

DIE ÖKOLOGISCHE STEUERREFORM

Modellierungen im Spannungsfeld
von sektoralen Unterschieden,
internationalem Wettbewerb und
technologischer Entwicklung

Hannes Vetter



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
HEIDELBERG

Die ökologische Steuerreform

Hannes Vetter

Die ökologische Steuerreform

Modellierungen im Spannungsfeld von sektoralen
Unterschieden, internationalem Wettbewerb
und technologischer Entwicklung



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
HEIDELBERG

Über den Autor

Hannes Vetter, Dr. rer. pol., studierte Wirtschaftsmathematik und Volkswirtschaftslehre in Mannheim, Swansea und Heidelberg. Er ist wissenschaftlicher Referent im Arbeitsbereich Nachhaltige Entwicklung an der Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft (FEST) in Heidelberg, wo er seit 2018 insbesondere für Landeskirchen und Bistümer zum Thema Klimaschutz im kirchlichen Raum arbeitet. Seit 2024 ist er für den jährlichen Klimabericht der Evangelischen Kirche in Deutschland zuständig. Neben der ökologischen Steuerreform liegt sein Interesse in den Bereichen Postwachstum und Degrowth, pluraler Ökonomik und Fragen von zukunftsfähigem Wirtschaften.

ORCID®

Hannes Vetter  <https://orcid.org/0009-0002-9848-587X>

Die vorliegende Arbeit ist als Dissertation zur Erlangung des Akademischen Grades eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.) an der Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg entstanden.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://dnb.dnb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0 veröffentlicht. Von dieser CC BY-SA 4.0-Lizenz dieses Gesamtwerks sind folgende zwei Abbildungen ausgenommen: Abbildung 1, deren Rechteinhaber das Statistische Bundesamt ist (© Statistisches Bundesamt, 2021b, S. 14) und Abbildung 8, deren Rechteinhaber die Deutsche Bundesbank ist (© Deutsche Bundesbank, 2022a, S. 52); die Nutzung dieser beiden Abbildungen unterliegt den Urheberrechtsbestimmungen, welche von den Institutionen jeweils angegeben werden. Die Umschlaggestaltung unterliegt der Creative-Commons-Lizenz CC BY-ND 4.0.



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
HEIDELBERG

Publiziert bei heiBOOKS, 2026

Universität Heidelberg / Universitätsbibliothek
heiBOOKS
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg
<https://books.ub.uni-heidelberg.de/heibooks>
E-Mail: ub@ub.uni-heidelberg.de

Die Online-Version dieser Publikation ist auf heiBOOKS, der E-Book-Plattform der Universitätsbibliothek Heidelberg, <https://books.ub.uni-heidelberg.de/heibooks>, dauerhaft frei verfügbar (Open Access).

urn: urn:nbn:de:bsz:16-heibooks-book-1632
doi: <https://doi.org/10.11588/heibooks.1632>

Text © 2026, Hannes Vetter

Umschlagabbildung: Daniela Jakob

ISBN 978-3-911056-48-9 (Softcover)
ISBN 978-3-911056-47-2 (PDF)

Zusammenfassung

Die Weltgemeinschaft steht vor drängenden Umweltproblematiken, nicht zuletzt durch den Klimawandel. Momentan fällt in der Bundesrepublik Deutschland die umweltbezogene Besteuerung, gemessen am Gesamtsteueraufkommen, gering aus. Verglichen damit wird der Bereich Arbeit hoch besteuert. Bei einer ökologischen Steuerreform handelt es sich um eine Umgestaltung der Steuerstruktur, bei der Umweltsteuern erhöht werden und das hieraus entstehende Aufkommen zur Entlastung der Arbeit genutzt wird. Eine solche Steuerreform wurde in Deutschland bereits 1999–2003 umgesetzt und von wissenschaftlicher Seite überwiegend positiv bewertet. Neben positiven Auswirkungen im Bereich Umwelt werden nach aktuellem Forschungsstand mehrheitlich auch in anderen Bereichen vorteilhafte Effekte nachgewiesen, bspw. positive Beschäftigungseffekte. Die ökonomischen Potenziale und Risiken einer weitreichenden ökologischen Steuerreform in Deutschland unter Entwicklung zweier Modelle sind Gegenstand der vorliegenden Dissertation.

In den Modellierungen wird eine Treibhausgas(THG)-Bepreisung mit bis zu 400 EUR/t CO₂e simuliert, deren Aufkommen teilweise oder vollständig zur Entlastung der Arbeitgeberanteile der Sozialversicherungen eingesetzt wird. Die Modelle untersuchen einerseits die sektoralen Effekte einer ökologischen Steuerreform im Kontext des internationalen Wettbewerbs. Andererseits wird analysiert, inwiefern durch eine ökologische Steuerreform die Lenkung der technologischen Entwicklung in der langen Frist möglich ist.

Die Input-Output-Modellierung simuliert Preisänderungen, inkl. ihrer Folgeeffekte durch die Weitergabe der Preise entlang der Produktionskette, und die Reaktion der Nachfrage anhand der Preiselastizität der Nachfrage. Es zeigen sich sektoral sehr unterschiedliche Auswirkungen: Für arbeitsintensive Sektoren ergeben sich positive Nettoeffekte, welche aufgrund ihres hohen Anteils an der Gesamtbeschäftigung zu positiven Beschäftigungseffekten der Volkswirtschaft insgesamt führen. Der landwirtschaftliche und der energieerzeugende Sektor sind aufgrund ihrer hohen THG-Intensität am stärksten von negativen Nettoeffekten betroffen. Im landwirtschaftlichen Sektor liegen die hohen Belastungen durch die ökologische Steuerreform vor allem in den Nicht-CO₂-Emissionen begründet. Der energieerzeugende Sektor ist durch die Umstellung der Energieproduktion auf erneuerbare Energien gekennzeichnet. In beiden Fällen erscheinen demnach spezifische, zusätzliche Maßnahmen sinnvoll.

In der Input-Output-Modellierung wird die ökologische Steuerreform ad hoc, das heißt ohne Übergangsphase, eingeführt, weshalb die Simulation in diesem Sinne ein *Worst-Case-Szenario* darstellt. Bei einer tatsächlichen Umsetzung der Steuerreform ist jedoch davon auszugehen, dass die Unternehmen auf die neuen Gegebenheiten reagieren und sich die Zusammensetzung der erforderlichen Vorleistungen und primären Inputs verändert. Zudem muss berücksichtigt werden, dass sich die Auswirkungen über den gesamten Reformzeitraum verteilen. Vor diesem Hintergrund erscheinen die Effekte der Reform insgesamt gering und große Wettbewerbsnachteile unwahrscheinlich. Durch die Lenkung der technologischen Entwicklung, welche mit dem zweiten, agentenbasierten Modell simuliert wird, könnte dagegen aufgrund der Herstellung von Produkten mit geringerer THG-Intensität in der langen Frist eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit entstehen.

Die agentenbasierte Modellierung simuliert zufällige technologische Entwicklungen zur Steigerung der Arbeitsproduktivität und Senkung der THG-Intensität, welche auf Unternehmensebene ausschließlich auf Grundlage von finanziellen Aspekten ausgewählt werden. Die ökologische Steuerreform wird hierbei mit zwei Szenarien verglichen: einerseits ohne Veränderung der bestehenden Steuerstruktur, andererseits mit der Reform *Ökobonus*, bei der das Aufkommen einer THG-Steuer vollständig den Haushalten zukommt. Die besten Ergebnisse in Bezug auf die Reduktion der THG-Emissionen und den Erhalt von hoher Beschäftigung erzielt hierbei die ökologische Steuerreform. In Bezug auf Beschäftigung erreicht die ökologische Steuerreform nur geringfügig bessere Ergebnisse als der *Ökobonus*, die Kostenverschiebungen auf Unternehmensebene bewirken jedoch, dass die technologische Entwicklung zur Reduktion der THG-Emissionen ausgeprägter ausfällt als im *Ökobonus*-Szenario. Darüber hinaus erweist sich eine frühzeitige starke Steigerung der THG-Preise gegenüber einer allmählichen Erhöhung als vorteilhaft.

Das agentenbasierte Modell legt außerdem nahe, dass selbst die weitreichenden THG-Preise von 400 EUR/t CO₂e nicht ausreichen, um eine Lenkung der technologischen Entwicklung zur Reduktion der THG-Emissionen im Sinne der von der deutschen Bundesregierung gesetzten Klimaziele allein zu erzielen. Diese Ergebnisse sind jedoch nur als Indiz zu betrachten, da der Fokus des agentenbasierten Modells auf der qualitativen Analyse der technologischen Entwicklung liegt.

Die genannten Ergebnisse stehen vor einer politischen Debatte in Deutschland, in welcher der hier untersuchten Variante der ökologischen Steuerreform keine Bedeutung mehr zukommt. Diese Arbeit zeigt jedoch, dass der Mechanismus einer gleichzeitigen Verteuerung von THG-Emissionen und Vergünstigung von Arbeit als marktwirtschaftliches Instrument ein Potenzial birgt, welches durch die derzeitigen öffentlichen und politischen Debatten nicht repräsentiert wird.

Übersicht

Teil I Einführung

1	Einleitung	3
2	Definition ökologische Steuerreform	9
3	Ziel der Arbeit und Leitfragen	11
4	Vorgehen und Aufbau	13

Teil II Debatten und Umsetzungen

5	Ausgangslage: Trends und Entwicklungen der 2020er Jahre	21
6	Begriffe, Definitionen und Konzeptionen	35
7	Forschungsstand	69
8	Stand der Umsetzungen	115
9	Politische Debatte der ökologischen Steuerreform in Deutschland	131
10	Fazit der Umsetzungen und Debatten	155

Teil III Modellierungen

11	Sektorale Effekte im Kontext des internationalen Wettbewerbs (Input-Output-Modell)	163
12	Technologische Effekte in der langen Frist (agentenbasiertes Modell)	227

Teil IV Diskussion und Fazit

13	Diskussion	317
14	Fazit	335

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XVI
Tabellenverzeichnis	XVIII
Abkürzungsverzeichnis	XIX

Teil I Einführung

1	Einleitung	3
2	Definition ökologische Steuerreform	9
3	Ziel der Arbeit und Leitfragen	11
4	Vorgehen und Aufbau	13
4.1	Überblick	13
4.2	Vorgehen und Aufbau von Teil II „Umsetzungen und Debatten“	13
4.3	Vorgehen und Aufbau von Teil III „Modellierungen“	15
4.3.1	Input-Output-Modell	15
4.3.2	Agentenbasiertes Modell	16

Teil II Umsetzungen und Debatten

5	Ausgangslage: Trends und Entwicklungen der 2020er Jahre	21
5.1	Zum Kontext	21
5.2	Umweltbewusstsein und ökologische Grenzen	21
5.3	Digitalisierung und Arbeit	24
5.4	Demografischer Wandel	26
5.5	Säkulare Stagnation und Postwachstum	28
6	Begriffe, Definitionen und Konzeptionen	35
6.1	Einordnung	35
6.2	Definitionen der doppelten und dreifachen Dividende	36
6.3	Aufkommensneutralität	40

6.4	Einnahmenseite	41
6.4.1	Chancen marktwirtschaftlicher Konzepte.....	41
6.4.2	Steuern.....	44
6.4.3	Emissionshandel	45
6.4.4	Bemessungsgrundlage	48
6.4.5	Konkrete Ausgestaltungsvorschläge	50
6.5	Aufkommensverwendung	51
6.5.1	Einordnung	51
6.5.2	Leitidee 1: Ökonomie	52
6.5.3	Leitidee 2: Soziales	53
6.5.4	Leitidee 3: Umwelt und gesellschaftliche Transformation.....	55
6.5.5	Fazit Aufkommensverwendung	55
6.6	Begleitende Maßnahmen	56
6.6.1	Überblick.....	56
6.6.2	Ausnahmeregelungen von Unternehmen	56
6.6.3	Grenzausgleichsmechanismus	58
6.6.4	Unterstützung spezifischer Personengruppen oder Haushalte	60
6.6.5	Weitere begleitende Maßnahmen	60
6.7	Höhe der THG-Bepreisung	62
6.7.1	Ansätze des Umweltbundesamts.....	62
6.7.2	Ansätze des IPCC.....	64
6.7.3	Fazit Höhe der THG-Bepreisung	66
7	Forschungsstand	69
7.1	Diskurs in Deutschland	69
7.1.1	Historie des deutschen Diskurses.....	69
7.1.2	Forschungsbeiträge zur ökologischen Steuerreform 1999–2003 in Deutschland	71
7.2	Internationaler Diskurs	74
7.2.1	Beiträge in den 2000er Jahren	74
7.2.2	Beiträge in den 2010er Jahren bis heute	81
7.2.3	Resümee internationaler Diskurs	85
7.3	Reflexion des Forschungsstands.....	90

7.3.1	Einflussfaktoren auf die Modellierung	90
7.3.2	Modelltypologien	93
7.3.3	Wohlfahrtsökonomik und Theorie der optimalen Besteuerung	100
7.3.4	Wachstumskritik, Postwachstum und alternative Wohlfahrtsmessung	107
7.3.5	Ausmaß der Reform	111
8	Stand der Umsetzungen	115
8.1	Die ökologische Steuerreform in Deutschland	115
8.1.1	Situation vor 1999	115
8.1.2	Gesetze zur Reform 1999–2003	116
8.1.3	Struktur der Steuern und Abgaben in Deutschland	117
8.1.4	Kritik	121
8.1.5	Fiskalische Potenziale	122
8.2	Ökologische Steuerreformen in anderen Ländern	123
8.2.1	Vergleichbare Reformen	123
8.2.2	Die CO ₂ -Abgabe in der Schweiz	123
8.2.3	Die Carbon Tax in British Columbia (Kanada)	126
9	Politische Debatte der ökologischen Steuerreform in Deutschland	131
9.1	Einleitung	131
9.2	Methode	131
9.2.1	Grundlegendes	131
9.2.2	Definition	132
9.2.3	Allgemeines Vorgehen	133
9.2.4	Kategorien	133
9.2.5	Abgrenzung zu anderen Methoden	134
9.2.6	Konkretes Vorgehen	135
9.3	Analyse	136
9.3.1	Wahlprogramme von SPD und Grüne	136
9.3.2	Wahlprogramme anderer Parteien	145
9.4	Fazit politische Debatte der ökologischen Steuerreform in Deutschland ..	148
10	Fazit der Umsetzungen und Debatten	155

Teil III Modellierungen

11	Sektorale Effekte im Kontext des internationalen Wettbewerbs (Input-Output-Modell)	163
11.1	Einführung	163
11.1.1	Vorüberlegungen	163
11.1.2	Forschungsfragen und -hypothesen	165
11.2	Forschungsstand: ökologische Steuerreform im Kontext des internationalen Wettbewerbs.....	166
11.2.1	Aspekte der Wettbewerbsfähigkeit	166
11.2.2	Konzepte zur Messung von Wettbewerbsfähigkeit	168
11.2.3	Wettbewerbsfähigkeit im Kontext von Energie- und THG-Steuern	173
11.2.4	Fazit Forschungsstand (internationaler Wettbewerb)	176
11.3	Methodik der Input-Output-Modellierung.....	178
11.4	Modell.....	182
11.4.1	Grundlegendes	182
11.4.2	Szenarien	184
11.4.3	Zur Nomenklatur.....	186
11.4.4	Vorgehen.....	186
11.4.5	Validierung	195
11.4.6	Ergebnisse	201
11.5	Diskussion und Fazit	213
11.5.1	Ausgewählte Szenarien	213
11.5.2	Reflexion der Ergebnisse.....	216
11.5.3	Anknüpfende Forschungsfragen und Modellerweiterungen	223
11.5.4	Fazit	224

12 Technologische Effekte in der langen Frist	
(agentenbasiertes Modell)	227
12.1 Einführung	227
12.1.1 Vorüberlegungen	227
12.1.2 Forschungsfragen und -hypothesen	228
12.2 Forschungsstand: gelenkte technologische Entwicklung	230
12.2.1 Technologie in ökonomischen Modellen	230
12.2.2 Verschiedene Arten von Technologiemoellen	231
12.2.3 Gelenkte technologische Entwicklung	233
12.2.4 Technologie als Wettbewerbsfaktor	235
12.2.5 Die Porter-Hypothese	236
12.2.6 Die Frage der Substituierbarkeit	237
12.2.7 Technologische Entwicklung und Klima in agentenbasierten Modellen	238
12.3 Deskriptive Statistiken zum technologischen Potenzial	244
12.3.1 Einführung	244
12.3.2 Statischer Vergleich verschiedener Länder	244
12.3.3 Trend vergangener Jahre	251
12.4 Methodik der agentenbasierten Modellierung	255
12.4.1 Grundlagen	255
12.4.2 Eignung der agentenbasierten Modellierung	258
12.5 Das Modell	259
12.5.1 Grundstruktur	259
12.5.2 Ablauf des Modells	260
12.5.3 Akteure des Modells	261
12.5.4 Technologische Entwicklung	270
12.5.5 Aufbau eines Zeitschritts	274
12.5.6 Szenarien	276
12.5.7 Validierung	280
12.5.8 Ergebnisse	282
12.6 Diskussion und Fazit	303
12.6.1 Reflexion der Ergebnisse	303
12.6.2 Weitere Aspekte	305
12.6.3 Anknüpfende Forschungsfragen und Modellerweiterungen	311
12.6.4 Fazit	313

Teil IV Diskussion und Fazit

13	Diskussion	317
13.1	Gesamteinordnung (Leitfragen 1–4)	317
13.2	Politische Debatte und gesellschaftliche Standpunkte (Leitfrage 5)	321
13.3	Sektorale Effekte und Wettbewerbsfähigkeit (Leitfrage 6)	323
13.4	Technologische Entwicklung (Leitfrage 7)	328
13.5	Weitere Aspekte	329
13.6	Anknüpfende Forschungsfragen	333
14	Fazit	335

Teil V Anhang

15	Literaturverzeichnis	341
16	Abbildungsnachweis	377
17	Tabellennachweis	379
18	Danksagung	381
19	Appendix	382
19.1	Technischer Anhang von Kapitel 11 (Input-Output-Modell)	382
19.1.1	Nomenklatur	382
19.1.2	Validierung	384
19.2	Technischer Anhang von Kapitel 12 (agentenbasiertes Modell)	388
19.2.1	Variablen und Validierung	388
19.2.2	Nähere Beschreibung der Methoden	396
19.2.3	Weitere Ergebnisse der Szenarien	403

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lebenserwartung bei Geburt in Deutschland (in Jahren).....	27
Abbildung 2:	Deutschland: reales Wachstum des Pro-Kopf-BIP.....	29
Abbildung 3:	EU: reales Wachstum des Pro-Kopf-BIP	30
Abbildung 4:	USA: reales Wachstum des Pro-Kopf-BIP	30
Abbildung 5:	Entwicklung der Sozialversicherungsbeiträge seit 1970	73
Abbildung 6:	Laffer-Kurve und Wohlfahrtsverlust	104
Abbildung 7:	Entwicklung des Aufkommens aus Steuern und Abgaben seit 1960 ...	118
Abbildung 8:	Indikator der preislichen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft gegenüber ausgewählten Industrieländern	174
Abbildung 9:	Schema einer Input-Output-Tabelle: Inländische Produktion zu Herstellungspreisen	179
Abbildung 10:	Flussdiagramm der angewandten Methodik.....	189
Abbildung 11:	Technologieparameter weltweit (2019).....	246
Abbildung 12:	Technologieparameter Auswahl („G20+Europa“) (2019).....	248
Abbildung 13:	Technologieparameter Auswahl II („G20+Europa+BIP“) (2019)	249
Abbildung 14:	Technologieparameter-Verbesserung ausgewählter Länder 1991–2019.....	252
Abbildung 15:	Schematische Darstellung des Modells	261
Abbildung 16:	Möglichkeitsfeld für technologische Entwicklungen	272
Abbildung 17:	Steuersatz der THG-Emissionen im Reformverlauf.....	282
Abbildung 18:	Umsatz Y nach Verteilung (nominales BIP) [Baseline]	283
Abbildung 19:	Umsatz Y nach Verteilung (nominales BIP) [ÖSR].....	284
Abbildung 20:	Umsatz Y nach Verteilung (nominales BIP) [Ökobonus].....	284
Abbildung 21:	Preis p	285
Abbildung 22:	Stückzahl y	285
Abbildung 23:	Stückzahl y [Baseline].....	286
Abbildung 24:	THG-Steuersatz τ	287
Abbildung 25:	Arbeitskostensatz w	287
Abbildung 26:	Kapital K	288
Abbildung 27:	THG-Output-Relation λGHG	288
Abbildung 28:	Arbeitsproduktivität λL	289
Abbildung 29:	THG-Emissionen GHG	290
Abbildung 30:	Arbeitsnachfrage L	290
Abbildung 31:	Durchschnittliche technologische Entwicklung	291
Abbildung 32:	Preis p	295
Abbildung 33:	THG-Emissionen GHG	295
Abbildung 34:	Arbeitsnachfrage L	295

Abbildung 35: THG-Steuersatz τ	300
Abbildung 36: Arbeitskostensatz w	300
Abbildung 37: THG-Output-Relation λGHG	301
Abbildung 38: Arbeitsproduktivität λL	301
Abbildung 39: THG-Emissionen GHG	302
Abbildung 40: Durchschnittliche technologische Entwicklung (inkl. Steigerung)	306
Abbildung 41: Möglichkeitsfeld für technologische Entwicklungen	400
Abbildung 42: Umsatz Y nach Verwendung (nominales BIP) [Baseline]	403
Abbildung 43: Umsatz Y nach Verwendung (nominales BIP) [ÖSR]	404
Abbildung 44: Umsatz Y nach Verwendung (nominales BIP) [Ökobonus]	404
Abbildung 45: THG-Output-Relation λGHG : 10 Durchläufe im Vergleich [Baseline]	404
Abbildung 46: THG-Output-Relation λGHG : 10 Durchläufe im Vergleich [ÖSR]	405
Abbildung 47: THG-Output-Relation λGHG : 10 Durchläufe im Vergleich [Ökobonus]	405
Abbildung 48: Arbeitsproduktivität λL : 10 Durchläufe im Vergleich [Baseline]	405
Abbildung 49: Arbeitsproduktivität λL : 10 Durchläufe im Vergleich [ÖSR]	406
Abbildung 50: Arbeitsproduktivität λL : 10 Durchläufe im Vergleich [Ökobonus]	406
Abbildung 51: Marginale Kosten MC	406
Abbildung 52: Stückzahl y	407
Abbildung 53: THG-Output-Relation λGHG	407
Abbildung 54: Arbeitsproduktivität λL	407
Abbildung 55: Preis p	408
Abbildung 56: Stückzahl y	408
Abbildung 57: THG-Steuersatz τ	408
Abbildung 58: Arbeitskostensatz w	409
Abbildung 59: THG-Output-Relation λGHG	409
Abbildung 60: Arbeitsproduktivität λL	409
Abbildung 61: THG-Emissionen GHG	410
Abbildung 62: Arbeitsnachfrage L	410
Abbildung 63: Preis p	410
Abbildung 64: Stückzahl y	411

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Höhe der Steuer bei Einführung der Ökosteuer (Januar 2003)	117
Tabelle 2:	Die acht Szenarien	185
Tabelle 3:	THG-Emissionen der zwölf Sektoren für Deutschland 2019	196
Tabelle 4:	Referenzwerte für kurz- und langfristige Preiselastizitäten	198
Tabelle 5:	Unmittelbare Be- und Entlastungen des Szenarios 400-100	202
Tabelle 6:	Unmittelbare Nettobelastungen	203
Tabelle 7:	Unmittelbare und gesamte Preisveränderungen	205
Tabelle 8:	Prozentuale Veränderungen der Gesamtproduktion und des BIP	206
Tabelle 9:	Erwerbstätige im Inland 2019 (vor der Reform)	208
Tabelle 10:	Preisniveauentwicklungen	211
Tabelle 11:	Daten der Weltbank	245
Tabelle 12:	Durchschnittliche Veränderung der Technologieparameter pro Jahr	250
Tabelle 13:	Durchschnittliche Veränderung der Technologieparameter pro Jahr	252
Tabelle 14:	Trendfortschreibung der Technologieparameter von Deutschland	254
Tabelle 15:	Wachstum der Technologieparameter in Deutschland	280
Tabelle 16:	Annahmen der Technologieparameter (Szenarien B)	294
Tabelle 17:	Annahmen der Technologieparameter (erweitert)	297
Tabelle 18:	Input-Output-Tabelle für Deutschland 2019	384
Tabelle 19:	THG-Emissionen nach NACE Rev. 2 für Deutschland 2019 (t CO ₂ e)	386
Tabelle 20:	Modellvariablen und -parameter	389

Abkürzungsverzeichnis

AfD	Alternative für Deutschland (politische Partei in Deutschland)
begr.	begrenzt
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
bspw.	beispielsweise
BUND	Bund Umwelt- und Naturschutz Deutschland
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	kanadische Dollar, Währung von Kanada (nach ISO 4217 der Internationalen Organisation für Normung)
CBA	Kosten-Nutzen-Analyse (engl. „Cost-Benefit-Analyse“)
CBAM	CO ₂ -Grenzausgleichssystem der EU (engl. „Carbon Border Adjustment Mechanism“)
CDU	Christlich Demokratische Union Deutschlands (politische Partei in Deutschland)
CEA	Kosten-Effektivitäts-Analyse (engl. „Cost-Effectiveness-Analyse“)
CGE-Modell	Computable-General-Equilibrium-Modell
CHF	Franken, Währung der Schweiz (nach ISO 4217 der Internationalen Organisation für Normung)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalent
CSU	Christlich-Soziale Union (politische Partei in Bayern)
DD	doppelte Dividende
DSGE-Modell	Dynamic-Stochastic-General-Equilibrium-Modell
DSK-Modell	Dystopian-Schumpeter-meeting-Keynes-Modell
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
engl.	englisch
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EU ETS	Emissionshandelssystem (engl. „Emission Trading System“) der EU, Bereiche Energiewirtschaft, energieintensive Industrie und Luft- und Seeverkehr, seit 2005
EU ETS 2	Emissionshandelssystem (engl. „Emission Trading System“) der EU, Bereiche Verkehr und Gebäude, ab 2027
EUR	Euro, Währung der Europäischen Union (nach ISO 4217 der Internationalen Organisation für Normung)

Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Union
F&E	Forschung und Entwicklung
FDP	Freie Demokratische Partei (politische Partei in Deutschland)
FÖS	Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V.
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik, Politikbereich der Europäischen Union
GHD-Sektor	Gewerbe-, Handels und Dienstleistungssektor
GE-Modell	General-Equilibrium-Modell
ggf.	gegebenenfalls
°C	Grad Celsius
Grüne	Bündnis 90/Die Grünen (politische Partei in Deutschland)
Hrsg.	Herausgebende
IAM	Integrated Assessment Model (deutsch „Integriertes Bewertungsmodell“)
inkl.	inklusive
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (engl. „Intergovernmental Panel on Climate Change“)
kg	Kilogramm
KKP	Kaufkraftparität (engl. „Purchasing Power Parity“, PPP)
kWh	Kilowattstunden
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
MWh	Megawattstunden
nEHS	Nationales Emissionshandelssystem (im Bereich der Heiz- und Kraftstoffe)
Nr.	Nummer
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (engl. „Organisation for Economic Co-operation and Development“)
OLS	Methode der kleinsten Quadrate (engl. „Ordinary Least Squares“)
ÖSR	ökologische Steuerreform
PPP	Kaufkraftparität (engl. „Purchasing Power Parity“, siehe KKP)
quadr.	quadratisch
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands (politische Partei in Deutschland)
SCC	Social Cost of Carbon
t	Tonne
TFP	Totale Faktorproduktivität
THG	Treibhausgas
Tsd.	Tausend

UBA	Umweltbundesamt
UN	Vereinte Nationen (engl. „United Nations“)
US oder USA	Vereinigte Staaten von Amerika (engl. „United States of America“)
USD	US-Dollar, Währung der USA (nach ISO 4217 der Internationalen Organisation für Normung)
vgl.	vergleiche
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung

TEIL I

Einführung

1 Einleitung

Regelmäßig werden neue Rekorde in Zusammenhang mit dem Klimawandel aufgestellt. Das Monitoring-Tool *Climate Reanalyzer* des Climate Change Institute der University of Maine dokumentiert bspw. die Erwärmung der durchschnittlichen Meerestemperatur.¹ „366 Tage, jeder ein Rekord“ titelt ZEIT-Online am 14.03.2024 und zielt darauf ab, dass in den vergangenen 366 Tagen vom 14.03.2024 aus betrachtet die durchschnittliche Meerestemperatur an jedem Tag höher war als jemals zuvor an diesem Tag im Jahr.² Bemerkenswert ist nicht nur der Rekord an sich, sondern auch die Einordnung der Ozeanforscher:innen³, wie die von Karina von Schuckmann des Mercator Ocean International in Toulouse, die sich von dieser beschleunigten Erwärmung überrascht zeigt. Laut Berechnungen der World Meteorological Organization hat auch die globale Durchschnittstemperatur einen neuen Rekord erreicht: Diese lag demnach im Jahr 2023 1,45 °C über dem vorindustriellen Niveau (1850–1900).⁴

Die zwischenstaatliche Institution *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, deutsch „Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen“) bündelt in regelmäßigen Abständen in Assessment Reports den Stand der wissenschaftlichen Forschung zum Klimawandel. Im Jahr 2021 erschien der erste Teil des sechsten, mithilfe von Wissenschaftler:innen aus der ganzen Welt zusammengestellten, Sachstandsbericht (IPCC [Hrsg.], 2021), welcher die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels thematisiert. Das Ausmaß der Veränderungen des Klimasystems wird im Assessment Report als „beispiellos“ über viele Jahrhunderte bis Jahrtausende bezeichnet (IPCC [Hrsg.], 2021, S. 8). Unterdessen werden viele der Klimaveränderungen als irreversibel für die nächsten Jahrhunderte bis Jahrtausende eingeschätzt (IPCC [Hrsg.], 2021, S. 21). Die Wissenschaftler:innen schlussfolgern aus diesen Befunden: Um die Erderwärmung zu begrenzen, müssen alle *Treibhausgas-Emissionen* (THG-

1 Siehe *Climate Reanalyzer* des Climate Change Institute der University of Maine: https://climate.reanalyzer.org/clim/sst_daily/ (27.03.2024).

2 Siehe ZEIT-Online: <https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2024-03/klimawandel-ozean-temperatur-erderwaermung> (27.03.2024).

3 Über die Suffixe „:in“ (Singular) bzw. „:innen“ (Plural) sollen Menschen aller Geschlechter, jenseits der binären Kategorien von männlich und weiblich, ausgedrückt und angesprochen werden. In der vorliegenden Arbeit wird aus Gründen der Einheitlichkeit auf diese Endungen zurückgegriffen.

4 Siehe Pressemitteilung der World Meteorological Organization vom 19.03.2024: <https://wmo.int/news/media-centre/climate-change-indicators-reached-record-levels-2023-wmo> (27.03.2024).

Emissionen) stark reduziert und die Netto-CO₂-Emissionen auf null zurückgeführt werden (IPCC [Hrsg.], 2021, S. 27).

Lamboll et al. (2023) aktualisierten die Schätzungen des verbleibenden Kohlenstoffbudgets des sechsten Sachstandsbericht des IPCC in Hinblick auf Daten, Berechnungsverbesserungen und Robustheitsüberprüfungen. Die Autor:innen kommen zu dem Schluss, dass das verbleibende Kohlenstoffbudget kleiner ist als im Sachstandsbericht des IPCC angegeben. So sei es, um das 1,5-Grad-Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% einzuhalten, bereits nach sechs Jahren ausgeschöpft.

Die Klimaerwärmung ist derzeit aber nicht die einzige akute Umweltproblematik. Um den Umweltzustand in Deutschland zu skizzieren und die zentralen Instrumente der Umweltpolitik zu beschreiben, veröffentlicht die deutsche Bundesregierung im Schnitt alle vier Jahre einen Umweltbericht. Im Bericht des Jahres 2019 sind zwar Erfolge dokumentiert, die seit Beginn der Umweltschutzaktivitäten in den 1970er Jahren zu verzeichnen sind, dennoch unterstreicht er die enormen anstehenden nationalen und internationalen Herausforderungen (Deutscher Bundestag [Hrsg.], 2019). Um die Vielschichtigkeit sowie Schwere der Umweltproblemlagen hervorzuheben und zu verdeutlichen, dass neben dem medial sehr präsenten Klimathema zusätzliche Herausforderungen existieren, werden im Folgenden weitere Umweltaspekte des Umweltberichts von 2019 beispielhaft angeführt.

Neben dem Klimawandel ist vor allem die Erhaltung der Biodiversität zu nennen. Der Umweltbericht bewertet es als die zweitwichtigste Herausforderung unserer Zeit, dem Verlust von Arten und Lebensräumen entgegenzuwirken, um die Lebensgrundlage des Menschen nicht weiter zu gefährden (Deutscher Bundestag [Hrsg.], 2019, S. 6). Mit Verweis auf den Weltbiodiversitätsrat (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) wird auf das alarmierende Ausmaß des Artensterbens hingewiesen: Es sei „heute mindestens Dutzende bis Hunderte Male größer als im Durchschnitt der vergangenen zehn Millionen Jahre“ (Deutscher Bundestag [Hrsg.], 2019, S. 41).

Als global größte „umweltbedingte Gesundheitsgefahr“ wird zudem die Luftverschmutzung genannt; in Deutschland sind es vor allem Feinstaub, Ozon, Stickstoffoxide und Ammoniak, welche eine Belastung für die menschliche Gesundheit darstellen (Deutscher Bundestag [Hrsg.], 2019, S. 6).

Drängende Umweltproblematiken sind offenkundig geworden. Die öffentliche Debatte ist jedoch von weiteren Thematiken geprägt. Im Folgenden wird der

Blick auf Beschäftigung und Arbeitslosigkeit gerichtet, welche in fast allen Ländern der Welt bestimmende Themen sind. Hohe Arbeitslosenquoten sind zu vermeiden, weil sie als Ausgangspunkt einer Negativspirale gelten, an deren Ende eine Wirtschaftskrise, verlorene Wettbewerbsfähigkeit und eine hohe Staatsverschuldung stehen können, verbunden mit verschiedenen sozialen Verwerfungen.

Auch in der aktuellen deutschen Politik sind die Themen Arbeit, Erhalt von Arbeitsplätzen und Verhindern einer Zunahme der Erwerbsarbeitslosenquote von zentraler Bedeutung. Die vielfache Nennung verschiedener Begriffe zum Überthema Arbeit im seit 2021 bis dahin bestehenden Koalitionsvertrag der Bundesregierung von der *Sozialdemokratischen Partei Deutschlands* (SPD), *Bündnis 90/Die Grünen* (Grüne) und der *Freien Demokratischen Partei* (FDP) bestätigen dies (SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021). Das Wort oder ggf. Teilwort *ARBEIT* wird 362-mal genannt, *ARBEITSMARKT* 16-mal, *ARBEITSPLÄTZE* neun Mal. Der Begriff Arbeitsplätze erscheint dabei an gänzlich verschiedenen Stellen und markiert die Omnipräsenz des Themas: Durch die Transformation des Automobilsektors sollen Arbeitsplätze erhalten werden (SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021, S. 27). Genauso sollen Zukunftsinvestitionen in sehr verschiedenen Bereichen Arbeitsplätze sichern (SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021, S. 159). Die Schaffung von Arbeitsplätzen soll unter anderem durch eine Kreislaufwirtschaft sowie durch Potenziale des Recyclings gelingen (SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021, S. 34 und S. 42). Gleichmaßen soll die Förderung haushaltsnaher Dienstleistungen Arbeitsplätze schaffen (SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021, S. 70). Selbst bei der Schadstoffnorm im Bereich Mobilität sollen Arbeitsplätze berücksichtigt werden (SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021, S. 51).

Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Arbeitsmarkts in Deutschland zeichnen die Fachberichte der Bundesregierung ein durch mit problematischen Entwicklungen behaftetes Bild. In der Prognose *Digitalisierte Arbeitswelt* (BMAS [Hrsg.], 2021a) des *Bundesministeriums für Arbeit und Soziales der Arbeitsmärkte* (BMAS) werden Simulationen für die Entwicklungen der Arbeitsmärkte generiert; sie basieren auf den Berechnungen der sechsten Projektionswelle (Maier et al., 2020) der QuBe-Basisprojektion (BMAS [Hrsg.], 2021a, S. 14).⁵

⁵ QuBe steht für Qualifikation und Beruf in der Zukunft. Die Projektionen des QuBe-Projekts bilden die Grundlage dieser Simulationen. Sie werden seit 2007 im Rahmen der Zusammenarbeit der Einrichtungen Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB), des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit (IAB) und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS) regelmäßig erstellt (BMAS [Hrsg.], 2021a, S. 14).

Die Struktur des Arbeitsmarktes nach Branchen in Deutschland wird sich bis 2040 zwar regional sehr unterschiedlich, aber deutlich verändern (BMAS [Hrsg.], 2021a, S. 4). Gemäß dieser Langfristprognose entstehen bis 2040 3,6 Mio. Arbeitsplätze in Deutschland, jedoch fallen 5,3 Mio. im gleichen Zeitraum weg. Es ergibt sich folglich ein Negativsaldo von 1,7 Mio. Arbeitsplätzen. Als Hauptursache dieser reduzierten Arbeitsnachfrage wird der demografische Wandel gesehen (BMAS [Hrsg.], 2021a, S. 4). Entschärfend wirkt, dass das Arbeitsangebot ebenfalls abnehmen wird. Dieses Negativsaldo bleibt allerdings bestehen; ein späteres Renteneintrittsalters, um längeren Lebenserwartungen zu begegnen, würde die Differenz zusätzlich erhöhen.

Es wird prognostiziert, dass der Anteil der Erwerbstätigen des produzierenden Gewerbes bis 2040 um 2,8%-Punkte sinkt (BMAS [Hrsg.], 2021a, S. 12). Verschiedene negative Trends sind auszumachen (BMAS [Hrsg.], 2021a, S. 10f): Aufgrund der durch die Pandemie induzierten Verhaltensänderungen ergeben sich der Prognose zufolge Arbeitsplatzverluste von ca. 100.000 Stellen. Eine beschleunigte Digitalisierung führt zu 200.000–300.000 Arbeitsplatzverlusten. Die Ursachen Online-Handel und E-Government tragen gemeinsam zu dieser Entwicklung in ähnlicher Größenordnung bei.

Die Reduktion der Arbeitslosigkeit ist nicht nur ein kontinuierliches Anliegen der deutschen Bundesregierung, sondern auch der Kommission, des Parlaments und des Rates der Europäischen Union (EU). Bis zur COVID-19-Pandemie entwickelten sich die Beschäftigungs- sowie Arbeitslosenquoten der Mitgliedsländer positiv; die Gefahr, in Armut oder soziale Isolation zu geraten, entwickelte sich ebenfalls zum Besseren (European Commission [Hrsg.], 2021, S. 25). Mit der Pandemie drehte sich dieser Aufwärtstrend jedoch um (European Commission [Hrsg.], 2021, S. 19). Zwar konnten, besonders dank des Kurzarbeitergeldes, welches in unterschiedlichen Formen schließlich in allen EU-Ländern Anwendung fand (European Commission [Hrsg.], 2021, S. 43), viele Beschäftigungsverhältnisse erhalten werden, dennoch war in mehrerlei Hinsicht ein Trendwechsel zu verzeichnen. Besonders betroffen von den Entwicklungen der Arbeitsmärkte waren und sind junge Menschen, was zum Beispiel an der gestiegenen Jugendarbeitslosigkeit abzulesen ist (European Commission [Hrsg.], 2021, S. 6).

Bereits vor der Pandemie zeichneten sich Schwierigkeiten an den Arbeitsmärkten ab: So reduzierte sich die Zahl der unbesetzten Stellen, ein Frühindikator für Arbeitsmarktentwicklungen, bereits vor der COVID-19-Krise (European

Commission [Hrsg.], 2021, S. 21). Aus nachvollziehbaren Gründen ist die „Ankurbelung der Nachfrage nach Arbeitsplätzen“ eine Leitlinie der *EU Employment Guidelines*, die der Rat der EU 2020 erarbeitet und beschlossen hat (European Commission [Hrsg.], 2021, S. 32). In der europäischen Beschäftigungsstrategie zählte bereits 1997 „[d]ie Schaffung von mehr und besseren Arbeitsplätzen (...) zu den wichtigsten Zielen der Strategie „Europa 2020““ und auch in den aktuellen Zielen ist die Beschäftigungssicherung ein zentraler Baustein.⁶

Als Fazit ist festzuhalten, dass die Entwicklungen auf den Arbeitsmärkten, insbesondere der Beschäftigungsgrad bzw. die Arbeitslosenquote, mit großer Genauigkeit beobachtet werden und die Gewährleistung einer ausreichend großen Arbeitsnachfrage ein zentrales Thema für die verschiedenen politischen Ebenen darstellt: von der deutschen Bundesregierung über die Mitgliedsstaaten der EU bis zu den EU-Institutionen.

Zur Umsetzung eines Preises auf THG-Emissionen gibt es die Möglichkeit der Besteuerung sowie des Emissionshandels. Bei letzterem entsteht indirekt dadurch ein Preis, dass die maximal zur Verfügung stehende Menge der THG-Emissionen beschränkt wird. Es wird von einer Preissteuerung bei der Steuer und von einer Mengensteuerung beim Emissionshandel gesprochen. Beide verfolgen jedoch mit der Reduktion der THG-Emissionen das gleiche Ziel.

Es gibt weitreichende Bemühungen, die Entstehung von Nachfrage nach Arbeit zu fördern. Dennoch ist festzustellen, dass Arbeit, anteilig am Gesamtsteueraufkommen, hoch besteuert wird. Durch diese Besteuerung ist für den Faktor Arbeit, konkret für das Anstellen von Arbeitskräften, ein hoher Preis zu bezahlen. Der Anteil von Umweltsteuern am Gesamtsteueraufkommen ist dagegen gering. Auch wenn man die Einnahmen aus dem Emissionshandel (nationaler sowie europäischer Emissionshandel) zu den Umweltsteuern hinzunimmt, bleibt diese Quote insgesamt gering. Dieses Ungleichverhältnis ist irritierend, da Preise bzw. Steuern eine Lenkungswirkung haben: Was verteuert wird, wird weniger nachgefragt; umkehrt wird mehr nachgefragt, was günstiger wird. Bei dem Gut *Arbeit* wird mittels Steuern jedoch genau dort eine Verteuerung vorgenommen, wo es das stete Bemühen gibt, genug Nachfrage zu schaffen und aufrechtzuerhalten. Demgegenüber schöpfen die geringen Umweltsteuern nicht das Potenzial aus, über Steuern eine Lenkungswirkung zu erzielen. Dieses Ungleichgewicht trägt dazu bei, dass die *natürliche Umwelt*, hier als Gut verstanden, übernutzt

⁶ Siehe Kurzdarstellung zur Beschäftigungspolitik des Europäischen Parlaments: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/de/sheet/54/employment-policy> (27.03.2024).

wird, was gerade im Kontext des Klimawandels an hohen THG-Emissionen und einer voranschreitenden Erderwärmung sichtbar wird.

Die Steuerbelastung in Deutschland spricht eine eindeutige Sprache: Der Anteil der Einnahmen aus dem Bereich Arbeit lag 2019 bei 63,8%, während der Anteil der Steuern auf Umweltbelastung nur 4,0% ausmachte (Runkel, 2019, S. 6). Damit liegt Deutschland bei Umweltsteuern weit unter dem EU-Durchschnitt (Platz 25 von 28 im Jahr 2017, Runkel, 2019, S. 16). Eine Verschiebung der Steuerlast von *Arbeit* hin zu *Umwelt* ist mit der Hoffnung verbunden, beide Sphären positiv zu beeinflussen: Sie schafft mehr Anreize, Umweltaspekte zu beachten bzw. weniger Treibhausgase zu emittieren, und mit Blick auf Arbeit könnte sie sowohl Arbeitgeber:innen als auch Arbeitnehmer:innen entlasten. Hierdurch würde Arbeit als Kostenfaktor für Unternehmen günstiger werden, womit gesteigerte Anreize einhergehen, Arbeit nachzufragen. Insgesamt sind ein positiver Beschäftigungseffekt und eine persistent gesenkte Erwerbsarbeitslosenquote vorstellbar.

Die Idee der ökologischen Steuerreform (ÖSR) versucht demgemäß, die beschriebene Verschiebung der Steuerlast als Mechanismus zu nutzen, um Umwelt mehr und Arbeit weniger zu besteuern. Damit soll eine Lenkung induziert werden, die für Umwelt und Arbeitsmärkte positiv sein könnte, wobei sich gleichzeitig zumindest keine negativen Auswirkungen auf andere ökonomische Aspekte ergeben sollen. Diese positiven Effekte werden durch den Begriff der *doppelten Dividende* (DD) erfasst. Die erste Dividende zielt auf die positiven Effekte im Bereich Umwelt ab, während die zweite Dividende die positiven Effekte im Bereich Arbeit adressiert. Teilweise wird eine dritte Dividende genannt, die positive technologische bzw. langfristige Effekte bedeuten kann (Görres et al., 1995). Zur Präzisierung werden in Kapitel 6.2 weitere Definitionen der doppelten und dreifachen Dividende gegeben.

