet: <http://www.cse.csiro.au/publications/2005/balancingact1.pdf>, 02.03.2015.

Foran, Barney/Lenzen, Manfred/Dey, Christopher et al. (2005): „Integrating sustainable chain management with triple bottom line accounting“, in: Ecological Economics, 52. Jg., Heft 2, 143-157.

Forbes v. 21.07.2003, 108-110: „The Global 2000 - Rankings: Our Tabulation of the Biggest, Most Powerful Companies in the World, Based on a Composite Ranking of Sales, Profits, Assets and Market Values“.

Forbes (Hrsg.) (2010): The Global 2000. Internet: http://www.forbes.com/lists/2010/18/global-2000-10_The-Global-2000_Sales_5.html, 05.02.2014.

Forbes (Hrsg.) (2014): Global 2000: How We Crunch the Numbers. Internet: <http://www.forbes.com/sites/andreamurphy/2014/05/07/global-2000-how-we-crunch-the-numbers/>, 20.11.2014.

- Fortune (Hrsg.) (2014): GLOBAL 500 2014. Internet: <http://fortune.com/global500/>, 20.11.2014.
- Gallego, Blanca/Lenzen, Manfred (2005): „A Consistent Input-Output Formulation of Shared Producer and Consumer Responsibility“, in: *Economic Systems Research*, 17. Jg., Heft 4, 365-391.
- Ghosh, Ambica (1958): „Input-Output Approach in an Allocation System“, in: *Economica*, 25. Jg., Heft 97, 58-64.
- Giarratani, Frank (1980): „The Scientific Basis for Explanation in Regional Analysis“, in: *Papers of the Regional Science Association*, 45. Jg., Heft 1, 185-196.
- Giarratani, Frank (1981): „A Supply-Constrained Interindustry Model: Forecasting Performance and an Evaluation“, in: Buhr, Walter/Friedrich Peter (Hrsg.) (1981): *Regional Development under Stagnation*. Baden-Baden: Nomos, 281-289.
- Goldman, Morris R./Marimont, Martin L./Vaccara, Beatrice N. (1964): „The Interindustry Structure of the United States – A Report on the 1958 Input-Output Study“, in: *Survey of Current Business*, 44. Jg., Heft 11, 10-29.
- Greytak, D. (1972): „The Firm in Regional Input-Output Analysis“, in: *Regional Studies*, 6. Jg., Heft 3, 327-329.
- Gruver, Gene W. (1989): „On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model: A Theoretical Basis for Input-Coefficient Change“, in: *Journal of Regional Science*, 29. Jg., Heft 3, 441-450.
- Guerra, Ana-Isabel/Sancho, Ferran (2011): „Revisiting the Original Ghosh Model: Can it be Made More Plausible?“, in: *Economic Systems Research*, 23. Jg., Heft 3, 319-328.
- Handelsblatt (Hrsg.) (2011): *Die größten Unternehmen Deutschlands*. Internet: <http://tool.handelsblatt.com/tabelle/?id=36&so=4d&pc=25>, 06.02.2015.
- Haubach, Christian (2009): „Die Startwertproblematik bei der Berechnung von kumulierten Emissionsintensitäten im Kontext der Treibhausgas-Bilanzierung“, in: *UmweltWirtschaftsForum*, 17. Jg., Heft 2, 171-178.