2 Definition ökologische Steuerreform

Unter einer ÖSR wird in dieser Dissertation die Umgestaltung der Steuerstruktur verstanden, bei der das Steueraufkommen aus der Einführung oder Erhöhung von Umweltsteuern zur Unterstützung von Arbeit eingesetzt wird, wobei der unscharfe Begriff Arbeit später zu präzisieren ist. Bosquet (2000) verwendet einen weiten Begriff der ÖSR: „Environmental tax reform is the process of shifting the tax burden from employment, income and investment, to pollution, resource depletion and waste.“ (Bosquet, 2000, S. 19). Die vorliegende Arbeit fokussiert sich allerdings auf fiskalische Eingriffe im Kontext der Beschäftigung bzw. des Produktionsfaktors Arbeit und beschäftigt sich nicht mit der Steuerreduktion bei Investitionen und dem Produktionsfaktor Kapital. Fiskalische Maßnahmen können verschiedene Aspekte umfassen, so zum Beispiel die Senkung der Einkommensteuer oder die Entlastung von Sozialversicherungsbeiträgen, die sowohl für Arbeitgebende als auch Arbeitnehmende Kosten darstellen. Die zugrunde liegende Untersuchung fasst unter der ÖSR im engeren Sinne die Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge, da damit Entlastungen für Haushalte und Unternehmen entstehen. Unter der ÖSR im weiteren Sinne wird die Entlastung von allen arbeitsbezogenen Abgaben und Steuern verstanden, das heißt, bspw. auch die Senkung von Einkommensteuern.

Die Definition folgt Mauch et al. (1992), die darüber hinaus empfehlen, dass nur bei *Aufkommensneutralität* von Umweltsteuern und Entlastung der Arbeit, das heißt dem vollständigen Einsatz der zusätzlichen Steuermittel für die Zwecke der Reform, von einer ÖSR gesprochen werden soll (Mauch et al., 1992, S. 28). An dieser Ergänzung hängt nach Görres et al. (1995, S. 38) die Glaubwürdigkeit des Konzepts, weshalb sie auch in der vorliegenden Arbeit angewandt wird.

In der englischsprachigen Literatur werden für die ÖSR vor allem die Begriffe *Environmental Tax Reform* (Barker et al., 2009; Bosquet, 2000; Enevoldsen et al., 2009; Heady et al., 2000; Holmlund & Kolm, 2000; Karydas & Zhang, 2019; Patuelli et al., 2005; Speck & Jilkova, 2009) und *Green Tax Reform* (Bovenberg, 1999; Glomm et al., 2008; Karydas & Zhang, 2019; Maxim & Zander, 2019; van der Ploeg et al., 2022) genutzt, seltener auch *Ecological Tax Reform* (Dresner et al., 2006; Heady et al., 2000).

Die vorliegende Arbeit befasst sich lediglich mit der Besteuerung von Treibhausgasen, Steuern auf andere Umweltbereiche wie bspw. auf Ressourcen oder Abfälle werden nicht behandelt. Das bedeutet nicht, dass diese Steuerarten

in einer ÖSR nicht anwendbar wären, jedoch ist bei THG-Emissionen eine breite, zur Simulation geeignete Datenverfügbarkeit gegeben, die so bei den meisten anderen Umweltproblemen nicht vorliegt. Darüber hinaus treffen andere Umweltsteuern oft nur wenige Wirtschaftsbereiche stark, sodass es sich um Spezialfragen handeln würde; die Kernbrennstoffsteuer (2011–2016) zum Beispiel betraf lediglich die Betreiber von Kernkraftwerken. Demnach begrenzt sich diese Arbeit darauf, das drängende Problem des Klimawandels zu adressieren, welches beispielhaft auch für andere Umweltprobleme steht.

Davon abgesehen steht die Arbeit vor dem Hintergrund von Postwachstumsdebatten, sodass Aspekte aus diesen punktuell aufgegriffen werden. Unter *Postwachstum* wird sowohl eine politische Bewegung als auch eine Forschungsrichtung verstanden.⁷ Das Forschungsfeld Postwachstum befasst sich, neben der Kritik am Wachstum des *Bruttoinlandsprodukts* (BIP) als Zielgröße, insbesondere mit Fragen, wie eine Gesellschaft ohne Wachstum aussehen und funktionieren kann. Für die vorliegende Arbeit sind vor allem die Zusammenhänge von abnehmenden BIP-Wachstumsraten, Reduktion des Umweltverbrauchs und Erhalt hoher Beschäftigung von Relevanz.

⁷ Für einen Überblick über die Hintergründe der politischen Bewegung sowie in die ökonomischen Begründungsmuster von Postwachstum empfiehlt sich das Buch von Schmelzer und Vetter (2019).

3 Ziel der Arbeit und Leitfragen

Ziel dieser Dissertation ist zu prüfen, welche ökonomischen Auswirkungen durch eine oben beschriebene ÖSR im Spannungsfeld von *sektoralen Unterschieden*, *internationalem Wettbewerb* und *technologischer Entwicklung* zu erwarten sind. Die zentrale Frage ist daher, ob es lohnend ist, am Konzept der ÖSR zur Erreichung der Klimaziele Deutschlands festzuhalten. Zur Beantwortung dieser Frage sind verschiedene Teilaspekte zu untersuchen. Zunächst sind zur Orientierung die bisherigen wissenschaftlichen Beiträge zu evaluieren und einzuordnen, mögliche Varianten sowie bisherige Umsetzungen in den Blick zu nehmen und die politische Reputation der ÖSR in Deutschland zu untersuchen, insbesondere aufgrund der in Deutschland bereits umgesetzten Reform. Dies geschieht entlang folgender Leitfragen:

- L.1 Welche für eine ÖSR relevanten Trends und Entwicklungen sind im Hinblick auf die Ausgangssituation festzustellen?
- L.2 Welche Varianten sind mit Blick auf mögliche Konzeptionen zu unterscheiden? Worauf kommt es besonders an?
- L.3 Wie wird die ÖSR nach aktuellem Forschungsstand von wissenschaftlicher Seite aus bewertet?
- L.4 Wie wurden die bisher umgesetzten Reformen ausgestaltet? Hier ist insbesondere die ÖSR in den Blick zu nehmen, welche in Deutschland von 1999–2003 umgesetzt wurde und in den Definitionsbereich der ÖSR der vorliegenden Arbeit fällt.
- L.5 Wie stellt sich die politische Debatte in Deutschland dar, gerade vor dem Hintergrund der bereits umgesetzten Reform?

Schwerpunktmäßig werden daraufhin drei Themen vertieft, die mit eigenen Modellierungen gestützt werden. Hierbei stehen sektorale Entwicklungen sowie die Frage der Wettbewerbsfähigkeit im Fokus. Diese beiden Aspekte werden zusammen betrachtet, weil Vor- oder Nachteile im Bereich der Wettbewerbsfähigkeit auf disaggregierter Ebene stärkere Ausprägungen haben können und diese deshalb auch sektoral zu prüfen sind. Außerdem stellt sich für die lange Frist die Frage der technologischen Entwicklung, welche mithilfe einer weiteren Leitfrage adressiert wird. Daher stellen sich schwerpunktmäßig folgende ergänzende Leitfragen:

- L.6 Welche Effekte sind zu erwarten, wenn die Branchen unterschiedlich stark von den Be- und Entlastungen betroffen sind? Welche sektoralen Auswirkungen sind im Außenhandel aufgrund der Preisverschiebungen zu erwarten, wenn davon auszugehen ist, dass die ÖSR zunächst nur in Deutschland umgesetzt wird? Können mithilfe dieser Reform Wettbewerbsnachteile vermieden werden, die durch die Erhöhung der Umweltsteuern allgemein befürchtet werden?
- L.7 Welchen Einfluss kann die ÖSR auf die technologische Entwicklung nehmen? Kann die technologische Entwicklung auf Basis von Kostenverschiebungen und neuen Anreizen gelenkt werden?

Darüber hinaus sind Fragen teilweise mit Überlegungen aus Postwachstumsdebatten verbunden. Konkret stellt sich die Frage, ob eine weitreichende ÖSR womöglich zu einer Entkopplung des Beschäftigungsniveaus vom BIP einer Volkswirtschaft beitragen könnte. In diesem Falle wäre ein Szenario denkbar, in dem das Beschäftigungsniveau konstant bleibt, obwohl das BIP sinkt. In Form einer untergeordneten Forschungsfrage wird daher geprüft, inwieweit die ÖSR die beschriebene Verknüpfung der Beschäftigung mit dem BIP aufheben oder zumindest reduzieren kann.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass Fragen der Verteilung von Haushaltseinkommen und damit auch etwaige soziale Verteilungswirkungen in diesem Bereich trotz gegebener Relevanz nicht Gegenstand der vorliegenden Dissertation sind und aufgrund ihres Umfangs separater Beachtung bedürfen.

4 Vorgehen und Aufbau

4.1 Überblick

Die Ausrichtung des Werkes erfolgt inhaltlich über das Thema der ÖSR. Das Ziel ist, verschiedene Perspektiven auf die oben formulierten Leitfragen zu erhalten. Eine übergeordnete Methodenwahl ist für die ausgeführten Fragestellungen insofern nicht adäquat. Im Folgenden werden Konzeption und Ausrichtung von Teil II und III vorgestellt und das methodische Vorgehen skizziert. Teil IV dient zur Diskussion und zum Abschluss der Publikation und wird nicht weiter eingeführt.

4.2 Vorgehen und Aufbau von Teil II „Umsetzungen und Debatten“

Der zweite Teil bietet einen Überblick über die relevanten Themen der Dissertation. Hierfür wird das Thema der ÖSR zunächst in größere aktuelle ökonomische Trends und Entwicklungen eingeordnet. Mit dieser Beschreibung der Ausgangslage wird sowohl das ökonomische Umfeld verständlich, in das eine solche Reform implementiert würde, als auch die Relevanz der Fragestellungen bekräftigt.

Daran schließt die Nachzeichnung der wissenschaftlichen Debatte an. Hierfür sind Begriffe und Definitionen genauso wie die Möglichkeiten der Konzeption der Reformidee zu klären. Der Forschungsstand wird mit einem deutschen Schwerpunkt aufgearbeitet und lässt sich grob in zwei Phasen aufteilen: Zu Beginn der Debatte um die ÖSR sind zahlreiche qualitative Forschungsarbeiten erschienen, insbesondere Monografien. In einer späteren Phase, ab etwa dem Jahr 2000, kamen zunehmend quantitative Forschungsarbeiten hinzu, die die Effekte konkreter Reformkonzeptionen simulierten. Diese zweite Phase wird mit Fokus auf den deutschsprachigen Raum dargestellt, wo es eine enge Verknüpfung zur ab 1999 umgesetzten Reform gibt, welche Energiesteuern einführte bzw. erhöhte und im Gegenzug Sozialversicherungsbeiträge finanzierte.⁸ Daher ist es notwendig, den

⁸ Siehe Gesetze zur ökologischen Steuerreform: i) Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform vom 24.03.1999 aus dem Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999 Teil I Nr. 14, ausgegeben zu Bonn am 29.03.1999, ii) Gesetz zur Fortführung der ökologischen Steuerreform vom 16.12.1999 aus dem Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999 Teil I Nr. 56, ausgegeben zu Bonn am 22.12.1999, iii) Gesetz zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform vom 23.12.2002 aus dem Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 87, ausgegeben zu Bonn am 30.12.2002. Diese Gesetzesblätter sind online abrufbar: <https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/> (19.12.2023). Diese Aspekte der ÖSR werden im heutigen Gesetz im Energie- und Stromsteuergesetz abgehandelt, Onlinezugang:

Stand der Umsetzung ähnlicher Reformen insbesondere in Deutschland in den Blick zu nehmen. Entwicklungen in anderen Ländern sind ebenfalls interessant, finden im Umfang dieser Abhandlung aber nur bedingt Raum.

Sowohl die Umsetzung in Deutschland als auch die begleitende Forschung erlauben differenzierte Schlussfolgerungen. In diesem Zuge stellt sich die Frage, warum der Reform in ihrer Grundidee, der steuerlichen Belastung von Umwelt und Entlastung von Arbeit, ab 2003 politisch kaum noch Bedeutung zukommt; gerade vor dem überwiegend positiven Bild in der Fachliteratur (vgl. Bach et al., 2002; Kohlhaas, 2005; Schlegelmilch, 2014). Zur Klärung dieser Frage ist die Nachzeichnung der politischen Debatte um die ÖSR in Deutschland notwendig. Dies geschieht anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse der Wahlprogramme der Jahre 1980–2021 der zu dieser Zeit im Bundestag vertretenen Parteien.

Abschließend werden in einem Fazit der Umsetzungen und wissenschaftlichen sowie politischen Debatten die großen Konfliktlinien herausgearbeitet. Zu unterscheiden sind insbesondere soziale und ökonomische Auswirkungen. Die sozialen Effekte sind für die Debatte sowie für mögliche nachfolgende Umsetzungsentwürfe von Bedeutung. Hierbei geht es allem voran um Verteilungseffekte und eine mögliche Benachteiligung von niedrigen Einkommen. Von größerer Relevanz für die zugrundeliegende Fragestellung sind allerdings die ökonomischen Auswirkungen. Hier werden mit Blick auf technologische Entwicklungen unmittelbare und längerfristige Effekte thematisiert. Darüber ist zu fragen, welche Branchen womöglich von der ÖSR benachteiligt oder begünstigt würden.

Als Kernpunkte für die weitere Behandlung im Rahmen dieser Arbeit werden zwei Aspekte mitgenommen, die in den nachfolgenden zwei Kapiteln näher betrachtet werden. Zum einen sind die Effekte der nationalen Reform auf eine Volkswirtschaft, die im internationalen Kontext steht, von Interesse. Befürchtungen negativer Folgen genauso wie Hoffnungen auf positive oder wettbewerbsneutrale Entwicklungen werden überprüft (Kapitel 11). Zum anderen wird die technologische Entwicklung in den Blick genommen, welche womöglich mit der ÖSR einen anderen Verlauf nimmt als ohne (Kapitel 12).

4.3 Vorgehen und Aufbau von Teil III „Modellierungen“

4.3.1 Input-Output-Modell

Neben den sozialen Auswirkungen einer ÖSR ist ein zentraler Teil der Debatte die Befürchtungen negativer Effekte einer nationalen Reform im Rahmen des internationalen Handels. Wenn durch Reformen die Produktionskosten im Inland steigen, während sie im Ausland unverändert bleiben, entsteht ein Preisvorteil der ausländischen Produktionsstätten. Diese Problematik ist unter dem Stichwort *Steuerwettbewerb* bekannt (engl. „Tax Competition“, Genschel & Schwarz, 2011; Keen & Konrad, 2013). Einem sogenannten *Race to the Bottom* internationaler Steuersätze soll bspw. bei der Unternehmensbesteuerung entgegengewirkt werden (Clausing et al., 2021). Zusätzliche Steuern könnten den Außenhandel beeinträchtigen, die Handelsbilanz verschlechtern und Unternehmen Anreize geben, ihre Tätigkeiten ins Ausland zu verlagern. Bei Steuern bzw. staatlichen Interventionen im Bereich der Klimapolitik wird in der Fachliteratur von einer Verlagerung von Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO₂-Emissionen) oder von *Carbon Leakage* (engl. für Kohlenstoffleckage) ins Ausland gesprochen (Übersichtsartikel: Yu et al., 2021). Dieser Sachverhalt wurde insbesondere im Rahmen des Kyoto-Protokolls ab 1997 vielseitig untersucht (Paltsev, 2001; Aichele & Felbermayr, 2015). Die EU-Kommission zeigt sich dieses Problems bewusst und will es mit „besonderen Behandlungen“ adressieren: „Under the EU emissions trading system (EU ETS), industrial installations considered to be at significant risk of carbon leakage receive special treatment to support their competitiveness.“⁹ Da die THG-Intensität der Sektoren unterschiedlich ist, könnte es sein, dass die Sektoren sehr verschieden betroffen sind. Diese Hypothese wird mithilfe eines *Input-Output-Modells* untersucht. Dazu werden in der vorliegenden Untersuchung Daten der nach Sektoren aufgegliederten THG-Emissionen mit Daten aus Input-Output-Tabellen zusammengeführt.

Die Verschiebungen durch primäre Inputs wie auch durch die im Preis veränderten Vorleistungen werden in den Blick genommen, während Reformen simuliert werden. Auf die veränderten Preise reagiert auch das Außenhandelsvolumen, das ebenfalls Gegenstand der Untersuchung ist. Es werden

⁹ Erklärungen der Europäischen Kommission zur Carbon Leakage List: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage_de (27.03.2024).

weitreichende THG-Steuererhöhungen angenommen, damit die Ergebnisse als Obergrenze bzw. als *Worst-Case-Szenario* gelesen werden können. Daher kann die Simulation zum einen helfen, die Rolle des internationalen Handels besser zu verstehen und die Größenordnung des Arguments des beeinträchtigten Außenhandels einzuschätzen. Zum anderen können auf Basis der Simulationsergebnisse besonders betroffene Sektoren identifiziert werden. Diese Erkenntnisse können als Grundlage für weitere Überlegungen der idealen Ausgestaltung der Steuerreform dienen.

4.3.2 Agentenbasiertes Modell

Im Kontext der Input-Output-Modellierung wird von festen Input-Output-Verhältnissen ausgegangen. Diese statische Sichtweise liefert Einblicke in die Effekte der Umstellungsphase und kann als ungünstigstes Ereignis betrachtet werden. Feste Input-Output-Verhältnisse sind jedoch für die lange Frist eine unrealistische Annahme, welche mithilfe der *agentenbasierten Modellierung* aufgehoben wird.

Hinter unterschiedlichen Input-Output-Verhältnissen etwa verschiedener Sektoren stehen unterschiedliche Technologien: Je nachdem, welche Produktionstechniken, aber auch Verhaltensweisen und Organisationsformen in einem Sektor einer Volkswirtschaft vorliegen, sind die Inputs in unterschiedlichen Zusammensetzungen erforderlich, um den Output zu produzieren.

Durch die Veränderung von Steuerhöhen und Kosten für das Gut Arbeit durch eine ÖSR entstehen neue Kostenanreize für Unternehmen. Es ist zu erwarten, dass diese Kostenanreize Auswirkungen auf die technologische Entwicklung haben. Die zentrale Frage ist daher: Inwiefern beeinflusst die Einführung der ÖSR die Anreize für technologische Entwicklungen und welche Auswirkungen hat dies in der langen Frist auf die Relationen der Input-Output-Verhältnisse, das heißt insbesondere auf die Relationen von eingesetzter Arbeit sowie BIP einerseits und THG-Emissionen sowie BIP andererseits?

Verschiedene Teilaspekte sind hier von Relevanz. Wie groß die Forschungsanreize ohnehin sind, ohne Einführung einer zusätzlichen Reform, und zu welchem Ergebnis diese führen könnten, rückt dabei in den zentralen Fokus der Betrachtung. Dabei muss grundlegend geklärt werden, welche Wichtigkeit die Vermeidung von THG-Emissionen in Anbetracht anderer Kosten für Unternehmen hat. Die zentralen Annahmen über die technologische Entwicklung sind hier aus verschiedenen Blickwinkeln zu reflektieren und es ist zu prüfen,

welche technologischen Veränderungsgeschwindigkeiten erforderlich sind, um die Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen. Ein anderer relevanter Aspekt im Rahmen der Veränderung von Steueranreizen ist die Einführungs geschwindigkeit bzw. die Struktur der Steuererhöhung der Reform. Hier muss geprüft werden, ob eine schnelle oder eine langsame und stetige Einführung der vollen Steuerhöhe vorteilhafter ist.

Methodisch eignet sich die agentenbasierte Modellierung besonders gut für die vorliegende Problematik, technologische Entwicklungen im Zusammenspiel von Mikro- und Makroebene abzubilden. Mithilfe der agentenbasierten Modellierung lassen sich Unsicherheiten sowie die Wechselwirkungen zwischen inkrementellen Innovationen, dem Zusammenwirken von Unternehmen und Haushalten wie auch langfristige Technologiepfade realistisch modellieren (siehe Kapitel 12.4.2).

TEIL II

Umsetzungen und Debatten

5 Ausgangslage: Trends und Entwicklungen der 2020er Jahre

5.1 Zum Kontext

In mehrerlei Hinsicht zeichnet sich ab, dass die 2020er Jahre Zeiten großer Veränderung werden könnten. Verschiedene Trends und Entwicklungen stehen dabei im Zusammenhang mit den Themen dieser Forschungsarbeit. Im Hinblick auf die Bedeutung von Umwelt und Arbeit im Kontext der Besteuerung wurde auf diese schon teilweise eingegangen. Trotz dessen gehen verschiedene Entwicklungen über diese beiden Themenbereiche hinaus, weshalb in nachfolgend die wichtigsten im Zusammenhang mit der Dissertation stehenden Trends zusammengefasst werden. Dabei handelt es sich nicht um Prognosen, sondern um die Darstellung womöglich entscheidender Tendenzen der aktuellen Gesellschaft, um sie in den nachfolgenden Kapiteln aufzugreifen und einzubeziehen.

Das Zukunftsinstitut aus Frankfurt am Main definiert *Megatrends* unter anderem dadurch, dass sie eine lange Dauer aufweisen, sich in alle Gesellschaftsbereiche auswirken (*Ubiquität*), global beobachtbar und vielschichtig sind.¹⁰ Bei den nachfolgenden Zusammenfassungen soll es in diesem Sinne auch um langfristige Trends gehen, die mindestens mehrere Gesellschaftsbereiche betreffen.

Nachfolgend wird zunächst das Umweltthema, insbesondere um die Aspekte Umweltbewusstsein und planetare Grenzen erweitert. Daran anschließend wird auf den momentan stattfindenden und sich weiter abzeichnenden Wandel der Arbeitswelt eingegangen. Insbesondere technologische Entwicklungen als gleichwohl der Themenkomplex Digitalisierung werden zur Sprache kommen. Daraufhin wird der demografische Wandel in den Blick genommen. Schließlich wird auf die sogenannte *Säkulare Stagnation* eingegangen, welche mit dem Thema Postwachstum in Beziehung gesetzt wird.

5.2 Umweltbewusstsein und ökologische Grenzen

In der Einleitung wurden verschiedene Umweltproblematiken an beschrieben, die teilweise im Begriff sind, sich weiter zu verschärfen, unter anderem die Klimaerwärmung und die Herausforderungen in der Erhaltung der Biodiversität.

¹⁰ Siehe Definition Megatrends des Zukunftsinstituts: <https://www.zukunftsinstitut.de/zukunfts-themen/megatrends> (27.03.2024).

Neben diesen Beobachtungen ist auch eine Zunahme der Bedeutung dieser Themen im Bewusstsein der Menschen als Trend festzustellen.

Die Studie *Naturbewusstsein 2019* (Schleer et al., 2020), welche vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gemeinsam mit dem Bundesamt für Naturschutz herausgegeben wird, belegt die hohe Bedeutung der Natur und deren Erhaltung in der Bevölkerung und darüber hinaus auch einen zunehmenden Trend. Dieser wird zum Beispiel bei der Frage sichtbar, ob es sie ärgert, dass viele Menschen sorglos mit der Natur umgehen (Schleer et al., 2020, S. 8): In der Befragung von 2019 gaben 63% an, dass es sie stark empört, zwei Jahre zuvor (2017) lag dieser Wert noch bei 47%, was eine deutliche Steigerung in kurzer Zeit darstellt. Ähnlich ist auch die Vorliebe für „wilde Natur“ von 2015 bis 2019 stark gestiegen. Die Zustimmung stieg in den genannten vier Jahren von 54% auf 75%. Bemerkenswert ist die rückläufige Zustimmung zur Position, dass „die Natur der wirtschaftlichen Entwicklung nicht im Weg stehen darf“ (Schleer et al., 2020, S. 8). Eine bedingungslose Priorisierung der Wirtschaft gegenüber der Natur wird demzufolge zunehmend weniger unterstützt. Insgesamt zeigt sich, dass die Zuspitzung der ökologischen Probleme auch mit einem zunehmendem Ökologiebewusstsein korrespondieren.

Allerdings sind die gesellschaftlichen Zukunftserwartungen der jüngeren Generationen insgesamt nicht positiv. Die Studie *25 Next – Bildung für die Zukunft* der Deutschen Kinder- und Jugendstiftung und des Sinus-Instituts befragte Jugendliche und junge Erwachsene in Deutschland bezüglich Zukunftsfragen (Calmbach et al., 2019) und kommt zu dem Ergebnis, dass zwar die persönliche Zukunft eher optimistisch bewertet wurde, die Zukunft der Gesellschaft als Ganze dagegen sehr pessimistisch. 65% der Befragten und damit ca. zwei Drittel gaben „düster“ oder „eher düster“ an, was die Einschätzung über die Zukunft der Gesellschaft in Deutschland angeht (Calmbach et al., 2019, S. 2). Der Glaube der Jugendlichen und jungen Erwachsenen daran, dass es ihnen zukünftig besser als ihren Eltern gehen wird, liegt bei 37% und damit nur bei einem guten Drittel. Es ist eine Sorge über die gesamtgesellschaftliche Zukunft zu konstatieren, die insbesondere in den jüngeren Generationen tief verankert ist.

Beim Blick auf Umweltfragen hat sich in den letzten Jahrzehnten die Perspektive verbreitet, dass es ökologische Grenzen gibt, deren Überschreiten mit weitreichenden Folgen für das Leben auf der Erde verbunden sind.

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) hat 1994 das Konzept der ökologischen Grenzen eingeführt;

zunächst bei der Belastung von Böden (WBGU [Hrsg.], 1994, S. 59ff), 2005 und 2006 mit dem Begriff *Leitplanken* weiterentwickelt (WBGU [Hrsg.], 2005, 2006), bis es 2011 im Konzept der *planetaren Leitplanken* aufging. Das Einhalten der planetaren Leitplanken ist als Grundvoraussetzung zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit zu sehen. Das bedeutet noch nicht, dass allein durch diese Einhaltung auch soziale bzw. ökonomische Faktoren im wünschenswerten Bereich liegen. Die planetaren Leitplanken einzuhalten, ist aber eine notwendige Bedingung für die mögliche Erreichung der Ziele auch in sozialen und ökonomischen Bereichen.

Die grundsätzliche Idee von derartigen ökologischen Grenzsetzungen findet sich an vielen Stellen wieder. Sie kommt zum Beispiel beim Übereinkommen von Paris zum Tragen, welches auf der Klimakonferenz der *Vereinten Nationen* (engl. „United Nations“, UN) in Paris im Jahr 2015 beschlossen wurde und das Ziel beinhaltete, den globalen Temperaturanstieg auf möglichst 1,5 °C gegenüber vorindustriellen Werten zu beschränken.

Prominent wird der Limitationsgedanke auch von Rockström et al. (2009) und Steffen et al. (2015) mit dem Konzept der *planetaren Grenzen* (engl. „Planetary Boundaries“) fortgesetzt. Rockström et al. (2009) schlagen planetare Grenzen als Rahmenwerk vor, um die wichtigsten ökologischen Herausforderungen unserer Zeit zu erfassen. Das Leben innerhalb dieser Grenzen wird als sicher (engl. „Safe Operating Space“, Rockström et al., 2009, S. 472) bezeichnet, wohingegen beim Überschreiten dieser Grenzen mit unvorhersehbaren Folgen zu rechnen sei. Dabei wird betont, dass es eher die Ausnahme als die Regel sei, dass die Erdsysteme graduell reagieren, stattdessen reagieren sie eher empfindlich um die Schwellenwerte bzw. Grenzwerte (Rockström et al., 2009, S. 472). Das Überschreiten der Schwellenwerte in den neun ausgewiesenen Kategorien könnte „nicht-akzeptierbare Umweltveränderungen“ nach sich ziehen. Diesem Papier zufolge wurden in drei Kategorien die Grenzen bereits deutlich überschritten (Rockström et al., 2009, S. 472).

Das Papier *Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet* (Steffen et al., 2015) stellt eine Aktualisierung und Weiterentwicklung des eben genannten Rahmenwerks der planetaren Grenzen dar. In diesem werden vier Erdsystemprozesse genannt, bei denen der Grenzwert überschritten wurde: Klimawandel, Integrität der Biosphäre, biogeochemische Ströme und Veränderung der Landsysteme (Steffen et al., 2015, S. 736). Bei zwei Prozessen, Integrität der Biosphäre und biogeochemische Ströme, sind die

Grenzwerte alarmierend überschritten, sodass die Autor:innen hohe Risiken für eine Destabilisierung des Erdsystems sehen.

Um das Rahmenwerk der planetaren Grenzen ist eine kontroverse Debatte unter anderem über die Legitimität und Notwendigkeit ebensolcher Grenzwerte entstanden, die bis zum heutigen Tag anhält (Biermann & Kim, 2020; Kim & Kotze, 2021; Montoya et al., 2018; Rockström et al., 2018). Dennoch erscheinen Limitationen, auch wenn es keine absoluten sind, für den Austausch mit anderen wissenschaftlichen Disziplinen hilfreich zu sein. O'Neill et al. (2018) vergleichen den Ressourcenverbrauch, der mit der Deckung von Grundbedürfnissen (engl. „Basic Human Needs“) einhergeht, mit den entsprechenden planetaren Grenzen von ca. 150 Ländern. Das Ergebnis ist, dass die physischen Bedürfnisse aller Menschen wahrscheinlich erfüllt werden können, ohne die Grenzen zu überschreiten. Die Erfüllung darüberhinausgehender qualitativer Ziele, wie zum Beispiel hohe Lebenszufriedenheit, würde dagegen einen Ressourcenverbrauch bedeuten, der beim zwei- bis sechsfachen dessen läge, was innerhalb der Grenzen zu verorten wäre.

Es zeigt sich zweierlei: Zum einen wird klar, dass die Klimaerwärmung nicht die einzige ökologische Herausforderung im 21. Jahrhundert ist, zum anderen zeigen Konzepte wie die planetaren Grenzen, dass zunehmend Perspektiven im Diskurs sind, die ökologische Limitationen berücksichtigen. Lösungsansätze, die nicht auf der Grundidee der Expansion, etwa durch Wirtschaftswachstum, beruhen, erscheinen deshalb besonders interessant.

5.3 Digitalisierung und Arbeit

Wie bereits in der Einleitung angesprochen, stehen die Arbeitsmärkte stark unter Druck (BMAS [Hrsg.], 2021a) und Arbeitsmarktthemen sind politisch von hoher Bedeutung (European Commission [Hrsg.], 2021; SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021). Insbesondere die quantitative Frage, inwieweit die Arbeitsnachfrage in den nächsten Jahrzehnten gesichert ist, wurde problematisiert. Nun geht es darum, die Arbeitsmärkte auch qualitativ in den Blick zu nehmen, weil gerade auch die zusammenhängenden Themen Arbeit und Digitalisierung große qualitative Veränderungsdynamiken aufweisen.

Die Trends Automatisierung und Digitalisierung haben großen Einfluss auf Arbeitsmärkte sowie die Arbeitssituation der Menschen insgesamt. Die Langfristprognose *Digitalisierte Arbeitswelt* des BMAS bestätigt dies und erwartet

deutliche Veränderungen der sektoralen Arbeitsmarktstruktur bis 2040 (BMAS [Hrsg.], 2021a, S. 4).

Hinter den Sorgen von technologischem Wandel steht unter anderem die Überlegung, dass durch neue Technologien weniger Arbeit erforderlich sein könnte. Rifkin (2014) vertritt diese Position sehr klar, sieht darin jedoch nicht zwingend eine negative Entwicklung. Er skizziert den Wandel hin zu einer *Null-Grenzkosten-Gesellschaft*, wobei die zentrale Aussage ist, dass sich die Grenzkosten für Energie insbesondere durch die technologische Weiterentwicklung und den Ausbau der erneuerbaren Energien auf null reduzieren werden, was bedeutet, dass eine weitere genutzte Energieeinheit keine zusätzlichen Kosten verursachen würde. Damit würde die Knappheitsmaxime, über die sich die heutige Ökonomik zum Teil definiert, in Frage gestellt. Aufgrund dessen würden die Grenzkosten von jeglichen Gütern sinken und Arbeit würde potenziell überflüssig werden, sich in jedem Fall aber strukturell stark verändern.

Die Studie *The future of work after COVID-19* des McKinsey Global Institute (Lund et al., 2021) analysiert den Wandel der Arbeit besonders im Hinblick auf technologische Entwicklungen. Tatsächlich beschreiben die Autor:innen den Trend, dass es nach der Pandemie zu einer beschleunigten Automatisierung und zu zunehmenden Einsatz von *Künstlicher Intelligenz* (KI) kommen könnte. Der Anteil der Beschäftigten im Niedriglohnbereich könnte zurückgehen, wohingegen beim Anteil der Beschäftigten mit hohem Lohn (>70%-Perzentil) eine Zunahme erwartet wird (Lund et al., 2021, S. vi und 16). Insofern würde die schnelle und effektive Umschichtung von Arbeitskräften zu einem neuen großen Thema werden (Lund et al., 2021, S. vi).

Auch Buchholz und Wangler (2017) konstatieren, dass der digitale Wandel heute nahezu alle Branchen und gesellschaftlichen Bereiche erfasst (Buchholz & Wangler, 2017, S. 177). Für Unternehmen ist damit verbunden, dass die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle immer größere Bedeutung bekommt, um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten (Buchholz & Wangler, 2017, S. 177). Schuh et al. (2020, S. 11f) teilen diese Einschätzungen und erwarten, dass Unternehmen aufgrund der erhöhten Dynamik des Markts schneller auf die sich verändernden Wünsche ihrer Kunden reagieren müssen. Anpassungsfähigkeit und Agilität würden zunehmend wichtig für den wirtschaftlichen Erfolg. Gerade weil Deutschland in Lohnfragen nicht mit Niedriglohnländern konkurrenzfähig ist, muss nach Berthold et al. (2018, S. 9) versucht werden die Wettbewerbsfähigkeit über neue Technologien zu erhalten. Darüber hinaus weisen Schuh et al. (2020,

S. 7) darauf hin, dass *Industrie 4.0* mehr als nur die technologische Entwicklung beschreiben sollte und Unternehmen auch unter Druck stehen, die organisatorischen und kulturellen Bereiche umzugestalten.

Apt und Wischmann (2017) identifizieren zwei technologische Trends als Treiber eines Wandels in der Arbeitswelt. Zum einen die originär technologischen Entwicklungen selbst, zum anderen die zunehmend leichtere Anwendbarkeit der Technologien. Daraus ergebe sich „ein nie dagewesenes Potenzial, Arbeit völlig neu zu gestalten“ (Apt & Wischmann, 2017, S. 109).

Die Veränderungen können aber nicht als rein technologischer Wandel beschrieben werden (Klingbeil-Döring, 2020). Was Arbeit in Zukunft formt, ist eher als ein Zusammenspiel von verschiedenen Einflussfaktoren zu sehen, als dass die Veränderungen von einem einzelnen kausalen Faktor ausgehen würden. Laut Klingbeil-Döring (2020) ist eine Beschleunigung der Entwicklung in der Arbeitswelt zu konstatieren. Gleichzeitig sind die Veränderungen sehr umfassend: Alle Bereiche eines Unternehmens unterliegen dem Wandel, was im Gegensatz zur dritten industriellen Revolution steht (Klingbeil-Döring, 2020).

Es zeigt sich, dass gerade durch technologische Entwicklungen, wenn auch nicht ausschließlich, eine Vielzahl von Veränderungsprozessen angestoßen werden und ein hohes Maß an Dynamik im Bereich Arbeit zu verzeichnen ist. Die Frage, wie Politik bestmöglich auf diese Veränderungen reagieren kann, wird aller Voraussicht nach aktuell bleiben.

5.4 Demografischer Wandel

Insgesamt ist zu erwarten, dass die Systeme zur finanziellen Absicherung im Alter aufgrund der im Folgenden dargestellten demografischen Entwicklungen zunehmend unter Druck geraten werden. Die zuvor beschriebenen Entwicklungen im Bereich Arbeit sind eng mit dem Thema des demografischen Wandels verknüpft, sodass es sich lohnt, die ÖSR ebenso in Zusammenhang mit diesen Dynamiken zu bringen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Lebenserwartung bei Geburt in Deutschland (in Jahren). Bei der ersten Angabe von 1871/1881 (im Deutschen Reich) betrug diese noch 38,5 Jahre für Frauen und 35,6 Jahre für Männer (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2021b, S. 14). Seither ist sie bis zum heutigen Tage kontinuierlich gestiegen und betrug bei der letzten Berechnung von 2018/2020

78,6 Jahre für Männer und 83,4 Jahre für Frauen, was jeweils mehr als eine Verdoppelung ist. Wie in Abbildung 1 zu sehen, hat sich die Zunahme der Lebenserwartung zumindest verlangsamt.

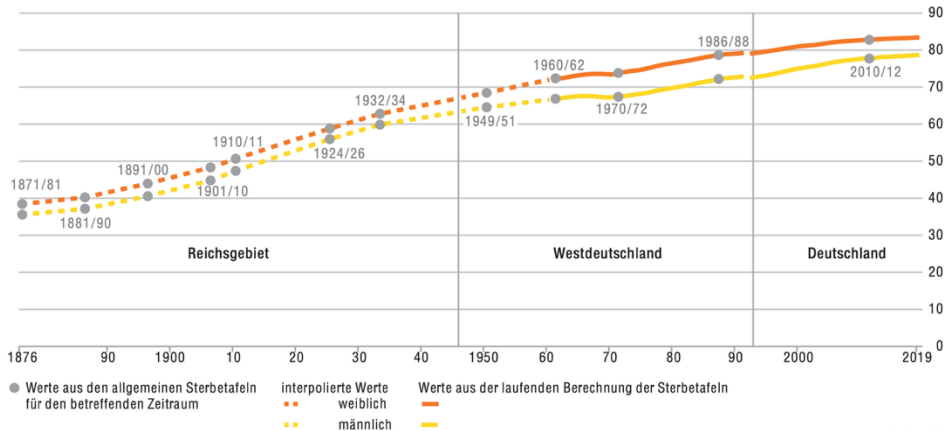


Abbildung 1: Lebenserwartung bei Geburt in Deutschland (in Jahren)

Darüber hinaus ist die Lebenserwartung bei Erreichen des 65. Lebensjahres stark gestiegen (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2021b, S. 16). Auch hier ist eine Stagnation der Zunahme zu sehen, diese fällt hingegen deutlich geringer aus als bei der Lebenserwartung bei Geburt.

Mit den zunehmenden Lebenserwartungen erhöht sich auch der Altenquotient. Der Altenquotient gibt die Anzahl der Menschen im Rentenalter (zum Beispiel 66 Jahre und älter) auf 100 Menschen im erwerbsfähigen Alter (zum Beispiel von 20 bis 65 Jahre) an (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2021a, S. 31). Ein Altenquotient von 100 würde daher bedeuten, dass auf jede Person im erwerbsfähigen Alter (ob sie arbeitet oder nicht) eine Person im Rentenalter käme (ob sie Rentenleistungen bezieht oder nicht).¹¹ Dieser Quotient ist deshalb besonders interessant, weil er einen Eindruck vermittelt, wie viele Menschen, die altersbedingt voraussichtlich keiner Erwerbsarbeit nachgehen, auf 100 Menschen im arbeitsfähigen Alter kommen. 1991 lag der Altenquotient in Deutschland bei 24; bis zum Jahr 2020 ist er auf 37 angestiegen (erwerbsfähiges Alter ab einschließlich 20, Rentenalter ab

¹¹ Bei der Vergleichbarkeit der Angaben des Altenquotienten verschiedener Studien ist Vorsicht geboten, da sich die Definitionen in Bezug auf die Altersgrenzen unterscheiden. Aus diesem Grund sind bei jeder der folgenden Studien die Abgrenzungen „erwerbsfähiges Alter“ und „Rentenalter“ jeweils angegeben.

einschließlich 66).¹² In einer mittelfristigen Studie aus dem Jahr 2021 wird von 2020 bis 2035 eine Zunahme des Altenquotienten von 31,5 bis über 41,3 ermittelt, wobei der Zu- und Fortzug nach bzw. aus Deutschland summa summarum nur eine geringe Rolle spielt (erwerbsfähiges Alter ab einschließlich 20, Rentenalter ab einschließlich 67, Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2021a, S. 11).¹³

Die Unsicherheit für langfristige Prognosen ist hoch, was ein Grund dafür ist, dass es für die Jahre 2050–60 nur wenige Voraussagen gibt. In der Studie des Credit Suisse Research Institute (2020) werden jedoch langfristige Vorhersagen für verschiedene Länder der *Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung* (OECD) getroffen. Demzufolge soll der Altenquotient in Deutschland von 37 auf 60 im Jahr 2060 steigen, der OECD-Durchschnitt liegt mit 58 Personen in der gleichen Größenordnung (erwerbsfähiges Alter ab einschließlich 15, Rentenalter ab einschließlich 65, Credit Suisse Research Institute [Hrsg.], 2020). In Japan und Südkorea könnte sich die Überalterung der Gesellschaft noch stärker zuspitzen, die Altenquotienten werden mit 83 (Japan) und 90 (Südkorea) benannt.

Die beschriebenen demografischen Entwicklungen werden voraussichtlich zu zunehmenden Schwierigkeiten bei der Finanzierung der Alterssicherungssysteme führen. Die Belastung der Erwerbstätigen durch Beiträge für Renten oder andere Zahlungen zur Altersabsicherung wird sich deshalb ggf. erhöhen müssen und es gilt frühzeitig zu überlegen, wie mit dieser Situation umgegangen werden kann. Die ÖSR könnte mithilfe der gezielten Finanzierung der Sozialversicherungsbeiträge womöglich zur Entschärfung dieser Situation beitragen.

5.5 Säkulare Stagnation und Postwachstum

Bei der Betrachtung der realen Wachstumsraten des BIP pro Kopf verschiedener OECD-Länder kristallisiert sich in der langen Frist ein Trend heraus. Wie die folgenden Abbildungen für Deutschland, die EU¹⁴ und die USA aus der Datenbank der Weltbank vom 18.12.2023 zeigen, sind diese Wachstumsraten im Mittel von 1961 bzw. 1971 bis 2021 stark rückläufig.¹⁵

¹² Statistisches Bundesamt zum Altenquotienten: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/Aspekte/demografie-altenquotient.html> (27.03.2024).

¹³ Die Prognose für den Altenquotienten unterscheidet sich je nach Szenario: 41,3 bei der Variante „hoher Wanderungssaldo“ und 43,2 bei der Variante „moderater Wanderungssaldo“.

¹⁴ Unter der EU wird die Europäische Union mit den aktuellen 27 Mitgliedsstaaten (ohne Vereinigtes Königreich) verstanden.

¹⁵ Quelle: World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files (2024).

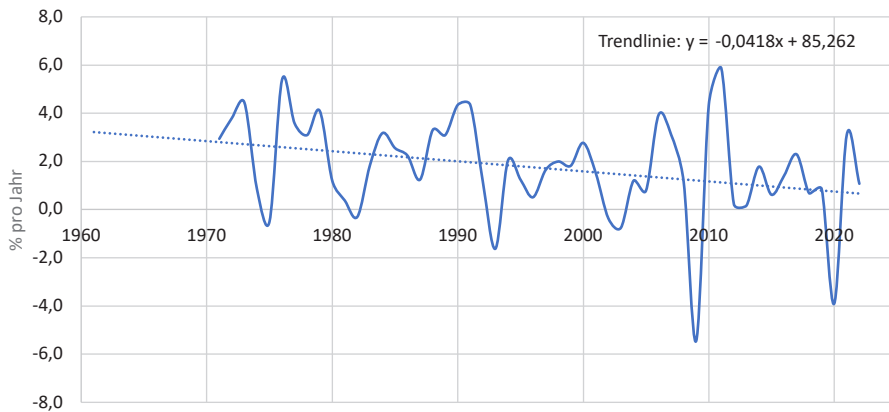


Abbildung 2: Deutschland: reales Wachstum des Pro-Kopf-BIP

Die jeweils eingezeichnete Trendlinie basiert auf einer einfachen, linearen Regression (OLS-Methode). Entsprechend dieser Berechnung geht die Wachstumsrate in den USA jährlich real um 0,0295%-Punkte zurück. Das entspricht bei 50 Jahren (zum Beispiel 1971–2021) einer Reduktion um 1,5%-Punkte. In Deutschland und der EU ist die Abnahme noch stärker: Gemäß der Regressionswerte liegt der Rückgang der BIP-Wachstumsrate in 50 Jahren bei 2,1%-Punkte (Deutschland) und 1,6%-Punkte (EU). Reales Null-Wachstum wäre in Deutschland, wenn davon ausgegangen wird, dass sich dieser Trend linear fortschreibt, im Jahr 2040 erreicht; 17 Jahre später dann auch in den USA und der EU insgesamt (jeweils im Jahr 2057).

Lizenz: CC BY-4.0. Abruf der Daten am 06.01.2024. Beschreibung des Datensatzes: „Annual percentage growth rate of GDP per capita based on constant local currency. GDP per capita is gross domestic product divided by midyear population. GDP at purchaser's prices is the sum of gross value added by all resident producers in the economy plus any product taxes and minus any subsidies not included in the value of the products. It is calculated without making deductions for depreciation of fabricated assets or for depletion and degradation of natural resources.“, siehe Weltbank: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG> (27.03.2024).

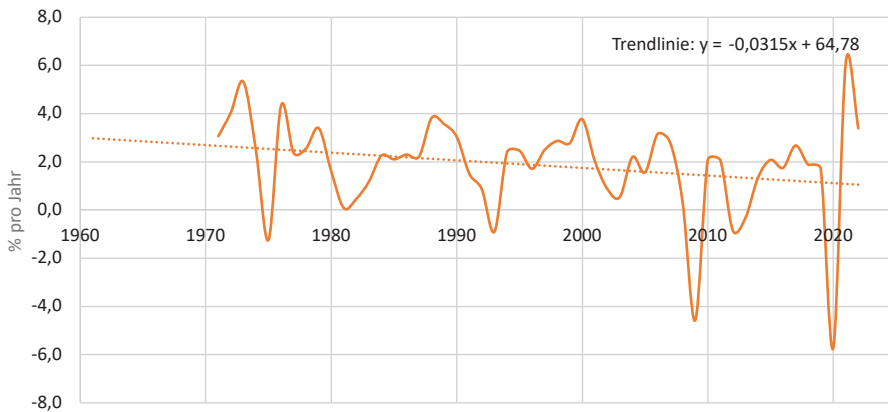


Abbildung 3: EU: reales Wachstum des Pro-Kopf-BIP

Diese Entwicklung wird mit dem Begriff der Säkularen Stagnation umschrieben. Säkulare Stagnation meint, im Gegensatz einer kurz- oder mittelfristigen Entwicklung, den langfristigen Rückgang des Wirtschaftswachstums gemessen am BIP.¹⁶ Laut der Wochenzeitung The Economist (London) wurde dieser Begriff ursprünglich in den 1930er Jahren in den USA verwendet, als nach der Weltwirtschaftskrise Ende der 1920er Jahre die Sorge von grundsätzlich geringerem Wachstum diskutiert wurde.¹⁷

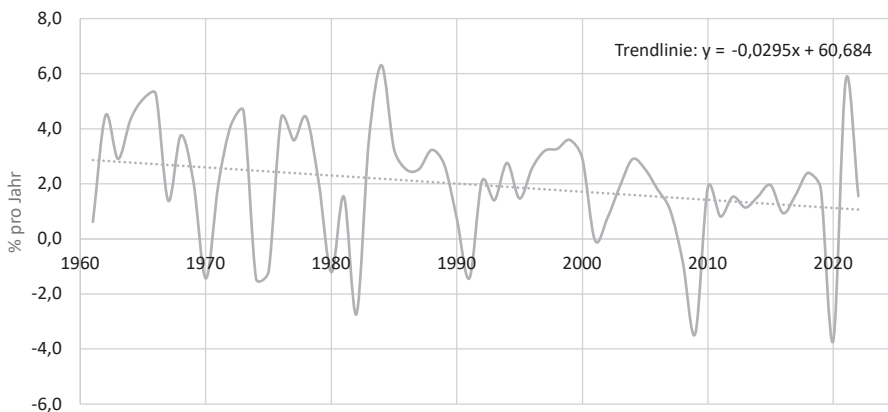


Abbildung 4: USA: reales Wachstum des Pro-Kopf-BIP

¹⁶ Vgl. Wikipedia zum Begriff der Säkularen Stagnation: https://en.wikipedia.org/wiki/Secular_stagnation (27.03.2024).

¹⁷ Artikel des Economist (London) vom 16.08.2014: <https://www.economist.com/free-exchange/2014/08/16/fad-or-fact> (27.03.2024).

Wirtschaftswachstum ist heute ein klar formuliertes Ziel der Politik. In Deutschland ist es bspw. in Artikel 109 Absatz 2 Grundgesetz (GG) mit dem gesamtgesellschaftlichen Gleichgewicht verankert.¹⁸ Dieses wurde dann 1967 mit dem Gesetz zur Förderung der Stabilität und des Wachstums der Wirtschaft (StabG) konkretisiert. So haben Bund und Länder laut §1 Absatz 1 StabG vom 08.07.1967 ihre wirtschafts- und finanzpolitischen Maßnahmen so zu treffen, dass

sie im Rahmen der marktwirtschaftlichen Ordnung gleichzeitig zur Stabilität des Preisniveaus, zu einem hohen Beschäftigungsstand und außenwirtschaftlichem Gleichgewicht bei stetigem und angemessenem Wirtschaftswachstum beitragen.¹⁹

Dem zum Trotz gibt es weitreichende Kritik am Ziel des Wirtschaftswachstums. Ein wesentlicher Kritikpunkt ist, dass Wachstum gemessen am BIP bislang mit der Zerstörung der natürlichen Lebensgrundlagen einhergeht. Damit in einer begrenzten Welt unbegrenztes Wirtschaftswachstum denkbar sein kann, ist eine *Entkopplung* von Wirtschaftswachstum und Naturverbrauch erforderlich. Parrique et al. (2019) widmen sich in einem Übersichtsartikel dieser Frage und prüfen, inwieweit sich die Hoffnung nach der Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Naturverbrauch bislang als begründet erwiesen hat. Zunächst halten sie fest, dass entscheidend ist, was unter Entkopplung verstanden wird und begründen, dass „eine absolute, permanente, globale, weitreichende und ausreichend schnelle Entkopplung des Wirtschaftswachstums von allen kritischen Umweltbelastungen“ (Parrique et al., 2019, S. 4) notwendig wäre. In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass bspw. die *absolute Entkopplung* von CO₂-Emissionen und realem Wachstum in Deutschland zwar seit mehreren Jahrzehnten stattfindet, diese aber im Rahmen dieser Argumentation dennoch unzureichend ist, da sie regional begrenzt sowie nicht weitreichend als auch ausreichend schnell ist. Ihr Resümee ist demgemäß, dass keine empirische Evidenz für eine solche Entkopplung vorliegt – weder in der Vergangenheit noch aktuell (Parrique et al., 2019, S. 4). Neben den Schwierigkeiten, Wachstum langfristig zu generieren, gibt es insofern gerade auch aus ökologischer Sicht grundlegende Kritik am Wirtschaftswachstum. Die Beschäftigung mit der Frage, wie eine Ökonomie auch ohne Wachstum gut und stabil funktionieren kann, erscheint daher lohnend.

¹⁸ Onlinezugang zu Artikel 109 Absatz 2 GG: https://www.gesetze-im-internet.de/gg/art_109.html (27.03.2024).

¹⁹ Onlinezugang zu §1 Absatz 1 Satz 1 und 2 StabG: https://www.gesetze-im-internet.de/stabg/_1.html (27.03.2024).

Der Blick in die Geschichte der Menschheit zeigt, dass Wachstum ein junges Phänomen ist. Erst mit dem Einsetzen der Industrialisierung im 18. Jahrhundert hat sich die Bevölkerungszahl und die Intensivität der Landnutzung durch den Menschen stark verändert (Ellis et al., 2010). Seit dem Auftreten von relevantem Wachstum im 18. Jahrhundert gibt es wachstumskritische Stimmen, wenn auch die öffentliche Aufmerksamkeit des Themas starken Schwankungen unterliegt (Rodenhäuser et al., 2022, S. 5ff). Im 18. und 19. Jahrhundert gingen führende Ökonomen, so Rodenhäuser et al. (2022, S. 3f), nicht von fortwährendem Wachstum aus (etwa Adam Smith, John Stuart Mill, David Ricardo oder Karl Marx). Verschiedene Ökonomen zeichnen sogar ein positives Bild einer Gesellschaft ohne Wachstum, was sich unter anderem mit John M. Keynes (1972 [1930]) und Ludwig Erhard (1957) im 20. Jahrhundert fortsetzt und bis heute anhält (einflussreich bspw. die *Befreiung vom Überfluss*, Paech, 2012).

Die heutigen wachstumskritischen Bewegungen wie Postwachstum bzw. *Degrowth* (englisch) oder *Décroissance* (französisch) oder das südamerikanische Konzept des *Buen Vivir* schließen daran an und gehen über die ökologische Problematisierung von Wachstum hinaus. Auch Fragen der sozialen Gerechtigkeit werden adressiert, gleichwohl globale Perspektiven eingenommen (Schmelzer & Vetter, 2019, S. 159). Schmelzer und Vetter (2019) untergliedern den Postwachstumsdiskurs in Strömungen und identifizieren fünf Ausrichtungen: auf Institutionen (bzw. deren Veränderung), auf Suffizienz, auf Commons, auf Feminismus und auf Kapitalismus- und Globalisierungskritik.

Vor dem Hintergrund der Schwierigkeiten von Wachstumsgesellschaften stellt sich die Frage, wie eine Gesellschaft ohne Wachstum aussehen könnte. Wie die Stabilität einer Ökonomie ohne Wachstum gewährleistet werden kann, ist dabei aus ökonomischer Sicht eine der Herausforderungen. Ein viel diskutiertes Problem ist die Stabilisierung der Beschäftigungsquote, vor allem aufgrund der Befürchtung eines Wegfalls von Arbeitsplätzen durch voranschreitende Innovationen, was bereits Keynes als „technologische Arbeitslosigkeit“ titulierte (Keynes, 1972 [1930]).

In der Ökonomik beschrieb Arthur M. Okun (1963) einen Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum (gemessen am BIP) und Beschäftigungsquote, welcher später als das *Okun'sche Gesetz* bekannt wurde (Okun, 1963). Demgemäß ist eine bestimmte Höhe des Wirtschaftswachstums vonnöten, um die Arbeitslosenquote konstant zu halten. Andersherum bedeutet es, dass zu niedriges Wachstum die Erhöhung der Arbeitslosenzahlen zur Folge hat.

Laut Petschow et al. (2018, S. 105) argumentieren auf diese Weise auch Jackson (2009) und Reuter (2010) sowie Antal und van den Bergh (2014); in der Mainstream-Literatur sehen Petschow et al. (2018, S. 105) den Zusammenhang allerdings zusätzlich in der anderen Richtung: auch eine hohe Beschäftigung kann Ursache für hohes Wachstum sein. Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Beschäftigung als Kausalität kontrovers diskutiert wird, als statistisches Korrelat scheint er dagegen unumstritten zu sein (Ball et al., 2013; Knotek II, 2007).

Hinzuweisen sei noch darauf, dass die Zusammenhänge von Beschäftigung und Arbeitslosigkeit vielschichtig sind, was in vielen der oben aufgeführten Beiträge nicht umfassend berücksichtigt wird. In Deutschland stieg in den vergangenen Jahren (bspw. von 1991–2019) das Arbeitsvolumen, das heißt die geleisteten Arbeitsstunden der Erwerbstätigen insgesamt, während die geleisteten Arbeitsstunden pro Erwerbstätigen im gleichen Zeitraum zurückging.²⁰ Dieses Paradoxon lässt sich dadurch erklären, dass sich die Anzahl der Erwerbstätigen erhöht hat.²¹ Insbesondere bei Frauen gab es größere Verschiebungen: Laut dem Statistischen Bundesamt lag die Erwerbstätigenquote von Frauen im Jahr 1991 noch bei 57,0% und stieg bis zum Jahr 2023 auf 73,6% an; aber auch die Erwerbstätigenquote von Männern stieg in diesem Zeitraum von 78,4% auf 80,8% leicht an, womit die Erwerbstätigenquote insgesamt deutlich zunahm.²² Ein näherer Blick auf das Arbeitsvolumen, die durchschnittliche Arbeitszeit pro Erwerbstätigen, die Arbeitsverteilung, die Produktivität je Erwerbstätigenstunde, das Beschäftigungsniveau und die Arbeitslosenquote wären daher lohnend. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich dennoch auf die übergeordneten Zusammenhänge von Arbeitskosten und Beschäftigungsniveau, die trotz der angesprochenen Unschärfen und kleinteiligeren Entwicklungen tendenziell zutreffend sind.

Richters und Siemoneit (2019) strukturieren in einer Literaturübersicht die Debatte zu *Wachstumswängen* und kategorisieren diese nach dem Grad des Zwanges (vom freien Willen bis zur Nötigung) sowie nach der Ebene der Ent-

²⁰ Siehe Bundeszentrale für politische Bildung: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61711/arbeitszeit-und-arbeitsvolumen/> (14.12.2024).

²¹ Siehe Statistisches Bundesamt: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/Tabellen/inlaender-inlandskonzept.html> (14.12.2024).

²² Siehe Statistisches Bundesamt: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/Tabellen/erwerbstaetigenquoten-gebietsstand-geschlecht-altergruppe-mikrozensus.html> (14.12.2024).

scheidungstragenden (Staaten, Unternehmen oder Haushalte). Entlang dieser Bewertungsstruktur werden insgesamt 28 Mechanismen identifiziert und in das Schema eingeordnet, darunter werden unter anderem die potenziellen Wachstumszwänge Systemstabilität für Staaten, das Prinzip *wachse oder stirb* für Unternehmen oder Einkommensverluste für Haushalte eingeordnet. Ihr Fazit ist, dass nur wenige Mechanismen der angewandten, engen Definition von Wachstumszwang standhalten. Im Zusammenspiel der Wachstumszwänge und -treiber entstehe aber ein „politischer Wachstumszwang“, sodass Alternativen zur Wachstumsförderung unrealistisch erscheinen (Richters & Siemoneit, 2019, S. 134). Als entscheidenden Teil dieses Zusammenspiels nennen Richters und Siemoneit (2019, S. 133) die oben erläuterte technologische Arbeitslosigkeit.

Sowohl aus einer wachstumskritischen Perspektive als auch vor dem Hintergrund der Säkularen Stagnation und damit der grundsätzlich abnehmenden Tendenz der Wachstumsraten in Deutschland stellt sich also die Frage, wie eine Gesellschaft mit weniger oder keinem Wirtschaftswachstum auskommen könnte. Das denkbare Problem hoher Arbeitslosenzahlen verleiht der Suche nach neuen Konzepten zusätzlichen Nachdruck. Diese sich aus dem Postwachstumsdiskurs ergebenden Fragen werden daher in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt und es gilt zu prüfen, inwieweit die ÖSR auch vor diesem Hintergrund von Nutzen sein könnte.

6 Begriffe, Definitionen und Konzeptionen

6.1 Einordnung

Dieses Kapitel betrachtet die zentralen Begriffe, Definitionen und Konzeptionen rund um die ÖSR. Zentrale Gesichtspunkte verschiedener Möglichkeiten ähnlicher Reformen werden in den Blick genommen und systematisiert.

Im Themenfeld Umwelt, Steuern und Reformen unterliegen derzeit viele Begriffe einem Wandel. Manche Terminologie ist neu dazugekommen, andere obsolet geworden, wiederum anderen ist eine Bedeutungsverschiebung widerfahren. Begriffsklärungen sind deshalb erforderlich.

Die Begriffe *Steuern* und *Abgaben* werden juristisch nicht ausdrücklich unterschieden, nach der Abgabenordnung (AO) gemäß §3 Absatz 1 bilden Steuern allerdings eine Unterkategorie von Abgaben:

Steuern sind Geldleistungen, die nicht eine Gegenleistung für eine besondere Leistung darstellen und von einem öffentlich-rechtlichen Gemeinwesen zur Erzielung von Einnahmen allen auferlegt werden (...); die Erzielung von Einnahmen kann Nebenzweck sein.²³

Abgaben werden in der Abgabenordnung nicht explizit definiert; der Titel des Gesetzes weist jedoch darauf hin, dass der Begriff Abgaben als Überbegriff zu verstehen ist. Wenn die Begriffe Steuern und Abgaben in der ökonomischen Literatur unterschieden werden, dann in der Regel, um zweckgebundene und nicht zweckgebundene Mittel zu unterscheiden. Abgaben wären demnach zweckgebunden, Steuern nicht. Selbst diese vermeintlich klare Abgrenzung hat praktische Probleme. Die Grundidee der oben beschriebenen Steuerreform entspräche insofern einer Abgabe und es müsste sich folgerichtig um eine *Abgabenreform* handeln. Da es bei der ÖSR um die Anpassung von existierenden Steuern geht, schafft die Tatsache, dass nicht das gesamte Aufkommen der Steuer zweckgebunden ist, neue Unklarheiten. Aus diesen Gründen wird von einer begrifflichen Differenzierung von Steuern oder Abgaben im Rahmen dieser Arbeit abgesehen.

Der Zusatz „die Erzielung von Einnahmen kann Nebenzweck sein“ in §3 Absatz 1 der der Abgabenordnung verdeutlicht, dass Steuern sowohl zur Erzielung von Einnahmen erhoben werden als auch einen alternativen Zweck haben

²³ Onlinezugang zu §3 Absatz 1 der Abgabenordnung (AO), siehe: https://www.gesetze-im-internet.de/ao_1977/_3.html (27.03.2024).

können. Dieser kann insbesondere die Verhaltensbeeinflussung sein, wie es bei Umweltsteuern beabsichtigt ist. Dann wird von Lenkungssteuern gesprochen.

Durch die in Deutschland von 1999–2003 umgesetzte Reform hat die ÖSR auch einen historischen Bezugspunkt in Deutschland. Die betreffenden Umweltsteuern dieser Reform wurden informell als *Ökosteuern* bezeichnet; die offiziellen Bezeichnungen sind *Stromsteuer* (aus dem Stromsteuergesetz²⁴) und *Mineralölsteuer* bzw. später *Energiesteuer* (aus dem Mineralölsteuer- bzw. seit 2006 Energiesteuergesetz²⁵). Auf diese Reform wird insbesondere im darauffolgenden Kapitel Bezug genommen.

Zerzawy und Fiedler (2019, S. 6f) widmen sich den zentralen Fragen zur Einführung einer CO₂-Bepreisung. Anhand folgender Gesichtspunkte differenzieren sie die verschiedenen Konzeptionen: Art der CO₂-Bepreisung, Umfang des Aufkommens, Bemessungsgrundlage, Einstiegspreis, Aufkommen und Anstiegspfad sowie Aufkommensverwendung. Diese Aspekte sind im Folgenden in den Kategorien Aufkommensneutralität, Einnahmen, Bemessungsgrundlage, Aufkommensverwendung und begleitende Maßnahmen aufgegriffen und werden darüber hinaus abschließend um die Frage nach der angemessenen Höhe der THG-Bepreisung ergänzt. Zunächst werden die zentralen Begriffe *doppelte Dividende* und *dreifache Dividende* aus der Debatte der ÖSR detaillierter beleuchtet.

6.2 Definitionen der doppelten und dreifachen Dividende

Mit der doppelten und dreifachen Dividende werden die positiven Wirkungen der ÖSR erfasst. Im wissenschaftlichen Diskurs werden mit ihnen die möglichen Effekte kategorisiert, im politischen Diskurs dienen diese Begriffe darüber hinaus zur Bewerbung einer solchen Reform. Entsprechend geht die Hypothese der doppelten oder dreifachen Dividende davon aus, dass die jeweils damit genannten positiven Effekte im Zuge der Reform eintreffen.

Hauptsächlich ist von einer DD die Rede. Teilweise wird diese jedoch auch um eine dritte Dividende ergänzt, die gerade für die Fragen der technologischen Entwicklungen im Rahmen dieser Arbeit von Bedeutung sind. Um bei der Darstellung der relevanten Forschungsergebnisse im späteren Verlauf auf

²⁴ Onlinezugang zum Stromsteuergesetz: <https://www.gesetze-im-internet.de/stromstg/> (27.03.2024).

²⁵ Onlinezugang zum Energiesteuergesetz: <https://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/> (27.03.2024).

das bestehende Definitionsspektrum zurückgreifen zu können, lohnt sich zunächst ein differenzierter Blick.

Als Ausgangspunkt und zur groben Orientierung kann die allgemeine Definition von Bovenberg (1999, S. 421) dienen: Als erste Dividende einer Vorher-Nachher-Bewertung der Reform wird die Verbesserung der Umweltqualität verstanden, als zweite Dividende die Steigerung der nicht-umweltbezogenen Wohlfahrt.²⁶ Auch Bosquet (2000) findet eine allgemeine Formulierung der DD und versteht darunter:

an environmental improvement coupled with an economic benefit: revenues of environmental taxes could be used to cut distorting taxes on capital and labor and thus reduce the excess burden of the tax system, with positive consequences for employment and investment. (Bosquet, 2000, S. 20)

Eine frühe, explizite Definition der DD wurde 1967 von Tullock formuliert:

The first benefit (or dividend) is the benefit or welfare gain resulting from a better environment and less pollution (caused by a Pigouvian tax imposed on the producer), and the second dividend or benefit is a more efficient tax system due to a reduction in the distortions of the revenue-raising tax system, which also produces an improvement in welfare. (Tullock, 1967, S. 643)

Während die erste Dividende allgemein beschrieben ist, fällt bei der zweiten Dividende die Argumentationslinie der neoklassischen Wohlfahrtstheorie auf: mithilfe des neuen Aufkommens können verzerrende Steuern reduziert werden, was zu einer Wohlfahrtssteigerung führen kann.

Anhand dieser Varianten zeigt sich, dass es bei der ersten Dividende mit der Adressierung von Umweltaspekten wenig Dissens gibt. Angewandt und mit Blick auf die vorliegende Arbeit kann sie als Reduktion der THG-Emissionen verstanden werden. Im Folgenden liegt der Fokus deshalb auf der zweiten und dritten Dividende, die nicht einheitlich definiert sind (Patuelli et al., 2005, S. 564).

Die meisten Definitionen der zweiten Dividende sind vor dem Hintergrund der neoklassischen Wohlfahrtstheorie zu lesen. Goulder (1995, S. 158) bspw. sieht in der zweiten Dividende bzw. in der starken Form der zweiten Dividende, wie er sie kategorisiert, die Reduktion von verzerrenden Kosten des Steuersystems. In diese Richtung einzuordnen, sind auch Parry und Bento („reduce the economic costs of the tax system“, Parry & Bento, 1999, S. 1), Fullerton

²⁶ Bei Bovenberg (1999, S. 421) als „starke Form der doppelten Dividende“ definiert.

und Metcalf („improvement in economic efficiency from the use of environmental tax revenues to reduce other taxes“, 1998, S. 221), Oueslati („reduction in distortions arising from labor or capital taxation“, 2015, S. 2) oder Glomm et al. („higher consumption of market goods (an efficiency dividend)“, 2008, S. 19). Die Reduktion von *Verzerrungen* und ein effizienteres Steuersystem können dabei positive Beschäftigungseffekte zur Folge haben, auch wenn diese hier nicht Bestandteil der Definition sind.

Die Reduktion der Verzerrungen begründet sich dadurch, dass die maximal zu erreichende Gesamtwohlfahrt laut den Prinzipien der Wohlfahrtstheorie mit jeder Steuer sinkt. Dieser Argumentation folgend ist die optimale Besteuerung eine *Pauschalsteuer pro Kopf* (auch Kopfsteuer, engl. „Lump-Sum Tax“), da sie von allen gleichermaßen bezahlt werden muss und damit keine Verzerrungen verursacht (Bovenberg, 1999, S. 422). Verteilungsfragen sind dabei jedoch unberücksichtigt, es geht lediglich darum, möglichst wenig in die Preismechanismen des Marktes einzugreifen. Grundsätzlich verursachen Kapitalsteuern laut Bovenberg (1999, S. 431) tendenziell höhere marginale Effizienzverluste als Steuern auf Arbeit.

Verzerrungen können durch die Reduktion von bestehenden Steuern wie bspw. der Einkommen- oder Kapitalsteuer verringert werden. Werden aber zeitgleich andere Steuern bspw. auf Treibhausgase hinzugenommen, können neue Verzerrungen entstehen, sodass der Gesamteffekt nicht eindeutig sein muss. Das Ergebnis eines neoklassischen allgemeinen Gleichgewichtsmodells von Bovenberg (1999, S. 423) ist bspw., dass die Hypothese der DD, bei der ein positiver Beschäftigungseffekt entsteht, nicht bestätigt werden kann.

Es gibt aber auch allgemeinere Definitionen der zweiten Dividende, wie zum Beispiel bei Patuelli et al., die einen „signifikanten Einfluss auf ökonomische Variablen (zweite Dividende)“ (Patuelli et al., 2005, S. 564) erwarten, wenn Beschäftigung als Maßstab herangezogen wird, Heady et al. (2000, S. 37), die in ihrer Definition der zweiten Dividende sowohl Wohlfahrtssteigerungen im Sinne einer optimierten Besteuerung als auch positive Beschäftigungseffekte zulassen, oder Bovenberg und van der Ploeg (1994), die ebenfalls die Verbesserung der Beschäftigung explizit als Teil der zweiten Dividende sehen. Die Mehrzahl der in der Übersicht von Patuelli et al. einbezogenen Studien definieren die zweite Dividende als Verbesserung der Beschäftigung (Patuelli et al., 2005, S. 566). Görres et al. (1995) weisen ebenfalls ein breiteres Verständnis der zweiten Dividende auf, werden jedoch präziser. Sie nennen als weitere Dividende mehrere Aspekte,

darunter unter anderem makroökonomische Vorteile durch ein einfacheres Steuersystem und positive Beschäftigungseffekte (Görres et al., 1995, S. 13 und 16). Daran wird deutlich, dass sich abseits der wohlfahrtstheoretischen Erfassung der zweiten Dividende ein offenes Feld ökonomischer Vorteile auftut, sodass für den Rahmen dieser Arbeit eine eigene Präzisierung sinnvoll erscheint.

Die Grundidee der dritten Dividende wurde bereits durch Hicks im Jahr 1932 artikuliert, der darunter einen induzierten technologischen Wandel verstand (engl. „Induced Technological Change“). Bei Görres et al. (1995) wird die dritte Dividende zwar nicht als solche bezeichnet, jedoch werden die möglicherweise entstehenden technologischen Vorteile einer ÖSR klar benannt. So sei die Besteuerung der Umwelt eine „wichtige Orientierungshilfe für Investoren und Konsumenten“ sowie ein „Anstoß für langfristig wirksame Innovations- und Investitionsprozesse“ (Görres et al., 1995, S. 27). Ihnen zufolge könnten dabei Wettbewerbsvorteile entstehen. Dieser Effekt wird auch in der Porter-Hypothese beschrieben, die durch Umweltmaßnahmen induzierte technologische Entwicklungen beschreibt. Enevoldsen et al. (2009) fassen die Hypothese von Porter (1990) wie folgt zusammen:

(...) high national environmental standards will encourage domestic industries to innovate and hence improve competitiveness, in particular when the regulatory standards anticipate requirements that will spread internationally. (Enevoldsen et al., 2009, S. 100)

Insofern kann je nach Definition die Porter-Hypothese der dritten Dividende entsprechen, steht aber in jedem Fall in engem Zusammenhang mit ihr.

Auch Karydas und Zhang (2019, S. 158) beschreiben eine dritte Dividende als die Induktion von Innovationen. Diese seien unter den richtigen Umständen in der Lage, eine Wachstumsdividende zu ermöglichen (Karydas & Zhang, 2019, S. 176).²⁷ Die Arbeit von Karydas und Zhang entstand im Rahmen eines Schweizer Forschungsprojekts von 2015–2020 zur Frage: „Sind höhere Umweltabgaben vereinbar mit einer höheren Wirtschaftsentwicklung und größerem Wachstum?“²⁸ und adressierte explizit die langfristigen Effekte einer ÖSR für die Schweiz.

²⁷ Der Mechanismus wird wie folgt beschrieben: Durch eine Verteuerung von Energie werden Investitionen in F&E-Sektor angeregt, die wiederum über Spezialisierung und Effizienzgewinne Wachstum erzeugen können (Karydas & Zhang, 2019, S. 176).

²⁸ Siehe Modul 2 des Nationalen Forschungsprogramms Steuerung des Energieverbrauchs (Verantwortlicher: Prof. Lucas Bretschger, Center of Economic Research, ETH Zürich): <http://www.nfp71.ch/de/projekte/modul-2-oekonomie-unternehmungen/oekologische-steuerreform> (27.03.2024).

Auch unabhängig von ökologischen Gesichtspunkten gibt es wissenschaftliche Beiträge zum *gelenkten technologischen Fortschritt* (in der englischen Fachliteratur unter den Begriffen *Directed Technological Change* und *Directed Technical Change*). Insbesondere auf die Arbeiten von Acemoglu ist zu verweisen, der diese Phänomene sowohl mit als auch ohne Umweltbezug betrachtet hat (Acemoglu, 1998a, 2002a, 2003; Acemoglu et al., 2012). Das Thema der induzierten bzw. gelenkten technologischen Entwicklung durch die ÖSR findet in Kapitel 12 eine ausführlichere Behandlung.

Im Rahmen der definitorischen Klärungen der dreifachen Dividende werden folgende Gesichtspunkte festgehalten:

- Die erste Dividende adressiert den Umweltverbrauch. Für die Anwendung auf die Eindämmung des Klimawandels wird die Reduktion von Treibhausgasen herangezogen.
- Die zweite Dividende ist schwieriger zu fassen. Die Beschränkung auf den Begriff der Vermeidung der Verzerrungen im Steuersystem erscheint kurz gegriffen, stattdessen werden hierunter alle kurzfristigen ökonomischen Wirkungen verstanden.
- Unter der dritten Dividende werden induzierte technologische Entwicklungen verstanden. Da diese keinen Selbstzweck darstellen, geht es auch bei der dritten Dividende um ökonomische Effekte, allerdings um langfristige.
- Die ökonomischen Effekte der zweiten und dritten Dividende werden an mehreren Faktoren festgemacht, unter anderem Beschäftigung, Wachstum und Verteilungswirkungen.

6.3 Aufkommensneutralität

Aufkommensneutralität wird als wichtiger Aspekt der ÖSR angesehen (Mauch et al., 1992, S. 28). Alle sieben von Zerkawy und Fiedler (2019, S. 17f) untersuchten Konzepte beim Vergleich verschiedener CO₂-Bepreisungsvarianten werden spätestens nach mehreren Jahren als aufkommensneutral bewertet. Um nicht den Eindruck zu erwecken, lediglich neue Staatseinnahmen generieren zu wollen, hängt Görres et al. (1995, S. 38) zufolge an diesem Gesichtspunkt die Glaubwürdigkeit des Konzeptes.

Im *Klimaschutzprogramm 2030* der Bundesregierung, im Herbst 2019 vom Bundeskabinett beschlossen, wurden weitreichende Maßnahmen insbesondere

zur Reduktion der THG-Emissionen dargelegt. Auch in diesem wird auf Aufkommensneutralität Wert gelegt, ohne den Begriff als solchen zu nennen:

Die Einnahmen aus dem Klimaschutzprogramm 2030 haben nicht das Ziel, zusätzliche Einnahmen des Staates für andere Zwecke zu erzielen. Alle zusätzlichen Einnahmen aus diesem Programm werden daher in die Klimaschutzfördermaßnahmen reinvestiert oder in Form einer Entlastung den Bürgern zurückgegeben. (Bundesregierung Deutschland [Hrsg.], 2019, S. 15)

Diese Formulierung dient nachfolgend als Definitionsgrundlage. Sie macht deutlich, dass der Gedanke der Aufkommensneutralität auch heute große Relevanz hat. Die Absicht, keine zusätzlichen Einnahmen zu erzeugen, ist klar formuliert. Im Detail bleiben jedoch verschiedene Fragen offen, so zum Beispiel die Frage, ob Steuersenkungen auch als Rückzahlungen zu werten sind und damit zulässig sind. Im Rahmen dieser Abhandlung werden Steuersenkungen, vor allem die Senkung der Einkommensteuer, hinzugenommen, da diese auch eine Form der Entlastung der Bürger:innen darstellt und damit der obigen Definition entspricht. Eine Senkung der Sozialversicherungsbeiträge soll auch eine derartige Entlastung darstellen, selbst wenn der Rechtsträger der Sozialversicherung zwischengeschaltet ist. Schließlich wird in diesem Werk darüber hinaus unter dem Begriff der Entlastung des Faktors Arbeit auch die Entlastung von Arbeitgebenden verstanden, bspw. durch die Reduktion der Sozialversicherungsbeiträge der Arbeitgebenden, was die zulässigen Möglichkeiten der oben angeführten Definition zur Aufkommensneutralität erweitert.

6.4 Einnahmenseite

6.4.1 Chancen marktwirtschaftlicher Konzepte

Zur Umsetzung eines Preises auf THG-Emissionen gibt es die Möglichkeit der Besteuerung sowie des Emissionshandels, wobei bei letzterem indirekt dadurch ein Preis entsteht, dass die maximal zur Verfügung stehende Menge der THG-Emissionen beschränkt wird. Es wird von einer Preissteuerung bei der Steuer und von einer Mengensteuerung beim Emissionshandel gesprochen. Beide verfolgen jedoch mit der Reduktion der THG-Emissionen das gleiche Ziel. Dieses ist über den Emissionshandel direkt bestimmbar, da die Menge festgelegt wird; bei der Steuer wird das Mengenziel indirekt anvisiert, kann aber prinzipiell zur gleichen Menge führen.

Diese zwei Varianten werden in Umweltfragen in verschiedenen Ausführungen von Ökonom:innen als zentrales Instrument zur Eindämmung von Umweltproblemen empfohlen. Beide gelten als marktwirtschaftliche Konzepte, die im Gegensatz zu regulatorischen Konzepten stehen, die über Verordnungen oder Verbote versuchen, ausgewählte Emissionen zu vermindern. Steuern und der Emissionshandel bieten im Vergleich zu Regulierungen und Verboten den Vorteil, dass sie ein Aufkommen generieren, welches an anderer Stelle verwendet werden kann. Grundsätzlich können jedoch regulative und marktwirtschaftliche Instrumente in einem Instrumentenmix gleichzeitig Anwendung finden (siehe unter anderem Goers et al., 2010; Tietenberg, 1990).

Ein Aufruf von Ökonom:innen im Wall Street Journal im Januar 2019 zeigt, wie anerkannt das Konzept der Bepreisung von CO₂ bzw. Treibhausgasen zur Reduktion von Emissionen ist. Dort heißt es: „A carbon tax offers the most cost-effective lever to reduce carbon emissions at the scale and speed that is necessary“ (The Wall Street Journal [Hrsg.], 2019). Um internationale Nachteile zu vermeiden, wird die Einführung eines Kohlenstoff-Grenz-Anpassungs-Systems (engl. „Border Carbon Adjustment“) empfohlen. Die generierten Einnahmen sollten pro Kopf an die US-Bürger:innen zurückgezahlt werden. Unter den Unterzeichner:innen dieses Aufrufes sind 15 ehemalige Vorsitzende des Rates der Wirtschaftsberater der USA (engl. „Council of Economic Advisers“), vier ehemalige Vorsitzende der Federal Reserve der USA und 27 Träger des Alfred-Nobel-Gedächtnispreises für Wirtschaftswissenschaften.

In der deutschen Debatte steht heute ebenfalls fast außer Frage, ob eine THG-Bepreisung sinnvoll ist. Ein Preis für CO₂ bzw. THG-Emissionen oder die Limitierung der Emissionen wird von allen Parteien der im Bundestag vertretenen Fraktionen mit Ausnahme der *Alternative für Deutschland* (AfD) unterstützt (CDU/CSU [Hrsg.], 2021, S. 21; Die Linke [Hrsg.], 2021, S. 56; FDP [Hrsg.], 2021, S. 46; Grüne [Hrsg.], 2021, S. 12; SPD [Hrsg.], 2021, S. 10), obgleich in den Ausgestaltungsformen große Unterschiede bestehen (ob Emissionshandel oder Steuern, welche Sektoren und Bereiche berücksichtigt sind oder die Höhe des Preises). Die AfD fordert, „jegliche Form der CO₂-Besteuerung“ abzuschaffen (AfD [Hrsg.], 2021, S. 175) und begründet dies damit, dass bis heute nicht nachgewiesen sei, „dass der Mensch, insbesondere die Industrie, für den Wandel des Klimas maßgeblich verantwortlich ist.“

Zur Frage, mit welchen Vor- und Nachteilen Steuern oder Emissionshandel verbunden sind und was von beiden das geeignetere Instrument zur

Reduktion von THG-Emissionen darstellt, gibt es eine Debatte. In der EU ist 2005 das *EU-Emissionshandelssystem* (EU ETS) in Kraft getreten, welches einen Teil der THG-Emissionen in der EU erfasst, vor allem aus der Energieerzeugung und Teilen der Industrie, sodass über das EU ETS bislang nur ein Teil aller in Deutschland entstehenden THG-Emissionen berücksichtigt sind. EU-weit deckt das EU ETS mit den Bereichen Industrie, Energiewirtschaft und Luft- und Seeverkehr ca. 40% der Gesamtemissionen ab.²⁹ Um den Emissionen der Bereiche Wärme und Verkehr ebenfalls einheitliche THG-Preise beizumessen, wurde auf Ebene der EU der EU ETS 2 eingeführt. Im Vorfeld dieser Einführung spitzten sich die Debatten zur Frage nach dem besseren marktwirtschaftlichen Instrument zur Bepreisung von THG-Emissionen zu. Forschende des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) um Kemfert sprachen sich für eine Steuer aus und zogen diese dem Emissionshandel vor (Kemfert et al., 2019). Eine Steuer sei politisch leichter umsetzbar, weil sie national eingeführt werden kann und ggf. zusammen mit weiteren EU-Ländern im Rahmen einer *Koalition der Willigen* erweitert werden kann (Kemfert et al., 2019, S. 3). Auf nationaler Ebene bestand mit dem Energiesteuergesetz und dem Stromsteuergesetz bereits der erforderliche Rahmen zur Implementierung von weiteren THG-Steuern (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 13). Die alternative Variante, die Erweiterung des EU ETS um die Bereiche Wärme und Verkehr, bietet jedoch auch Vorteile. Etwa ist die ökologische Treffsicherheit beim Emissionshandel größer, da die Menge festgelegt wird. Bei einer Steuer kann allerdings die Wirkung permanent überprüft und ggf. nachjustiert werden, sodass dieser Nachteil kein schwerwiegender ist (Kemfert et al., 2019, S. 5). Insgesamt bewerten Kemfert et al. (2019, S. 1) die Emissionshandel-Variante negativer, da sie politisch und juristisch als zu aufwendig angesehen wird, als dass eine schnelle Umsetzung aussichtsreich sein könnte. Was auch nach und unabhängig der Einführung des EU ETS 2 gilt, ist, dass ohne flankierende Maßnahmen wie zum Beispiel Infrastrukturinvestitionen im Mobilitätssektor oder eine Bündelung von Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebereich THG-Reduktionsziele nicht erreicht werden können (Kemfert et al., 2019, S. 6).

²⁹ Siehe EU-Kommission: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/about-eu-ets_en (16.04.2025).

6.4.2 Steuern

Die Idee der Besteuerung der Umwelt geht auf Pigou (1920) Anfang des 20. Jahrhunderts zurück. Die Grundidee ist aus heutigen Umweltdebatten kaum wegzu-denken: Bei ökonomischen Entscheidungen können externe Effekte bestehen, das heißt Kosten oder ggf. Nutzen, die von der Entscheidung treffenden Instanz nicht mitberücksichtigt werden. So sind und insbesondere waren zum Beispiel mit der Umweltverschmutzung nicht immer Kosten verbunden, sodass Umweltgüter verbreitete Beispiele für die Betroffenheit von externen Effekten sind. Gemäß der zugrundeliegenden Wohlfahrtstheorie wird von einer Übernutzung eines Gutes gesprochen, wenn es von negativen externen Effekten betroffen ist, da die Berücksichtigung der externen Kosten (Internalisierung externer Effekte) eine geringere Nutzung implizieren würde.

Durch die Einführung einer Steuer auf Güter, die von negativen externen Effekten betroffen sind, kann diese Übernutzung reduziert oder im Idealfall beseitigt werden. Methodologisch baut diese Argumentation von Pigou auf der *Wohlfahrtsökonomik* auf (vgl. *The Economics of Welfare*, Pigou, 1920). Wohlfahrtsökonomisch wird im beschriebenen Fall insofern von einem positiven Wohlfahrtseffekt gesprochen.

Mit dem Aufkeimen von Umweltbewegungen der 1960er und 1970er Jahre wurde 1972 das Verursacherprinzip im Kontext von Umweltproblemen von der OECD vorgeschlagen (Tan et al., 2022, S. 1). Im gleichen Jahr kam Baumol auf theoretischer Ebene eine zentrale Rolle zu, der das Konzept von Umweltsteuern in den 1970ern in der modernen Ökonomik anwendbar machte (Baumol, 1972). In den 1980er und 1990er Jahren etablierten sich eine Vielzahl von umweltbezogenen Steuern, beispielhaft sind die Emissionssteuer, Energiesteuer, Kohlenstoffsteuer, Schwefelsteuer, grüne Steuern und Ökosteuern zu nennen, sodass diese Konzepte zunehmend globale Verbreitung fanden (Tan et al., 2022, S. 1). Im Jahr 2021 waren laut Weltbank weltweit 64 Instrumente zur CO₂-Bepreisung im Einsatz, die bei zunehmendem Trend insgesamt 21,5% der globalen THG-Emissionen abdeckten (World Bank [Hrsg.], 2021, S. 21).

Grundsätzlich können Steuern auf Treibhausgase nominal festgelegt oder per Indexierung an die Inflation angepasst sein. Nominal bedeutet, dass ein fester Steuersatz je physikalischer Einheit (zum Beispiel je Tonne CO₂-Äquivalent, t CO₂e) zu zahlen ist. Im Fall von Inflation bleibt der nominal zu zahlende Betrag gleich, das Preisniveau nimmt aber insgesamt zu. Der Effekt ist ein geringerer

Anteil der Steuern. Um dies auszugleichen, empfiehlt sich eine Indexierung, die die Steuersätze an die Inflation koppelt. Von 2003–2014 ist der Verbraucherpreisindex (gemäß des HPVI ohne Energie und unverarbeitete Nahrungsmittel) insgesamt um 16,3% gestiegen. Bei etwa gleichbleibenden nominellen Energiesteuern ist das reale Einkommen damit um 14% gesunken (Fiedler et al., 2020, S. 37). Fiedler et al. (2020, S. 36) verweisen auf Bedenken hinsichtlich einer Indexierung der Einkommensteuer, die 2015 vom Bundesministerium der Finanzen (2015) artikuliert wurde. Sie vermuten, dass auch die Erfahrung mit der Hyperinflation der 1920er Jahre in Deutschland eine historische Ursache für die bisherige zurückhaltende Haltung zur Indexierung sein könnte. Tatsächlich werden teilweise negative ökonomische Auswirkungen befürchtet. Insbesondere werden Rückkopplungen und Verstärkungseffekte als problematisch erachtet, wodurch die Preisstabilität gefährdet werden könnte. Die Auswirkungen der Indexierung bei Umweltsteuern auf die Preisstabilität bewerten Fiedler et al. (Fiedler et al., 2020, S. 45) mit Verweis auf die europäische Kommission (2012) allerdings als sehr begrenzt, da Energiesteuern nur einen kleinen Anteil am Warenkorb des Verbraucherpreises ausmachen. Eine Indexierung auf Umweltsteuern wurde bereits in mehreren europäischen Ländern eingeführt, darunter Schweden, die Niederlande, Dänemark, Portugal, Rumänien und Zypern (Fiedler et al., 2020, S. 46). Für Deutschland empfehlen Fiedler et al. (2020, S. 54) eine jährliche Anpassung der Energiesteuer, der Stromsteuer, der Kfz-Steuer sowie der Luftverkehrssteuer entsprechend der Entwicklung des harmonisierten Verbraucherpreisindex zu konstanten Steuersätzen (HVPI-KS) vorzunehmen. Dieser Index wird als besonders geeignet bewertet, weil er die „Auswirkungen von Veränderungen bei den Steuersätzen für Waren im selben Zeitraum“ nicht berücksichtigt und damit bspw. Steuererhöhungen außen vor lässt (Fiedler et al., 2020, S. 54).

6.4.3 Emissionshandel

Emissionshandelssysteme existieren in einer großen und zunehmenden Zahl von Ländern und stellen ein verbreitetes Instrument zur Reduktion von THG-Emissionen, insbesondere CO₂-Emissionen, dar. Für Deutschland bzw. die Europäische Union ist das EU ETS (engl. „European Union Emissions Trading System“, EU-Emissionshandelssystem) das zentrale Instrument dieser Konstruktionsart, welches deshalb exemplarisch für diesen Mechanismus beschrieben wird. Bis zur Einführung des nationalen Emissionshandelssystems Chinas war

es der weltweit größte Markt für Treibhausgase (World Bank [Hrsg.], 2021, S. 8). Ab 2025 (Berichterstattung) bzw. ab 2027 (Handel) wird das EU ETS außerdem durch das EU ETS 2 ergänzt, welches die Bereiche Gebäude, Straßenverkehr und kleinere Industrieanlagen abdeckt.