- Haubach, Christian (2013): Umweltmanagement in globalen Wertschöpfungsketten - Eine Analyse am Beispiel der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Hendrickson, Chris T./Lave, Lester B./Mathews, H. Scott (2006): Environmental Life Cycle Assessments of Goods and Services - An Input-Output-Approach. Washington: Resources for the Future.
- Hewings, G. J. D. (1971): „Regional Input-output Models in the U.K.: Some Problems and Prospects for the Use of Nonsurvey Techniques“, in: Regional Studies, 5. Jg., Heft 1, 11-22.
- Holub, Hans-Werner/Schnabl, Hermann (1994a): Input-Output-Rechnung: Input-Output-Analyse. München: Oldenbourg.
- Holub, Hans-Werner/Schnabl, Hermann (1994b): Input-Output-Rechnung: Input-Output-Tabellen. München: Oldenbourg.
- Huang, Y. Anny/Lenzen, Manfred/Weber, Christopher L. et al. (2009): „The Role of Input-Output Analysis for the Screening of Corporate Carbon Footprints“, in: Economic System Research, 21. Jg., Heft 3, 217-242.
- Huang, Y. Anny/Weber, Christopher L./Matthews, H. Scott (2009): „Categorization of Scope 3 Emissions for Streamlined Enterprise Carbon Footprinting“, in: Environmental Science and Technology, 43. Jg., Heft 22, 8509-8515.
- Inomata, Satoshi/Owen, Anne (2014): „Comparative Evaluation of MRIO Databases“, in: Economic Systems Research, 26. Jg., Heft 3, 239-244.
- Integrated Sustainability Analysis (Hrsg.) (o.J.-a): Eora - Home. Internet: <http://worldmrio.com/>, 19.03.2015.
- Integrated Sustainability Analysis (Hrsg.) (o.J.-b): Notes on Eora indicator definitions. Internet: <http://worldmrio.com/IndicatorNotes.doc>, 19.03.2015.
- Inter-Secretariat Working Group on National Accounts (Hrsg.) (1993): System of National Accounts 1993. Brüssel/Luxemburg, New York, Paris, Washington, D.C.: Commission of the European Communities - Eurostat, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, United Nations, World Bank.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2014a): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2014b): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York: Cambridge University Press.

Internal Revenue Service (Hrsg.) (2014): Yearly Average Currency Exchange Rates Translating foreign currency into U.S. dollars. Internet: <http://www.irs.gov/Individuals/International-Taxpayers/Yearly-Average-Currency-Exchange-Rates>, 26.11.2014.

Isard, Walter (1951): „Interregional and Regional Input-Output Analysis - A Model of a Space-Economy“, in: The Review of Economics and Statistics, 33. Jg., Heft 4, 318-328.

ISO 14064-1:2006(E) (2006): Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Berlin: Beuth.

Joshi, Satish (1998): Comprehensive product life-cycle analysis using input-output techniques. Internet: <http://www.cmu.edu/gdi/docs/satish-joshi.pdf>, 21.10.2014.

Joshi, Satish (2000): „Product Environmental Life-Cycle Assessment Using Input-Output Techniques“, in: Journal of Industrial Ecology, 3. Jg., Heft 2 & 3, 95-120.

Katz, Joseph L./Burford, Roger L. (1982): „The Effect of Aggregation on the Output Multipliers in Input-Output Models“, in: Annals of Regional Science, 15, Jg., Heft 3, 46-54.

Kranke, Andre/Schmied, Martin/Schön, Andrea Dorothea (2011): CO₂-Berechnung in der Logistik - Datenquellen, Formeln, Standards. München: Verlag Heinrich Vogel.

- Kuczynski, Marguerite/Meek, Ronald L. (Hrsg.) (1972): Quesnay's Tableau Économique. London: Macmillan.
- Lahr, Michael L./de Mesnard, Louis (2004): „Biproportional Techniques in Input-Output Analysis: Table Updating and Structural Analysis“, in: Economic Systems Research, 16. Jg., Heft 2, 115-134.
- Lave, Lester B./Cobas-Flores, Elisa/Hendrickson, Chris T. (1995): „Using Input-Output Analysis to Estimate Economy-wide Discharges“, in: Environmental Science and Technology, 29. Jg., Heft 9, 420 A - 426 A.
- Lenzen, Manfred (2001): „A Generalized Input-Output Multiplier Calculus for Australia“, in: Economic Systems Research, 13. Jg., Heft 1, 65-92.
- Lenzen, Manfred (2008a): „Consumer and producer environmental responsibility - A reply“, in: Ecological Economics, 66. Jg., Heft 2-3, 547-550.
- Lenzen, Manfred (2008b): „Double-Counting in Life Cycle Calculations“, in: Journal of Industrial Ecology, 12. Jg., Heft 4, 583-599.
- Lenzen, Manfred (2008c): „Sustainable island businesses: a case study of Norfolk Island“, in: Journal of Cleaner Production, 16. Jg., Heft 18, 2018-2035.
- Lenzen, Manfred/Moran, Daniel/Kanemoto, Keiichiro et al. (2013): „Building Eora: A Global Multi-Region Input-Output Database at High Country and Sector Resolution“, in: Economic Systems Research, 25. Jg., Heft 1, 20-49.
- Lenzen, Manfred/Murray, Joy (2010): „Conceptualising environmental responsibility“, in: Ecological Economics, 70. Jg., 261-270.
- Lenzen, Manfred/Murray, Joy/Sack, Fabian et al. (2007): „Shared producer and consumer responsibility - Theory and practice“, in: Ecological Economics, 61. Jg., Heft 1, 27-42.
- Leontief, Wassily (1970): „Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach“, in: Review of Economics and Statistics, 52. Jg., Heft 3, 262-271.
- Leontief, Wassily W. (1936): „Quantitative input and output relations in the economic system of the United States“, in: Review of Economics and Statistics, 18. Jg., Heft 3, 105-125.