Das EU ETS restringiert die Emissionen von Treibhausgasen in der Stromerzeugung sowie in einigen Industrien und wurde im Jahre 2005 eingeführt. Die bisherige Entwicklung wird in vier Phasen eingeteilt.³⁰ Phase 1 (2005–2007) kann als Experimentierphase bezeichnet werden, da nahezu alle Zertifikate kostenlos zugeteilt wurden. Phase 2 (2008–2012) senkte die Anzahl der Zertifikate und weitere Länder stießen dazu, doch die kostenlose Zuteilung der Zertifikate erfolgte immer noch zu ca. 90%. Mit der dritten Phase (2013–2020) wurde das System erheblich modifiziert. So ersetzte eine EU-weite Obergrenze der Zertifikate (engl. „Allowances“) die nationalen Obergrenzen und die Versteigerung der Zertifikate sollte als Standard etabliert werden. In der vierten und aktuellen Phase (2021–2030) wurde die jährliche Reduktion der Zertifikate auf 2,2% erhöht, gegenüber einer Reduktionsrate von ca. 1,7% in Phase 3.³¹ Trotz der Absichten, die Zertifikate möglichst ausschließlich zu versteigern, werden im Zeitraum von 2021–2025 immer noch bis zu 57% per Auktion zugeteilt, Ausnahmen können diese Quote reduzieren. Die tatsächliche Quote der zunächst per Auktion zugeteilten Zertifikate liegt für 2021–2025 bei 51,5%.³² Um die Wirksamkeit zu steigern, wird darüber hinaus versucht, mehr Branchen zu erfassen, so zum Beispiel durch die Hinzunahme des Luftverkehrs ab 2012³³ oder des Seeverkehrs ab 2024³⁴. Wobei beim Verkehr insb. die innereuropäischen Fahrten adressiert werden, die Abgabepflicht für Fahrten zwischen dem Europäischen Wirtschaftsraum und Drittstaaten ist bspw. beim Seeverkehr reduziert ist.³⁵

³⁰ Siehe Entwicklung des EU-Emissionshandelssystems der Europäischen Union: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_de (27.03.2024).

³¹ Siehe Emissionsobergrenzen und -zertifikate des EU-Emissionshandelssystems der Europäischen Union: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/emissions-cap-and-allowances_de (27.03.2024).

³² Siehe EU-Kommission: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/auctioning-allowances_en (16.04.2025).

³³ Siehe Zuteilung von Luftverkehrszertifikaten des EU-Emissionshandelssystems der Europäischen Union: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/allocation-aviation_de (27.03.2024).

³⁴ Siehe International Carbon Action Partnership: <https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets> (16.04.2025).

³⁵ Siehe Deutsche Emissionshandelsstelle: https://www.dehst.de/DE/Themen/EU-ETS-1/Seeverkehr/seeverkehr_node.html (16.04.2025).

Seit der Einführung 2005 gibt es erhebliche Schwankungen im Preis der Zertifikate des EU ETS. Von 2012–2017 war der Kurs auf niedrigem Niveau stabil: Der Preis lag durchgehend unter 10 EUR/t CO_{2e}³⁶. 2018 kam es dann zu einem erheblichen Anstieg. Bis September 2018 waren es über 20 EUR/t CO_{2e}. Als wesentlicher Grund hierfür kann die Reform des EU ETS vom April 2018 durch das Europäische Parlament und den Rat der Europäischen Union genannt werden. Ab 2021 ist ein weiterer deutlicher Anstieg zu beobachten, der im Februar 2023 einen Hochpunkt von über 100 EUR/t CO_{2e} erreichte. Diese Entwicklung steht im Zusammenhang mit der Überarbeitung durch das Europäische Parlament und den Rat der Europäischen Union im Jahr 2023 im Rahmen des European Green Deals mit dem *Fit-for-55*-Paket, um das Ziel einer 55%igen Reduktion bis 2030 (gegenüber 1990) zu erreichen. Im März 2024 lag der Preis für Emissionen im Rahmen des EU ETS wieder unter 60 EUR/t CO_{2e}. Dennoch ist zu konstatieren, dass der Preis der Zertifikate in den Jahren 2022–2024 nahezu durchgängig oberhalb von 60 EUR/t CO_{2e} lag.

In der ökonomischen Theorie wird der Emissionshandel als effizientes Instrument betrachtet, weil er nicht regulatorisch, sondern marktwirtschaftlich ist und sich der THG-Preis durch Angebot und Nachfrage bestimmt. Jenkins (2014, S. 467) zufolge ist diese Effizienz in der Praxis jedoch nicht vorzufinden. Die niedrigen Zertifikatspreise in der Vergangenheit wurden als Ansatzpunkt für Kritik und Beleg dafür aufgeführt. Mehrere Autor:innen sahen auch einige Jahre nach Einführung nur eine geringe Wirksamkeit (Clò et al., 2013; Edenhofer & Jakob, 2017); diese Bewertungen lagen allerdings vor der oben skizzierten deutlichen Anstiege der Preise insb. im Jahr 2021.

Zur Frage, ob ein Emissionshandelssystem, welches die gewünschte Emissionsmenge treffsicher erreichen kann, oder ob Steuern, bei denen eine Umsetzung als leichter bewertet wird, der bessere Weg sind, gibt es den Ansatz, beide Konzepte zu kombinieren: zunächst eine Steuer einzuführen, diese sukzessive zu erhöhen, um sie dann im späteren Verlauf in ein Emissionshandelssystem zu überführen. So können die Nachteile beider Instrumente minimiert werden. Im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung wird eine solche Kombination umgesetzt. Zum einen sprach sich die Bundesregierung dafür aus, im bestehenden Emis-

³⁶ Vgl. Kursentwicklung des EEX-EUA-Spot-Markts an der European Energy Exchange (EEX), der in Leipzig ansässigen Energiebörse: <https://www.eex.com/de/marktdaten/umweltprodukte> (18.03.2024).

sionshandelssystem einen Mindestpreis einzuführen, damit es keine großen Preisabweichungen nach unten geben kann (Bundesregierung Deutschland [Hrsg.], 2019, S. 28). Zum anderen wurde für die Sektoren Wärme und Verkehr eine Kombination beschlossen: Zunächst gilt ein Preis in Höhe von 25 EUR/t CO₂ für das Jahr 2021, daran anschließend steigt dieser bis zum Jahr 2025 auf 55 EUR/t CO₂ an, was auch für das Jahr 2026 den Mindestpreis darstellen soll. Ab 2027 sollte dieses System in das *nationale Emissionshandelssystem* (nEHS) aufgehen (Bundesregierung Deutschland [Hrsg.], 2019, S. 25), was jedoch voraussichtlich durch die EU-weite Harmonisierung mit dem EU ETS 2 im Jahr 2027 obsolet wird.

Das EU ETS 2 ist das zweite Emissionshandelssystem auf EU-Ebene. Es wurde im Rahmen des Fit-for-55-Programms der EU beschlossen und hat den Zweck die Bereiche Gebäude, Straßenverkehr und kleinere Industrieanlagen abzudecken. Mit Überwachungs- und Berichterstattungspflichten beginnt das EU ETS 2 bereits im Jahr 2025. Voraussichtlich im Jahr 2027 wird es vollständig in Kraft treten (Beginn des Handels mit Zertifikaten); diese Einführung wird im Fall von „außergewöhnlich“ hohen Gas- oder Ölpreisen gegebenenfalls auf das Jahr 2028 verschoben.³⁷

Ab 2026 soll ein Teil der Einnahmen aus beiden Handelssystemen in einen sozialen Klimafonds zur Absicherung von einkommensschwachen Haushalten und kleineren Unternehmen fließen (maximal 65. Mrd. EUR in den 2026-2032, was ca. 25% der erwarteten Gesamteinnahmen entspricht).³⁸ Theoretisch können die beiden Systeme, EU ETS und EU ETS 2, zusammengeführt werden, was eine höhere Effizienz durch einen einheitlichen Preis versprechen würde. Die Prüfung dieser Kopplung ist für 2031 vorgesehen.³⁹

6.4.4 Bemessungsgrundlage

Zur Eindämmung des Klimawandels kommt es entscheidend darauf an, THG-Emissionen zu reduzieren. Um Klimaneutralität zu erreichen, d.h. einen „Zustand, in welchem menschliche Aktivitäten keinerlei Effekt auf das Klimasystem haben“ (Rodenhäuser et al., 2021, S. 11), wären weitere Aspekte zu berücksichti-

³⁷ Siehe EU-Kommission: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en (16.04.2025).

³⁸ Siehe UBA: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/factsheet_einfuehrung_eines_emissionshandelssystems.pdf (16.04.2025).

³⁹ Siehe Richtlinie (EU) 2023/959 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10.05.2023, Artikel 30i (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32023L0959>, 16.04.2025).

gen, so zum Beispiel die Rückstrahlungsfähigkeit der Erdoberfläche (Albedo-Effekt). Diese Arbeit beschränkt sich hingegen auf die Reduktion von Treibhausgasen, welche insofern nur ein Teilaspekt der Lösung der Klimaerwärmung ist.

Die zentrale Frage für die Bemessungsgrundlage ist jedoch, welche THG-Emissionen berücksichtigt werden: Ausschließlich CO₂ oder zusätzlich andere Gase, wie zum Beispiel Methan oder Stickoxide? Ausschließlich unmittelbar entstehende Gase, wie aus der Verbrennung von fossilen Energien, oder auch Emissionen aus Vorketten von Gütern?

Die alleinige Betrachtung von CO₂-Emissionen ist weniger anspruchsvoll, aber mit Blick auf THG-Neutralität unzureichend. Laut der Analyse der Deutschen Energie-Agentur (DENA) von Honegger et al. (2020, S. 11) wäre für CO₂ sogar „eine netto-negative CO₂-Emissionsbilanz“ vonnöten, um THG-Neutralität zu erreichen, weil es bislang kaum Möglichkeiten für Negativemissionen bei Nicht-CO₂-Treibhausgasen gibt, was für die Berücksichtigung aller Treibhausgase spricht.

Fünf der sieben von Zerzawy und Fiedler (2019, S. 11) untersuchten Konzepte haben CO₂-Emissionen als Bemessungsgrundlage und damit berücksichtigt nur eine Minderheit auch andere Treibhausgase. Auch Vorkettenemissionen, die zum Beispiel bei der Gewinnung von Energieträgern oder bei der Herstellung von Vorprodukten in anderen Ländern entstehen, bleiben in den meisten Konzepten unberücksichtigt (Zerzawy & Fiedler, 2019, S. 11). Der EU-Emissionshandel als relevantes Praxisbeispiel berücksichtigt hingegen auch andere Treibhausgase, wie zum Beispiel Stickoxide oder perfluorierte Kohlenwasserstoffe.⁴⁰

Aus klimawissenschaftlicher Sicht ist die Berücksichtigung aller THG-Emissionen als Bemessungsgrundlage vorzuziehen, sowohl einschließlich weiterer Treibhausgase wie zum Beispiel Methan, Stickoxide oder perfluorierte Kohlenwasserstoffe, als auch einschließlich der Emissionen aus Vorketten, soweit diese noch nicht beachtet wurden.⁴¹

Grundsätzlich käme auch die Energiemenge bzw. der Primärenergiegehalt als Bemessungsgrundlage in Frage (Zerzawy & Fiedler, 2020, S. 7f). Dies würde allerdings zu einer Verzerrung der Preisanreize führen, weil damit nicht das bepreist und somit für die Wirtschaftsakteur:innen internalisiert würde, was es aus

⁴⁰ Europäischen Kommission zu Emissionsobergrenzen und -zertifikate: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/emissions-cap-and-allowances_de (27.03.2024).

⁴¹ Die Einheit verschiedener THG-Emissionen ist CO₂-Äquivalente (kurz: CO₂e).

Klimaperspektive zu vermeiden gilt, nämlich die Emissionen von Treibhausgasen. Zum einen haben unterschiedliche Energieträger ein unterschiedliches Verhältnis von Primärenergie zu THG-Emissionen (Hertle et al., 2019, S. 14f). Zum anderen wird es in Zukunft aufgrund eines Elektrifizierungsprozesses sowohl der Wirtschaft als auch im Gebäude- und Mobilitätsbereich relevant, bei gleichzeitiger Reduktion der fossilen Energien das Stromangebot zu steigern (siehe unter anderem Prognos et al., 2020, S. 25f).

Als Resümee kann festgehalten werden, dass es für eine ÖSR wünschenswert ist, eine möglichst breite Bemessungsgrundlage heranzuziehen und alle relevanten Treibhausgase zu berücksichtigen. Im Rahmen dieser Arbeit wird deshalb lediglich aus praktischer Sicht, zum Beispiel aufgrund von geringer Datenverfügbarkeit, davon abgesehen, die breite Basis aller relevanten THG-Emissionen als Bemessungsgrundlage zu nutzen.

6.4.5 Konkrete Ausgestaltungsvorschläge

Lange vergleicht konkrete Vorschläge zur Bepreisung von CO₂ (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 14). Diese analysierten Varianten können wie folgt abgekürzt werden:

- Ausweitung des EU-Emissionshandelssystems auf Wärme und Verkehr (Variante A)
- Einführung eines Mindestpreises beim bestehenden EU-Emissionshandelssystem (Variante B)
- Einführung einer CO₂-Steuer in den Bereichen Wärme und Verkehr (als eine von mehreren Maßnahmen, Varianten C und D)
- Einführung einheitlicher Steuersätze (außerhalb des EU ETS) und eines Mindestpreises (im EU ETS) in allen Bereichen (Variante E)

Die Einstiegspreise von 40–80 EUR/t CO₂ bzw. CO_{2e} der Varianten B bis E weisen einen erheblichen Unterschied zu den in der langen Frist unter anderem vom IPCC empfohlenen Preisen auf (vgl. Kapitel 6.7 zur Höhe der THG-Bepreisung). Variante A ist ein Mengensteuersystem und hat deshalb keinen Mindestpreis. Alle preisgesteuerten Konzepte sehen jedoch eine jährliche Steigerungsrate vor. Eine solche phasenweise Erhöhung soll den Einstieg in ein Bepreisungssystem vereinfachen und eine schrittweise Adaption ermöglichen. Ein Startpreis von 40 EUR/t CO_{2e} kombiniert mit einer jährlichen Steigerung von 5 EUR/t CO_{2e} bedeuten allerdings, dass ein Wert von

200 EUR/t CO₂e erst nach 32 Jahren erreicht wird; beginnend im Jahr 2022 würden 200 EUR/t CO₂e erst im Jahr 2054 erreicht werden.

Neben den beschriebenen Kernelementen kommt es bei der praktischen Umsetzung von Bepreisungssystemen auch darauf an, weitere Nebenaspekte zu berücksichtigen. Lange hält zur Gewährleistung der Wirksamkeit unter anderem auch die Bereitschaft und die Möglichkeiten der Akteur:innen, sich zu beteiligen, die Berücksichtigung von bürokratischen Hemmnissen oder das Vermeiden von Fehlanreizen für relevant (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 10f). Auf derartige Nebenbedingungen einer gelingenden Reform wird an dieser Stelle allerdings nicht weiter eingegangen. Es ist jedoch festzuhalten, dass in der langen Frist ein einheitlicher THG-Preis in allen Sektoren und Bereichen anzustreben ist, weil ansonsten Fehlanreize entstehen können und aufgrund von unterschiedlichen Zusatzkosten sektorübergreifende Technologieoffenheit nicht gewährleistet werden kann (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 11f).

6.5 Aufkommensverwendung

6.5.1 Einordnung

Die Möglichkeiten der Aufkommensverwendung sind vielfältig, sodass die meisten Vorschläge ein Policy-Mix aus verschiedenen Maßnahmen sind. Beim Vergleich verschiedener Konzepte zur CO₂-Bepreisung nennen Zerkow und Fiedler (2019, S. 14) als relevanteste Einsatzmöglichkeiten zur Verwendung der Einnahmen die Gegenfinanzierung von Strom oder der Ersatz von Strompreisbestandteilen, das Konzept des Ökobonus (Pro-Kopf-Rückzahlungen), die Entlastung und damit Senkung der Rentenversicherungsbeiträge und Einsatzmöglichkeiten für den Klimaschutz.

Diese und weitere Möglichkeiten der Mittelverwendung können anhand verschiedener Systeme kategorisiert werden. Lange unterteilt die Verwendung der Einnahmen in drei Kategorien (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 9). Zunächst wird die allgemeine Erhöhung des Steueraufkommens genannt, die den Zweck hat, bereits existierende Ausgaben zu finanzieren (dazu werden auch Entlastungen der Sozialversicherungssysteme gezählt). Als zweite Verwendung werden Rückverteilungen genannt, so etwa Pro-Kopf-Rückzahlungen an alle Bürger:innen. Die dritte Kategorie ist schließlich die Rückverteilung in Form der Gegenfinanzierung anderer Umlagen und Steuern, wobei die Gegenfinanzierung einer

Stromsteuersenkung ein Beispiel wäre. Diese Unterteilung wirft Abgrenzungsfragen auf: Wann ist eine Rückverteilung als eine solche zu verstehen und wann muss von einer Erhöhung des Steueraufkommens gesprochen werden, welches ebenfalls zum Dienste der Bevölkerung eingesetzt wird? Auch die Rückverteilungen sind nicht immer klar trennbar: Wieso sollte prinzipiell ein Unterschied von Rückverteilungen an alle oder Rückverteilungen durch Steuersenkungen gemacht werden, von denen wiederum möglicherweise alle profitieren?

Eine weiterer Kategorisierungsentwurf ordnet die Aufkommensverwendung anhand der jeweiligen Intensionen. Im Nachfolgenden werden in Anlehnung an die drei Säulen der Nachhaltigkeit drei Leitideen herausgearbeitet und verglichen (World Commission on Environment and Development [Hrsg.], 1987): 1. Ökonomie, 2. Soziales und 3. Umwelt und gesellschaftliche Transformation. Der Begriff Leitidee wird hier als Konglomerat verschiedener, aber ähnlicher Intensionen verstanden. Anhand dieser Aufgliederung werden nachstehend verschiedene Möglichkeiten der Aufkommensverwendung beispielhaft angeführt.

6.5.2 Leitidee 1: Ökonomie

Werden im Inland (bzw. innerhalb der EU) Steuern oder Abgaben erhoben und somit die THG-abhängige Produktion verteuert, stellt dies einen Nachteil für Unternehmen im internationalen Wettbewerb dar, da Unternehmen im Ausland bzw. außerhalb der EU diese Steuern oder Abgaben nicht leisten müssen und somit die Gefahr des *Carbon Leakage* entsteht. Die Grundidee der Mittelverwendung gemäß der ersten Leitidee ist demnach die Kompensation möglicher Nachteile der industriellen Produktion zu erreichen. Sie kann darüber hinaus zum Ziel haben, den Standortfaktor der Wirtschaft prinzipiell zu stärken und somit trotz der Umweltmaßnahme eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit erreichen.

Beispiele dafür sind die Reduktion von vorhandenen Steuern, wie etwa der Stromsteuer, die Investition in Infrastrukturprojekte oder die Stärkung der Forschung und Entwicklung durch zusätzliche staatliche Forschungsmittel, um in der langen Frist technologische Entwicklungen zu begünstigen.

Wenn im Rahmen der ÖSR die Sozialversicherungsbeiträge entlastet werden, können sowohl Arbeitgeber:innen als auch Arbeitnehmer:innen profitieren. Im Fall der Arbeitgebenden handelt es sich auch um eine Stärkung des Wirtschaftsstandorts, sodass die ÖSR zum Teil hier einzuordnen ist.

6.5.3 Leitidee 2: Soziales

Die Idee der Mittelverwendung für Soziales kann aus zwei Richtungen motiviert sein. Zum einen steht der Gedanke, dass die durch Umweltsteuern belasteten Haushalte oder Personengruppen kompensiert werden. In diesem Zusammenhang wird davon gesprochen, soziale Härten zu vermeiden oder die Reform sozial abzufedern. Dies hat auch zum Ziel, die politische Akzeptanz der Reform zu erhöhen (vgl. Baranzini et al., 2000). Zerzawy und Fiedler (2019, S. 4) zufolge ist die Frage der Verteilungswirkungen zentral für die Akzeptanz einer THG-Bepreisung. Zum anderen gibt es einen zweiten Strang, der über die genannte Kompensation hinausgeht und Umwelt- und Sozialpolitik gleichzeitig zum Ziel hat. Beide Politikfelder werden zusammengedacht: Umweltpolitik aus sozialer Perspektive zu betrachten hat bereits eine längere Tradition – einen Überblick bietet etwa Heyen (2021) mit *Soziale Wirkungen von Umweltpolitik* –, Sozialpolitik aus Umweltperspektive zu denken, ist dagegen ein neueres Forschungsfeld (vgl. nachhaltige Sozialpolitik, engl. „Sustainable Welfare“, Brandstedt & Emmelin, 2016; Büchs & Koch, 2017; Gough, 2017).

Die OECD (2006) unterscheidet neben diesen finanziellen Verteilungswirkungen von Umweltpolitik auch die Verteilungswirkung von Umweltqualität bzw. -belastung. Verstärkt werden jedoch finanzielle Wirkungen und Kompensationen untersucht, wie auch in dieser Arbeit.

Ein prominentes Beispiel für einen sozialen Mitteleinsatz gemäß der zweiten Leitidee ist der Ökobonus (auch Klimadividende, Klimageld oder Klimaprämie genannt, engl. „Carbon Fee and Dividend“) der das Aufkommen ganz oder teilweise mittels einer Pro-Kopf-Zahlung an die Bürger:innen zurückschüttet. Damit wird beiden oben genannten Strängen Rechnung getragen: Einerseits ist der Ökobonus als Ausgleich für die erhöhten Ausgaben im Umweltbereich zu sehen, andererseits werden beim vollständigen Einsatz des Aufkommens niedrige Einkommen in der Nettowirkung tendenziell entlastet, hohe Einkommen dagegen tendenziell belastet. Held (2019, S. 56) zeigt in einer Untersuchung für Deutschland, dass bei vollständigem Einsatz des Aufkommens durch den Ökobonus nur die oberen vier Einkommensdezile eine Netto-Belastung erfahren, die unteren sechs Einkommensdezile dagegen eine Entlastung erhalten können. Grundsätzlich wirken steigende Strom- und Energiepreise ohne Ausgleichsmechanismus in europäischen Ländern verteilungspolitisch in der Regel regressiv, was bedeutet, dass niedrige Einkommen

anteilig stärker betroffen sind als hohe Einkommen (Ohlendorf et al., 2021). Eine Pro-Kopf-Rückzahlung kann diesen Effekt abmildern und aufheben. Der *High-Level Commission on Carbon Prices* zufolge, welche von Joseph Stiglitz und Nicholas Stern geleitet und von der Weltbank unterstützt wurde, könnte bereits ein Teil des Aufkommens dafür sorgen, dass das Preissystem insgesamt eine progressive Wirkung hat (High-Level Commission on Carbon Prices [Hrsg.], 2017, S. 39).

Als nicht restringierte Zahlung an alle Bürger:innen kann der Ökobonus auch als ökologisches bedingungsloses Grundeinkommen (Adler & Schachtschneider, 2010) interpretiert werden. Es schließt damit an ökologisch-argumentierte Debatten zum bedingungslosen Grundeinkommen an (vgl. Van Parijs, 2017, 2021).

Die ÖSR ist mit der Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge teilweise auch der zweiten Leitidee zuzuordnen, da durch die Gegenfinanzierung der Arbeitnehmeranteile der Sozialversicherungen Haushalte entlastet werden. Als Nachteil kann dabei jedoch gesehen werden, dass damit niedrige Einkommen weniger als beim Ökobonus entlastet werden, da die Sozialversicherungsbeiträge von niedrigen Einkommen geringer ausfallen.

Allerdings könnten niedrige Einkommen überproportional profitieren, weil sie stärker von Lohn-Einkommen abhängig sind; hohe Einkommen haben höhere andere Einkommensquellen, wie zum Beispiel Kapital-Einkommen. Außerdem sind Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen, zum Beispiel Energieeffizienzmaßnahmen, oft arbeitsintensiver als andere Wirtschaftstätigkeiten (High-Level Commission on Carbon Prices [Hrsg.], 2017, S. 38f), womit eine Verschiebung hin zu arbeitsintensiveren Tätigkeiten die Beschäftigung erhöhen könnte. Dieser mögliche Effekt auf den Beschäftigungsgrad im Sinne der DD der ÖSR ist ein weiterer sozialer Nutzen; ein solcher wird vom Ökobonus nicht erwartet.

Einkommensteuerreformen sind als Maßnahmen zu nennen, die untere Einkommen noch stärker entlasten können. Aber auch die Vergabe von Gutscheinen oder die Senkung von Nahrungsmittelpreisen können so ausgestaltet sein, dass untere Einkommen verstärkt profitieren.

6.5.4 Leitidee 3: Umwelt und gesellschaftliche Transformation

Eine dritte Leitidee adressiert Umweltschutz und gesellschaftliche Transformation. Durch eine derartige Mittelverwendung soll zusätzlicher Umwelt- und insbesondere Klimaschutz betrieben und die Transformation hin zu einer umwelt- und klimafreundlicheren Gesellschaft unterstützt werden. Mit einem THG-Bepreisungssystem und Mittelverwendungen gemäß der dritten Leitidee läge der Fokus damit sowohl bei der Erhebungs- als auch bei der Ausgabenseite auf Umwelt- bzw. Transformationsthemen; Belastungen von Unternehmen oder Haushalten hingegen würden nicht kompensiert. In der angewandten Politikberatung weisen die Maßnahmen der dritten Leitidee dennoch eine hohe Popularität auf. Die von Lange untersuchten konkreten Varianten von THG-Bepreisungen haben einen Schwerpunkt in diesem Feld (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 14).

Als Beispiele sind Infrastrukturprojekte, wie etwa die Förderung der Stromnetze und die Investition in Bahntrassen, oder die Finanzierung emissionsärmerer Technologien in der Grundstoffindustrie zu nennen. Naturschutzmaßnahmen wie die Fördermaßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt sind ebenfalls hier zu verorten.

6.5.5 Fazit Aufkommensverwendung

Konkrete Reformvorschläge zeigen, dass in der Anwendung in der Regel eine Kombination verschiedener Mittelverwendungen anvisiert wird (vgl. CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019; Zerkawy & Fiedler, 2019). Die Ziele der jeweiligen Leitideen können dann nicht immer vollständig verfolgt werden. Darüber hinaus ist ein Fokus auf besonders betroffene Gruppen vorzufinden, so weisen bspw. alle von Zerkawy und Fiedler (2019, S. 13) aufgegriffenen Konzepte Entlastungsmechanismen auf.

Überdies ist deutlich geworden, dass das Aufkommen der CO₂-Bepreisung grundsätzlich zwei Einsatzmöglichkeiten hat: Einerseits können die Mittel zur Reduktion von anderen Staatseinnahmen eingesetzt werden (Umsatzkomponente), andererseits können die Mittel für andere Projekte ausgegeben werden (Ausgabenkomponente). Die High-Level Commission on Carbon Prices on Carbon Prices (2017, S. 37) legt eine Mischung daraus nahe.

Die ÖSR ist teilweise der ersten und teilweise der zweiten Leitidee zuzuordnen, womit eine Kombination der Berücksichtigung von ökonomischen und

sozialen Gesichtspunkten vorliegt. Für die Praxis legt die Vielfalt der aufgeführten Konzepte nahe, dass eine diversifiziertere Kombination der Mittelverwendung, als sie bei der ÖSR vorliegt, sich als sinnvoll erweisen könnte.

6.6 Begleitende Maßnahmen

6.6.1 Überblick

Lange (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019) formuliert im Vergleich verschiedener Konzeptionen Kategorien von Begleitmaßnahmen, die parallel zur Reform eingeführt werden, um unerwünschte Nebeneffekte einer Reform zu Bepreisung von Treibhausgasen zu vermeiden. Diese Begleitmaßnahmen sind (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 31–34):

1. Für Unternehmen
2. Für einkommensschwache Haushalte
3. Für Pendelnde
4. Bei Gebäudeeigentümer:innen
5. Abschaffung von Subventionen
6. Strommarktdesign generell

Zum einen betreffen diese Maßnahmen damit Unternehmen (Kategorie 1) oder Personengruppen (Kategorien 2 und 3), die unter Umständen besonders betroffen sind. Auf diese zwei Gruppierungen wird aufgrund der Ausrichtung der vorliegenden Untersuchung im Folgenden genauer eingegangen: Zunächst mit zwei Lösungsansätzen für die Probleme der Unternehmen; diese sind Ausnahmeregelungen für besonders belastete Unternehmen sowie ein Grenzausgleichsmechanismus. Anschließend wird die Möglichkeit der Unterstützung spezifischer Personengruppen oder Haushalte thematisiert, die besonders betroffen sind.

Zum anderen werden im obigen Kategoriensystem Strukturen angesprochen, die bislang unerwünschte Anreize setzen (Kategorien 4–6). Diese sind nachfolgend als weitere Maßnahmen zusammengefasst.

6.6.2 Ausnahmeregelungen von Unternehmen

Der Leitidee 1 *Ökonomie* der Ausgabenverwendung folgend, besteht durch eine Bepreisung von Treibhausgasen ähnlich wie durch andere Umweltsteuern die Gefahr, dass Unternehmen des Inlands gegenüber Unternehmen des Auslands schlechter gestellt werden. Dadurch kann der Standortfaktor geschwächt werden

und Unternehmen den Anreiz bekommen, die bspw. CO₂-intensive Produktion ins Ausland zu verlagern (Carbon Leakage). Ein zentraler Ansatz bei der Entlastung von Unternehmen sind gesetzlich verankerte Ausnahmeregelungen.

Diese geben an, unter welchen Umständen Unternehmen ansonsten geltende Steuern oder Abgaben nicht zahlen müssen. Das Grundproblem dabei ist, dass es den beabsichtigten Zweck der Steuer oder Abgabe unterläuft, denn für diese Unternehmen gibt es keine zusätzlichen Anreize, Treibhausgase zu vermeiden. Darüber hinaus werden damit die Anreize für weitere Industriezweige geschaffen, den Gesetzgeber dahingehend zu beeinflussen, dass auch ihr Wirtschaftszweig unter die Ausnahmeregelung fallen sollte. Beispielsweise ist die Ausdehnung der Ausnahmeregelungen der *Erneuerbare-Energien-Gesetz-Umlage* (EEG-Umlage) auf den Strompreis ein Indiz dafür: Viele stromintensive Unternehmen sind von der EEG-Umlage befreit. Trotz Kritik und eines großen Anteils nicht im internationalen Wettbewerb stehender Unternehmen, hat diese Befreiung mit der Novelle von 2012 weiter zugenommen.⁴² Dieses Problem kann auch an den Ausnahmeregelungen des EU-Emissionshandels exemplifiziert werden. Die Europäische Kommission schreibt:

Under the EU emissions trading system (EU ETS), industrial installations considered to be at significant risk of carbon leakage receive special treatment to support their competitiveness.⁴³

Unternehmen wurden in Phase 3 (2013–2020) des EU ETS als signifikant gefährdet verstanden, wenn die beiden folgenden Kriterien erfüllt waren: a) die zusätzlichen Kosten durch das Emissionshandelssystem erhöhen die Produktionskosten (als Anteil an der Bruttowertschöpfung) um mindestens 5% und b) die Handelsintensität des Sektors mit Nicht-EU-Ländern (Einfuhren und Ausfuhren) übersteigen 10%.⁴⁴ Sektoren, die dieser signifikanten Gefahr des Carbon Leakage ausgesetzt waren, wurden zu 100% kostenlose Zertifikate zugewiesen. In einem Beschluss der Europäischen Kommission über die Carbon Leakage-Liste für 2021 bis 2030 wird das Ausmaß der Ausnahmen greifbar: „The carbon leakage list identifies 63 sectors and sub-sectors covering about

⁴² Siehe Pressemitteilung aus dem Webarchiv des deutschen Bundestags: https://www.bundestag.de/webarchiv/presse/hib/2013_02/02-252480 (27.03.2024) und Artikel des pv magazines vom 11.01.2013: <https://www.pv-magazine.de/2013/01/11/zahl-der-eeg-umlage-befreiten-firmen-stark-gestiegen/> (27.03.2024).

⁴³ Europäischen Kommission zum Thema Carbon Leakage: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage_en (27.03.2024).

⁴⁴ Ibidem.

94% of industrial emissions that have satisfied the criteria laid down in the revised EU ETS Directive.“⁴⁵

Um dieses Problem zu entschärfen, wurden für Phase 4 (2021–2030) des EU ETS „sectors at the highest risk“ zusätzlich unterschieden, die weiterhin von kostenlosen Zertifikaten profitieren sollen, wobei die kostenlose Zuteilung für alle anderen gefährdeten Sektoren langfristig abgebaut werden sollen.⁴⁶

6.6.3 Grenzausgleichsmechanismus

Die Idee des Grenzausgleichsmechanismus⁴⁷ beruht darauf, die im Inland bzw. innerhalb der EU entstehenden Zusatzkosten beim Grenzübertritt von Gütern zu kompensieren. Das bedeutet zweierlei: erstens einen Preisaufschlag auf zu importierende Güter, wenn davon ausgegangen wird, dass die im Inland bereits berücksichtigten externen Kosten noch nicht bepreist wurden; und zweitens, zumindest theoretisch denkbar, wenn auch weniger in der Debatte, eine Negativabgabe auf zu exportierende Güter, damit es keine Wettbewerbsverzerrung auf ausländischen Märkten gibt, wenn davon ausgegangen wird, dass im Ausland die externen Kosten nicht bepreist wurden.

Im Koalitionsvertrag von SPD, Grüne und FDP der Bundesregierung von 2021–2025 wird dieser Ausgleich als „Border Adjustment Mechanism“ aufgegriffen und unterstützt (SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021, S. 64). Auch auf EU-Ebene fand dieser Mechanismus Anklang. Im Rahmen des European Green Deals schlug die EU im Jahr 2021 ein *CO₂-Grenzausgleichssystem* (engl. „Carbon Border Adjustment Mechanism“, CBAM) vor.⁴⁸

Im Rahmen dieser Bemühungen soll das CO₂-Grenzausgleichssystem (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) als Klimaschutzmaßnahme das Risiko der Verlagerung von CO₂-Emissionen verhindern und die ehrgeizigen Klima-

⁴⁵ Pressemitteilung der Europäischen Kommission vom 15.02.2019: https://ec.europa.eu/clima/news-your-voice/news/adoption-delegated-decision-carbon-leakage-list-2021-2030-2019-02-15_de (27.02.2024).

⁴⁶ Europäischen Kommission zum Thema Carbon Leakage: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage_en (27.02.2024).

⁴⁷ Auch unter den Begriffen Grenzsteuerausgleich oder Grenzausgleichssteuer bekannt, allerdings muss es sich nicht zwangsläufig um eine Steuer handeln.

⁴⁸ Fragen und Antworten zum Vorschlag des Grenzausgleichssystems der Europäischen Kommission: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_21_3661 (27.02.2024).

schutzziele der EU unterstützen, gleichzeitig aber die Vereinbarkeit mit den WTO-Regeln sicherstellen. (Europäische Kommission, 2021)⁴⁹

Der CBAM soll ab 2026 gemäß der Europäischen Kommission (2024) folgende Ausgestaltung haben:

As from the entry into force of the definitive period of CBAM in 2026, EU importers will buy CBAM certificates corresponding to the carbon price that would have been paid, had the goods been produced under the EU's carbon pricing rules.

Conversely, if a non-EU producer has already paid a carbon price in a third country on the embedded emissions for the production of the imported goods, the corresponding cost can be fully deducted from the CBAM obligation. (Europäische Kommission [Hrsg.], 2024, S. 8)

Der Geltungsbereich ist dabei zunächst auf Zement, Eisen und Stahl, Aluminium, Düngemittel, Strom und Wasserstoff beschränkt, welche bei vollständiger Einführung über 50% der Emissionen der unter das EU ETS fallenden Industriesektoren ausmachen (Europäische Kommission [Hrsg.], 2024, S. 9f). Die Begrenzung des CO₂-Grenzausgleichsmechanismus auf diese Bereiche wird sowohl mit administrativer Machbarkeit als auch damit begründet, dass diese Sektoren besonders von der CO₂-Bepreisung betroffen sind.

Das Grenzausgleichssystem gilt als eines der umstrittensten Elemente des Fit-for-55-Pakets der Europäischen Kommission.⁵⁰ Inwieweit der Mechanismus in den nächsten Jahren erfolgreich implementiert werden kann, entscheidet sich Gore (2021) zufolge auch an der Frage, ob Hersteller aus Ländern mit niedrigerem Einkommen und klimatisch vulnerable Länder benachteiligt werden.⁵¹ Catrain et al. (2021) halten eine internationale Regelung in absehbarer Zukunft für unwahrscheinlich, erwarten Prüfungen der Handelspartner und sehen ein hohes Risiko für Handelskonflikte.⁵²

49 Fragen und Antworten zum Vorschlag des Grenzausgleichssystems der Europäischen Kommission: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_21_3661 (27.02.2024).

50 Analyse von Gore: <https://eu.boell.org/en/2021/09/13/proposal-carbon-border-adjustment-mechanism-fails-ambition-and-equity-tests> (27.02.2024).

51 Ibidem.

52 Onlineartikel von Catrain et al. (2021) auf Engage von Hogan Lovells: <https://www.engage.hoganlovells.com/knowledgeservices/news/the-eu-carbon-border-adjustment-mechanism-inspiration-for-others-or-pandoras-box> (27.02.2024).

6.6.4 Unterstützung spezifischer Personengruppen oder Haushalte

In der Regel geht es bei der Unterstützung der Haushalte nicht um pauschale Maßnahmen, sondern darum, besonders betroffene Haushalte zu kompensieren, und ggf. darum, in diesem Zuge Umweltpolitik mit normativen Vorstellungen der Sozialpolitik zu kombinieren. Die Pro-Kopf-Rückzahlung des Aufkommens ist bei einer CO₂-Bepreisung auch zu den Maßnahmen zu zählen, die Haushalte mit niedrigem Einkommen tendenziell entlasten, da niedrige Einkommen im Mittel weniger von den erhöhten Ausgaben belastet werden (Held, 2019; High-Level Commission on Carbon Prices [Hrsg.], 2017). Zerkawy und Fiedler (2019, S. 19) nennen außerdem als Maßnahmen zur Unterstützung geringer Einkommen die Anpassung der Grundsicherung für Transferleistungsempfänger, die Ergänzung des Wohngelds um Energiekosten sowie die gezielte Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen.

Menschen mit großen Wegstrecken zur Arbeitsstätte sind von einer Erhöhung der CO₂-Bepreisung besonders betroffen. Es wurde bereits auf die durchschnittlich geringere absolute Belastung durch THG-Bepreisungen von niedrigen Einkommen hingewiesen, so etwa bei der Erhöhung der Energiepreise auf Gas, Heizöl und Kraftstoffe (Zerkawy & Fiedler, 2019, S. 19). Niedrige Einkommen können daher durch eine Pro-Kopf-Kompensation netto entlastet werden. Dennoch gibt es Einzelfälle, die von diesen Durchschnittswerten abweichen und damit besonders betroffen sind. Pendler:innen mit niedrigem Einkommen können bspw. hohe Ausgaben für Kraftstoffe haben und damit auch stark von einer Erhöhung der Treibstoffpreise betroffen sein. Aus diesem Grund wird versucht, Pendler:innen zum Beispiel durch eine erhöhte Pendlerpauschale zu berücksichtigen. Das Dilemma dieser Lösung ist allerdings, dass damit genau der als Anreiz gedachte Effekt wegfällt, über die Bepreisung eine Lenkungswirkung zu erzielen.

6.6.5 Weitere begleitende Maßnahmen

Ein großer Teil der THG-Emissionen stammt aus dem Gebäudesektor. Aus diesem Grund können gezielte Energieeffizienzmaßnahmen zur Reduktion der Emissionen im Gebäudebereich sinnvoll sein. Beispiele haben eine lange Tradition:

In Deutschland sind an dieser Stelle staatliche Förderkredite zur Sanierung⁵³ sowie zum Bau von Gebäuden⁵⁴ zu nennen.

Im Gebäudebereich gibt es eine Vielzahl von Ansätzen (vgl. Agora Energiewende [Hrsg.], 2018; BEE [Hrsg.], 2019; Reuster et al., 2017). Als Grundproblem ist insbesondere das Vermieter-Mieter-Dilemma zu nennen (vgl. CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 33): Für Vermieter:innen stellen Energiekosten lediglich einen Durchlaufposten dar, womit es keine Anreize für Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich der Gebäudehülle oder des Heizungssystems gibt. Mit dem *Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz* (CO₂KostAufG), das zum 01.01.2023 in Kraft trat, wurde beschlossen, die CO₂-Kosten grundsätzlich auf Vermieter:innen und Mieter:innen aufzuteilen, sodass Vermieter:innen allein dadurch Anreize zur Sanierung bzw. Erneuerung der Heizungsanlage haben. Je nach energetischem Zustand eines Gebäudes ist die Aufteilung vorzunehmen.⁵⁵

Als weitere Begleitmaßnahmen nennt Lange (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 34) die Abschaffung von Subventionen bzw. indirekten Entlastungen, wie etwa die Ausnahmeregelungen bei der EEG-Umlage auf den Strompreis. Gemäß des *Kieler Subventionsberichts* von 2021, herausgegeben vom Institut für Weltwirtschaft (Laaser et al., 2021), steigen die Finanzhilfen des Bundes seit 2014 und befanden sich im letzten betrachteten Jahr 2021 auf einem Höchststand. Laaser et al. (2021, S. 3) schreiben, der Grund für die „Zunahme der branchenübergreifenden Hilfen ist die Aufstockung der Umweltsubventionen im Rahmen des Zukunftspakets der Bundesregierung“. Im Jahr 2020 kommen demzufolge über 85% der Bruttozuwächse aus dem Bereich Umwelt.⁵⁶ Im Kieler Subventionsbericht von 2023 wird erkennbar, dass 2022 und 2023 jeweils weitere neue Höchststände in absoluten Zahlen darstellten (Laaser et al., 2023). In diesen Fällen sind die Ursachen allerdings nicht im Bereich Umwelt zu finden, sondern liegen viel mehr im Krieg in der Ukraine und der Energiepreiserhöhungen begründet.

⁵³ Siehe Angebote der Förderbank Kreditanstalt für Wiederaufbau zur Sanierung von Gebäuden: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/Energieeffizient-sanieren> (27.03.2024).

⁵⁴ Siehe Angebote der Förderbank Kreditanstalt für Wiederaufbau zum Bau von Gebäuden: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Bau-eines-Hauses/> (27.03.2024).

⁵⁵ Onlinezugang zum Kohlendioxidkostenaufteilungsgesetz (CO₂KostAufG): <https://www.gesetze-im-internet.de/co2kostaufg/BJNR215400022.html> (08.02.2025).

⁵⁶ Im Kieler Subventionsbericht von 2018 (Laaser & Rosenschon, 2018, S. 21ff) sind kritische Subventionen auch aus dem Umweltbereich bewertet, welche Anregungen für weitere Korrekturen geben.

Darüber hinaus wird es als sinnvoll erachtet, die Flexibilität der Energieerzeuger im Strommarktdesign zu berücksichtigen und positive Anreize dafür zu setzen. Lange (CO₂ Abgabe e.V. [Hrsg.], 2019, S. 34) kritisiert, dass weder die Entfernungen zwischen Erzeuger:innen und Verbraucher:innen noch die Art der Stromerzeugung, ob erneuerbar oder konventionell, beachtet werden.

6.7 Höhe der THG-Bepreisung

Es gibt mehrere Ansätze, einen Preis für THG-Emissionen zu bestimmen. In diesem Kapitel werden unterschiedliche Varianten vorgestellt und ein Rahmen für das Finden geeigneter Preise gesetzt, der auch für die nachfolgenden Modellierungskapitel von Nutzen sein wird. Die Idee ist in allen Fällen, dass Treibhausgase verteuert werden, um damit Anreize für weniger Emissionen zu setzen und um zusätzliche Steuereinkommen zu generieren. Zunächst wird auf die Unterschiede zweier vom *Umweltbundesamts* (UBA) verfolgten Ansätze eingegangen. Anschließend werden die zentralen Ansätze des IPCC gemäß eines Spezialberichtes aus dem Jahr 2018 ausgeführt und in Bezug gesetzt.

6.7.1 Ansätze des Umweltbundesamts

Seit Beginn der 1990er Jahren gibt es Bestrebungen auf EU-Ebene, die methodischen Grundlagen zur Umweltschadensberechnung zu verbessern. Diese Aktivitäten waren allerdings in den letzten Jahren rückläufig (UBA [Hrsg.], 2018, S. 13). Ausgleichend gibt es jedoch verstetigte Bemühungen seitens des UBA, die Methodik zur Berechnung von Umweltschadenskosten fortzuführen und weiterzuentwickeln (UBA [Hrsg.], 2007, 2012, 2018, 2020). Grundsätzlich ist bei der Höhe der ermittelten Schadenskosten eine hohe Varianz beobachtbar. Diese ist laut UBA auf eine Vielzahl von Gründen zurückzuführen (UBA [Hrsg.], 2018, S. 13f): Es werden unterschiedliche Schadensarten berücksichtigt, die Wirkungen der Maßnahmen werden ungleich bewertet (teilweise werden Schäden, teilweise Vermeidungskosten berechnet), mit Unsicherheiten und Systemgrenzen wird verschieden umgegangen und die normativen Annahmen sind abweichend. So kann zum Beispiel entscheidend sein, welche Zeitpräferenzrate (Teil der sozialen Diskontrate) gewählt wird oder ob *Equity Weighting* einbezogen wird (die Berücksichtigung von Einkommensunterschieden der Länder). Vor diesem Hintergrund bieten die Publikationen des UBA methodische Orientierung. Zur Ermittlung von Umweltschadenskosten empfehlen die

Autor:innen insbesondere den nachfolgend aufgegriffenen *Wirkungspfadansatz* sowie den *Standard-Preis-Ansatz*.

Für den Fall einer hohen Datenverfügbarkeit empfiehlt das UBA zur Berechnung der Umweltschadenskosten bzw. der Grenzkosten der Umweltnutzung den Wirkungspfadansatz (UBA [Hrsg.], 2018, S. 40–45). Dieser wurde im Zuge des Forschungsprogramms *ExternE* der EU entwickelt und stellt „den derzeit international präferierten Ansatz zur Ermittlung von Umweltkosten dar“ (UBA [Hrsg.], 2018, S. 42). Dabei werden Schäden und Risiken bewertet. Diese Bewertung findet an den Endpunkten statt, was bedeutet, dass Umwelteinflüsse wie THG-Emissionen nicht direkt bewertet werden, dagegen aber die Folgewirkungen, die THG-Emissionen haben. Beispielsweise können bei einem Kraftwerksbau die entstehenden Schäden am Ende summiert und daran anschließend die marginalen Schäden pro kWh erzeugtem Strom berechnet werden.

Als zweitbeste Lösung wird der Standard-Preis-Ansatz empfohlen, für den neben der Datenverfügbarkeit auch weniger Kenntnisse über die Wirkzusammenhänge erforderlich sind und damit für die Praxis leichter einsetzbar ist (UBA [Hrsg.], 2018, S. 43–45). Der Standard-Preis-Ansatz benötigt ein normatives Ziel als Ausgangspunkt. Dieser kann zum Beispiel ein bestimmtes Niveau an THG-Emissionen im Jahr sein. Auf diesen sogenannten Standard aufbauend, werden Maßnahmen gewählt, die dieses Ziel möglichst exakt erreichen. Dem gegenüber steht der sogenannte Preis; das Ergebnis in Form von Kosten bzw. die Schadenvermeidungskosten der gerade erforderlichen Maßnahmen. Über diesen Ansatz werden streng genommen Vermeidungskosten ermittelt, welche nicht mit Schadenskosten gleichzusetzen sind. Sie bilden aber die Größenordnung der erwarteten Schäden ab und können deshalb als zweitbeste Lösung herangezogen werden. Die Idee des Standard-Preis-Ansatzes ist auf Baumol und Oates (1971) zurückzuführen.

Auf Basis dieser Methodenkonvention berechnet das UBA die Schadenskosten von THG-Emissionen (UBA [Hrsg.], 2020). Dafür wird das *Integrated-Assessment-Modell* (IAM) FUND 3.0 herangezogen, welches unter anderem Anthoff (2007) verwendet.⁵⁷ IAM sind umfassende Modelle, die Aspekte aus mehreren Disziplinen zusammenführen. In der Klimaforschung verknüpfen sie Klimamodelle mit ökonomischen Modellen, um Reaktionen aus dem einen Modellsystem in dem jeweils anderen berücksichtigen zu können. In den Sachstandsberichten des IPCC ab 1988 spielen sie eine entscheidende

⁵⁷ Nähere Informationen zum Modell: <http://www.fund-model.org/> (27.03.2024).

Rolle, so auch im aktuellen und sechsten Sachstandsbericht (siehe Assessment Report 6, AR6, IPCC [Hrsg.], 2021, 2022a, 2022b).

Bei der umfassenden Modellierung wird die Zeitpräferenzrate von 1% verwendet, welche als Proxy für die praktische Politikberatung beschrieben wird (UBA [Hrsg.], 2020, S. 8). Berücksichtigt wird der Zeithorizont von 100 Jahren für die Wirkung der verschiedenen Treibhausgase; weitere zentrale Annahmen des Modells fassen die Autor:innen des UBA zusammen (UBA [Hrsg.], 2020, S. 8f). Es gibt ein breites Spektrum an Schätzergebnissen für die Schadenskosten von CO₂-Äquivalenten (in der Fachliteratur üblicherweise als *Social Cost of Carbon* definiert), wobei der Schadenskostenansatz als zunehmend „robuster“ beschrieben wird (UBA [Hrsg.], 2020, S. 9).

Das Ergebnis unter diesen Annahmen für die Kosten einer Tonne Emissionen von CO₂-Äquivalenten für 2020 ist 195 EUR bei einer Zeitpräferenzrate von 1%; für die Zeitpräferenzrate von 0% lägen sie bei 680 EUR.

6.7.2 Ansätze des IPCC

Im Spezialbericht des IPCC wird die Methodik des IPCC-Reports erläutert (Rogelj et al., 2018, S. 150–152). Dabei werden zwei Ansätze differenziert, welche beide, wie die Kalkulationen des UBA, auf IAM basieren. Ermittelt werden in beiden Fällen die *Social Cost of Carbon* (SCC), welche als Nettogegenwartswert des Schadens einer weiteren emittierten Tonne CO₂ definiert sind. Diese Ansätze sind zum einen die *Cost-Benefit-Analyse* (CBA), zum anderen die *Cost-Effectiveness-Analyse* (CEA). Beide werden im Folgenden erklärt.

Bei der Cost-Benefit-Analyse wird der optimale Emissionspfad gesucht, der sich als Minimum der Kosten abzüglich der Schäden durch die Emissionen ergibt (Rogelj et al., 2018, S. 150). Im zugrundeliegenden IAM werden eine Vielzahl von Werturteilen implizit getroffen, so insbesondere in der sozialen Wohlfahrtsfunktion. Viele Annahmen beeinflussen daher den optimalen Pfad und damit die Höhe der SCC. Ein prominentes Beispiel für die Verwendung dieses Ansatzes mithilfe von IAM ist das DICE-Modell von Nordhaus (Nordhaus, 1994, 2014, 2018; Nordhaus & Sztorc, 2013; Nordhaus & Yang, 1996). Der *Stern-Report* (Stern, 2007) basiert ebenfalls auf einem CBA-IAM, dem PAGE-Modell. Beide werden im Folgenden exemplarisch aufgegriffen, um deren Charakteristika zu erläutern. Beide Modelle haben als ökonomisches Grundgerüst das *Standard Neo-classical Growth-Modell* und beide nutzen das

Konzept der SCC, um CO₂-Emissionen einen Preis zu geben. Der Lösungspfad ergibt sich gemäß den Mechanismen der Wohlfahrtsökonomik: Entspricht der Preis für THG- bzw. CO₂-Emissionen den Kosten der Emissionen dieser Gase, das heißt den SCC, handelt es sich um die effiziente Lösung.

Pissarskoi unterscheidet die verschiedenen Annahmen dieser IAM in drei Kategorien: sozio-ökologische, klimatologische und sozio-ökonomische Annahmen (Pissarskoi, 2012, 2016). Dabei wird die Wahl der sozio-ökonomischen Annahmen besonders kontrovers diskutiert, weil kleine Variationen große Veränderungen im Ergebnis induzieren können. Zwei Annahmen der Nutzenfunktion sind entscheidend und demnach strittig: Zum einen die Höhe der Zeitpräferenzrate, die ein wesentlicher Baustein der sozialen Diskontrate ist, und zum anderen die Höhe der Konsumelastizität, welche unter anderem die Konsumglättung bzw. die Risikoaversion beschreibt. Die Strukturen der Nutzenfunktionen von Nordhaus und Stern sind sehr ähnlich, doch es gibt Unterschiede in der Höhe der genannten Parameter: Bei der Zeitpräferenzrate ist der Wertebereich von 0,1% (Stern, 2007) bis 3,0% (zum Beispiel Nordhaus & Boyer, 1999), bei der Konsumelastizität reichen die Unterschiede von 1,0% (Stern, 2007) bis 1,45% (zum Beispiel Nordhaus & Sztorc, 2013).

Anthoff et al. (2009) belegen mit einer Sensitivitätsanalyse, dass kleine Variationen der Parameter zu großen Unterschieden in den Ergebnissen führen. Mithilfe des von ihnen verwendeten IAM (FUND-Modell) variieren sie sowohl die Zeitpräferenzrate als auch die Konsumelastizität im Bereich von 0,0–3,0% und erhalten bei sonst gleichen Annahmen Werte von 0–120.000 \$/CO₂e für die SCC.

Ein weiterer im Spezialbericht des IPCC ausgeführter Ansatz ist die Cost-Effectiveness-Analyse (Rogelj et al., 2018, S. 150). Bei dieser werden die Gesamtkosten zur Erreichung eines gegebenen bzw. gewünschten Emissionspfads berechnet. Die oben beschriebenen Bestandteile des Modells existieren auch hier; die Werturteile sind bei diesem Ansatz dagegen hauptsächlich beim ersten Schritt zu finden, nämlich bei der Wahl des angestrebten Klimaziels (Rogelj et al., 2018, S. 150). Die soziale Diskontrate und damit auch die Zeitpräferenzrate nehmen nicht mehr Einfluss auf das Endziel, weil dieses vorab festgelegt wird, sondern nur noch auf den optimalen Pfad, sprich, wann welche Maßnahme als optimal bewertet wird.

6.7.3 Fazit Höhe der THG-Bepreisung

Beim Resümee der beiden vom IPCC ausgeführten Ansätze erscheint die CEA im Vergleich mit der CBA aus mehreren Gründen geeigneter. Mit der Berechnung der SCC anhand des CEA-Ansatzes entscheiden sich auch die Autor:innen des Spezialberichts des IPCC für diesen. Gegen den CBA-Ansatz bzw. für den CEA-Ansatz sprechen verschiedene Argumente. Zunächst werden die Schäden im CBA-Ansatz aus mehreren Gründen tendenziell unterschätzt; Rogelj et al. (2018, S. 151) verweisen auf verschiedene kritische Beiträge (Ackerman & Stanton, 2012; Moore & Diaz, 2015; Revesz et al., 2014; Stern, 2016). Darüber hinaus erscheint es nur schwer möglich, jemals alle externen Effekte zu erfassen, denn ökologische Externalitäten sind ubiquitär (Pearce, 2002, S. 60f).

Auch der Umgang mit normativen Annahmen spricht für den CEA-Ansatz. Diese sind zwar in beiden Ansätzen zu treffen, doch beim CEA-Ansatz sind sie vor allen Dingen zu Beginn zu setzen und ermöglichen damit eine hohe Transparenz. Beim CBA-Ansatz hingegen werden viele Annahmen implizit getroffen und weisen aufgrund der damit einhergehenden Komplexität eine geringere Transparenz auf. Die normativen Zielsetzungen der CEA passen außerdem auf die gesellschaftlichen Gegebenheiten: Die EU sowie Deutschland und andere Nationalstaaten haben politische Ziele verabschiedet, welche als Grundlage für die CEA-Optimierung dienen können.

Schließlich erweist sich das Controlling der Ziele, das über die Dokumentation der emittierten Treibhausgase erfolgen kann, als einfacher. Wenn ein Abweichen von den gesetzten Zielen eintritt, können die Maßnahmen nachjustiert werden – im Zweifel auch ohne Klarheit über die Ursache der Abweichung. Beim CBA-Ansatz dagegen fällt unter Umständen nicht sofort auf, wenn Wirkmechanismen der klimatologischen und ökonomischen Teilmodelle fehlerhaft angenommen werden. Alles in allem ist es sinnvoll, dem Vorgehen der Autor:innen des IPCC-Spezialberichts (Rogelj et al., 2018) zu folgen, und die SCC gemäß des CEA-Ansatzes zu ermitteln.

Das Ergebnis der CEA-Kalkulationen für die SCC ist trotz allem ein breites Spektrum: Für das Jahr 2030 liegen die Werte im Bereich von 15–220 USD₂₀₁₀/t CO_{2e} (beim hohen Zwei-Grad-Ziel) bis 135–6050 USD₂₀₁₀ je t CO_{2e} (beim unter 1,5-Grad-Ziel, Rogelj et al., 2018, S. 152). Das Ergebnis im

Detail stellt sich beim hohen Zwei-Grad-Ziel-Pfad (ohne Abzinsung, in Preisen von 2010) wie folgt dar (Rogelj et al., 2018, S. 152):⁵⁸

- für 2030: 15–220 USD₂₀₁₀/t CO₂e
- für 2050: 45–1.050 USD₂₀₁₀/t CO₂e
- für 2100: 175–2.340 USD₂₀₁₀/t CO₂e

Wohingegen beim anspruchsvollsten Ziel, dem Unter-1,5-Grad-Ziel-Pfad, sich diese Wertebereiche ergeben (ohne Abzinsung, in Preisen von 2010):⁵⁹

- für 2030: 135–6.050 USD₂₀₁₀/t CO₂e
- für 2050: 245–14.300 USD₂₀₁₀/t CO₂e
- für 2100: 690–30.100 USD₂₀₁₀/t CO₂e

Das breite Spektrum begründet sich durch mehrere, unterschiedliche Annahmen. Annahmen über die Investitionskosten und die Einführungsraten der Technologien spielen eine Schlüsselrolle, aber auch die soziale Diskontrate, die zwischen 2–8% angenommen wird (Rogelj et al., 2018, S. 152).

Die Autor:innen des UBA ermittelten aus den Ergebnissen des fünften Sachstandsberichts des IPCC einen Mittelwert, welcher für die SCC bei 182 EUR/t CO₂ liegt; dieser liegt in einer ähnlichen Größenordnung der UBA-eigenen Berechnungen, welche 195 EUR/t CO₂e ergaben (UBA [Hrsg.], 2020, S. 9). Die Autor:innen der Arbeitsgruppe III des sechsten Sachstandsberichts benennen zudem die Kosten für die Entnahme von CO₂ per *Direct Air Carbon Capture and Storage* (DACCS), welches das kostenintensivste CO₂-Entnahme-Verfahren darstellt, im Spektrum von 100–300 USD/t CO₂ (IPCC [Hrsg.], 2022b, S. 47). Auch wenn dieser Ansatz noch keine Marktreife erreicht hat und es verschiedene Kritik an derartigen technologischen Verfahren gibt, sind sie ein weiteres Indiz, dass ein Preis für Treibhausgase vorläufig in diesem Rahmen gesetzt werden kann. Die genannten Richtgrößen dienen in den folgenden Kapiteln daher als Orientierungsrahmen für die Wahl des CO₂- bzw. THG-Preises.

In der Praxis wird bei der wissenschaftlichen Politikberatung teilweise auf den Anspruch verzichtet, den richtigen Reduktionspfad bzw. die richtige Höhe von THG-Preisen zu kennen. So schreiben Bach et al. (2019, S. 3) vom DIW zum Beispiel für den Verkehrssektor: „Die Lenkungswirkung einer CO₂-

⁵⁸ Wobei das hohe Zwei-Grad-Ziel das am wenigsten anspruchsvolle Ziel ist und derartig definiert wird: „Pathways assessed to keep peak warming to below 2°C during the entire 21st century with 50–66% likelihood“ (Rogelj et al., 2018, S. 100).

⁵⁹ Das Unter-1,5-Grad-Ziel wird definiert als: „Pathways limiting peak warming to below 1.5°C during the entire 21st century with 50–66% likelihood“ (Rogelj et al., 2018, S. 100).

Steuer ist unklar.“ Viel mehr wird eine Erhöhung des vorherrschenden Preises gefordert, häufig ohne Angabe eines Zielwertes (Bach et al., 2020, S. 7). Über dieses Verfahren soll die gewünschte Emissionsmenge durch ggf. mehrere Anpassungen des Preises iterativ erreicht werden. So sind die Werte der High-Level Commission on Carbon Prices als Untergrenze zu verstehen. Zur Erreichung der Pariser Ziele seien CO₂-Preise von mindestens 40–80 USD/t CO₂ bis 2020 und 50–100 USD/t CO₂ bis 2030 notwendig (High-Level Commission on Carbon Prices [Hrsg.], 2017, S. 3).

7 Forschungsstand

7.1 Diskurs in Deutschland

7.1.1 Historie des deutschen Diskurses

Die deutsche Debatte ist vor allem mit Blick auf die Historie der Debatte in Deutschland sowie die anknüpfende Umsetzung relevant und darzulegen, da es im deutschen wissenschaftlichen Diskurs enge Verknüpfungen zur Reform von 1999–2003 wie auch zur politischen Debatte in Deutschland gibt. Zur Darstellung des allgemeinen aktuellen Forschungsstandes ist die Beschränkung auf Deutschland allein allerdings nicht zielführend und wird beim internationalen Diskurs im Folgekapitel nicht weiterverfolgt. Das Konzept der ÖSR, welches neben der Einführung oder Erhöhung einer Umweltbepreisung eine gleichzeitige Entlastung der Arbeit vorsieht, entstand erheblich nach der grundlegenden Idee der Internalisierung externer Umweltkosten durch Steuern (vgl. Pigou, 1920). Unter anderem mit Tullocks Artikel zu *Excess Benefit* (1967) wurden bereits erste internationale Beiträge genannt, die im Rahmen dieses Ideenspektrums zu verorten sind. In Deutschland keimte die Debatte Ende der 1970er und Anfang der 1980er Jahre mit Beiträgen der interdisziplinären Arbeitsgruppe um Binswanger, Geissberger und Ginsburg mit dem *NAWU-Report: Wege aus der Wohlstandsfalle* (Binswanger et al., 1978) und von Binswanger, Frisch und Nutzinger mit *Arbeit ohne Umweltzerstörung: Strategien einer neuen Wirtschaftspolitik* (Binswanger et al., 1983) auf. Reiche und Krebs (1999) untersuchten die verschiedenen Facetten des Diskurses zur ÖSR bis zum Jahr 1999, und leisten unter anderem eine Typologisierung der deutschen Debatte, die Identifikation der Hauptakteure des Diskurses und eine Analyse der politischen Entscheidungen (inkl. der Bundestagswahl 1998, den darauffolgenden Debatten, des Koalitionsvertrags sowie des ersten Gesetzes von 1999). Demnach wurde das Thema der ÖSR ab Mitte der 1980er Jahre in der Öffentlichkeit wahrgenommen und diskutiert, unter anderem durch Beiträge von Springmann (1986) sowie von Gretschnann und Voelzkow (1986), die nicht nur eine starke Verbindung zur Arbeit hergestellt haben, sondern denen es gelang auch, „die Sprache und Intension der Umweltökonominnen zu popularisieren“ (Reiche & Krebs, 1999, S. 29), etwa durch die Ausdrücke „ökologische Wahrheit von Preisen“ und „Faktor Arbeit entlasten“.

Mehrere wissenschaftliche Arbeiten aus dieser Zeit beziehen Position, sprechen sich für eine solche Reform aus und tragen mitunter eine erkennbar

normative Handschrift. An dieser Stelle ist vor allem Ernst Ulrich von Weizsäcker zu nennen, der als damaliger Präsident des Wuppertal Instituts (1991–2000) die wissenschaftliche und politische Diskussion durch mehrere Werke anschoß; unter anderem durch die Veröffentlichungen *Erdpolitik: ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt* (Weizsäcker, 1989), *Faktor vier – Doppelter Wohlstand, halbiertes Naturverbrauch* (Weizsäcker et al., 1995) und *Der Weg zur ökologischen Steuerreform* (Görres et al., 1995). Mit unterschiedlich starkem Fokus thematisieren alle drei Schriften die ÖSR. In englischer Sprache ist auch *Ecological Tax Reform* (von Weizsäcker & Jesinghaus, 1992) anzuführen. Bei diesen wie auch bei anderen Arbeiten aus dieser Zeit ist allerdings ein eher diskursiver Charakter dieser Veröffentlichungen zu benennen, da sie stark argumentativ vorgehen und sich inhaltlich auf andere Studien stützen; so berufen sich bspw. Görres et al. (1995, S. 10) inhaltlich besonders auf die DIW/Greenpeace-Studie (Bach et al., 1995). Die zu erwartenden makroökonomischen Auswirkungen einer ÖSR bewerten sie demzufolge insgesamt als gering (Görres et al., 1995, S. 15). Dennoch sprechen Görres et al. (1995, S. 14) von einer mehrfachen Dividende; neben den wichtigen Umwelt- und fiskalischen Vorteilen wird auch von einem Innovationsschub gesprochen, der durch die Reform eingeleitet würde. Viele Details für die praktische Umsetzung einer solchen Reform werden angesprochen, unter anderem Grenzausgleich als Einfuhrsteuern für ausgewählte energieintensive Produkte (Görres et al., 1995, S. 14ff). Sie werben mittel- bis langfristig für eine Ablösung der Mehrwertsteuer durch Umweltsteuern, „da die Energiesteuer die ökologisch und beschäftigungspolitisch überlegene Variante der indirekten Besteuerung darstellt“ (Görres et al., 1995, S. 15).

In der von Greenpeace beauftragten Studie des DIW (Bach et al., 1995), welche ein zentraler Bezugspunkt dieser Debatte war, wird mithilfe von zwei unabhängigen Modellierungen untersucht, welche Auswirkungen eine nachfolgend skizzierte Reform haben kann: Energiesteuern werden von 1995–2010 sukzessive mit einem realen jährlichen Anstieg um 7% erhöht (Bach et al., 1995, S. 55–59 und S. 88f). Dabei wird eine einheitliche Besteuerung des Primärenergiegehalts angestrebt.⁶⁰ Als durchschnittlicher Grundpreis werden 9 DM/Gi-

⁶⁰ Beim deutschen Mineralölsteuergesetz sowie seinem Nachfolger dem Energiesteuergesetz sind die Energiesteuersätze nicht am Primärenergiegehalt normiert, sondern die Steuersätze unterscheiden sich je nach Verwendung eines Energieträgers. Siehe Energiesteuergesetz: <https://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/> (27.03.2024).

gajoule herangezogen. Für das erste Jahr (1995) bedeutet das eine Primärenergiesteuer in Höhe von 7% von 9 DM/Gigajoule, das sind 0,63 DM/Gigajoule. Unternehmen und private Haushalte werden jeweils kompensiert, sodass sie in Summe keine zusätzlichen Belastungen erfahren. Der größere Teil der Kompensation betrifft Unternehmen, welche über die Finanzierung der Arbeitgeberanteile der Sozialversicherungen entlastet werden. Für die privaten Haushalte wird die pauschale Kompensation pro Kopf (Ökobonus) herangezogen. Dieser Pfad wird mittels zweier Modellierungen simuliert.

Die Preiseffekte werden anhand eines Input-Output-Modells mit 30 Sektoren geschätzt. Damit kann eine Obergrenze der Preisentwicklungen geschätzt werden, da anzunehmen ist, dass es Reaktionen verschiedener Marktteilnehmer:innen auf die erhöhten Preiseffekte gibt, die eine abmildernde Wirkung hätten. Sichtbar werden mit diesem Modell vor allem besonders betroffene Sektoren (die jeweiligen Preissteigerungen im 15. Jahr sind in Klammern notiert): Eisen und Stahl (35%), Zellstoff/Holzschliff/Papier/Pappe (17%), Wasser (17%) und chemische Erzeugnisse/Spalt- und Brutstoffe (13%) (Bach et al., 1995, S. 129). Die Input-Output-Modellierung in Kapitel 11 ist von ähnlicher Struktur.

Darüber hinaus wird ein aggregiertes makroökonomisches, ökonometrisches Simulationsmodell verwendet, welches nicht genauer benannt wird („Version des kurzfristigen Modells der Wirtschaftsforschungsinstitute“, Bach et al., 1995, S. 134). Dieses besteht aus 49 stochastischen Gleichungen sowie 26 exogenen Variablen und ist auf Grundlage vierteljährlicher Daten aus der *Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung* (VGR) aus den Jahren 1983–1992 für Westdeutschland geschätzt. Beschäftigung ist als relevanter Forschungsaspekt endogen. Das Ergebnis dieser Simulation ist eine geringfügig schlechtere Entwicklung des BIP gegenüber dem Referenzszenario (minus 0,2% bis 2005), dafür konnte die Beschäftigung steigen (560.000 Stellen oder Anstieg um 2,1% von 1995 bis 2005).

7.1.2 Forschungsbeiträge zur ökologischen Steuerreform 1999–2003 in Deutschland

Im Zusammenhang mit der umgesetzten ÖSR von 1999–2003 in Deutschland entstanden mehrere wissenschaftliche Beiträge (Bach et al., 1994, 2001, 2002; Bach & Kohlhaas, 1999; Kohlhaas, 2005; Lehr et al., 2012; Ludewig et al., 2010; Reiche & Krebs, 1999). Hinter den meisten im vorherigen Unterkapitel zitierten Publikationen stand die empirische Validierung durch Modellierungen nicht im Fokus.

Mit der begleitenden Forschung wurde dieses Manko behoben, zu nennen sind insbesondere die Beiträge des DIW mit Sitz in Berlin, das die Reformbemühungen mit mehreren Forschungsarbeiten begleitete (Bach et al., 2001, 2002; Bach & Kohlhaas, 1999). Bach et al. (2002) untersuchten die Effekte auf den Arbeitsmarkt wie auch den Energieverbrauch bzw. auf CO₂-Emissionen und bewerteten sie aus ökologischen, ökonomischen sowie verteilungspolitischen Perspektiven. Dafür zogen die Autor:innen zwei verschiedene Simulationsmodelle heran: Zum einen das Panta-Rhei-Modell, ein multisektorales ökonometrisches Simulations- und Prognosemodell, welches auf sektoralen Input-Output-Tabellen aufbaut, und zum anderen das LEAN-Modell, ein zweiregionales empirisches allgemeines Gleichgewichtsmodell (Deutschland und der Rest der Europäischen Union), welches einen Schwerpunkt auf Energiemärkte aufweist.⁶¹ Mit der Wahl dieser methodologisch sehr unterschiedlichen Ansätze sollte die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse sichergestellt werden (Bach et al., 2002, S. 804).

Die DD sehen Bach et al. (2002, S. 803) in schwacher Form bestätigt, da CO₂-Emissionen reduziert werden konnten und Arbeitsplätze geschaffen wurden. Zugleich seien die Effekte auf das Wachstum des BIP sehr gering und negative Einkommenseffekte größtenteils unbegründet. Sie halten fest, dass in der mittleren Frist je nach Simulation 2–3% der CO₂-Emissionen reduziert werden konnten, während bis 2010 durch die Reform bis zu 250.000 Arbeitsplätze hätten geschaffen werden können, so die damalige Prognose (Bach et al., 2002, S. 806f). In einer Expost-Berechnung ermittelten Lehr et al. (2012, S. 20) einen Beschäftigungseffekt in Höhe von 114.000, ebenfalls anhand des Panta-Rhei-Modells, welches auch Bach et al. (2002) heranzogen.

Eine Studie von Steiner und Cludius (2010, S. 2) zeigt in einer Ex-post-Analyse über Preiselastizitäten der Verkehrsnachfrage in Deutschland auf der Basis von Haushaltsdaten, dass Preiserhöhungen auf die gefahrenen Kilometer langfristig einen Effekt haben, was im Umkehrschluss bedeutet, dass die ÖSR zur Umweltentlastung im Verkehr beigetragen hat.

Ludewig et al. (2010, S. 16ff) bringen darüber hinaus weitere Erfolge mit der ÖSR in Verbindung, wobei nicht immer ein kausaler Zusammenhang zugeschrieben wird. Darunter unter anderem: die erstmalige Reduktion des Benzinverbrauchs seit Bestehen der Bundesrepublik Deutschland, den Rückgang des Kraftstoffverbrauchs seit 2000 insgesamt und die Zunahme der Personen im öf-

⁶¹ Siehe Abschnitt 4.3.2.1 zur Erläuterung der Modelltypologien.

fentlichen Personenverkehr bei gleichzeitiger Abnahme der Personen im motorisierten Individualverkehr. Darüber hinaus argumentieren sie, dass ohne die Reform die Rentenversicherungsbeiträge im Jahr 2003 1,7% höher gewesen wären. Abbildung 5 zeigt die Sätze der Sozialversicherungen seit 1970 und offenbart eine große Kontinuität. Die kontinuierliche Kurve der Rentenversicherungsbeiträge hätte ohne die Reform einen anderen Verlauf genommen.

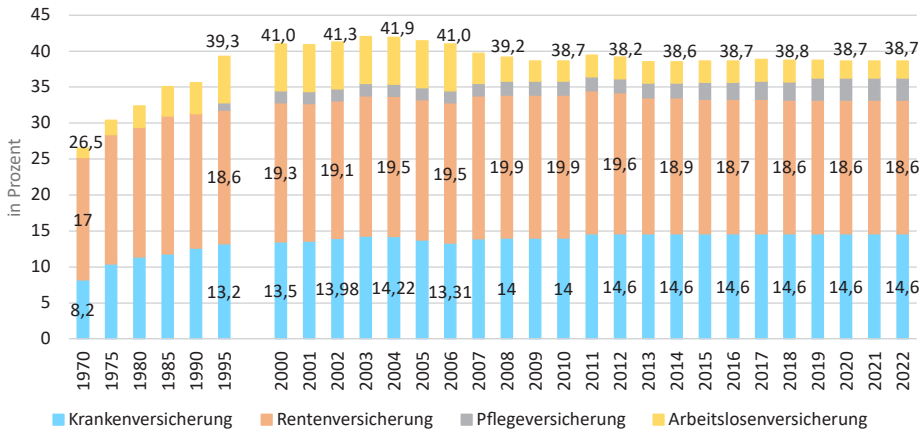


Abbildung 5: Entwicklung der Sozialversicherungsbeiträge seit 1970

In der gleichen Legislaturperiode wurde das ab 01.04.2000 geltende EEG verabschiedet, welches das bisherige Stromspeisungsgesetz ablöste und den Ausbau der erneuerbaren Energien wesentlich gefördert hat. Dieses Gesetz impliziert keine Steuerverschiebung und steht nicht im Zusammenhang mit der ÖSR, sodass es in den oben genannten Berechnungen folgerichtig nicht zur ÖSR gezählt wurde.

Mithilfe des Potsdam-Mikro-Simulations-Modells untersuchten Bach et al. (2002) auch die distributiven Effekte einer Reform, die sich an der realen ökologischen Reform in Deutschland ab 1999 orientiert. Dieses Modell kann mit linearer Programmierung, das heißt über deterministische Zusammenhänge, verschiedene politische Maßnahmen simulieren (siehe Modellbeschreibung von Bork, 2000, S. 87–154). Verschiedene Handlungsfelder des Staates sind integriert; so der größte Teil der einnahmepolitischen Seite sowie partiell die ausgabenpolitische Seite. Zwar liegt der Fokus auf den privaten Haushalten, individuelle Verhaltensänderungen werden jedoch nur partiell berücksichtigt. Nach der Simulation von Bach et al. (2002, S. 809f) sind die Wirkungen für private Haushalte nicht neutral, da sie ca. 60% der Steuerlast tragen, während sie von der Reduktion der Rentenversicherungsbeiträge nur ca. zu 50% profitieren.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass niedrige Einkommen von den Steuererhöhungen anteilig mehr betroffen sind, weil sie anteilig höhere Ausgaben im Bereich Strom und Wärme aufweisen. Die während der Umsetzung politisch vorgetragene Kritik, dass die Reform unsozial sei, ist insofern nicht zu entkräften. Dennoch heben die Autor:innen hervor, dass die Effektstärken sehr gering sind und allein die Erhöhung des Kindergeldes die negative Einkommenseffekte hätte ausgleichen können (Bach et al., 2002, S. 810).

Die Bewertung von Bach (2009) zehn Jahre nach Einführung der Reform ist:

Nennenswerte Belastungen gab es allerdings lediglich für Verkehrskraftstoffe und Strom. Heizstoffe wurden nur moderat besteuert. Energieintensive Produktionsbereiche wurden durch Steuervergünstigungen bei Heizstoffen und Strom weitgehend ausgenommen. Damit sollten mögliche Belastungen der energieintensiven Industrien sowie der ärmeren Bevölkerung begrenzt und damit politischen Widerständen Rechnung getragen werden. (Bach, 2009, S. 218)

Damit kommt Bach zu dem Schluss, dass die Reform aus finanzpolitischer Sicht ein Erfolg war und mit der Entlastung der Rentenversicherungsbeiträge sich auch ein positiver Beschäftigungseffekt eingestellt haben dürfte, der Beitrag zum Klimaschutz aber „begrenzt“ (Bach, 2009, S. 218) sei; etwa die Erhöhung der Treibstoffpreise von 1998–2008 sei nur zu einem Viertel bis zu einem Fünftel auf die ÖSR zurückzuführen (Bach, 2009, S. 221).

Die in diesem Kapitel zitierten Beiträge sind zu großen Teilen ohne empirische Modellierung, teilweise ausschließlich verbal formuliert und können daher noch nicht ausreichend Aufschluss über die Wirkweisen der ÖSR geben. Das nachfolgende Kapitel wird sich den neueren und aktuellen internationalen Forschungsbeiträgen zuwenden.

7.2 Internationaler Diskurs

7.2.1 Beiträge in den 2000er Jahren

Der heutige Stand weist eine Vielzahl von Forschungsbeiträgen auf und empfiehlt eine systematischere Betrachtung. Meta-Analysen bieten sich an, wenn aus einer Vielzahl von Arbeiten zu ähnlichen Forschungsfragen mit ähnlichen Methodiken und Charakteristiken die Ergebnisse systematisch verarbeitet und zusammengefasst werden sollen (van Den Bergh & Button, 1997). Auf solche wird neben anderen zentralen Publikationen im Folgenden

zurückgegriffen. Um die Debatte ab dem Erscheinungsjahr 2000 dazustellen, werden hauptsächlich Heady et al. (2000), Baranzani et al. (2000), Bosquet (2000), Patuelli et al. (2005), Anger et al. (2010), Freire-González (2018), Karydas und Zhang (2019), Maxim und Zander (2019) und Maxim (2020) chronologisch aufgegriffen. Daran anschließend wird auf spezifischere Aspekte eingegangen.

Einleitend ist es lohnend, auf die erste Dividende (Reduktion des Umweltverbrauchs) separat einzugehen, da deren Ergebnisse weitaus einheitlicher sind als die Resultate zur zweiten und dritten Dividende. In den Wirtschaftswissenschaften werden CO₂-Steuern insgesamt als effektive Maßnahme angesehen, CO₂-Emissionen zu reduzieren (The Wall Street Journal [Hrsg.], 2019). Auch wenn die Analyse von Schwellenländern zeigt, dass dieser Zusammenhang weit weniger klar ist als vielfach angenommen und CO₂-Emissionen teilweise sogar im negativen Zusammenhang mit Energiesteuern stehen (Wolde-Rufael & Mulat-Weldemeskel, 2021). Insgesamt, und insbesondere in europäischen Ländern und den USA, gibt es robuste Evidenz dafür, dass die Einführung bzw. Erhöhung von CO₂-Steuern zu einer ökologischeren Entwicklung führt (Fan et al., 2019). In einer Paneldaten-Analyse zeigen He et al. (2019) nicht nur für 35 OECD-Länder, sondern auch für 31 chinesische Provinzen, dass Emissionen grundsätzlich durch Umweltsteuern reduziert werden können. Die erste Dividende ist insofern weitestgehend Konsens (vgl. unter anderem Bosquet, 2000; Heady et al., 2000; Karydas & Zhang, 2019; Patuelli et al., 2005). Die weiteren Effekte, kategorisiert in die zweite bzw. zweite und dritte Dividende, sind komplexer in der Definition, ambivalenter in den Ergebnissen und reagieren sensitiv auf Variationen im Policy-Design, sodass die Darstellung der Ergebnisse mehr Differenzierung erfordert (vgl. Bosquet, 2000; Maxim & Zander, 2019).

In einer von der EU-Kommission herausgegebenen Studie aus dem Jahr 2000 von Heady et al. (2000) werden die Effekte einer Umwelt- bzw. Energiebesteuerung mit Fokus auf Beschäftigung ausgelotet. Dafür evaluieren Heady et al. vier General-Equilibrium-Modelle (GE-Modelle, siehe Abschnitt 7.3.2.1) mit Reformen in europäischen Ländern und reflektieren theoretische Aspekte. Sowohl die theoretische Analyse als auch alle vier betrachteten empirischen Modelle unterstützen die These der DD, insofern, dass der Einsatz der Mittel aus Energiesteuern zur Entlastung von Arbeitssteuern zum Beschäftigungszuwachs führt (Heady et al., 2000, S. 20f).

Beschäftigungseffekte können als eine Folgewirkung der Verringerung der Verzerrungen im Steuersystem entstehen. Dies könne Heady et al. (2000, S. 1)

zufolge direkt über Arbeitssteuern oder Sozialversicherungsbeiträge geschehen, aber auch indirekt über andere Steuern wie zum Beispiel die Mehrwertsteuer.

Ob der Arbeitsmarkt vor der Reform im Gleichgewicht ist oder nicht, ist dabei eine wichtige Unterscheidung (Heady et al., 2000, S. 2): Wenn der Arbeitsmarkt im Ungleichgewicht ist und es mehr Arbeitsangebot als Nachfrage gibt, kann die Beschäftigung allein darüber gesteigert werden, dass mehr Nachfrage erzeugt wird, bspw. darüber, dass die Arbeitskosten durch eine Senkung der Sozialversicherungsbeiträge niedriger werden. Wenn der Arbeitsmarkt aber im Gleichgewicht ist, ist es auch nötig, das Arbeitsangebot zu steigern. Dies kann bspw. über die Reduktion von Arbeitssteuern oder indirekt über die Senkung der Umsatzsteuer von Produkten geschehen (Heady et al., 2000, S. 2). In der Regel wird in der theoretischen Literatur zur DD davon ausgegangen – und so auch im Folgenden –, dass der Arbeitsmarkt im Ungleichgewicht ist, was so interpretiert werden kann, dass es unfreiwillige Arbeitslosigkeit gibt (Heady et al., 2000, S. 2).

Bei der Steigerung des Arbeitsangebots sowie der Arbeitsnachfrage muss überprüft werden, ob die Umweltsteuer einen Nettoeffekt hat. Zum Beispiel reduziert die Verschiebung der Steuer von Arbeit zu Umwelt nicht notwendigerweise die Besteuerung der Arbeiter:innen bzw. Konsument:innen, sondern die Verschiebung kann auch lediglich eine Neuordnung der Steuerlast sein (Heady et al., 2000, S. 4). Eine Nettoentlastung kann auf zwei Arten erfolgen: entweder durch eine Verschiebung der Steuerlast weg von den Arbeiter:innen hin zu anderen Gruppen oder durch eine Verbesserung der Effizienz des Steuersystems (Heady et al., 2000, S. 4f).

Heady et al. weisen darauf hin, dass die Verschiebung der Steuerlast von Arbeit (zu Kapital) erfolgreich sein kann:

Thus, if capital were inelastically supplied and was currently taxed at less than 100%, and if the production of energy was particularly capital-intensive, a tax on energy could be seen as partly a tax on capital. In this case the imposition of an energy tax, which was used to finance a cut in labour taxes shifts the burden of taxation away from labour and towards capital. (Heady et al., 2000, S. 5)

Wenn Kapital und Energie Komplemente sind und Arbeit und Kapital bzw. Arbeit und Energie jeweils Substitute, könnte durch Energiesteuern Arbeit als Produktionsfaktor zunehmen und Beschäftigungseffekte könnten entstehen.

Heady et al. formulieren Faktoren, die die Beschäftigungseffekte wahrscheinlicher machen. Dazu zählen sie unter anderem (Heady et al., 2000, S. 9): Je inelastischer die anderen Produktionsfaktoren (Arbeit und Kapital) sind, desto

einfacher kann durch die Umweltsteuern die Produktion auf andere Produktionsfaktoren verschoben werden. Ähnlich gilt auch, je inelastischer die Mobilität von Kapital im internationalen Rahmen ist, desto weniger wahrscheinlich ist die Verschiebung des Kapitals ins Ausland, was die Beschäftigung im Inland hält. Und schließlich, wenn die Substitutionselastizität von Energie und Arbeit größer ist als die von Energie und Kapital, ist die Verschiebung zugunsten der Arbeit wahrscheinlicher und somit auch die Erhöhung der Beschäftigung.

Heady et al. (2000) zeigen, dass es insgesamt eine komplexe Aufgabe ist, die verschiedenen Wirkungen, die eine ÖSR auf Beschäftigung haben kann, in Modelle zu implementieren. Es gilt auf verschiedene Faktoren zu achten, wie die Arbeitsnachfrage, das Arbeitsangebot, Nichterwerbstätige sowie Freizeit als Alternative zu Konsum, verschiedene internationale Aspekte, wie Zinsentwicklungen und die kurz- und langfristige Mobilität von Kapital. Die Autoren heben einerseits große Gemeinsamkeiten der untersuchten Modelle hervor, weisen aber gleichzeitig auf die unterschiedlichen Annahmen hin, die unterschiedliche Ergebnisse verursachen können (Heady et al., 2000, S. 37).

Baranzini et al. (2000) kommen in einer Übersichtspublikation zu dem Schluss, dass CO₂-Steuern eine sinnvolle Maßnahme sein können, sofern sie so konzipiert sind, dass die negativen Wirkungen kompensiert werden. Entscheidend sei mit Blick auf Wettbewerbsfähigkeit und Verteilungswirkungen die Frage der Mittelverwendung der Steuern (Baranzini et al., 2000, S. 395). Den Mitteleinsatz zur Reduktion anderer Steuern wie Personen- oder Unternehmenssteuern erachten Baranzini et al. (2000, S. 410) als wichtig und unterstützen somit die Idee der ÖSR. Insgesamt halten die Autoren nach ihrer Einschätzung des Forschungsstands die DD-Hypothese für schwer zu halten, argumentieren aber, dass bei richtigem Reformdesign eine aufkommensneutrale ÖSR „kostenfrei“ eingeführt werden könne (Baranzini et al., 2000, S. 401).

Nach Baranzini et al. geraten die Wettbewerbsnachteile zu stark in den Blick, während die Wettbewerbsvorteile ausgeblendet werden: „However, competitive losses are often more apparent and short-term, while competitive advantages may be more difficult to quantify and mainly accruing in the longterm.“ (Baranzini et al., 2000, S. 401).

Die Auswirkungen auf Wettbewerb durch CO₂- bzw. Energiesteuern werden nicht als signifikant beurteilt (Baranzini et al., 2000, S. 402). Wettbewerbsfähigkeit ist zwar das am meisten wahrgenommene Hindernis von CO₂-Steuern,

empirische Studien deuten aber an, dass die Effekte im Positiven wie im Negativen insgesamt sehr gering sind (Baranzini et al., 2000, S. 409). Allerdings sind die untersuchten Reformen und Reformvorschläge von geringerem Ausmaß, als sie in dieser Abhandlung verfolgt werden.

Verteilungseffekte sind nach Baranzini et al. (2000, S. 404) generell schwer zu bewerten, was mit mehreren Fragen zu tun hat: wie die (unterschiedlichen) Ausgabenstrukturen der Haushalte sind, wie die Aufteilung der Steuer zwischen Konsument:innen und Produzent:innen ist, wie die Verteilung der verbesserten Umweltqualität ist und wie das Aufkommen eingesetzt wird.

Bosquet (2000) fasst in einer Meta-Analyse die Ergebnisse aus 56 Studien mit insgesamt 139 Simulationen zusammen. Die erste Dividende mit dem Rückgang der Emissionen wird mit 56 der 67 berücksichtigten Simulationen deutlich gestützt (Bosquet, 2000, S. 23). 73% der Simulationen ergeben auch, dass Arbeitsplätze entstehen (Bosquet, 2000, S. 24). Die DD wird damit gestützt; wenn sie anhand von Wohlfahrtsindikatoren anstatt von Produktivitätsindikatoren (wie dem BIP) gemessen wird, sogar deutlicher (Bosquet, 2000, S. 19).

Alle verfügbaren Modellierungen wurden herangezogen, unabhängig der Modellierungsmethode, unter anderem Partielle-Gleichgewichts-Modelle, computerbasierte GE-Modelle, makroökonomische Modelle und Input-Output-Modelle (Bosquet, 2000, S. 23). Die Ergebnisse von neoklassischen GE-Modellen fallen insgesamt positiver aus als die Ergebnisse von makroökonomischen Modellen. So haben GE-Modellierungen zu 58% positive Effekte auf das BIP, bei makroökonomischen Modellen sind es noch immer 49% (Bosquet, 2000, S. 26).