- Leontief, Wassily W. (1937): „Interrelations of Prices, Output, Savings, and Investment“, in: Review of Economics and Statistics, 19. Jg., Heft 3, 109-132.
- Leontief[f], W. (1928): „Die Wirtschaft als Kreislauf“, in: Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik, 60. Jg., Heft 3, 577-623.
- Marques, Alexandra/Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2013): „International trade and the geographical separation between income and enabled carbon emissions“, in: Ecological Economics, 89. Jg., 162-169.
- Marques, Alexandra/Rodrigues, João/Lenzen, Manfred et al. (2012): „Income-based environmental responsibility“, in: Ecological Economics, 84. Jg., 57-65.
- Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (1985): Input-Output Analysis - Foundations and Extensions. Englewood Cliffs (New Jersey): Prentice-Hall.
- Miller, Ronald E./Blair, Peter D. (2009): Input-Output Analysis - Foundations and Extensions. Cambridge: Cambridge University Press.
- Minx, J.C./Wiedmann, T./Wood, R. et al. (2009): „Input-Output Analysis and Carbon Footprinting: An Overview of Applications“, in: Economic Systems Research, 21. Jg., Heft 3, 187-216.
- Minx, Jan/Wiedmann, Thomas/Barrett, John et al. (2007): Methods review to support the PAS process for the calculation of the greenhouse gas emissions embodied in good and services - A research report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs by the Stockholm Environment Institute and the University of Minnesota - February 2008. London: DEFRA.
- Moriguchi, Yuichi/Kondo, Yoshinori/Shimizu, Hiroshi (1993): „Analysing the life cycle impacts of cars: the case of CO₂“, in: Industry and Environment, 16. Jg., Heft 1, 42-45.
- Moses, Leon N. (1955): „The Stability of Interregional Trading Patterns and Input-Output Analysis“, in: The American Economic Review, 45. Jg., Heft 5, 803-832.
- Oosterhaven, Jan (1981): Interregional input-output analysis and Dutch regional policy problems. Aldershot: Gower.