Kurz- bis mittelfristig ist das Resümee, dass kleine positive Beschäftigungseffekte bei nur geringfügigen Veränderungen der Produktion erzielt werden. Ein hoher Anteil der Untersuchungen sind für kurzfristige Reformen konzipiert, wie aus Bosquets Übersicht hervorgeht, sodass tendenziell ein Defizit für weitreichende und langfristige Reformen besteht. Die Ergebnisse sind für die lange Frist ebenso unsicherer als für die kurze bis mittlere.

Insgesamt wird allerdings ein Rückgang der Investitionen festgehalten. Die negativen Effekte auf Investitionen bei 77% der Simulationen könnten sich dadurch begründen, dass Energie und Kapital Komplemente sind. Das bedeutet, dass beim Rückgang der Energienutzung, auch weniger Kapital benötigt wird (Bosquet, 2000, S. 27).

In Hinblick auf Beschäftigungseffekte werden über die Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge die besten Ergebnisse erzeugt (bei 65% der Modellie-

rungen); durch die Reduktion der Einkommensteuer werden nur in 23% der Fälle Verbesserungen erzielt (Bosquet, 2000, S. 24). Als Grund wird genannt, dass geringere Sozialversicherungsbeiträge auch für Unternehmen vorteilhaft sind.

Positive und negative Resultate beim BIP halten sich etwa die Waage. Auffällig ist allerdings, dass mit längerem Betrachtungsrahmen die negativen Effekte größer sind. Hintergrund können Spiraleffekte sein, welche negative konjunkturelle Wirkungen anstoßen.

Bei der Wettbewerbsfähigkeit werden vor allem in den energieintensiven Sektoren Nachteile festgestellt, wohingegen arbeitsintensive Sektoren profitieren könnten (Bosquet, 2000, S. 28). Beim Verbraucherpreisindex ist bemerkenswert, dass dieser sich beim Großteil der Simulationen (94%) erhöht (Bosquet, 2000, S. 28).

In den empirischen Beiträgen werden teilweise CO₂- sowie teilweise Energiesteuern adressiert (Bosquet, 2000, S. 20); heute liegt der Fokus dagegen auf CO₂- bzw. THG-Besteuerung, was adäquater erscheint, da durch erneuerbare Energien die Produktion von Energie ebenfalls emissionsarm sein kann.

In einer statistischen Meta-Analyse ziehen Patuelli et al. (2005) zur ÖSR und der DD Bilanz. Trotz der Unterschiede der Reformen der verschiedenen Studien, bilden Patuelli et al. Durchschnittswerte der Entwicklungen verschiedener Variablen (CO₂-Emissionen, Beschäftigung, BIP, Investitionen von Unternehmen und Verbraucherpreisindex) und werten die Reformen anhand von Untergruppen statistisch aus. Die Datengrundlage dieser Analyse ist die von Bosquet (2000). Diese wurde aber um weitere Simulationen ergänzt (Patuelli et al., 2005, S. 568). Damit wird auf 61 Studien mit 186 Simulationen zurückgegriffen. Die betrachteten Modelle sind vorwiegend Gleichgewichtsmodelle, welche sie, Bosquet (2000) folgend, von makroökonomischen Modellen abgrenzen, die dadurch charakterisiert sind, dass sie von einem aggregierten Output ausgehen.

Als Fazit der statistischen Analyse von Patuelli et al. wird festgehalten, dass sich die erste Dividende deutlich bestätigt, die Ergebnisse der zweiten Dividende aber stark von der Art der Besteuerung, der Aufkommensverwendung und der Modellierung abhängen (Patuelli et al., 2005, S. 577). Eine ÖSR hat gerade dann einen signifikanten Einfluss auf ökonomische Variablen, wenn das Aufkommen zugunsten von Arbeit bzw. Beschäftigung eingesetzt wird (Patuelli et al., 2005, S. 564). Darüber hinaus ist die Wahl des Modells ein entscheidender, ergebnisbeeinflussender Faktor.

In allen Gruppierungen konnten die CO₂-Emissionen stets deutlich reduziert werden, durchschnittlich um 9,7% (Patuelli et al., 2005, S. 569). Auch die

Auswirkung auf Beschäftigung ist positiv. Beim BIP und bei den Investitionen der Unternehmen dagegen sind die Ergebnisse gemischt. In beiden Fällen sind die Effekte allerdings mit weniger als 1% Veränderung bei den Investitionen und weniger als 0,3% Veränderung beim BIP klein. Beim Verbraucherpreisindex dagegen sind die Werte, soweit erfasst, immer im positiven Bereich.

Die verschiedenen Reformvorschläge unterscheiden sich vor allem durch den unterschiedlichen Einsatz der Mittel. Patuelli et al. (2005, S. 566) nehmen im Wesentlichen vier unterschiedliche Möglichkeiten wahr: Senkung der Sozialversicherungsbeiträge oder persönlichen Einkommensteuer als häufigste Varianten, außerdem Senkung von Gewinnsteuern von Unternehmen und Mehrwertsteuern als weitere Varianten.

Selbst im Rahmen der neoklassischen Modellierungsansätze können bei gleicher Definition der DD die Ergebnisse sehr unterschiedlich ausfallen. Insbesondere die Wahl der Aufkommensverwendung, der Produktionsfaktoren, der Arbeitselastizitäten, der Arbeitsmarktineffizienzen und der Behandlung von internationalen und finanziellen Zahlungen können Ursachen dafür sein (Patuelli et al., 2005, S. 567).

Vor dem Hintergrund von Postwachstumsüberlegungen ist es bemerkenswert, dass es in der Auswertung von Patuelli et al. (2005, S. 569) eine Vielzahl von Fällen gibt, in denen das BIP schrumpft und die Beschäftigung zunimmt. Gemäß den üblicherweise zu erwartenden Effekten (Okun'sches Gesetz) sind diese Ergebnisse überraschend und deuten darauf hin, dass bei der richtigen Konstruktion der ÖSR zumindest eine temporäre Entkopplung von Wachstum und Beschäftigung möglich sein könnte.

Ein Ergebnis von Patuelli et al. ist, dass insbesondere nordeuropäische Länder stärker im Hinblick auf Emissionsreduktion und Beschäftigungseffekte reagieren als mediterrane bzw. südeuropäische Länder. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass industriellere Länder einen höheren Energieverbrauch aufweisen, damit aber auch mehr Spielraum für eine Reaktion auf diese Energieerhöhungen haben.

Die Hypothese von Bosquet (2000), dass die Effekte der Reform über die Zeit eher verschwinden, bestätigt sich in der statistischen Auswertung von Patuelli et al. (2005, S. 570) nicht: Die Aufteilung der Simulationen in „short/medium-run“ (weniger als 10 Jahre) und „long-run“ (10 Jahre oder mehr) ergibt, dass die Effekte auf Emissionen und Beschäftigung in der langen Frist deutlich höher sind (Patuelli et al., 2005, S. 570). Bemerkenswert ist, dass in der

langen Frist die Investitionsentwicklungen der Unternehmen positiv sind, während sie in der kurzen Frist negativ sind (Patuelli et al., 2005, S. 570).

7.2.2 Beiträge in den 2010er Jahren bis heute

Ebenfalls mit statistischen Methoden untersuchen Anger, Böhringer und Löschel (2010) in einer Meta-Regression die Auswirkungen einer ÖSR. Dabei gingen sie insbesondere der Frage nach, welche Faktoren bzw. Annahmen entscheidend für die Ergebnisse der Modellierungen sind.

Wie zu erwarten spielen auch die Grundannahmen des Arbeitsmarkts eine große Rolle; unter anderem die Annahmen über unfreiwillige Arbeitslosigkeit, Lohnrigiditäten in der langen Frist und die Frage, ob die Senkung von arbeitsbezogenen Steuern zu einer Reduktion der Arbeitspreise und deshalb zu einer Zunahme der Beschäftigung führt (Anger et al., 2010, S. 1495f). Doch noch wichtigere Rollen spielen laut Anger et al. (2010, S. 1499) unbeobachtbare Charakteristiken, welche durch die Auswahl der Modell-Eigenschaften und impliziten Annahmen begründet sind. Unbeobachtbare Variablen meint alles, was nicht über die bisherigen Variablen abgedeckt wird. Worum es sich dabei im Einzelnen handeln könnte, ist nicht klar zu benennen (sonst würden diese Aspekte in der Regression aufgegriffen werden können); es handelt sich dabei viel mehr um heterogene und deshalb schwer zu fassende Restgrößen. Alle unbeobachtbaren Einflussfaktoren werden in einer weiteren Regression mit einer Dummy-Variablen kontrolliert. Emissionshöhen und Arbeitsmarktannahmen sind dann nur noch gemeinsam signifikant, nicht mehr auch als einzelne Variablen (Anger et al., 2010, S. 1499). Den unbeobachtbaren Charakteristiken wird eine zentrale Rolle zugesprochen.

Auch Freire-González (2018) untersucht in einer statistischen Meta-Analyse die Ergebnisse zur DD auf Grundlage von *Computable-General-Equilibrium-Modellen* (CGE-Modellen, siehe Abschnitt 7.3.2.1). Die erste Dividende erscheint dabei unstrittig, bei der zweiten Dividende wird dagegen weiterer Forschungsbedarf gesehen, gerade auch mithilfe von CGE-Modellen (Freire-González, 2018, S. 218). Doch insgesamt sei die DD-Hypothese bei 40 untersuchten Studien zu 55% der 69 Simulationen erfüllt. Die zweite Dividende ist hierbei als insgesamt Wohlfahrtserhöhung im Sinne der Wohlfahrtstheorie definiert. Bei Freire-González spielt die Wahl der Aufkommensverwendung eine große Rolle. Pauschalrückzahlungen pro Kopf seien die ineffizienteste Variante der Mittelver-

wendung (Freire-González, 2018, S. 219). In der wissenschaftlichen Literatur wurde teilweise argumentiert, dass die DD grundsätzlich nicht möglich sei (vgl. Bovenberg, 1999; Goulder, 1995). Insgesamt erkennen laut Freire-González (2018) heute dennoch selbst kritische Stimmen an, dass die Gesamtsituation durch die Steuerverschiebung verbessert werden kann, da der Nutzen höher als die Kosten ist. Freire-González' Einschätzung nach wird die DD-Hypothese unter bestimmten Bedingungen akzeptiert. Dennoch bewertet Freire-González (2018, S. 219) die Evidenz aus mehreren Gründen als nicht schlüssig, darunter die Heterogenität der Modellierungen, Annahmen und Szenarien, wie etwa Faktorsubstituierbarkeit, Faktormobilität und verschiedene Annahmen über die Präferenzen.

Darüber hinaus beziehen sich die meisten Modellierungen zur DD-Hypothese auf die USA und Europa. In Asien gibt es vor allem Beiträge für China und Japan. Durch bibliographische Untersuchungen ist festzustellen, dass zwar insgesamt die meiste Forschung zum Thema Umweltsteuern aus den USA kommt, es in den letzten Jahren jedoch eine Verschiebung Richtung China gab, woher in der Zwischenzeit die meisten Publikationen stammen (Bashir et al., 2021). Laut Maxim (2020, S. 635) wurde der Großteil der Forschung zu nicht-europäischen Ländern nach 2000 veröffentlicht. Ein klares Defizit an Untersuchungen ist für Afrika, Südamerika und Ozeanien zu konstatieren (Freire-González, 2018, S. 205f). Verschiedene Volkswirtschaften benötigen aber spezifische Reformen, sodass weiterer Forschungsbedarf auszumachen ist (Freire-González, 2018, S. 219).

Karydas und Zhang (2019) geben einen Überblick und untersuchen mithilfe eines anwendungsorientierten, endogenen Wachstumsmodells die Wirkungen einer ÖSR für die Schweiz. Das dynamische, multisektorale GE-Modell wurde im Rahmen einer Untersuchung einer Reform in der Schweiz eingesetzt und bildet sowohl das Steuersystem der Schweiz detailliert ab als auch heterogene Haushalte. Ein detaillierterer Blick auf diese umfassende Modellierung, welche auf den theoretischen Grundlagen von Bretschger und Ramer (2012) aufbaut, erscheint lohnenswert.

Die Modellierung zeigt: Eine ÖSR kann Innovationen und hohes Wachstum auslösen, auch in der langen Frist, vor allem dann, wenn die Diskontrate niedrig ist und die Substituierbarkeit von umweltfreundlicher und umweltschädlicher Energie hoch ist. Das Ergebnis ihrer Modellierung mit Blick auf die zweite Dividende ist allerdings nicht eindeutig (Karydas & Zhang, 2019, S. 158–160).

Die höchsten Wachstumsraten und das effizienteste Ergebnis, gemessen in *aggregierter Wohlfahrt*, werden erzielt, wenn das Aufkommen zur Reduktion

der Kapitalsteuer verwendet wird (Karydas & Zhang, 2019, S. 158). Damit kommen sie zum gleichen Schluss wie unter anderem Bovenberg (1999). Mit der pauschalen Rückzahlung pro Kopf konnten teilweise progressive Verteilungseffekte erzielt werden; dieses Ergebnis wurde allerdings bei einer weitreichenden Reform nicht bestätigt (Karydas & Zhang, 2019, S. 158).

Karydas und Zhang (2019, S. 159) evaluieren, in welchen Fällen positive ökonomische Modellierungsergebnisse erzeugt werden. Sie argumentieren, dass die positiven Effekte der zweiten Dividende teilweise aufgrund des statischen Charakters der Modelle nicht eintreten. Dieser Teil der Fachliteratur lehnt laut Karydas und Zhang (2019) die positiven Effekte der zweiten Dividende tendenziell ab. Dynamische Modellierungen dagegen zeigen, dass Wohlfahrtszugewinne und Wachstum möglich sein können. Ein umfassendes Modell erscheint daher vonnöten, wenn die Effekte auf den Arbeitsmarkt adäquat repräsentiert werden sollen.

Theoretisch kann es sein, dass die negativen Effekte überwiegen (Karydas & Zhang, 2019, S. 159): Es sei wahrscheinlich, dass die Verzerrungen durch Steuern zunehmen, da Einkommen und Kapital eine breitere Steuerbasis darstellen als Energie bzw. THG-Steuern. Die Schlussfolgerungen der Autoren sind deshalb unter anderem, dass die Besteuerung von Treibhausgasen breit angelegt sein sollte und dass die Aufkommensverwendung möglichst zur Reduktion der Verzerrungen eingesetzt werden sollte. Letztere Schlussfolgerung stellt in der heutigen Literatur keinen Konsens dar: Die Möglichkeit der pauschalen Rückzahlung pro Kopf (vgl. das Konzept des Ökobonus, Held, 2019) wäre in diesem Sinne die schlechteste Variante; sie wird von Karydas und Zhang (2019, S. 160) als am ineffizientesten bezeichnet, da sie keine Anreize für Investitionen oder Forschung setzt und die verzerrende Wirkung von Steuern nicht reduziert werden kann.

Für die lange Frist spielt *Forschung und Entwicklung* (F&E) eine wichtige Rolle. Ein Grundproblem ist, dass sich F&E-Mittel durch die neue Steuer tendenziell auf die Reduktion von Emissionen fokussieren und damit andere F&E-Tätigkeiten ersetzt, sodass der Gesamteffekt auf Wachstum nicht zwingend positiv sein muss (Karydas & Zhang, 2019, S. 159).

Karydas und Zhang (2019, S. 159) stellen diesen Beiträgen mit der beschriebenen Argumentation einen Literaturstrang entgegen, bei dem die zweite Dividende durchaus möglich ist. Insbesondere dadurch, dass Umwelttheorie in endogene Wachstumsmodelle einfluss. Damit sei es möglich, die Verzerrungen insgesamt abzubauen. Wird die Dynamik betrachtet, die günstigere Preise für Arbeit auslösen kann, erscheinen Beschäftigungs- und damit Wachstumseffekte möglich.

Maxim und Zander (2019) fassen Simulationen ökologischer Steuerreformen mit Blick auf Beschäftigungseffekte zusammen. Dabei vergleichen sie vor allem Ergebnisse europäischer und nicht-europäischer Länder. Grundslegend halten sie fest, dass der Beschäftigungseffekt in europäischen Ländern größer ausfällt, in nicht-europäischen Ländern aber auch vorhanden ist und die zweite Dividende in diesem Sinne bestätigt wird (Maxim & Zander, 2019, S. 218).

Beim genaueren Blick machen Maxim und Zander (2019) nennenswerte Unterschiede zwischen diesen Ländergruppierungen aus. Dazu zählen unter anderem, dass sich die optimalen Steuerdesigns unterscheiden. In beiden Gruppierungen hat die Reduktion der Arbeitgeberbeiträge der Sozialversicherungen das Potenzial positive Beschäftigungseffekte auszulösen, das größte Potenzial ergibt sich jedoch sowohl in europäischen als auch in nicht-europäischen Ländern durch einen Steuermix. Der durchschnittliche Beschäftigungszuwachs in europäischen Ländern liegt bei 1,0% bzw. 0,5% in nicht-europäischen (Maxim & Zander, 2019, S. 218); entscheidend wäre aber Ausmaß und Dauer der Reform mitzuberechnen, um die absoluten Effekte bewerten zu können.

Die 146 Simulationsergebnisse der 33 untersuchten Studien teilen sich auf 100 GE-Modellierungen, 43 makroökonomische Modellierungen und drei Input-Output-Modellierungen auf (siehe Abschnitt 7.3.2 für Modelltypologien). Für die europäischen Länder weisen 77% der Simulationen positive Beschäftigungseffekte auf, wobei makroökonomische Modellierungen bessere Ergebnisse erzielten als die GE-Modellierungen (Maxim & Zander, 2019, S. 224). Das bessere Abschneiden von makroökonomischen Modellen gegenüber GE-Modellen widerspricht dem Ergebnis von Bosquet (2000). Die Effekte in den nicht-europäischen Ländern zeigen allerdings auch bei Maxim und Zander (2019, S. 224) in die andere Richtung, sodass teilweise Übereinstimmungen mit Bosquet zu konstatieren sind.

Die Variante der Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge führt zwar zu signifikanten Beschäftigungszunahmen, aber die optimale Steuerentlastung ist bei Maxim und Zanders (2019, S. 225) die Reduktion der Mehrwertsteuer, welche durchschnittlich zu einem Wachstum von 1,6% in europäischen Ländern führt. Alle anderen Entlastungsmöglichkeiten, unter anderem Pauschalrückzahlungen an die Haushalte und Reduktion der Einkommensteuer, führen dagegen zu negativen Beschäftigungsveränderungen (Maxim & Zander, 2019, S. 225). Die Ergebnisse der langfristigen Beschäftigungseffekte sind laut Maxim und Zander (2019) widersprüchlich und teilweise verschwinden die Wirkungen.

Maxim (2020, S. 634) nimmt mit einer statistischen Meta-Regression vor allem die dritte Dividende in den Blick, was bei ihm BIP-Wachstum ist. Auf den ersten Blick unterscheidet sich diese Definition der dritten Dividende zu der oben definierten Variante erheblich, doch wird in der langen Frist ein starker Zusammenhang zwischen Innovationen und BIP-Wachstum gesehen. Aufbauend auf der Arbeit von Maxim und Zander (2019) berücksichtigt Maxim 152 Simulationen aus 34 Studien. Die gebildeten Untergruppierungen, unter anderem in europäische und nicht-europäische Länder, zur Unterscheidung verschiedener Simulationsergebnisse sind ähnlich wie bei Maxim und Zander (2019). Maxims Resümee ist, dass die Entlastungen von Steuern zu den besten Resultaten bei Wachstum und Beschäftigung führen; die Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge wird als die effizienteste Einzelmaßnahme dafür genannt (Maxim, 2020, S.643), sowohl in europäischen als auch in nicht-europäischen Ländern. Die größte Effektivität wird jedoch durch eine Mischung aus verschiedenen Maßnahmen erwartet.

Die größten Unterschiede der Simulationen im Hinblick auf CO₂-Reduktion, Beschäftigung und BIP dieser zwei Gruppierungen sind bei der Beschäftigung zu beobachten: Während die europäischen Länder einen durchschnittlichen Effekt von +0,6% gegenüber dem Baseline-Szenario erzielen, liegt er bei nicht-europäischen Ländern bei +0,2%. In europäischen Ländern liegt die CO₂-Emissionsreduktion durchschnittlich bei -4,8% und der Effekt auf das BIP bei +0,1%. Die Effektunterschiede der Regionen sind damit eher gering (Maxim, 2020, S.644).

Die makroökonomischen Modellierungen erzeugen gegenüber den GE-Modellierungen sowohl höhere Beschäftigungseffekte, analog zu Maxim und Zander (2019), als auch höheres BIP-Wachstum (Maxim, 2020, S. 638).

Die Interpretation dieser Beschäftigungs- und BIP-Ergebnisse ist, dass bei der höheren Besteuerung von CO₂ und der gleichzeitigen niedrigeren Besteuerung des Produktionsfaktors Arbeit, es unternehmerische Anreize gibt, mehr Personal anzustellen (Maxim, 2020, S. 644).

7.2.3 Resümee internationaler Diskurs

Die positiven Resultate der ersten Dividende sind breiter Konsens. Energiesteuern haben eine lange Tradition, deren Wirkungen kaum in Frage stehen. Je nach Höhe der Steuer sind entsprechend starke oder weniger starke Reduktionen der Emissionen erwartet. Bei der zweiten und dritten Dividende besteht sehr viel

weniger Einigkeit. Jedoch lassen sich einige Aussagen zusammenfassen, inwieweit und unter welchen Bedingungen spezifische Effekte erzielt werden.

Als eine wesentliche Ursache für verschiedenartige Ergebnisse werden unterschiedliche Modellierungsannahmen gesehen. Es gilt daher im Blick zu behalten, welche Annahmen welche Charakteristiken zulassen und damit geeignet oder weniger geeignet zur Modellierung einer ÖSR sind. Selbst bei gleicher Wahl der Modellklassen kommen teilweise sehr unterschiedliche Ergebnisse zustande (Anger et al., 2010; Patuelli et al., 2005). Unbeobachtbaren Charakteristiken könnte bspw. eine zentrale Rolle zukommen (Anger et al., 2010). Die DD wird in dem Sinne insgesamt tendenziell bestätigt, als dass positive ökonomische Wirkungen bei der richtigen Ausgestaltung der Reform als möglich erachtet werden (Freire-González, 2018). Die Frage der Konzeptionierung und im Speziellen die Frage der Mittelverwendung sind von großer Bedeutung (Patuelli et al., 2005). Grundsätzlich handelt es sich bei den positiven Wirkungen eher um Beschäftigungseffekte, da die Effekte auf das BIP eher gering ausfallen (Patuelli et al., 2005). Beim Thema Wettbewerb sind die Ergebnisse gemischt. Einheitlich scheinen die Reaktionen der Verbraucherpreisindizes zu sein, die sich tendenziell erhöhen. Gleichwohl nehmen Investitionen, sofern berücksichtigt, tendenziell ab (Bosquet, 2000; Patuelli et al., 2005).

Im Allgemeinen sind positive wie auch negative Beschäftigungseffekte möglich (Maxim & Zander, 2019). Die Effekte sind stärker, wenn das Aufkommen zugunsten des Produktionsfaktors Arbeit eingesetzt wird (Patuelli et al., 2005). Für möglichst hohe Beschäftigungseffekte erweisen sich Sozialversicherungsbeiträge als eine gute Wahl (Bosquet, 2000; Maxim, 2020). Das größte Potenzial für Beschäftigungseffekte auf der Seite der Mittelverwendung hat Maxim und Zander (2019) zufolge ein Mix aus der Entlastung verschiedener Steuern. Anzumerken ist, dass in der Regel davon ausgegangen wird, dass die Arbeitsmärkte im Ungleichgewicht sind und somit mehr Arbeitsnachfrage die Beschäftigung potenziell erhöhen kann.

Zur maximalen Erhöhung der aggregierten Wohlfahrt wird teilweise die Reduktion der Kapitalsteuer genannt (Bovenberg, 1999; Karydas & Zhang, 2019, S. 158). Dieser Wohlfahrtsbegriff ist im Rahmen der Wohlfahrtsökonomik zu lesen, in der die Wohlfahrt durch die Reduktion von Verzerrungen optimiert werden kann. Von einer Pauschalrückzahlung pro Kopf werden zwar teilweise progressive Verteilungswirkungen erwartet, gleichzeitig wird sie in mancher Hin-

sicht als schlechteste Variante des Mitteleinsatzes angesehen, da sie keinen Beitrag zur Reduktion der Verzerrungen im Steuersystem leistet. Als Grund dafür wird genannt, dass sie keine Anreize setze bzw. durch das leistungslose Einkommen sogar Anreize reduziere. Bei der genannten Bewertung anhand der aggregierten Wohlfahrt sind Verteilungswirkungen nicht berücksichtigt. Daher tut sich ein Spannungsfeld von Gerechtigkeitsüberlegungen im Hinblick auf Verteilungsfragen und Effizienz im Sinne der aggregierten Wohlfahrt auf.

Insgesamt sind die Ergebnisse zu den Einkommensverteilungseffekten, das heißt, ob sich die Steuerreform regressiv oder progressiv auswirkt, gemischt (Beck et al., 2015), was vor allen Dingen an der Ausgestaltung der Reform hängt. Selbst bei pauschaler Rückzahlung pro Kopf ist eine progressive Verteilungswirkung nicht zwangsläufig gewährleistet. Karydas und Zhang (2019, S. 158) verweisen auf Szenarien von weitreichenden Reformen mit hohen Rückzahlungen, bei denen die progressive Wirkung nicht immer gegeben ist. Höhere Einkommen können insgesamt besser auf veränderte Preisstrukturen reagieren. Konsens scheint dabei jedoch zu sein, dass die Wahl der Aufkommensverwendung zentral für Verteilungswirkungen ist. Grundsätzlich entstehen durch die erste Dividende ebenfalls Verteilungseffekte (Heady et al., 2000), welche selten in den Blick genommen werden.

Bei manchen Simulationen werden Innovationen und langfristiges Wachstum ausgelöst und technologischer Fortschritt wird als Wettbewerbsvorteil gesehen (Karydas & Zhang, 2019). Potenziell können Wettbewerbsvorteile und -nachteile entstehen, wobei die Vorteile unter Umständen zu wenig in den Blick genommen werden und die Nachteile überschätzt werden (Baranzini et al., 2000). Insgesamt werden die Wettbewerbseffekte als nicht sehr groß eingeschätzt, was jedoch vor dem Hintergrund betrachtet werden muss, dass die meisten Reformen ein geringeres Ausmaß aufweisen als die in dieser Arbeit vorgesehenen Varianten einer ÖSR. Welche Sektoren Vor- bzw. Nachteile haben, hängt entscheidend an der Ausgestaltung der Reform. Tendenziell könnten den energieintensiven Branchen Wettbewerbsnachteile widerfahren (Bosquet, 2000). Im Sinne der Emissionsreduktion und Beschäftigungsveränderungen scheinen insgesamt die nordeuropäischen Länder stärker als die südeuropäischen zu reagieren (Patuelli et al., 2005) und die europäischen stärker als die nicht-europäischen Länder (Maxim & Zander, 2019). Eine mögliche Erklärung ist, dass die Reform in industriellen Ländern besser wirkt als in weniger industriellen Ländern.

Auch im Forschungsbereich kann es zu Verzerrungen kommen. Neben den angesprochenen positiven, langfristigen Effekten, welche durch erhöhte F&E-Ausgaben in bestimmten Bereichen induziert werden können, sind auch Verdrängungseffekte durch veränderte F&E-Ausgaben denkbar. Unter Berücksichtigung dieser sind die Effekte auf Wachstum insgesamt nicht geklärt (Karydas & Zhang, 2019). Damit sind nicht nur auf Ebene des Outputs wirtschaftlicher Sektoren Crowding-Out-Effekte möglich, sondern auch auf Ebene der F&E-Ausgaben und damit des Forschungs-Outputs.

Im Kontext weiterführender Forschungsfragen ist mit Blick auf das Ausmaß einer ÖSR das folgende Ergebnis von Anger et al. bemerkenswert: „the higher the emission reduction due to environmental taxation, the smaller the prospects for an employment dividend“ (Anger et al., 2010, S. 1499). Es könnte folglich zutreffen, dass kleine Steuerreformen vorteilhaft für die Beschäftigung sind, weitreichende dagegen tendenziell nachteilig. Dieser Frage gilt es nachzugehen, gerade da bei den bisherigen Forschungsarbeiten ein hoher Anteil an kurzfristigen Reformen sowie an Reformen von geringem Ausmaß zu verzeichnen ist. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der besonders relevanten langfristigen Simulationen uneinheitlicher.

Die meisten Modellierungen wurden mittels neoklassischer GE-Modelle durchgeführt, keynesianisch geprägte oder zumindest beeinflusste makroökonomische Modelle nehmen die nächstwichtigere Rolle ein. Für zukünftige Forschungsarbeiten wäre die Simulation mit weiteren Modellierungsklassen interessant, wie zum Beispiel mit Input-Output-Modellen oder mit agentenbasierten Modellen, welche bislang von nachrangiger Bedeutung in der wissenschaftlichen Literatur zur ÖSR sind.

Eine Frage schwingt bei Reformen immer mit, die die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und einem Land als Ganzem adressieren: Wieso werden die Maßnahmen, die mit der Reform auf volkswirtschaftlicher Ebene umgesetzt werden, nicht ohnehin auf Unternehmensebene realisiert, wenn daraus Vorteile entstehen? Auf diesen Gesichtspunkt wird in der ÖSR-Literatur wenig eingegangen, möglicherweise da es sich um eine generelle Frage handelt, die nicht nur spezifisch für die ÖSR zutrifft. Wesentliche Argumente sind unter anderem, dass Unternehmen einen kurzfristigeren Planungshorizont als Volkswirtschaften haben, da sich Unternehmen jederzeit – und das beinhaltet insbesondere die kurze Frist – am Markt beweisen müssen. Gesetzliche Rahmenbedingungen können außerdem zur Planungssicherheit beitragen und damit die

Risiken der Marktteilnehmenden reduzieren. Schließlich ist mit Blick auf die ÖSR auch zu nennen, dass die langfristigen Wettbewerbsvorteile nur ein Aspekt der für die Gesellschaft positiven Effekte sind; Wettbewerbseffekte folglich nur einen additiven Anreiz darstellen, nicht aber den alleinigen Benefit der Reform.

Eine andere Frage bei den langfristigen Wirkungen ist, ob es sich um dauerhafte Effekte oder lediglich um Leveleffekte handelt. In jedem Fall dürfte die ÖSR in der kurzen Frist, so lange wie die Steuern sukzessive verändert werden, eine Dynamik entwickeln. Wie die Frage jedoch für die lange Frist zu beantworten ist, wird in der Literatur und so auch in den folgenden Seiten wenig thematisiert. Aus den Wirkmechanismen der ÖSR lassen sich jedoch folgende Überlegungen ableiten:

- Wenn das angestrebte Ausmaß der Reform erreicht ist, sind die neuen Anreize für die Marktteilnehmer:innen vollständig vorhanden. Der Mechanismus ohne Betrachtung des Außenhandels entspricht daher einem Leveleffekt: Effekte wie etwa das BIP-Wachstum können im Sinne der Konvergenz an ein neues Niveau weiterhin auftreten, aber es liegt bei rein inländischer Betrachtung kein Mechanismus vor, der bei einem Steuer-Shift über den Leveleffekt hinaus geht.
- Nimmt man den Außenhandel allerdings mit in den Blick, lässt sich die Frage nicht mehr eindeutig beantworten. Keine Veränderungen im Außenhandel gäbe es nur dann, wenn im Ausland, d.h. in allen ausländischen Ländern, mit denen Handel betrieben wird, die gleiche Reform wie im Inland stattfinden würde – was sehr unwahrscheinlich erscheint und wovon zumindest in der Breite nicht auszugehen ist. Aufgrund der Veränderung der Rahmenbedingungen bleibt demnach dann ein dauerhafter positiver Effekt vorhanden, wenn durch die ÖSR zuvor ein Wettbewerbsvorteil vorhanden war. Die gleiche Argumentation gilt entsprechend für negative langfristige, über Leveleffekte hinausgehende Wirkungen, wenn durch die Reform negative Wettbewerbseffekte erwartet werden.

Die Frage, ob es sich um dauerhaftes Wachstum oder um einen Leveleffekt handelt, lässt sich daher nicht eindeutig beantworten. Aufgrund der oben genannten Argumentation sind jedoch aus Forschungsergebnissen, die positive Wettbewerbseffekte durch die ÖSR feststellen, dauerhafte positive Effekte ableitbar.

Festzuhalten ist insgesamt, dass die Forschungsaktivität für Europa und die USA zur ÖSR und der DD-Hypothese seit 2000 abgenommen hat, während sie für andere Regionen, insbesondere China, deutlich zugenommen hat (Bashir

et al., 2021; Freire-González, 2018). Eine erneute Beschäftigung mit dem Thema im Lichte der heutigen politischen und wissenschaftlichen Entwicklungen erscheint lohnend.

7.3 Reflexion des Forschungsstands

7.3.1 Einflussfaktoren auf die Modellierung

Die Ausgangsfrage dieses Kapitels ist, welche Modellierungsaspekte das Ergebnis der zitierten Forschungsarbeiten wesentlich beeinflussen. Die angewandte Modellierungsmethode mit den damit verbundenen Annahmen ist nicht vom Ergebnis unabhängig. Aus diesem Grund werden zentrale Einflussfaktoren der Modellierung in den Blick genommen.

Das Zusammenspiel der Produktionsfaktoren Kapital, Energie und Arbeit wird unterschiedlich implementiert. Die Beziehung zweier Produktionsfaktoren lässt sich über die Begriffe Komplemente und Substitute fassen. Komplemente ergänzen sich, sodass eine Erhöhung des einen eine Erhöhung des anderen impliziert. Substitute können sich ersetzen, sodass eine Erhöhung des einen eine Verringerung des anderen zur Folge haben kann.

Bosquet (2000) bemerkt, dass durch eine ÖSR insgesamt weniger investiert wird. Das könnte daran liegen, dass Energie und Kapital Komplemente sind und mit weniger Energie auch weniger Kapital nötig ist. Energie und Arbeit dagegen könnten Substitute sein.

Patuelli et al. identifizieren verschiedene Gründe, weshalb eine Reform das Wachstum des BIP negativ beeinflussen kann (Patuelli et al., 2005, S. 569). Zum einen könnte weniger Kapital akkumuliert werden, da sich Investitionen in Kapital weniger lohnen. Zum anderen könnte es sein, dass Arbeit und Energie keine guten Substitute sind. Die Verteuerung von Energie kann unter Umständen nicht vollständig durch einen Mehreinsatz von Arbeit kompensiert werden.

Doch laut Patuelli et al. (2005, S. 570) sind die Investitionsentwicklungen der Unternehmen in der langen Frist positiv, was die Fragen nach dem Zusammenspiel der Produktionsfaktoren Energie, Kapital und Arbeit für die lange Frist erneut aufwirft.

Die Grundlage für das Argument ist, dass höhere Preise für Kapital und niedrigere Preise für Arbeit zu Beschäftigungseffekten führen und dass Arbeit und Kapital mindestens teilweise substituierbar sind. Die Ergebnisse der wis-

senschaftlichen Literatur hierzu sind gemischt, zumindest in manchen Sektoren scheint die Substituierbarkeit von Arbeit und Kapital vorhanden zu sein (Alvarez-Cuadrado et al., 2017). Bei größerer Substituierbarkeit von Kapital bzw. Energie einerseits und Arbeit andererseits sollten demnach auch größere Beschäftigungseffekte zu erwarten sein. Die Evidenz entspricht dieser Überlegung, denn wie bereits erwähnt, sind die Beschäftigungseffekte in industriellen Ländern größer als in weniger industriellen, da der produzierende Sektor eine höhere Substitutionselastizität von Arbeit und Energie aufweist (Heady et al. 2000, S. 38). Patuelli et al. (2005) bestätigen diesen Sachverhalt für nordeuropäische Länder im Vergleich zu weniger industriellen südeuropäischen Länder; Maxim und Zanders (2019) ebenfalls analog für europäische Länder im Vergleich zu nicht-europäischen Ländern.

Die Übersichtspublikationen belegen ein Übergewicht an GE-Modellierungen (Bosquet, 2000; Maxim & Zander, 2019; Patuelli et al., 2005). Daneben kommen häufig (neo-)keynesianische, makroökonomische Modelle zum Einsatz. Die Modellklassen erscheinen darüber hinaus dagegen unterrepräsentiert, obwohl grundsätzlich Einigkeit darüber besteht, dass die Wahl der Modellklasse das Spektrum der möglichen Ergebnisse vorprägt. Aus diesem Grund wird im nächsten Kapitel eine Übersicht über die verschiedenen Modelltypologien gegeben, woraus sich Vor- und Nachteile für Modellierungen einer ÖSR ableiten.

Bei Maxim und Zander führen die makroökonomischen Modellierungen zu besseren Ergebnissen im Sinne einer erfolgreicherer Reform als die GE-Modellierungen (Maxim & Zander, 2019, S. 224). Auch Maxim (2020, S. 638) stellt höhere Beschäftigungseffekte und zusätzlich höheres BIP-Wachstum fest. Diese Unstimmigkeit widerspricht den Ergebnissen der Meta-Analyse von Bosquet (2000, S. 26). Diese Uneinigkeit der Ergebnisse könnte sich dadurch auflösen lassen, dass es weniger auf die Modelltypologie ankommt als auf weitere Modelleigenschaften, wie zum Beispiel Anger et al. (2010) mit den unbeobachtbaren Modellcharakteristiken resümieren.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Volatilität der Ergebnisse bei den GE-Modellierungen am höchsten ist; sehr gering ist sie dagegen bei den Input-Output-Modellierungen (Maxim, 2020, S. 638). Als Grund dafür sieht Maxim (2020, S. 643) die höhere Annahmen-Sensitivität bei GE-Modellen, was er damit auch mehr zum Gegenstand von Diskussionen macht.

In der neoklassischen Theorie ist eine Reform als Übergang von einem Gleichgewicht zum nächsten zu begreifen (vgl. Kuper, 1996). In der langen Frist

ist demnach davon auszugehen, dass das langfristige Gleichgewicht – zumindest als Konvergenzprozess – wieder erreicht ist. Andere theoretische Ansätze, wie zum Beispiel keynesianische bzw. postkeynesianische Modellierungen, verzichten auf eine derartige Gleichgewichtsannahme.

Das Argument von Karydas und Zhang (2019, S. 159), dass die positiven Effekte einer ÖSR teilweise aufgrund eines statischen Charakters der Modelle nicht bestätigt werden können, wird ebenfalls auf GE-Modelle bezogen. Andere Modellierungsarten könnten sich unter diesem Gesichtspunkt als dynamischer und unter Umständen geeigneter erweisen.

In den 1990er Jahren wurde teilweise auf theoretischer Ebene argumentiert, dass die DD grundsätzlich nicht möglich sei (vgl. Bovenberg, 1999; Goulder, 1995). Freire-González (2018, S. 218) rekonstruiert die Begründung folgendermaßen: Wenn eine breitere Steuerbasis (wie etwa durch Einkommens- oder Kapitalsteuern) durch eine schmalere (CO₂-Steuer) ersetzt wird, ist mehr Ausweichverhalten möglich und es entstehen mehr Verzerrungen. Diese Verzerrungen reduzieren die aggregierte Wohlfahrt.

Mit der aggregierten Wohlfahrt wird in diesem Zusammenhang der häufigste Bewertungsmaßstab der DD genannt. Dieser Begriff ist auf die Wohlfahrtsökonomie zurückzuführen und auch im Kontext theoretischer Überlegungen zur optimalen Besteuerung zu verorten. Da gerade in neoklassischen Modellen das Gesamtabbrechen einer ÖSR häufig über die aggregierte Wohlfahrt beurteilt wird, wird der theoretische Hintergrund dieser Argumentationslinie in einem separaten Kapitel aufgegriffen.

Heady et al. (2000, S. 13–16) benennen sieben Schlüsselaspekte von Modellen für eine DD. Diese Auswahl könnte erweitert werden, die genannten Punkte haben allerdings Aktualität bis heute und bieten Orientierung für weitere Modellierungen einer ÖSR, sodass sie als Anregung verstanden werden können:

1. Eine ausreichende Steuerstruktur
2. Die Komplementarität von Konsumgütern und Freizeit (was in keinem von Heady et al. untersuchten Modell berücksichtigt ist)
3. Die Produktionsfaktorintensitäten von verschiedenen Gütern
4. Eigenschaften von nicht-erwerbsarbeitenden Konsument:innen
5. Internationale Mobilität von Produktionsfaktoren, wobei der Produktionsfaktor Kapital als entscheidend bewertet wird (da in allen von Heady et al. untersuchten Modellen internationale Kapitalmobilität

nicht oder unzureichend berücksichtigt wird, weisen die Autoren darauf hin, dass alle Modelle die positive Auswirkung auf Beschäftigung überschätzen)

6. Die Substitutionselastizitäten zwischen Arbeit, Kapital und Energie
7. Die Reaktionsfähigkeit der Arbeitsnachfrage und des Arbeitsangebots auf Veränderungen von Arbeitssteuern

In diesem Papier wird auch als Manko erachtet, dass alle Modelle internationale Zinssätze und die daraus entstehenden Arbitragemöglichkeiten nicht berücksichtigen (Heady et al., 2000, S. 31). Damit werden die positiven Wirkungen tendenziell überschätzt. Auch hier könnten neue Modellierungen den Fokus setzen.

7.3.2 Modelltypologien

7.3.2.1 Kategorisierung nach Modellklassen

Aufgrund diverser ökonomischer Denkrichtungen sowie verschiedener quantitativer Methoden gibt es in der Makroökonomik unterschiedliche Ansätze, Modelle zu typologisieren. Teilweise können deutlich unterschiedliche Grundannahmen die Ursache von sich unterscheidenden Modellergebnissen sein. Die angemessene Wahl der Modellierungsart hängt zentral vom Forschungsvorhaben und dessen Fragestellung ab. Zum vertieften Verständnis der präsentierten Ergebnisse sowie als Vorüberlegungen für die in Teil III anstehenden Modellentscheidungen lohnt es sich, die zentralen Modelltypologien in den Blick zu nehmen.

Gran (2017, S. 83f) bietet eine differenzierte Modellkategorisierung mit fünf Klassen. Diese Sammlung kann um die agentenbasierten Modelle erweitert werden, womit folgende umfassende Unterscheidung entsteht:

1. Optimierungsmodelle (insbesondere im Rahmen von GE-Modellen)
2. Ökonometrische Modelle
3. System-Dynamics-Modelle
4. Input-Output-Modelle
5. Stock-Flow-Consistent-Modelle
6. Agentenbasierten Modelle

Optimierungsmodelle sind durch Optimierungsverfahren gekennzeichnet, die der neoklassischen Mikroökonomik zuzuordnen sind. Dabei geht es darum, unter Nebenbedingungen vor allem den Nutzen der Haushalte sowie die Gewinne der Unternehmen zu maximieren.

Diese mikroökonomische Fundierung kann in neoklassische makroökonomische Gleichgewichtsmodelle integriert werden. Optimierungsmodelle und allgemeine Gleichgewichtsmodelle (GE-Modelle)⁶² sind insofern eng miteinander verbunden. Bei GE-Modellen wird davon ausgegangen, dass sich Angebot und Nachfrage der verschiedenen Märkte annähern und die Ökonomie insgesamt zu einem Gleichgewicht führen. Volatile Ergebnisse stammen demnach nicht aus der Modellstruktur, können aber von volatilen externen Einflüssen verursacht werden. Neben den häufigeren GE-Modellen gibt es auch partielle Gleichgewichtsmodelle, die nur einen Teil der Ökonomie analysieren, während der Rest konstant gehalten wird.

Heutige Beispiele für GE-Modelle mit mikroökonomischer Optimierung sind *Dynamic-Stochastic-General-Equilibrium-Modelle* (DSGE-Modelle) und die bereits erwähnten CGE-Modelle. DSGE-Modelle befassen sich mit stochastischen Schocks, welche die rationalen Akteur:innen trotz der grundsätzlichen Unvorhersehbarkeit über Erwartungsbildung mitberücksichtigen. Eine hohe Verbreitung haben DSGE-Modelle bei der Simulation von Finanzmärkten. Die DSGE-Modelle können als Reaktion auf die Lucas-Kritik (Lucas, 1976) verstanden werden, welche besagt, dass wirtschaftliche Akteur:innen ihr Verhalten anpassen können und deshalb die alleinige Verwendung von historischen Daten zur Vorhersage unzureichend ist. In den DSGE-Modellen haben die Agenten die Möglichkeit, dynamisch auf unvorhergesehene Schocks zu reagieren und stellen somit einen zentralen Modellierungsbestandteil dar. CGE-Modelle (engl. für berechenbare allgemeine Gleichgewichtsmodelle) sind statische Gleichgewichtsmodelle, die häufig langfristige Gleichgewichtssituationen beschreiben, ohne explizite Dynamik oder Unsicherheiten, dafür aber eine breitere Datenbasis haben. So greifen sie bspw. häufig auf Input-Output-Tabellen oder die VGR zurück und werden demnach verstärkt in anwendungsorientierten Bereichen eingesetzt.

*Ökonometrische Modelle*⁶³ haben in der Regel einen Fokus auf mathematische oder statistische Methoden, theoretische Hintergründe spielen eine kleinere Rolle. Die zentralen Modellzusammenhänge werden ökonometrisch validiert, unter Zuhilfenahme induktiver Statistik, sodass Datensätze die Grundlage für ökonometri-

⁶² Die theoretischen Ursprünge der GE-Modelle sind unter anderem bei Walras (1874) nachzulesen. Einführungen in die Theorie der GE-Modelle sind in zahlreichen Lehrbüchern zu finden, so etwa bei Starr (2011).

⁶³ Eine ausführliche Einführung in ökonomische Modellierung gibt Wooldridge (2015).

sche Modelle sind. Statistiken von öffentlichen und privaten Institutionen sind dafür unabhkömmlich. Eine extreme Form einer ökonometrischen Methode ist die Vektorautoregression (VAR), die ganz ohne einen herkömmlichen Theorieansatz auskommt; es werden lediglich die endogenen Variablen festgelegt, welche von Interesse sind (vgl. die Einführung von Lütkepohl, 2013). Andere Modelltypologien können ökonometrische Elemente beinhalten. Fruchtbar erscheint bspw. die Kombination mit Input-Output-Modellen, wie sie beim Panta-Rhei-Modell der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) vorliegt (vgl. Lehr et al., 2011).

Die *System-Dynamics-Modellierung* (oder nur *System Dynamics*, SD)⁶⁴ ist eine Methode zur Simulation komplexer dynamischer Systeme. Sie ist besonders geeignet, wenn verschiedene dynamische Prozesse gleichzeitig stattfinden, weil bei diesem Vorgehen das Zusammenspiel von Fluss- und Bestandsgrößen von Einzelbausteinen modelliert werden kann. So gibt es etwa verstärkende Schleifen (engl. „Reinforcing Loops“), wenn sich Wirkungen positiv verstärken, oder ausgleichende Schleifen (engl. „Balancing Loops“), wenn sich innerhalb einer Schleife positive und negative Effekte ausgleichen. Forschungsfragen von SD-Modellen adressieren typischerweise Wirkzusammenhänge sowie die Entwicklung über die Zeit, weniger die Höhe einzelner numerischen Kenngrößen.

Input-Output-Modelle⁶⁵ können die interdependenten Entwicklungen von Wirtschaftszweigen bzw. Sektoren einer Volkswirtschaft abbilden. Über die Berücksichtigung von Vorprodukten können simultane intersektorale Entwicklungen beschrieben werden. Zur Herstellung von finalen Gütern sind primäre Inputs (etwa Arbeit und Kapital) sowie Vorprodukte bzw. Zwischengüter (engl. „Intermediates“) vonnöten. Diese Modellierungsart wird für das Input-Output-Modell in Kapitel 11 detaillierter ausgeführt.

*Stock-Flow-Consistent-Modelle*⁶⁶ sind dynamische Modelle, die Fluss- und Bestandsvariablen aufweisen. Es handelt sich um einen bilanziellen Ansatz: Die

⁶⁴ Als bekannte und frühe Arbeit einer umfassenden System-Dynamics-Analyse ist *Limits to Growth* von Meadows et al. (1972) zu nennen. Eine Einführung in System Dynamics gibt Duggan (2016, siehe erstes Kapitel, S. 1-24).

⁶⁵ Leontief war an der Entwicklung der Input-Output-Analyse maßgeblich beteiligt und erhielt dafür 1973 den Alfred-Nobel-Gedächtnispreis für Wirtschaftswissenschaften. Zur Einführung empfehlen sich seine Beiträge bis heute (siehe *Input-Output Economics* für eine Zusammenstellung verschiedener Arbeiten von W. Leontief, 1986).

⁶⁶ Die Arbeiten von Godley und Lavoie (vgl. insbesondere Godley & Lavoie, 2007) sind zur Beschreibung der Methode als wesentlicher Beitrag zu nennen. Aktuellere Entwicklungen zeigen Carnevali et al. (2019).

Aktivitäten bzw. Transaktionen der Akteur:innen können über Bilanzierungskonten, deren Bilanzsummen stets übereinstimmen, dargestellt werden. Die Entscheidungen ökonomischer Akteur:innen kommen über fest definierte Verhaltensregeln zustande. Verschiedene Modellierungsarten können die Eigenschaft der Stock-Flow-Consistency aufweisen, sodass Kombinationen mit anderen Modellierungsarten wie etwa der agentenbasierten Modellierung möglich sind.

Agentenbasierte Modellierung (ABM)⁶⁷ ist eine Methode, die auf vielen individuellen Simulationseinheiten beruht. Für die Individuen sind Verhaltensregeln definiert, die Ausgangspunkt von gesamtwirtschaftlichen Effekten sind. Mittels Computersimulationen können komplexe Phänomene beschrieben werden, die auf der Basis der Entscheidungen einzelner Akteur:innen entstehen. Ein geeignetes Einsatzfeld ist daher die Untersuchung evolutionärer Entwicklungen – unabhängig davon, ob evolutionär im biologischen oder sozialen Sinne. Mit der Verbreitung von Computern haben sich agentenbasierte Modelle in verschiedenen Anwendungsbereichen etabliert, so zum Beispiel in der Biologie und Ökologie (vgl. Zhang & DeAngelis, 2020). Diese Modellierungsart wird für das agentenbasierte Modell in Kapitel 12 näher erläutert.

Werden nicht nur rein ökonomische Modellierungen in Betracht gezogen, sind an dieser Stelle auch Integrated-Assessment-Modelle (IAM) zu nennen, welche naturwissenschaftliche Komponenten bzw. Teilmodelle in ökonomische Modelle, insbesondere Optimierungsmodelle, integrieren (Scrieciu et al., 2013, S. 255). IAM werden unter anderem bei der Klimaforschung eingesetzt (Weyant, 2020).

Diese Modellklassen können sich überlappen, was bereits an einzelnen Beispielen ersichtlich wurde. Wenn auch nicht alle Kombinationen existieren, so sind bspw. ökonometrische System-Dynamics-Modelle (zum Beispiel Gran, 2017) oder stock-flow-konsistente Input-Output-Modelle (zum Beispiel Berg et al., 2015) möglich und sinnvoll.

Eine andere Unterscheidung machen Scrieciu et al. (2013, S. 254f), die Optimierungs- und Simulationsmodelle differenzieren. Optimierungsmodelle werden dadurch charakterisiert, dass sie mathematische Optimierungstechniken anwenden. Gran zufolge sind Optimierungsmodelle durch eine Zielfunktion, veränderbare Kontrollvariablen und zu erfüllende Nebenbedingungen charakterisiert (Gran, 2017, S. 84). Sie treten vorrangig als CGE-Modelle, als

⁶⁷ Ein Überblick über agentenbasierte Modellierung mit dem Versuch ein agentenbasiertes und stock-flow-konsistentes Benchmark-Modell zu entwickeln, ist bei Caiani et al. (2016) zu finden. Eine praktische, disziplinübergreifende Einführung in das Thema der agentenbasierten Modellierung geben Railsback und Grimm (2019).

Optimal-Growth-Modelle oder als eine Kombination daraus in Erscheinung (Scrieciu et al., 2013, S. 255). CGE-Modelle finden besonders beim Internationalen Währungsfonds (IWF), der Weltbank, der Europäischen Union und wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen und Universitäten Anwendung. In den 1980er Jahren entstanden DSGE-Modelle, die im Gegensatz zu den CGE-Modellen, dynamische Anpassungen der Modellparameter vorsehen und insbesondere bei Zentralbanken und in der Geldpolitik eingesetzt werden (Gran, 2017, S. 85). Beide Unterklassen sind gleichgewichtsorientiert und der neoklassischen Tradition zuzuordnen.

Simulationsmodelle sind nach dem Verständnis von Scrieciu et al. dagegen nicht auf Optimierung ausgelegt:

Simulation models do not optimize a particular objective function as in the case of their optimization counterpart, but describe instead a number of interlinked energy–emissions–economic relationships that allow for exploring the propagation of perturbations to the system. (Scrieciu et al., 2013, S. 256)

Demnach sind Maßnahmen in Simulationsmodellen flexibler umsetzbar und verhalten sich seltener antagonistisch zu unveränderlichen Annahmen, wie es bei Optimierungsmodellen teilweise der Fall ist.

Zur „Erfassung der sozioökonomischen Systemdynamik und der Rolle der makroökonomischen Politik für die Nachhaltigkeitsgovernance“ halten Scrieciu et al. (2013, S. 251) Nichtoptimierungsmodelle für besser geeignet.

Die eingangs genannten Modellklassen lassen sich in dieses Schema der Optimierungs- und Simulationsmodelle einordnen. Doch obwohl mit System-Dynamics-, Input-Output-, stock-flow-konsistente und agentenbasierten Modellen vier der sechs Klassen eher zu den Simulationsmodellen zu zählen sind, darf dieses Verhältnis nicht darüber hinwegtäuschen, dass Optimierungsmodelle von der Häufigkeit der Anwendung die dominierende Modellierungsart darstellen. Scrieciu et al. (2013, S. 255) konstatierten, dass aus sieben Modellvergleichsstudien mit insgesamt 30 Klima-Ökonomie-Modellen nur eines kein Optimierungs- oder Gleichgewichtsmodell war. Seither sind Simulationsmodelle relevanter geworden, Optimierungsmodelle jedoch weiterhin in einer dominierenden Rolle, wie die hohen Anteile der GE-Modelle in der Fachliteratur zur ÖSR belegen.

7.3.2.2 Kategorisierung nach ökonomischer Tradition

Die Tradition der ökonomischen Denkrichtung ist eine weitere Dimension zur Kategorisierung von Modellierungen. Die verbreitetsten Strömungen in der Makroökonomik sind: die neoklassische Theorie, welche die Grundlage fast aller Optimierungsmodelle darstellt, die keynesianische und postkeynesianische Theorie, welche eng mit den Stock-Flow-Consistent-Modellen verbunden sind, und die Ökologische Ökonomik, die sehr heterogen aufgestellt ist und entsprechend sehr unterschiedliche Anwendungen findet, wie zum Beispiel in den System-Dynamics-Modellen (die auch außerhalb der Ökonomik vielfältigen Einsatz finden). Bei den oben genannten Klassen sind die Optimierungsmodelle der Neoklassik zuzuordnen, die Zuordnungen der anderen Klassen sind dagegen weniger eindeutig.

Kombinationen bzw. Kreuzungen verschiedener theoretischer Hintergründe sind denkbar und existieren auch zum Teil. Da sich die postkeynesianische Theorie traditionell wenig mit Umweltthemen befasst und die Ökologische Ökonomik im Kontrast genau dort ihren Fokus hat und in anderen Modellierungsaspekten flexibel ist, hat sich gerade die Kombination von Ökologischer Ökonomik und postkeynesianische Theorie als fruchtbar erwiesen (Holt et al., 2009; Kronenberg, 2010).

Wie eine Reform methodologisch zu verstehen ist, unterscheidet sich nach den verschiedenen ökonomischen Traditionen bzw. Denkrichtungen. In der Neoklassik ist eine Reform der Übergang von einem Gleichgewicht zu einem anderen Gleichgewicht (Patuelli et al., 2005, S. 570). Sie ist als politischer Schock zu verstehen, dessen Wirkung in der Regel zunächst stark, dann weniger stark ist und sich in der langen Frist in einem Konvergenzprozess dem neuen Ruhezustand nähert. In keynesianisch geprägten Simulationsmodellen können Reformen hingegen dazu führen, dass ein grundlegend anderer Pfad beschritten wird. Ruhezustände und die Konvergenz zu einem solchen Ruhezustand sind nicht zwingend.

Als Teilgebiet der Ökologischen Ökonomik wird die Ökologische Makroökonomik verstanden, welche in den letzten Jahren zunehmendes Interesse erhielt. Auf Grundlage der bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten und von Expert:innen-Interviews geben Hardt und O'Neill (2017) einen Überblick über die Entwicklungen im Feld der Ökologischen Makroökonomik; untersucht und kategorisiert werden 22 Modelle. Hardt und O'Neill definieren Postwachstumsansätze als Überkategorie von drei Strömungen („steady-state economics“, „the

new economics of prosperity“, „degrowth“) und definieren damit ihren Betrachtungsrahmen. Das Ziel in diesem Feld sei nicht Null-Wachstum oder Schrumpfung, sondern: „reduce and then stabilise material and energy use within ecological limits“ (Hardt & O’Neill, 2017, S. 198). Darüber hinaus geht es in der Ökologischen Makroökonomik um eine Neuausrichtung der normativen Grundlagen. Als Autoren früher Arbeiten sind Jackson und Victor zu nennen (Jackson, 2009; Victor, 2008, 2012). In der Zwischenzeit hat sich ein breites Forschungsfeld etabliert. Hardt und O’Neill (2017, S. 198) resümieren, dass zukünftige Forschung von einem breiten Spektrum von Ansätzen profitieren kann. Die Kombination aus Input-Output- und Stock-Flow-Consistent-Modellen halten sie für besonders vielversprechend.

Als große Herausforderung im Kontext der Ökologischen Makroökonomik sehen mehrere Forscher:innen, dass bei niedrigem BIP-Wachstum Arbeitslosigkeit entstehen kann (Kallis et al., 2013; Hardt & O’Neill, 2017). Allerdings wird dieser Stabilitätsfrage in makroökonomischen Modellen insgesamt wenig nachgegangen (Jackson & Victor, 2015; Hardt & O’Neill, 2017), weshalb es sie weiter zu vertiefen gilt.

7.3.2.3 Kategorisierung in analytische und realwirtschaftliche Modelle

Die den Studien zugrundeliegenden Modellierungsansätze unterscheiden sich hinsichtlich der Modellkomplexität und der Berücksichtigung regionaler oder nationaler Daten wesentlich, was auch für die Einschätzung der Ergebnisse der jeweiligen Modellierungen relevant ist. Eine geeignete Klassifizierung bietet Gran (2017, S. 97–100), der analytische und realwirtschaftliche Modelle differenziert.

Laut Grans Definition entwickeln analytische Modelle „einen allgemeinen Analyserahmen (...) mit dem Ziel eines besseren Verständnisses makroökonomischer Zusammenhänge“ (Gran, 2017, S. 97). Empirische Validierung findet bei diesen Modellen nur zum Teil statt. Bestandteil dieser Kategorie sind auch Modelle ganz ohne Datengrundlage, welche Gran als „rein analytische Modelle mit starkem Theoriebezug“ (Gran, 2017, S. 97) bezeichnet und welche unter anderem zur Weiterentwicklung einer Theorie dienen können.

Realwirtschaftliche Modelle definiert Gran dagegen als „Simulationen, die sich auf ein bestimmtes Land oder eine Region beziehen“ (Gran, 2017, S. 97). Typischerweise haben derartige Modelle zwar ebenfalls einen neoklassisch-

oder keynesianisch-orientierten Kern, werden aber durch weitere Teilmodelle oder -aspekte ergänzt und bspw. über ökonometrische Methoden oder Input-Output-Tabellen umfassend validiert.

Auf ähnliche Weise unterscheiden Hardt und O'Neill (2017, S. 202) analytische und numerische Modelle: Analytische Modelle enthalten wenige Gleichungen und können mit analytischen Methoden gelöst werden, numerische Modelle dagegen haben eine Vielzahl an Gleichungen und können nur noch mithilfe von Computern gelöst bzw. simuliert werden. Im Bereich der numerischen Modelle werden laut Hardt und O'Neill häufig folgende Modellklassen verwendet: „monetary input-output analysis, physical input-output analysis, system dynamics, and stock-flow consistent modelling“ (Hardt & O'Neill, 2017, S. 202). Diese Kategorien können sich überschneiden, wie sich bspw. das Modell von Cordier et al. (2017) sowohl den monetären Input-Output-Modellen als auch den System-Dynamics-Modellen zuordnen lässt.

Es lohnt sich, diese Unterscheidungen auch beim Blick auf Meta-Studien zu berücksichtigen. So enthält Bosquets Übersicht bspw. sowohl analytische als auch realwirtschaftliche Modelle (Bosquet, 2000). Realwirtschaftliche Modellierungen greifen auf verschiedene makroökonomische Daten zurück, können ein umfassendes Bild der Ökonomie erstellen und sind damit als aussagekräftiger für die Gesamtentwicklung der Ökonomie zu bewerten. Analytische Modelle können dagegen einen Teilaspekt besser in den Blick nehmen und sind aufgrund der weniger umfangreichen Annahmen transparenter; die Ergebnisse dieser Modellierungen können leichter auf modellinhärente Ursache-Wirkung-Beziehungen zurückgeführt werden.

7.3.3 Wohlfahrtsökonomik und Theorie der optimalen Besteuerung

Methodologischer Hintergrund der Mehrzahl der aufgegriffenen Publikationen zum Thema der ÖSR ist die Wohlfahrtsökonomik bzw. Wohlfahrtstheorie der Ökonomik. Um die relevanten Hintergründe zu beleuchten, auch im Hinblick auf die Implikationen für die optimale Besteuerung, wird im Folgenden zunächst auf Lehrbücher und Übersichtsartikel zurückgegriffen (vgl. Charles D Kolstad, 2011; Hindriks & Myles, 2013; Varian, 2016; Vanberg, 2019).

Evaluationen der Wohlfahrt von verschiedenen Zuständen werden vor allem dann benötigt, wenn politische Maßnahmen oder Reformen bewertet

oder verglichen werden. Teile der Wohlfahrtsökonomik werden zur normativen Ökonomik gezählt, zum Beispiel dann, wenn eine soziale Wohlfahrtsfunktion den Nutzen mehrerer Akteur:innen aggregiert. Bewertungen können aber auch anhand von Effizienzkriterien vorgenommen werden, etwa durch die Pareto- oder Kaldor-Hicks-Effizienz.

In pareto-optimalen Zuständen kann niemand bessergestellt werden, ohne jemanden schlechter zu stellen. Pareto-Optimalität kann demnach einstimmig hergestellt werden und stellt folglich ein Minimalkriterium für Zustände optimaler Wohlfahrt dar (vgl. Vanberg, 2019, S. 13f). Für Instrumente wie die Cost-Benefit-Analyse oder für eine Gesamtbewertung anhand einer sozialen Wohlfahrtsfunktion sind weitere Annahmen erforderlich (Varian, 2016, S. 291f). Informationsprobleme stellen dabei zentrale Herausforderungen in der Praxis dar, da persönliche Charakteristiken und Präferenzen üblicherweise private Informationen sind (Hindriks & Myles, 2013, S. 429). Diese Schwierigkeiten werden in den folgenden theoretischen Überlegungen jedoch nicht vertieft.

Eine soziale Wohlfahrtsfunktion kann unterschiedliche Zustände bewerten und vergleichen (zum Beispiel vor und nach der Einführung einer Steuer), indem sie ihnen ein eindimensionales, numerisches Ergebnis zuordnet. Damit sind zwei Zustände entweder gleich gut oder einer der beiden besser als der andere.

Die beschriebenen Gedanken sind Teil der utilitaristischen Wohlfahrtsökonomik bzw. Wohlfahrtsökonomik nach Bentham und greifen auf Begründungen des Utilitarismus zurück; Pigou, der sich mit Umweltsteuern beschäftigte, gilt als zentraler Vertreter dieser Strömung (Vanberg, 2019, S. 9). In dieser werden kardinale Nutzenvergleiche vorgenommen, das bedeutet, dass auch die Beträge der Nutzen relevant sind und somit anhand von Nutzeinheiten Vergleichbarkeit zwischen Personen hergestellt werden kann. Der kardinale Nutzen grenzt sich vom ordinalen Nutzen ab, welcher eine Bezifferung von Präferenzen einer Person darstellt, aber keine Vergleichbarkeit der Nutzen von verschiedenen Personen erlaubt.

In der neueren Wohlfahrtsökonomik nach Pareto (engl. „Paretian Welfare Economics“) dagegen wird die Perspektive vertreten, dass interpersonelle Nutzenvergleiche unzulässig sind. Nutzenbewertungen reduzieren sich deshalb auf ordinale und damit auf intrapersonelle Vergleiche (Vanberg, 2019, S. 13). Aufbauend auf diesen Rahmen wurde dennoch versucht, Wohlfahrtsbewertungen von Politikmaßnahmen zu gewährleisten, welche über das Pareto-Kriterium hinausgehen.

Den historischen Verlauf fassen Hindriks und Myles (2013, S. 433f, 446–450) wie folgt zusammen: Im 19. Jahrhundert wurde es, im Rahmen der utilitaristischen Tradition der Wohlfahrtsökonomik, als möglich erachtet, dass das Level des Glücks messbar ist. Anfang des 20. Jahrhunderts wurde dies in Frage gestellt und mit der Pareto-Effizienz sowie dem zweiten Satz der Wohlfahrtsökonomik Wege gefunden, auch ohne kardinale Nutzenvergleiche vergleichende Aussagen zu treffen. Doch um eine bessere Vergleichbarkeit von verschiedenen Zuständen zu ermöglichen, wurden ab den 1960er Jahren erneut die voraussetzungsreicheren Annahmen des kardinalen Prinzips in Betracht gezogen. In diesem Kontext ist auch die Kaldor-Hicks-Kompensation bzw. -Effizienz zu verorten. Auf Basis des kardinalen Prinzips lässt sich eine aggregierte soziale Wohlfahrtsfunktion aufbauen.

Ein zentraler Begriff der Wohlfahrtsökonomik ist die aggregierte Wohlfahrt. Diese setzt sich aus Konsumentenrente und Produzentenrente zusammen (vgl. Charles D Kolstad, 2011, S. 79–81). Die Konsumentenrente ergibt sich durch die Differenz aus der Zahlungsbereitschaft einer bestimmten Anzahl von Konsument:innen für ein Gut und den tatsächlichen Ausgaben für das Gut, dem Preis. Das Konzept der Konsumentenrente bezieht sich damit auf eine Gruppe von Konsument:innen (Varian, 2016, S. 281).

Die Produzentenrente, welche auf Marshall (1890) zurückzuführen ist, ist analog für eine Gruppe von Anbieter:innen die Differenz aus den Kosten zur Bereitstellung eines Gutes am Markt und den tatsächlichen Einnahmen, ebenfalls dem Preis bei Nichtberücksichtigung von Steuern (Varian, 2016, S. 289–291).

Zur Legitimierung dieser Summenbildung ist die Annahme des kardinalen Nutzens erforderlich – eine stärkere Annahme als das ansonsten in der Ökonomik verwendete ordinale Nutzenkonzept (vgl. Hindriks & Myles, 2013, S. 443–446; Vanberg, 2019, S. 9–21). Der Abstand der Angebots- und Nachfragekurve zueinander ist relevant, wodurch es kein ordinales Prinzip ist.

Auch für die Cost-Benefit-Analyse ist das ordinale Nutzenprinzip nicht ausreichend und weitere Annahmen über die Nutzenfunktionen der Individuen sind erforderlich (Hindriks & Myles, 2013, S. 876–889). Die Regel „a dollar is a dollar“ wird zum Beispiel kontrovers diskutiert, das heißt die Annahme, dass eine bestimmte Menge Geld für alle den gleichen Wert bzw. Nutzen hat, egal wer den Dollar bezahlt oder erhält (Hindriks & Myles, 2013, S. 881). Der Ansatz der Cost-Benefit-Analyse wird aus diesem sowie aus anderen Gründen beim Thema Klimamodellierung stark kritisiert (vgl. Ackerman & Stanton, 2012; Revesz et al., 2014; Moore & Diaz, 2015).

Auch bei der Cost-Effectiveness-Analyse wird nicht ausschließlich das ordinale Prinzip genutzt. Zwar wird hierbei ein Ziel vorab vorgegeben, die Kalkulationen innerhalb der Analyse basieren jedoch auch auf Geldbeträgen (Kosten), deren absolute Größen relevant sind.

In der Theorie der optimalen Besteuerung besteht das grundlegende Problem, dass jede Steuer auf einzelne Güter einen Anreiz setzt, auf alternative Güter auszuweichen. Um über Gütersteuern ein gewünschtes Steueraufkommen zu erreichen, würden damit einerseits die besteuerten Güter schlechter gestellt und deswegen weniger konsumiert, andere Güter andererseits bessergestellt werden. Die Konsument:innen kaufen daher am Ende ein Güterbündel, das in dieser Kombination ohne Steuern als nicht optimal bewertet worden wäre.

Steuern oder Transfers werden gemäß Hindriks und Myles (2013, S. 40) dann als *lump sum* (Kopfsteuer) bezeichnet, wenn sich durch sie das Verhalten der Konsument:innen nicht verändert. Eine solche verzerrungsfreie Steuer wird auch als optimale oder erstbeste Lösung bezeichnet.

Lump-sum-Steuern oder -Transfers nehmen auf theoretischer Ebene eine zentrale Rolle in den Finanzwissenschaften (engl. „Public Economics“) ein, weil sie die anfangs vorhandene Grundausrüstung nicht verringert (Hindriks & Myles, 2013, S. 40f). Das bedeutet, sie weisen keine Verzerrungen auf, verringern nicht die erreichbare Wohlfahrt und stellen insofern wohlfahrtstheoretisch die beste Lösung dar. Hindriks und Myles schreiben „redistribution is achieved with no efficiency cost“ und wenn Lump-sum-Steuern oder -Transfers implementiert werden können, sind sie „perfect taxes“ (Hindriks & Myles, 2013, S. 40).

Die meisten Steuerinstrumente aus der Praxis sind aber nicht ohne Verhaltensänderungen denkbar und deshalb nicht lump-sum. Hindriks und Myles (Hindriks & Myles, 2013, S. 428) führen hier unter anderem Einkommensteuern sowie Gütersteuern an, da sie das Verhalten beeinflussen. Selbst Erbschaftssteuern sind im engeren Sinne nicht lump-sum: Zwar können sie das Verhalten von verstorbenen Menschen nicht beeinflussen, doch verändern sie das Verhalten vor dem Tod. Lediglich durch eine Pauschalsteuer pro Kopf werden keine derartigen Verzerrungen verursacht, eine solche wird aber für die Praxis als unrealistisch angesehen. Gerechtigkeitsaspekte außen vorgelassen, ist festzustellen, dass selbst eine einheitliche Pauschalsteuer pro Kopf sich als schwierig und kostspielig in der Verwaltung herausstellt (Hindriks & Myles, 2013, S. 428); als einheitliche Steuer kann sie darüber hinaus laut Hindriks und Myles nur unwahrscheinlich die optimale Besteuerung herstellen.

Die Theorie der optimalen Besteuerung bestimmt sich darüber, den Wohlfahrtsverlust (engl. „Dead Weight Loss“) unter der Nebenbedingung der Einführung von Steuern zu minimieren (Hindriks & Myles, 2013, S. 509–512). Es geht zentral um die Suche nach dem bestmöglichen Ergebnis bei Einführung einer Gütersteuer, welches zweitbeste Lösung genannt wird, da auf theoretischer Ebene die beste Lösung eine Lump-sum-Steuer wäre.

Die Ramsey-Regel⁶⁸ ist eine häufig verwendete Richtschnur zum Finden dieser Steuerlast. Sie besagt, dass die prozentuale Reduktion der Nachfrage nach Gütern durch die Einführung von Steuern bei allen Gütern gleich hoch sein soll. Aus dieser Regel folgt, dass Güter, bei denen die Nachfrage bei Preisveränderungen elastisch reagiert, weniger stark zu besteuern sind als Güter mit unelastischer Nachfrage.

Erhöht sich der Steuersatz, unter der Annahme einer sinkenden Nachfragefunktion⁶⁹, wird ein solches Gut weniger nachgefragt: Ausweichverhalten ist zu beobachten. Daraus entsteht eine konkave Kurve des Steueraufkommens eines Gutes bei zunehmendem Steuersatz: die Laffer-Kurve (Abbildung 6, linke Darstellung).⁷⁰

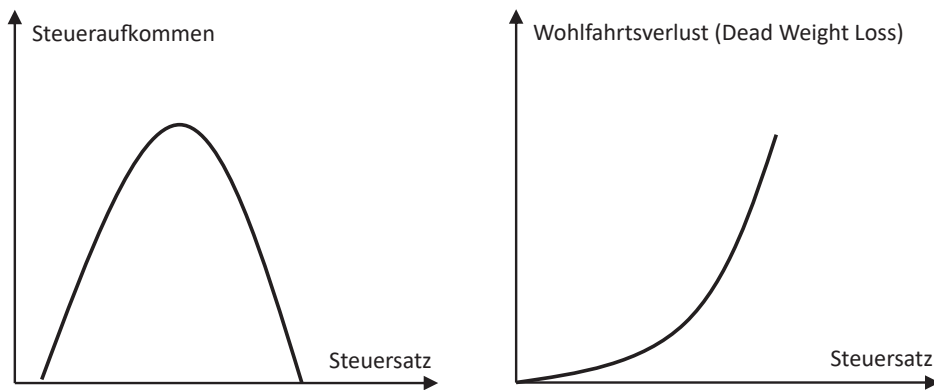


Abbildung 6: Laffer-Kurve und Wohlfahrtsverlust

⁶⁸ Nach dem britischen Mathematiker, Philosophen und Ökonomen Frank P. Ramsey benannt, der sich bereits 1927 mit dem Problem der optimalen Besteuerung auseinandersetzte (Ramsey, 1927).

⁶⁹ Eine steigende Nachfragefunktion ist selten und läge nur bei einem Giffen-Gut vor, welches nach dem schottischen Statistiker und Ökonomen Robert Giffen benannt wurde, der diesen Zusammenhang beobachtete und damit Namensgeber wurde (etwa durch die Publikation *Robert Giffen and the Giffen paradox* von Mason, 1989).

⁷⁰ Diese Kurve ist nach Arthur B. Laffer benannt, obwohl der US-Ökonom angibt, dieses Konzept nicht erfunden zu haben und auf historische Ursprünge im 14. Jahrhundert verweist (Laffer, 2004, S. 1).

Daraus lässt sich ableiten, dass die Kosten und damit die Effizienz mit steigendem Steuersatz überproportional zunehmen. Dieser Effizienzverlust wird in den Finanzwissenschaften auf Grundlage der Wohlfahrtsökonomik als Wohlfahrtsverlust bezeichnet (Abbildung 6, rechte Darstellung). Aus diesem Grund wird eine breite Steuerbasis angestrebt.

Aus diesen Überlegungen kann für die Praxis geschlossen werden:

- Hohe Belastungen von Einzelgütern gilt es zu vermeiden.
- Umsatzsteuern werden tendenziell bevorzugt, da sie viele Güter betreffen.
- Güter des täglichen Bedarfs sind unelastischer und sind höher zu besteuern. Luxusgüter sind elastischer, was an den vielen Ausweichmöglichkeiten liegt, und sind weniger zu besteuern.

Gerechtigkeitsüberlegungen haben bei dieser Argumentation noch keine Berücksichtigung erfahren, können allerdings in deutlichem Widerspruch zu den genannten Effizienzaspekten stehen. Ein Spannungsfeld von Effizienz im Sinne der optimalen Besteuerung und Gerechtigkeitsaspekten ist zu konstatieren.

Dies ist nicht das einzige Spannungsfeld normativer Elemente in Modellierungen ökologischer Steuerreformen, denn auch die in der Umweltökonomik angestrebte Internalisierung externer Kosten kann im Gegensatz zu den thematisierten, normativen Annahmen stehen. Somit werden in den Forschungsarbeiten zur ÖSR auf verschiedene normative Konzepte zurückgegriffen, die nicht ohne Bruch zusammengesetzt werden können.

Im Kontext der ÖSR fällt die erste Dividende überwiegend positiv aus. Die Bewertungen der zweiten bzw. zweiten und dritten Dividende dagegen werden in der Regel nicht mit den Bewertungen der ersten Dividende zusammengeführt. Daraus entsteht ein normativer Bruch, der eine Gesamtbewertung erschwert. Theoretisch könnte eine ÖSR auch dann insgesamt positiv bewertet werden, wenn kleine ökonomische Nachteile (zweite und dritte Dividende) großen ökologischen Vorteilen (erste Dividende) gegenüberstehen. Eine solche Gesamtbewertung jenseits der Kategorien der ersten, zweiten und dritten Dividende bietet daher Vorteile.

Eine Gesamtbewertung ist auch im Rahmen der Wohlfahrtsökonomik möglich. Bei Bovenberg (1999, S. 422) zum Beispiel liegt die optimale Umweltbesteuerung unterhalb der Pigou-Steuer, was darüber erklärt wird, dass im Nicht-Umwelt-Bereich durch eine geringere Steuer weniger Verzerrungen entstehen. Bovenberg (1999, S. 423) nimmt an, dass ohne die Berücksichtigung von Umweltbelangen die optimale Verschmutzungssteuer null ist, sodass jegliche Erhöhung der Verschmutzungssteuer eine Verzerrung des Systems darstellt.

Andersherum lässt sich mit Blick auf die ÖSR im Rahmen einer wohlfahrtsökonomischen Gesamtbewertung festhalten: Auf theoretischer Ebene muss das Steuersystem ineffizient sein, damit überhaupt eine DD möglich ist (Bosquet, 2000, S. 20; Maxim & Zander, 2019, S. 218).

Bovenberg nimmt die Optimalität vor der Reform an, obwohl der Faktor Umwelt zu diesem Zeitpunkt noch nicht mitberücksichtigt wurde. Die Konsequenz ist, dass unter diesen Bedingungen die höchsten Effizienzgewinne durch eine Reduktion der Kapitalbesteuerung erreicht werden. Diese gilt es deshalb nach Bovenberg (1999, S. 431) mit dem Aufkommen der Steuerreform zu entlasten. Das Ergebnis des GE-Modells von Bovenberg überrascht dann nicht: Die DD-Hypothese, bei der ein positiver Beschäftigungseffekt entsteht, wird nicht bestätigt (Bovenberg, 1999, S. 423). Es ist festzuhalten, dass ein Wohlfahrtsbegriff genutzt wird, der Umweltaspekte nicht inkludiert und Umwelt damit nicht adäquat in die Gesamtbewertung einfließt. Vor dem Hintergrund der Schwächen einer rein auf wohlfahrtsökonomischen Aspekten beruhenden Gesamtbewertung könnte die Bewertung über umfassendere Wohlfahrtsindikatoren oder -indices gewinnbringend sein (vgl. Kapitel 7.3.4).

Als alternative Herangehensweise könnte aus Umweltsicht auch die ex ante getroffene Annahme sein, nur noch ein bestimmtes Maß einer Verschmutzung oder Emission zuzulassen. Mithilfe von Steuern könnte versucht werden, dieses Maß zu erreichen. Eine Hierarchie von normativen Annahmen wäre denkbar, zum Beispiel: 1. Umweltziele im Sinne fester Kenngrößen, 2. Effizienzziele. Damit wären ökologische Leitplanken definiert, innerhalb derer sich ökonomisches Handeln abspielen könnte (vgl. „planetarische Leitplanken“ des Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, WBGU [Hrsg.], 2011). Ein solches Prinzip ökologischer Leitplanken stammt aus der Ökologischen Ökonomik und steht anderen Prinzipien entgegen, wie zum Beispiel dem Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit, bei dem Ökonomie, Ökologie und Soziales ohne Hierarchie nebeneinanderstehen (vgl. Döring & Ott, 2001).

Alles in allem erscheint es empfehlenswert, verschiedene Verfahren anzuwenden sowie verschiedene Blickwinkel einzunehmen, um ein gutes Gesamtbild zu erhalten. Die vorzufindende Fokussierung auf den oben ausgeführten Prinzipien der optimalen Besteuerung erscheinen unzureichend.

7.3.4 Wachstumskritik, Postwachstum und alternative Wohlfahrtsmessung

In der aufgeführten Fachliteratur wird Wirtschaftswachstum im Sinne einer Erhöhung des BIP als erstrebenswert angesehen. Das Ziel von BIP-Wachstum unterliegt normativen Grundannahmen (Fioramonti, 2013). Werden diese nicht herangezogen und stattdessen andere Werte zur Beurteilung von Entscheidungen eingebracht, kann ein lohnender Perspektivwechsel vollzogen werden.

Ein Grundgedanke aus dem Feld von Postwachstum bzw. Degrowth ist, dass Umweltverbrauch – bzw. konkreter: Ressourcenverbrauch, Umweltverschmutzung oder Klimawandel – an die ökonomische Aktivität einer Volkswirtschaft, gemessen am BIP, gekoppelt ist. Wenn der Umweltverbrauch trotz Wachstum reduziert werden soll, müssen konsequenterweise Umweltverbrauch und BIP entkoppelt werden. Doch gibt es erhebliche Zweifel bzw. bislang keine Indikation, dass die absolute, permanente, globale sowie ausreichend große und schnelle Entkopplung gelingen könnte, wie Parrique et al. (2019) in einer Übersicht reflektieren. Den Untersuchungen von historischen Trends und modellbasierten Projektionen von Hickel und Kallis (2019) zufolge ist absolute Entkopplung zwar denkbar, aber sie vollzieht sich deutlich zu langsam, um die Erderwärmung auf 1,5–2,0 °C zu beschränken. Modellierungsszenarien, die Wachstum im Rahmen der Klimaziele für möglich erachten, basieren auf erheblichen Negativ-Emissionen (Anderson, 2015). Aufgrund der Zeitknappheit zur Reduktion der Emissionsziele liefert zwar Postwachstum bzw. Null-Wachstum nur einen Baustein, doch zusätzliches Wachstum, bei gleicher Emissionsintensität je Output-einheit, erschwert die Zielerreichung darüber hinaus (Mastini et al., 2021).

Aus diesen Überlegungen heraus rechtfertigt sich Wachstumskritik auf einer ökologischen Argumentationsgrundlage. Neben dieser gibt es auch Kritik aus sozialer Richtung oder im Hinblick auf die Machbarkeit von andauerndem Wachstum (siehe oben, Kapitel 5.5 Säkulare Stagnation und Postwachstum).

Der Artikel *In Defense of Degrowth* von Giorgos Kallis (2011) beschäftigt sich unter anderem mit Umweltsteuern. Mit über 1000 Zitationen unterstreicht er die aktuelle, wissenschaftliche Bedeutung von Degrowth bzw. Postwachstum in diesem Kontext (Bashir et al., 2021). Dennoch weisen Keyßer und Lenzen (2021) darauf hin, dass selbst in den bisherigen IPCC-Reports Degrowth-Szenarien fehlen und machen damit auf einen blinden Fleck aufmerksam. Auch Kuhnhenh (2018) beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit

Degrowth-Szenarien, das heißt zum Beispiel Szenarien mit Null-Wachstum, in der Klimaforschung berücksichtigt werden und kommt zum gleichen Schluss. Die Modellierungen der Klimaforschung, womit auch die IAM der IPCC-Reports adressiert sind, gingen „alle von weiterem Wirtschaftswachstum“ aus (Kuhnhenh, 2018, S. 3). Weiter schreibt Kuhnhenh: „Hierdurch wird ein grundlegender Wandel hin zu einer Gesellschaft ohne Wirtschaftswachstum ausgeblendet.“ (Kuhnhenh, 2018, S. 3).

Ein Teil des Postwachstum-Forschungsfelds ist die Beschäftigung mit ökologischen Reformen, die mitunter der ÖSR ähneln. Im Folgenden sind relevante realwirtschaftliche Ansätze mit Degrowth- und Umweltbezug herausgegriffen. Ein expliziter Bezug auf die ÖSR im Sinne dieser Arbeit ist selten. Der von Barker et al. (2009) genutzte E3ME-Modellrahmen bietet einen interessanten Ansatz für Europa. Stocker et al. (2011) beziehen sich innerhalb des Panta-Rhei-Modellrahmens auf Österreich. Wirkungen in Frankreich analysieren Briens und Maïzi (2014) in einem Input-Output-Modell. Naqvi (2015) dagegen untersucht in einem Stock-Flow-Consistent-Modell Politikmaßnahmen auf EU-Ebene. Mit einer ökonomischen System-Dynamics-Modellierung adaptiert Gran (2017) das für Kanada entworfene LowGrow-Modell von Victor (2008) und passt es für Deutschland an. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf Politikmaßnahmen bzw. Szenarien für eine Wirtschaft ohne BIP-Wachstum. Steuern werden hierbei nicht differenziert in den Blick genommen. Heikkinen (2018) implementiert in einem Gleichgewichtsmodellrahmen unter anderem Vermögensasymmetrien sowie heterogene Präferenzen und geht davon aus, dass ein Teil der Gesellschaft den Konsum freiwillig reduziert. Sie hält fest, dass bei jeder Gesellschaft ab einer bestimmten Größe Degrowth die Wohlfahrt erhöht (gemessen mithilfe eines Bernoulli-Nash-Aggregats). Nieto et al. (2020) implementierten ein makroökonomisches Modul in das System-Dynamic-Modell MEDEAS und vergleichen drei globale Szenarien: Business as usual, Green Growth und Post-Growth, wobei sich nur das letztgenannte in Bezug auf Klimapolitik und nachhaltige Verwendung von Ressourcen als erfolgreich erweist.

Neben den im vorangegangenen Kapitel aufgezeigten Bewertungssystemen von Steuerreformen, die Kosten und Nutzen von Steuerveränderungen anhand von mehr oder weniger Verzerrungen im Steuersystem bewerten und laut Patuelli et al. (2005, S. 567) vor allem angewandt werden, gibt es alternative Ansätze. So kann bspw. auch über alternative Wohlfahrtsindizes eine Gesamtbewertung einer Ökonomie vorgenommen werden.

Es gibt eine Vielzahl von Ansätzen Wohlfahrt, Wohlstand, Lebensqualität oder Glück zu messen. Im Rahmen der *Umweltökonomische Gesamtrechnung* (UGR) kann zum Beispiel das vom Hot or Cool Institute, von der Wellbeing Economy Alliance und von der New Economics Foundation herausgegebene Indikatorensystem des *Happy Planet Index* genannt werden (vgl. Abdallah et al., 2009).⁷¹ In Entwicklungszusammenhängen hat sich der *Human Development Index* (HDI, vgl. Sagar & Najam, 1998) etabliert, welcher mit dem *Inequality-adjusted Human Development Index* (IHDI, vgl. D. A. Hicks, 1997) und *Global Multidimensional Poverty Index* (MPI, vgl. Dotter & Klasen, 2017) auch neuere Varianten aufweist.⁷² Auf Ebene der OECD ist insbesondere der *OECD Better Life Index* der OECD Better Life Initiative von Bedeutung (vgl. Durand, 2015).⁷³ Beim Thema Ökologie hat der *Ökologische Fußabdruck*, herausgegeben vom Ecological Footprint Network, aufgrund seiner individuellen Anwendungsmöglichkeiten an Popularität gewonnen.⁷⁴ Ebenfalls im Bereich der Accounting-Ansätze sind der *Index of Sustainable Economic Welfare* (ISEW, vgl. Cobb & Cobb, 1994), der *Genuine Progress Indicator* (GPI, Kubiszewski et al., 2013) und der *Nationale Wohlfahrtsindex* (NWI). Letztgenannter ist für Deutschland besonders relevant, da eine kontinuierliche Fortschreibung stattfindet und darüber hinaus die Methodik stetig weiterentwickelt wurde (Diefenbacher & Zieschank, 2009; Diefenbacher et al., 2013; Held et al., 2022).⁷⁵

Der Nationale Wohlfahrtsindex basiert methodologisch auf dem Index of Sustainable Economic Welfare und dem Genuine Progress Indicator und weist große Unterschiede zur Entwicklung des BIP auf. Grundsätzlich setzt der Nationale Wohlfahrtsindex beim BIP an, versucht aber, die Folgen der wirtschaftlichen Aktivitäten umfassender einzubeziehen (Held et al., 2018, S. 392). Dazu gehören vor allem die Berücksichtigung von sozialen und Umweltaspekten. Das bedeutet unter anderem, dass Ungleichheit berücksichtigt wird, nicht-marktliche Güter einbezogen werden und Kosten bspw. aufgrund von Ver-

71 Siehe Happy Planet Index: <https://happyplanetindex.org/> (27.03.2024).

72 Siehe United Nations Development Programme (UNEP) zum Human Development Index (<https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index>, 27.03.2024), zum MPI (<https://hdr.undp.org/content/2021-global-multidimensional-poverty-index-mpi>, 27.03.2024) und zum IHDI (<https://hdr.undp.org/inequality-adjusted-human-development-index>, 27.03.2024).