- Oosterhaven, Jan (1988): „On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model“, in: Journal of Regional Science, 28. Jg., Heft 2, 203-217.
- Oosterhaven, Jan (1989): „The Supply-Driven Input-Output Model: A New Interpretation but still Implausible“, in: Journal of Regional Science, 29. Jg., Heft 3, 459-465.
- Oosterhaven, Jan (2012): „Adding Supply-Driven Consumption Makes the Ghosh Model Even More Implausible“, in: Economic Systems Research, 24. Jg., Heft 1, 101-111.
- Paelinck, J./de Caemel, J./Degueldre, J. (1965): „Analyse quantitative de certains phénomènes du développement régional polarisé – Essai de simulation statique d'itinéraires de propagation (1)“, in: Boudeville, Jacques R. (1965): Problèmes de conversion économique : analyses théoriques et études appliquées ; actes du quatrième Colloque de l'Association de Science Régionale de Langue Française, ASRDLF. Paris: Ed. Génin, 341-387.
- PEMEX (Hrsg.) (o.J.): 2011 - Annual Report. Internet:
<http://www.ri.pemex.com/files/content/Annual%20Report%202011.pdf>, 26.11.2014.
- Polenske, Karen R. (2004): „Leontief's "magnificent machine" and other contributions to applied economics“, in: Dietzenbacher, Erik/Lahr, Michael L. (Hrsg.) (2004): Wassily Leontief and Input-Output Economics. Cambridge: Cambridge University Press, 9-29.
- Raqué, Clemens (2012): „Treibhausgasemissionen, Einkaufsdaten und Preiskonzepte“, in: Horizonte, Nr. 39, 42-44.
- Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2008a): „Consumer and producer environmental responsibility: Comparing two approaches“, in: Ecological Economics, 66. Jg., Heft 2-3, 533-546.
- Rodrigues, João/Domingos, Tiago (2008b): „Consumer and producer responsibility - Comments“, in: Ecological Economics, 66. Jg., Heft 2-3, 551.
- Rodrigues, João/Domingos, Tiago/Giljum, Stefan et al. (2006): „Designing an indicator of environmental responsibility“, in: Ecological Economics, 59. Jg., Heft 3, 256-266.
- Rodrigues, João/Marques, Alexandra/Domingos, Tiago (2010): Carbon Responsibility and Embodied Emissions - Theory and measurement. London/New York: Routledge.
- Rose, Adam/Allison, Tim (1989): „On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model“, in: Journal of Regional Science, 29. Jg., Heft 3, 451-458.

Royal Dutch Shell PLC (Hrsg.) (o.J.): Annual Report – Royal Dutch Shell PLC Annual Report and Form 20-F for the Year Ended December 31, 2009. Internet: <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/investor/downloads/financial-information/reports/2009/2009-20f-annual-report.pdf>, 27.11.2014.

Schmidt, Mario/Joa, Bettina/Raqué, Clemens/Rötzer, Nadine/Preiß, Marlene (2015): Abschlussbericht – Material- und Energieflussbasierte Kosten- und Klimaanalyse (MEK-KA). Internet: http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/117408/zo3r12001_abschlussbericht.pdf?command=downloadContent&filename=zo3r12001_abschlussbericht.pdf&FIS=203, 03.05.2016.

Schmidt, Mario/Schwegler, Regina (2008): „A recursive indicator system for the supply chain of a company“, in: Journal of Cleaner Production, 16. Jg., Heft 15, 1658-1664.

Skelton, Andrew/Guan, Dabo/Peters, Glen P. et al. (2011): „Mapping Flows of Embodied Emissions in the Global Production System“, in: Environmental Science and Technology, 45. Jg., Heft 24, 10516-10523.

Sonatrach (Hrsg.) (o.J.): Rapport Annuel 2011. Internet: http://www.sonatrach.com/PDF/Rapport_Financier_2011.pdf, 26.11.2014.

Sonis, Michael/Guilhoto, Joaquim J. M./Hewings, Geoffrey J. D. et al. (1995): „Linakges, Key Sectors, and Structural Change: Some New Perspectives“, in: The Developing Economies, 33. Jg., Heft 3, 233-270.

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2002): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993 (WZ 93). Internet: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz93.pdf?__blob=publicationFile, 28.11.2014.

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2003): Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen - Ausgabe 2003. Internet: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2003_erl.pdf?__blob=publicationFile, 15.05.2013.

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2010): Fachserie 18 Reihe 2 - Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Input-Output-Rechnung - 2007. Internet: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/VGRInputOutputRechnung2180200079005.xls?__blob=publicationFile, 26.03.2015.

- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2012): Fachserie 18 Reihe 2 - Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Input-Output-Rechnung - 2008. Internet: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/VGRInputOutputRechnung.html>, 25.11.2012.
- Strassert, Günter (1968): „Zur Bestimmung strategischer Sektoren mit Hilfe von Input-Output-Modellen“, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, 182. Jg., Heft 3, 211-215.
- Szyrmer, J. M. (1992): „Input-Output Coefficients and Multipliers from a Total-Flow Perspective“, in: Environment and Planning A, 24. Jg., Heft 7, 921-937.
- Temurshoev, Umed/Webb, Colin/Yamano, Norihiko (2011): „Projections of Supply and Use Tables: Methods and their Empirical Assessment“, in: Economic Systems Research, 23. Jg., Heft 1, 91-123.
- Tiebout, Charles M. (1967): „Input-Output and the Firm: A Technique for Using National and Regional Tables“, in: Review of Economics and Statistics, 49. Jg., Heft 2, 260-262.
- Timmer, Marcel (Hrsg.) (2012): The World Input-Output Database (WIOD) - Contents, Sources and Methods. Internet: http://www.wiod.org/publications/source_docs/WIOD_sources.pdf, 17.01.2013.
- Tukker, Arnold/Bulavskaya, Tatyana/Giljum, Stefan et al. (2014): The Global Resource Footprint of Nations. Internet: http://www.exiobase.eu/downloads/exiobase-year-2000commercial-files/doc_download/72-creea-booklet-high-resolution, 19.03.2015.
- Tukker, Arnold/Dietzenbacher, Erik (2013): „Global Multiregional Input-Output Frameworks: An Introduction and Outlook“, in: Economic Systems Research, 25. Jg., Heft 1, 1-19.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (Hrsg.) (2014): Global Warming Potentials. Internet: http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php, 30.04.2015.
- Walras, Léon (1874/1926): *Éléments d'Économie Politique Pure ou Théorie de la Richesse Sociale*. 4. Aufl. Paris: R. Pichon et N. Durand-Auzias.
- Wiedmann, Thomas/Lenzen, Manfred/Turner, Karen/Barett, John (2007): „Examining the global impact of regional consumption activities - Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade“, in: Ecological Economics, 61. Jg., Heft 1, 15-26.

- Wood, Richard/Lenzen, Manfred (2003): „An Application of a Modified Ecological Footprint Method and Structural Path Analysis in a Comparative Institutional Study“, in: Local Environment, 8. Jg., Heft 4, 365-386.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2001): The Greenhouse Gas Protocol Initiative - A Corporate Accounting and Reporting Standard. Genf/Washington: WBCSD/WRI.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2004): The Greenhouse Gas Protocol Initiative - A Corporate Accounting and Reporting Standard - Revised Edition. Genf/Washington: WBCSD/WRI.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) (Hrsg.) (2013): Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (version 1.0) - Supplement to the Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting & Reporting Standard. Internet:
http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Scope3_Calculation_Guidance.pdf, 02.05.2013.
- World Input-Output Database (Hrsg.) (2012): The WIOD-Database - World Input-Output tables and International Supply and Use tables. Internet:
<http://www.wiod.org/database/iot.htm>, 26.03.2013.
- World Input-Output Database (Hrsg.) (2013a): Environmental Accounts. Internet:
http://www.wiod.org/new_site/database/eas.htm, 19.11.2014.
- World Input-Output Database (Hrsg.) (2013b): WIOD Data, November 2013 Release. Internet: http://www.wiod.org/new_site/data.htm, 28.01.2014.
- World Input-Output Database (Hrsg.) (2014): World Input-Output Tables. Internet:
http://www.wiod.org/new_site/database/wiots.htm, 19.11.2014.
- World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2011): Greenhouse Gas Protocol - Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard - Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Internet:
<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Corporate%20Value%20Chain%20%28Scope%203%29%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>, 18.03.2015.

World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Hrsg.) (2013): Greenhouse Gas Protocol – Required Greenhouse Gases in Inventories – Accounting and Reporting Standard Amendment – February, 2013. Internet: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/NF3-Amendment_052213.pdf, 25.10.2016.

WWF Deutschland/Carbon Disclosure Project (Hrsg.) (2014): Vom Emissionsbericht zur Klimastrategie – Grundlagen für ein einheitliches Emissions- und Klimastrategieberichtswesen. Internet: http://klimareporting.de/wp-content/uploads/2014/02/Klimareporting_Vorlagenheft_Klimabericht_2014_02_20.pdf, 08.06.2015.

Zhang, Youguo (2010): „Supply-side structural effect on carbon emissions in China“, in: Energy Economics, 32. Jg., Heft 1, 186-193.