73 Siehe OECD Better Life Initiative: <https://www.oecdbetterlifeindex.org/> (27.03.2024).

74 Siehe Ecological Footprint Network: <https://data.footprintnetwork.org/> (27.03.2024).

75 Siehe Nationalen Wohlfahrtsindex: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-nationaler-wohlfahrtsindex> (27.03.2024).

schmutzung abgezogen werden. Nutzen und Kosten werden schließlich in einem Indikator zusammengeführt. Herausforderungen bleiben die Datenverfügbarkeit auf praktischer Ebene sowie die Wahl der notwendigen Annahmen auf methodologischer Ebene (Held et al., 2018, S. 392).

Diefenbacher et al. (2020) beschäftigen sich mit der Frage, wie Umwelt- und Wohlfahrtsindikatoren in wirtschaftliche Modellierungen implementiert werden können und was die Schwierigkeiten dabei sind. Hierfür wurden 30 Modelle aus vier Modellklassen (Gleichgewichtsmodelle, makroökonomische Modelle, systemdynamische und agentenbasierte Modelle) untersucht. Unter den acht im Detail untersuchten Modelle sind unter anderem die in dieser Arbeit erwähnten Modelle E3ME (Pollitt, 2014), Panta Rhei (Lehr et al., 2011), WoW (Gran, 2017) und MEDEAS (Nieto et al., 2020) enthalten.

Die Autor:innen schätzen die bisherige Berücksichtigung von Umweltfaktoren in ökonomischen Modellen als zu gering ein und auch die bisherigen Bemühungen seitens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), makroökonomische Modelle in diesem Sinne weiterzuentwickeln, bewerten sie als unzureichend (Diefenbacher et al., 2020, S. 34). Stattdessen wird ein großer Fokus auf die Steigerung des Wirtschaftswachstums konstatiert.

In diesem Forschungsprojekt wurden zum einen Indikatoren einzelner Aspekte angelegt, wie etwa zu Verteilung oder Gesundheit. Zum anderen wurde im Bereich der Wohlfahrtsindices vor allem der Nationale Wohlfahrtsindex untersucht und „Integrierbarkeit seiner Einzelkomponenten geprüft“ (Diefenbacher et al., 2020, S. 108).

Die Ergebnisse sind gemischt: Erwiesen sich manche Modelle als sehr geeignet zur Integration von Wechselwirkungen mit der Umwelt und anderen Wohlfahrtsaspekten, ließen sich diese Komponenten in andere Modelle vermutlich nur mit erheblichem Aufwand und durch grundlegende Überarbeitung implementieren (Diefenbacher et al., 2020, S. 109–111). Das E3ME-Modell wird bspw. als vielversprechend eingeordnet; es weist bereits umfassende Umweltkomponenten auf. Etwa das IMK-Modell, ein strukturelles makroökometrisches Modell, welches vom Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung herausgegeben wird, berücksichtigt dagegen Umweltfaktoren bislang nicht, was aber als zukünftige Entwicklungsaufgabe gesehen wird. Beim MEDEAS-Modell wird konstatiert, dass Rohstoffverbrauch, Endenergieproduktivität und Umweltkosten bereits Teil des Modells sind. Hier erscheinen die Anknüpfungspunkte für Wohlfahrtsindices gegeben.

Diefenbacher et al. (2020, S. 111) machen auf weitere Problemfelder aufmerksam. Dazu sind unter anderem die fehlende Verfügbarkeit von Daten, die internationale Vergleichbarkeit von Daten oder die Unklarheit bzw. die fehlende Überzeugung von Modellierer:innen sowie von Auftraggeber:innen über Zusammenhänge zwischen Umwelt und Wirtschaft. In diesem Kontext sprechen Diefenbacher et al. zum Beispiel den Nutzen von Ökosystemleistungen an. So wird die Wichtigkeit von Umwelt- und Wohlfahrtsindizes als Bestandteile von makroökonomischen Modellen bislang nicht im größeren Ausmaß wahrgenommen.

Es zeigt sich, dass Postwachstumsüberlegungen an verschiedenen Stellen aufkommen. Etwa Patuelli et al. (2005) dokumentieren Szenarien, in denen das BIP schrumpft, die Beschäftigung aber steigt. Postwachstum oder Null-Wachstum kann mithilfe einer Wohlfahrtsmessung, die deutlich über das BIP hinausgeht, als Chance begriffen werden, die in weiteren Arbeiten systematischen Einzug erhalten könnte. Die weitere Beschäftigung mit alternativen Wohlfahrtsindizes in makroökonomischer Forschung erscheint lohnend.

Trotz der notwendigen Kritik bleibt das BIP ein relevanter Bezugspunkt in Modellierungen, da es berechtigterweise als Indikator für ökonomische Aktivität herangezogen werden kann (Fioramonti, 2013). Für die vorliegende Arbeit als entscheidendere Ziele werden allerdings das Beschäftigungsniveau und die Eindämmung der THG-Emissionen angesehen, was als prä-analytische Vision dieser Arbeit bezeichnet werden kann.⁷⁶

7.3.5 Ausmaß der Reform

Ein wesentlicher Aspekt der Ausgestaltung einer ÖSR ist ihr Ausmaß, wozu zentral die Höhe der einzuführenden Steuer gehört. Die dargestellte Literatur zeigt ein deutliches Bild: Die Masse der Forschungsarbeiten liegt weit entfernt von der anvisierten und in Kapitel 6.7 abgeleiteten Höhe der Steuer von 200 und 400 EUR/t CO₂e. Zwei Fragen werden dadurch aufgeworfen.

Zum einen ist es naheliegend zu erwarten, dass bei weitreichenderen Reformen weitreichendere Konsequenzen zu erwarten sind. Viele der aufgeführten Forschungsarbeiten sind daher mit Vorsicht zu interpretieren, da die Forschungsfrage dieser Arbeit eine solche weitreichende Reform adressiert.

⁷⁶ Der Begriff *prä-analytische Vision* wurde von Joseph A. Schumpeter geprägt, siehe *History of Economic Analysis* (Schumpeter, 1954).

Zum anderen stellt sich die Frage, wie es zur genannten Diskrepanz im Ausmaß der Reformen der aufgeführten Publikationen und des für diese Abhandlung anvisierten Ausmaßes kommt. Zunächst ist zu relativieren, dass angewandte Forschung zum Teil gezielt inkrementelle Schritte zugrunde legt, um Politikberatung möglichst nahe am Status quo zu gewährleisten. Darüber hinaus könnten weitere Gründe eine Rolle spielen.

Es gibt eine neoklassische Tradition, die versucht, die Höhe einer optimalen Steuer über marginale Kosten und Netto-Gewinne zu bestimmen (siehe insbesondere Bovenberg & De Mooij, 1994; Bovenberg & Goulder, 1994). Prominente Arbeiten in diesem Kontext sind die Modellierungen von Nordhaus (2014) und Stern (2007). Diese Vorgehensweise hat sich in aktuellen Beiträgen auch in neoklassischen Arbeiten zunehmend verändert. Statt der Bestimmung der optimalen Steuer im Rahmen der Wohlfahrtsökonomik und im Sinne eines Cost-Benefit-Ansatzes wird zunehmend von einer festgelegten Menge von THG-Emissionen ausgegangen, woraus eine optimale Steuer abgeleitet werden kann. Dieses Vorgehen ist dem Cost-Effectiveness-Ansatzes zuzuordnen, welcher sowohl im Rahmen der IPCC-Reports als auch beim Umweltbundesamt Anwendung findet (Rogelj et al., 2018, S. 150–152; UBA [Hrsg.], 2018). Als Trend ist insofern eine Veränderung der methodologischen Herangehensweise zu verzeichnen: Neuere Forschungsarbeiten setzen vermehrt beim Cost-Effectiveness-Ansatz an, aus welchem schließlich auch höhere Steuersätze resultieren.

Darüber hinaus könnte der wohlfahrtsökonomische Ansatz, welcher auch in Cost-Effectiveness-Ansätzen verwendet wird, systematisch externe Effekte übersehen und so zu einer tendenziellen Unterschätzung der erforderlichen Steuererhöhung führen. Bereits 1992 resümierten Cropper und Oates in einem Überblick die Kritik von Kosten-Nutzen-Messungen von Umweltgütern herkömmlicher Ansätze: Problematisch seien zum einen, dass sich manche Elemente nicht durch den Markt messen ließen (Themen wie Gesundheit und Ästhetik), zum anderen gebe es auch in der Politik eine Zurückhaltung, alles messen zu wollen (Cropper & Oates, 1992, S. 677). Doch auch jenseits dieser Grundsatzdebatte um die Monetarisierung gibt es Kritik an dem wohlfahrtsökonomischen Ansatz des Mainstreams. Anfang der 2000er Jahre argumentierte Goodstein (2003) beim Prinzip der ÖSR für eine sukzessive Annäherung der Steuerhöhen, um das gewünschte Emissionsausmaß zu erreichen.

Spash (2007) verdeutlicht, wo auch in den Cost-Benefit-Ansätzen Werturteile vorhanden sind, und geht mit der Kritik am dahinterstehenden Utilitarismus

noch eine Ebene weiter. Er betont die Inkommensurabilität, das heißt die Unvergleichbarkeit von Werten, welche durch die alleinige Perspektive der Wohlfahrtsökonomik nicht Rechnung getragen werden kann (Spash, 2007). Alternative, nicht auf der Wohlfahrtsökonomik und dem Utilitarismus beruhende Konzepte können daher den Blickwinkel sinnvoll erweitern. In jedem Fall führt die ausschließliche Betrachtung der ÖSR über wohlfahrtsökonomische Ansätze zu einer einseitigen Perspektive, die es zu vermeiden gilt.

In diesem Zusammenhang wurde bereits auf die Abhängigkeit von einzelnen Parametern in relevanten IAM hingewiesen, die ebenfalls als Grund zu nennen ist. Die Zeitpräferenzrate und der Parameter der Konsumelastizität sind besonders entscheidend, wie die Sensitivitätsanalyse von Anthoff et al. (2009) belegt. Diese zwei Parameter zeigen, wie sensitiv die Modellierung auf Änderungen der Modellparameter reagiert. Restriktivere Annahmen an dieser Stelle könnten auch zu höheren Schadenskosten von CO₂-Äquivalenten bzw. Social Cost of Carbon führen.

Die Geschwindigkeit des Klimawandels legt nahe (IPCC [Hrsg.], 2022a), dass es im Sinne des Vorsichtsprinzips besser ist, im Zweifelsfall die strikteren Annahmen zugrunde zu legen. Grundsätzlich sollten bei Entscheidungen großer Tragweite und Unsicherheit vorsorgend und mit Vorsicht agiert werden (vgl. Vorsorgenden Wirtschaften, Biesecker et al., 1997). Weitreichende Reformen zum Untersuchungsgegenstand zu machen, scheint folglich der heutigen Situation angemessen.

8 Stand der Umsetzungen

8.1 Die ökologische Steuerreform in Deutschland

Die Reform, die in Deutschland in den Jahren 1999–2003 unter dem Namen *ökologische Steuerreform* umgesetzt wurde, ist ein zentraler Bezugs- und Vergleichspunkt dieser Arbeit. Aus diesem Grund werden die Grundzüge dieser Reform im Folgenden dargestellt. Dazu gehören vor allem technische Aspekte, die rechtliche Implementierung und die Ausgestaltung der Steuererhöhungen.

8.1.1 Situation vor 1999

Der Bereich Arbeit bildet den größten Anteil der Einnahmen im Haushalt der Bundesrepublik Deutschland, Umweltsteuern machen dagegen nur einen kleinen Anteil aus. Das *Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft* (FÖS) gibt in regelmäßigen Abständen einen Bericht heraus, der die Steuerstruktur Deutschlands abbildet und die staatlichen Steuereinnahmen in die Bereiche Arbeit, Kapital, Umwelt und in eine Restkategorie („faktorneutral“) kategorisiert (Ludewig et al., 2014; Mahler et al., 2017; Runkel, 2019; Bär et al., 2022). Dieser Analyse zufolge entfallen im Jahr 1998 auf den Faktor Umwelt lediglich 5,1% der Gesamteinnahmen. Die Kategorien Kapital (11,3%) und faktorneutrale Einnahmen (18,1%) sind deutlich größer. Den größten Teil machen allerdings die Einnahmen aus dem Faktor Arbeit mit 65,5% aus (Runkel, 2019, S. 6). Die Steuern auf Energie (damals im Mineralölsteuergesetz) waren entsprechend gering. Eine Stromsteuer gab es bis dato nicht. Darüber hinaus waren weder das EU ETS auf den Weg gebracht worden (in Kraft treten im Jahr 2005) noch das nationale EEG beschlossen worden (in Kraft treten im Jahr 2000).

Bereits weit im Vorfeld der Reform von 1999, in den 1980er sowie in den 1990er Jahren, fanden intensive Diskussionen statt, inwiefern ökologische Steuern Arbeitsplätze schaffen und ggf. zugleich Umwelt schonen können (Schlegelmilch, 2014). Nach der Bundestagswahl 1998 einigten sich SPD und Grüne auf einen Koalitionsvertrag, in dem die ökologische Modernisierung einen zentralen Baustein darstellte. Bereits in diesem Dokument wurden die Grundzüge der späteren ökologischen Reform festgehalten: „Die neue Bundesregierung will Beschäftigung fördern und umweltfreundliches Handeln belohnen. Dazu werden wir eine ökologische Steuer- und Abgabenreform durchführen.“ (SPD und Grüne [Hrsg.], 1998, S. 15). Darüber hinaus werden

unter anderem genannt, dass eine Stromsteuer eingeführt und die Mineralölsteuern erhöht werden sollen, um mit diesem Aufkommen, Arbeit über die Sozialversicherungsbeiträge zu entlasten.

8.1.2 Gesetze zur Reform 1999–2003

Mit dem *Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform* vom 24.03.1999 wurde das *Stromsteuergesetz* (StromStG) als weitere Verbrauchssteuer eingeführt und die Steuersätze im *Mineralölsteuergesetz* (später *Energiesteuergesetz*) erhöht.⁷⁷ Strom aus regenerativen Energieträgern sind befreit, wenn sie nicht in das Stromnetz eingespeist werden. Für Großverbraucher, welche im internationalen Wettbewerb stehen, gelten teilweise Ermäßigungen. Unternehmen des produzierenden Gewerbes werden ebenfalls teilweise Ermäßigungen gewährt.

Die daraus entstandenen Einnahmen werden zum Großteil zur Entlastung der Rentenversicherungsbeiträge genutzt. Das Gesetz trat stufenweise ab dem 01.04.1999 in Kraft. Ziel für den Strombereich war eine Steuer in Höhe von 20,00 EUR/kWh einzuführen. Im übrigen Energiebereich wurden je nach Energieträger und Verwendungsart unterschiedliche Steuersätze beschlossen.

Das *Gesetz zur Fortführung der ökologischen Steuerreform* vom 16.12.1999 sah verschiedene kleinere Neuerungen und Korrekturen vor, so unter anderem eine befristete Befreiung der Mineralölsteuer für Gas- und Dampfturbinenkraftwerke mit hohem Wirkungsgrad.⁷⁸

Im *Gesetz zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform* vom 23.12.2002 wurden weitere Anpassungen der Steuersätze vorgenommen, was eine weitere Erhöhung der Mineralölsteuersätze beinhaltete.⁷⁹ Der Luftverkehr blieb befreit und fand erst im Jahr 2012 im EU-Emissionshandel Berücksichtigung.

Im Nachfolgenden werden diese Gesetze in ihrer Wirkung als Ganzes betrachtet. Für die Größenordnungen bietet Tabelle 1 einen Überblick.

⁷⁷ Siehe Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform vom 24.03.1999 aus dem Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999 Teil I Nr. 14, ausgegeben zu Bonn am 29.03.1999.

⁷⁸ Siehe Gesetz zur Fortführung der ökologischen Steuerreform vom 16.12.1999 aus dem Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999 Teil I Nr. 56, ausgegeben zu Bonn am 22.12.1999.

⁷⁹ Siehe Gesetz zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform vom 23.12.2002 aus dem Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 87, ausgegeben zu Bonn am 30.12.2002.

Tabelle 1: Höhe der Steuer bei Einführung der Ökosteuer (Januar 2003)

	Steuer zuvor plus Ökosteuer	davon Ökosteuer
Energieträger		
Strom (Cent/kWh)	2,05	2,05
Kraftstoffe		
Diesel (Cent/Liter)	47,04	15,34
Benzin (Cent/Liter)	65,45	15,34
Erdgas (Cent/Liter)	8	2
Flüssiggas (Cent/Liter)	8	2
Heizstoffe		
Leichtes Heizöl (Cent/Liter)	6,14	2,05
Schweres Heizöl (Cent/kg)	2,5	0,97
Erdgas (Cent/kWh)	0,55	0,37

8.1.3 Struktur der Steuern und Abgaben in Deutschland

Die regelmäßigen Veröffentlichungen des FÖS zur Steuerstruktur Deutschlands bieten einen geeigneten Betrachtungsrahmen an, um die Größenordnungen der Steuervolumina der vergangenen Jahre in den Bereichen Arbeit, Kapital, Umwelt und einer faktorneutralen Restkategorie einschätzen zu können (Ludewig et al., 2014; Mahler et al., 2017; Runkel, 2019; Bär et al., 2022). Ihre Methode baut auf Jarass und Obermair (1996) auf und wurde im Rahmen der FÖS-Publikationen weiterentwickelt. Die Daten basieren auf Steuerschätzungen und Steuerstatistiken des Bundesfinanzministeriums (Runkel, 2019, S. 18f; Bär et al., 2022, S. 7).

Die Steuerstruktur für 2021 bildet sich wie folgt ab: 63,1% der Einnahmen liegen im Bereich Arbeit, 14,5% im Bereich Kapital, auf die Umweltkategorie entfallen 3,7% und sonstige, faktorneutrale Einnahmen belaufen sich auf 18,6% (Bär et al., 2022, S. 7). Abbildung 7, die eine Zeitleiste mit ungleichen Zeitabständen aufweist, legt die Entwicklung der Anteile seit 1960 dar und veranschaulicht die geringe Bewegung in den letzten 40 Jahren. Arbeit macht den größten Anteil aus; dieser nahm von 1960–1980 deutlich zu, stagniert jedoch seit 1980 auf einem ähnlichen Niveau. Umwelt macht in dieser Aufstellung den kleinsten Anteil aus und liegt durchgängig unter 7%; der höchste Wert mit 6,5% liegt im Jahr 2003, was das letzte Jahr der Reform von 1999–2003 ist. Mit Blick auf Umweltsteuern sind die Effekte dieser Reform damit im Gesamtsteueraufkommen Deutschlands zu sehen, denn im Jahr unmittel-

bar vor der Reform (1998) liegt der Anteil der Umweltsteuern bei 5,1%. Dieser ohnehin geringe Anteil der Einnahmen aus dem Bereich Umwelt ist seit 2003 sinkend. Die von Bär et al. (2022) angegebenen Steuerschätzungen berücksichtigen allerdings nicht die Politikmaßnahmen aus den Jahren 2022 und 2023.

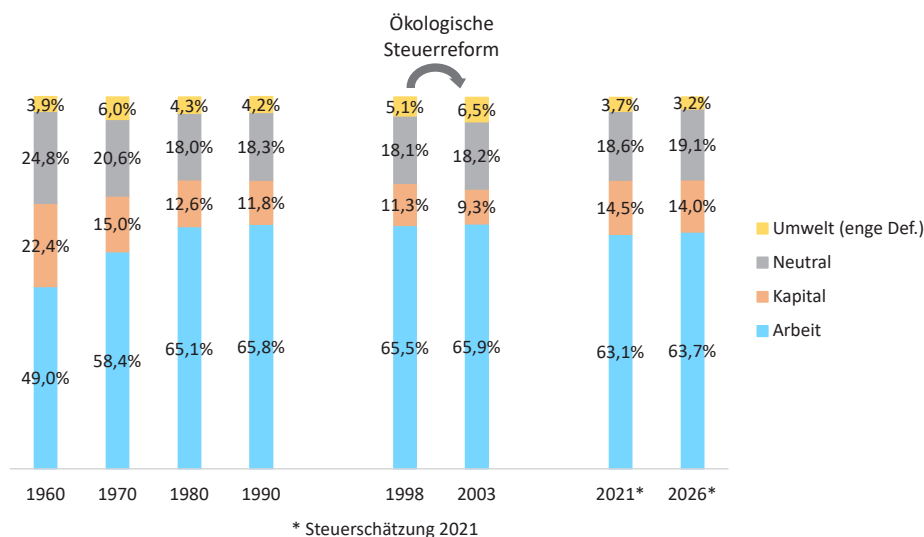


Abbildung 7: Entwicklung des Aufkommens aus Steuern und Abgaben seit 1960

Als Gründe für den rückläufigen Trend der Umwelteinnahmen seit 2003 machen Runkel et al. (2019, S. 6) sowie Mahler et al. (2017, S. 7) zweierlei aus: zum einen die zunehmende Bedeutung und Aufwertung anderer Steuern; zum anderen ein Inflationseffekt, der entsteht, weil die meisten Umweltsteuern pro physikalischer Mengeneinheit berechnet werden und sich ihre nominelle Höhe bei gleichbleibender Quantität nicht ändert, während andere Steuern, wie zum Beispiel die Umsatzsteuer, mit der Inflation steigen. Schlegelmilch spricht deshalb von einer permanenten „antiökologischen Steuerreform“ (Schlegelmilch, 2014, S. 216). Bär et al. (2022, S. 8) nennen zwei weitere Gründe: zum einen den rückläufigen Verbrauch fossiler Energieträger insgesamt; zum anderen konstatieren sie eine Zunahme von Dieselfahrzeugen, welche geringer besteuert sind.

Der Verbraucherpreisindex in Deutschland gemäß des harmonisierten Verbraucherpreisindex (HPVI) ohne Energie und unverarbeitete Nahrungsmittel ist bspw. von 2003–2014 insgesamt um 16,3% gestiegen; bei gleichbleibenden nominellen Energiesteuern ist das reale Aufkommen damit um 14% gesunken (Fiedler et al., 2020, S. 37f).

Dieser Inflationseffekt könnte mittels einer Indexierung korrigiert werden; darunter wird eine automatische Anpassung der Steuersätze an die Inflation verstanden, ohne der Notwendigkeit neuer Gesetze. Laut Fiedler et al. (2020, S. 36) artikulierte allerdings das deutsche Bundesministerium der Finanzen im Jahr 2015 Bedenken bezüglich einer Indexierung im Fall der Einkommensteuer⁸⁰; historisch vermuten sie einen Zusammenhang der zurückhaltenden Haltung der deutschen Politik mit den Erfahrungen aus der Hyperinflation der 1920er Jahre. Tatsächlich werden teilweise negative ökonomische Auswirkungen befürchtet. Vor allen Dingen werden Rückkopplungen und Verstärkungseffekte der kontinuierlichen Preiserhöhungen als problematisch erachtet, wodurch die Preisstabilität gefährdet sein könnte – darin sieht auch die Europäische Kommission den Hauptnachteil (European Commission [Hrsg.], 2012, S. 89).

Allerdings bewerten Fiedler et al. (2020, S. 45), sogar im Einklang mit der europäischen Kommission (2012, S. 89f), die Auswirkungen auf die Preisstabilität bei einer Indexierung von Umweltsteuern als sehr begrenzt, da Energiesteuern nur einen kleinen Anteil am Warenkorb des Verbraucherpreises ausmachen. Werden die zusätzlichen Steuereinnahmen für die Entlastung von Lohnkosten eingesetzt, könnte damit der Verbraucherpreisindex ggf. sogar fallen. Die Indexierung der Umweltsteuern und insbesondere im Rahmen einer ÖSR ist deshalb insgesamt als eher unproblematisch einzuordnen.

Eine Indexierung auf Umweltsteuern wurde bereits in mehreren europäischen Ländern eingeführt, darunter Schweden, die Niederlande, Dänemark, Portugal, Rumänien und Zypern (Fiedler et al., 2020, S. 46). In den Niederlanden gibt es bspw. bereits seit 1999 eine Indexierung bei allen Energiesteuern (Fiedler et al., 2020, S. 46ff). Diese wird jährlich aktualisiert, was bedeutet, dass die Steuersätze an den niederländischen Verbraucherpreisindex (den „Consumentenprijsindex Alle Huishoudens, afgeleid“) angepasst werden, welcher vom niederländischen Centraal Bureau voor de Statistiek ermittelt wird. Die Berechnung erfolgt jeweils im Sommer, die Anpassung zum Jahreswechsel.

Für Deutschland empfehlen Fiedler et al. (2020, S. 54) eine jährliche Anpassung der Energiesteuer, der Stromsteuer, der Kfz-Steuer sowie der Luftverkehrssteuer entsprechend der Entwicklung des harmonisierten Verbraucherpreisindex zu konstanten Steuersätzen (HVPI-KS) vorzunehmen. Dieser Index wird als besonders geeignet bewertet, weil er zusätzliche Erhöhungen von Steuersätzen außenvorlässt.

⁸⁰ Die Originalquelle konnte leider nicht verifiziert werden, da die von Fiedler et al. (2020) angegebene Internetadresse nicht mehr aktuell war.

Zu den Einnahmen aus dem Bereich Arbeit werden die Lohnsteuer, der Solidaritätszuschlag, die veranlagte Einkommensteuer (anteilig) und die Sozialversicherungsbeiträge gezählt. Bei den Einnahmen im Bereich Umwelt führen Bär et al. (2022) zwei Definitionen ein, eine enge und eine weite, wobei sich die obigen Statistiken stets auf die enge Definition beziehen. Die enge Definition umfasst die Energiesteuer, die Stromsteuer, die Kraftfahrzeugsteuer, die Kernbrennstoffsteuer und die Luftverkehrsteuer (Runkel, 2019, S. 8). Die weite Definition unterscheidet sich dahingehend, dass zusätzlich die Einnahmen aus der LKW-Maut, dem nationalen Emissionshandel ab 2021 sowie dem EU ETS berücksichtigt sind. Selbst unter Anwendung der weiten Definition steigen die Einnahmen nur in nominalen Beträgen, anteilig an den Gesamteinnahmen sprechen Bär et al. (2022, S. 11) von einer Stabilisierung „auf historisch niedrigem Niveau“. Das Ziel von 10% Umweltsteueranteil bis 2020 würde auch gemäß dieser Definition unerreicht bleiben.

Das Aufkommen aus Steuern kann unterschiedlich eingesetzt werden. Andersen und Speck (2009, S. 129f) beobachten drei Richtungen in Europa: Dänemark und das Vereinigte Königreich versuchen vorwiegend die Seite der Arbeitgeber:innen zu entlasten (zum Beispiel nur Reduktion der Arbeitgeberseite der Sozialversicherungen). Schweden und Finnland dagegen nutzten die Einnahmen insbesondere, um die Einkommensteuer zu reduzieren und adressieren damit die Entlastung der Arbeitnehmer:innen. Zu guter Letzt gibt es die Variante, die sowohl Arbeitgeber:innen als auch Arbeitnehmer:innen in den Blick nehmen. Andersen und Speck (2009) ordnen die deutsche Reform dieser Mischform zu und sehen in ihr grundsätzlich eine vorteilhafte und pragmatische Variante.

Die ÖSR ab 1999 war bis zum Jahr 2019 die „bedeutendste ökofiskalische Einzelmaßnahme“, die durch eine Bundesregierung umgesetzt wurde (Runkel, 2019, S. 13) – ohne Berücksichtigung des nationalen Emissionshandels ab 2021 und des europäischen Emissionshandels ist sie das bis heute. Mit einem Volumen von ca. 40 Mrd. EUR stellt die Energiesteuer im Jahr 2021 die höchsten Einnahmen unter den Verbrauchssteuern; die Stromsteuer hatte im Jahr 2021 ein Volumen von 6,7 Mrd. EUR.⁸¹

Die EU hatte mit der Leitinitiative *Ressourcenschonendes Europa* für ihre Mitgliedsstaaten das Ziel gesetzt, bis 2020 10% der Steuereinnahmen aus umwelt-

⁸¹ Siehe www.web.archive.org/web/20231123072006/https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Zoll/Erhebung-Steuern-Zoelle/verbrauchsteuern.html (27.03.2024).

bezogenen Steuern zu generieren.⁸² Gemessen an der engen Definition der EU hat Deutschland dieses Ziel weit verfehlt. Auch im europäischen Vergleich schneidet Deutschland unterdurchschnittlich ab. Im Jahr 2020 belegte Deutschland mit einem Umweltsteueranteil von 4,1% den vorletzten Platz der 27 EU-Mitgliedsländer (Bär et al., 2022, S. 10).

8.1.4 Kritik

An verschiedenen Stellen wurden Ausnahmen und Begünstigungen gemacht, welche kritisch bewertet werden, weil sie die Idee des Mechanismus abschwächen.

Zum einen müssen nicht alle potenziell betroffenen Rechtspersonen der Besteuerung in vollem Umfang nachkommen. Dem produzierenden Gewerbe sowie der Forst- und Landwirtschaft wurden reduzierte Steuersätze für Strom und Heizstoffe gewährt; auch Bahn und Straßenbahnen sind teilweise befreit (Bach & Kohlhaas, 1999). Als problematisch wird auch der Nettobelastungsausgleich angesehen (auch Spitzenausgleich genannt): Wenn die zusätzliche Steuerbelastung die Entlastung um einen bestimmten Satz übersteigt, setzt der Nettobelastungsausgleich ein und gewährleistet somit, dass keinem Unternehmen große Nettobelastungen entstehen.

Zum anderen wurden die einzelnen Energieträger sehr unterschiedlich besteuert. Die Steuersätze orientieren sich weder konsequent am Energiegehalt bzw. an der Primärenergiemenge noch an den entstehenden THG- oder CO₂-Emissionen, was zur Internalisierung externer Kosten adäquat wäre (Mahler et al., 2017, S. 23). Bach und Kohlhaas (1999) kritisieren mit Blick auf die Ungleichbehandlung der Energieträger, dass Kohle gar nicht besteuert wird oder dass Energieträger aus dem Bereich Verkehr überproportional belastet werden. Auch wird Benzin deutlich stärker belastet als Diesel. Kerosin wird dagegen außenvor gelassen. All diese Punkte sind ökologisch nicht zu rechtfertigen.

Darüber hinaus ist die potenziell höhere Belastung niedriger Einkommen ein Kritikpunkt gegen die ÖSR und Ursache, warum sie als sozial ungerecht empfunden werden kann. Diese wurde vor allem in der politischen Debatte vernehmbar vorgetragen (siehe Kapitel 9 zur politischen Debatte der ökologischen Steuerreform in Deutschland).

⁸² Pressemeldung der EU-Kommission vom 15.11.2015: http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-15-6166_de.htm (27.03.2024).

8.1.5 Fiskalische Potenziale

Abschließend ist festzuhalten, dass die Reform von wissenschaftlicher Seite überwiegend als Erfolg gewertet wird, weil die anvisierten Wirkungen auf den Energieverbrauch und den Arbeitsmarkt zu beobachten waren. Dennoch war bereits 1999 absehbar, dass es sich aufgrund des geringen Ausmaßes und der zahlreichen Ausnahmen nur um eine „zaghafte“ Reform handeln würde (Bach & Kohlhaas, 1999).

Ein Blick auf die Volumina der Rentenversicherungsbeiträge sowie der potenziellen Einnahmen einer THG-Steuer offenbart die Potenziale der Reform. Bei einem Steuersatz von 200 EUR/t CO₂e könnten 147,8 Mrd. EUR über eine THG-Steuer eingenommen werden.⁸³ Das Volumen der Rentenversicherungsbeiträge lag im Jahr 2020 bei 253,1 Mrd. EUR (BMAS [Hrsg.], 2021b, S. 260) und übersteigt damit die in diesem Beispiel genannten fiktiven Einnahmen bereits. Auch könnte langfristig angestrebt werden, die über 80 Mrd. EUR Bundeszuschuss zur gesetzlichen Rentenversicherung zu entlasten. Denkbar ist darüber hinaus die Ausweitung auf andere Sozialversicherungen wie etwa die Krankenversicherung. Diese Beispielrechnungen zeigen, dass selbst bei hohen THG-Steuern die Einnahmen dieser (ca. 150 Mrd. EUR) unter dem Entlastungspotenzial der Rentenversicherungsbeiträge allein (ca. 250 Mrd. EUR) liegen.

Aus rein fiskalischer Sicht ist eine relevante Verschiebung der Gesamtsteuerlast daher möglich: auf Grundlage einer THG-Steuer von 200 EUR/t CO₂e allein über die Rentenversicherung, bei einer Steuerhöhe von 400 EUR/t CO₂e ebenfalls unter Berücksichtigung des momentanen Bundeszuschusses zur gesetzlichen Rentenversicherung oder anderer Sozialversicherungsbeiträge. Auch weil die Besteuerung im Idealfall einen Vermeidungseffekt nach sich zieht, sind die Kapazitäten für den Mechanismus der ÖSR auf absehbare Zeit ausreichend. Doch auch jede Teilverschiebung würde das System der Rentenversicherungen entlasten, welches zunehmend unter Druck steht, was unter anderem an den zunehmend benötigten Bundeszuschüssen ablesbar ist (BMAS [Hrsg.], 2021b).

⁸³ Bei angenommenen 739 Mio. t CO₂e für 2020 in Deutschland, siehe Pressemitteilung des Bundesumweltministerium vom 16.03.2021: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent/> (01.07.2022).

8.2 Ökologische Steuerreformen in anderen Ländern

8.2.1 Vergleichbare Reformen

Mit der Absicht, Umweltziele zu erreichen und gleichzeitig die Arbeitsmärkte positiv zu stimulieren, wurden laut Heady et al. (2000, S. 25f) eine Vielzahl von Reformen in europäischen Ländern angestoßen, etwa in Belgien, Dänemark, Finnland, Deutschland, Italien, den Niederlanden, der Schweiz, Schweden und dem Vereinigten Königreich. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl nicht-europäischer Reformen. Allgemein zur Reduktion von THG-Emissionen haben sich laut Weltbank (Stand 2020) 127 Länder, 823 Städte, 101 Regionen und 1.541 Unternehmen verpflichtet (World Bank [Hrsg.], 2021). Ob dieser Fülle wird in diesem Kapitel lediglich auf zwei Länder eingegangen. Die Auswahl fällt auf die Schweiz und die kanadische Provinz British Columbia.

Die Schweiz ist bemerkenswert, weil hier der Großteil der zusätzlich eingenommenen Mittel zurückgezahlt wird. Aufkommensneutralität ist zwar nicht vollständig gegeben, aber ca. zwei Drittel werden an die Bevölkerung und Wirtschaft zurückgezahlt. Sowohl soziale als auch ökonomische Aspekte werden berücksichtigt. Darüber hinaus ist in der Schweiz ein hoher CO₂-Preis zu konstatieren (96 CHF/t CO₂ im Jahr 2021, 120 CHF/t CO₂ seit 2022).

Der Blick auf British Columbia ist lohnend, weil das Konzept große Ähnlichkeiten zur Idee der ÖSR dieser Arbeit aufweist. So kommt Aufkommensneutralität ebenfalls eine große Bedeutung zu. Außerdem wird bei der Ausgestaltung der Rückführungen in British Colombia auf mehrere Aspekte Wert gelegt, die auch in der deutschen Reform zentral sind. So wird zum Beispiel neben den Haushalten auch die Industrie berücksichtigt.

8.2.2 Die CO₂-Abgabe in der Schweiz

In der Schweiz bestehen heute zwei Systeme zur Bepreisung von THG-Emissionen: eine CO₂-Abgabe und ein nationaler Emissionshandel. Die Abgabe bzw. Steuer bezieht sich auf fossile Heiz- und Prozessbrennstoffe in den Sektoren Industrie, Energie und Gebäude; der Schweizer Emissionshandel berücksichtigt verschiedene THG-Emissionen (CO₂, NO₂, CH₄, HFC, NF₃, SF₆ und PFC) aus der Industrie und dem Energiesektor.⁸⁴

⁸⁴ Eine Übersicht über die aktuellen THG-Steuern und -Abgaben sowie über den Emissionshandel der Schweiz sowie anderer Länder stellt die Weltbank mit dem Carbon Pricing Dashboard zur Verfügung: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/> (27.03.2024).

Die Anfänge des Konzepts der ÖSR sind auf eine Forschungsgruppe um den Schweizer Ökonomen Hans Christoph Binswanger (vgl. Binswanger et al., 1978) Ende der 1970er Jahre zurückzuführen, welche auch einen wissenschaftlichen Diskussionsanstoß in der Schweiz erzeugten. Zu ersten politischen Reformversuchen Energiesteuern einzuführen, kam es 1986. Leon Schlumpf brachte als Bundesrat und Vorsteher des Umwelt-, Energie- und Verkehrsdepartementes diese Idee auf. Zwar scheiterte die Reform, doch laut Schlegelmilch blieb der Gedanke fortan auf der politischen Agenda (Schlegelmilch, 2014, S. 221). Mitte der 1990er Jahre schien die Umsetzung neuer Energiesteuern im Sinne einer ÖSR wieder möglich, scheiterte allerdings erneut (Schlegelmilch, 2014, S. 224). Schließlich wurde 1999 der zweite Entwurf eines CO₂-Gesetzes von beiden Kammern des Schweizer Parlaments beschlossen und damit die CO₂-Abgabe auf den Weg gebracht. Laut Schlegelmilch (2014, S. 224) weist diese reduzierte Version zumindest „relevante Elemente einer ökologischen Steuerreform“ auf. Viele Ansätze gingen allerdings verloren, so wird zum Beispiel im späteren Verlauf wenig von Beschäftigungseffekten gesprochen.

Die CO₂-Abgabe sieht die Rückzahlung des Aufkommens an Haushalte und Unternehmen im Verhältnis der Einzahlung vor. Die Schweizer Konstruktion der Steuer ist als Ökobonus zu bezeichnen (vgl. Held, 2019), denn die Rückzahlung an die Bevölkerung erfolgt pro Kopf: 2021 bekamen alle in der Schweiz lebenden Menschen den Pauschalbetrag von 87 CHF zurück. Da nur zwei Drittel der Abgabe zurückgezahlt werden, liegt Aufkommensneutralität nicht vor. Ein Drittel dient größtenteils zur Finanzierung von Gebäudesanierungen; ein kleiner Teil des letzten Drittels fließt in einen Technologiefonds (Diekmann & Bruderer Enzler, 2019, S. 272). Haushalte werden direkt (über die Heizstoffe) und indirekt (etwa bei CO₂-intensiven Produkten, wenn Unternehmen die Kosten weitergeben) belastet.

Werden die Schweizer Klimaziele nicht erreicht, greift ein Mechanismus, der die Abgabe erhöht: So stieg zum Januar 2022 die CO₂-Abgabe von 96 CHF auf 120 CHF, da die avisierte Reduktion um 33% bis 2020 gegenüber dem Basisjahr 1990 nicht erreicht wurde (BAFU [Hrsg.], 2021). Durch das Verfehlen der Ziele steigt jedoch nicht nur die Abgabenhöhe, sondern auch das Rückzahlungsvolumen.

Zum Schutze im Wettbewerb stehender Unternehmen gibt es Ausnahmen in diesem System. So sind etwa treibhausgasintensive Anlagen von der CO₂-Abgabe befreit, wenn sie sich verpflichten, THG-Emissionen zu reduzieren. Verfehlen

die Unternehmen in der Folge ihre eigenen Ziele, ist die Kompensation von Treibhausgasen teilweise zulässig: bis zu 4,5% ihrer Reduktionsverpflichtung dürfen durch Investitionen in Emissionsreduktionsprojekte kompensiert werden.

Etwa ein Drittel (2018) aller THG-Emissionen in der Schweiz sind über die CO₂-Abgabe erfasst; außerdem werden ca. 11% (2018) aller THG-Emissionen über das nationale Emissionshandelssystem erfasst, welches erstmals 2008 in Kraft getreten ist und seit 2013 für große energieintensive Industrien verpflichtend ist.⁸⁵ Die am Emissionshandel teilnehmenden Unternehmen sind von der CO₂-Abgabe befreit.

Die Brennstoffabgabe hat laut dem Schweizer Bundesamt für Umwelt bis zum Jahr 2015 zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen von 4,3–9,6% geführt (BAFU [Hrsg.], 2018). Das BAFU schreibt: „Rund drei Viertel der Wirkungen werden durch die Haushalte erzielt (Gebäude), rund ein Viertel durch die Wirtschaft (Industrie und Dienstleistungen).“ (BAFU [Hrsg.], 2018, S. 3).

Laut dem Schweizer Bundesamt für Umwelt sanken die CO₂-Emissionen aus Brennstoffen witterungsbereinigt 2020 gegenüber dem Vorjahr nur leicht, trotz der durch die Corona-Pandemie ohnehin zu erwartenden Auswirkungen (BAFU [Hrsg.], 2021). Diekmann und Bruderer Enzler (2019, S. 274) erwarten, dass die kurzfristigen Effekte geringer sind. In der langen Frist könnten die Auswirkungen aufgrund von Verhaltensanpassungen der Haushalte und Innovationsanreizen für Unternehmen größer sein.

Die Gesamtreduktion der THG-Emissionen seit 1990 führt das Schweizer Bundesamt für Umwelt vor allem auf die bessere Energieeffizienz von Gebäuden und den Einsatz erneuerbarer Energien beim Heizen zurück (BAFU [Hrsg.], 2021).

Da der Anteil der Ausgaben für CO₂-intensive Produkte mit zunehmendem Einkommen steigt, liegt eine progressive Wirkung bezogen auf die Konsumausgaben vor.⁸⁶ Laut Edenhofer et al. (2018, S. 19) ist die Wirkung bezogen auf das Einkommen dennoch leicht regressiv.

Die Auswirkungen auf BIP-Wachstum und Beschäftigung sind nicht ohne ein ökonomisches Modell zu beurteilen. Die spezifisch für die CO₂-Abgabe vom Schweizer Bundesamt für Umwelt in Auftrag gegebene *Wirkungsabschätzung*

⁸⁵ Siehe Carbon Pricing Dashboard der Weltbank: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/> (27.03.2024).

⁸⁶ Progressive Verteilungswirkungen durch Steuern liegen vor, wenn hohe Einkommen gemessen an ihren Gesamteinkommen überproportional belastet werden. Bei Entlastungen liegt Progressivität dann vor, wenn hohe Einkommen unterproportional profitieren. Regressivität liegt jeweils bei den gegenteiligen Bedingungen vor.

CO₂-Abgabe (Müller et al., 2015) thematisiert allerdings weder Beschäftigungs- noch BIP-Effekte und auch in der politischen Debatte in der Schweiz scheinen diese Aspekte nur nachrangig eine Rolle zu spielen.

Im September 2020 verabschiedete das Schweizer Parlament das Bundesgesetz über die Reduktion der THG-Emissionen und plante damit die Aktualisierung des rechtlichen Rahmens für die Schweizer Klimapolitik bis 2030. Doch eine Volksabstimmung am 13.06.2021 lehnte das neue Gesetz ab. Das Schweizer Parlament verlängerte deshalb im Dezember 2021 in einer Teilrevision das bestehende CO₂-Gesetz lediglich bis 2024. Der Preis blieb bei 120 CHF/t CO₂e.

Bei der Herstellung von Akzeptanz von Umweltsteuern kommen Carattini et al. (2017) zu dem Schluss, dass die Umweltwirkung der Maßnahme selbst ein stärkeres Argument ist als das Argument der Steigerung der Effizienz des Steuersystems. Die soziale Abfederung der Steuern sei für die Akzeptanz weniger ausschlaggebend. Als akzeptiert erweist sich außerdem die Verwendung der Steuereinnahmen für Umweltzwecke (Carattini et al., 2017).

Bemerkenswert erscheint auch, dass der Weg über die Freiwilligkeit zu mehr Akzeptanz der Maßnahme führen kann (Thalmann & Baranzini, 2008); im Schweizer System war diese dadurch gegeben, dass mit der Möglichkeit der Setzung von Reduktionszielen die CO₂-Abgabe umgangen werden konnte.

8.2.3 Die Carbon Tax in British Columbia (Kanada)

Im Jahr 2008 wurde unter dem Namen *Carbon Tax* eine CO₂-Steuer in British Columbia, einer kanadischen Provinz an der Küste des Pazifischen Ozeans, eingeführt. Zum Zeitpunkt der Einführung war sie in Nordamerika die CO₂-Steuer mit dem größten Ausmaß sowie die erste aufkommensneutrale CO₂-Steuer (Elgie & McClay, 2013, S. 2; Harrison, 2012, S. 383).

Seit der letzten Anpassung der Steuer zum 01.04.2023 hat sie eine Höhe von 65 CAD/t CO₂e, wobei ab April 2024 auf ein neues Bepreisungssystem umgestellt werden soll.⁸⁷ Bemerkenswert ist der hohe Grad der Abdeckung von ca. 70% aller THG-Emissionen in der Provinz durch die Steuer.⁸⁸ Der Geltungsbe-

⁸⁷ Auch für die Carbon Tax der kanadischen Provinz British Columbia bietet die Weltbank mit dem Carbon Pricing Dashboard einen Überblick über die zentralen Aspekte der Steuer (<https://carbonpricingdashboard.worldbank.org>, 27.03.2024). Darüber hinaus liefert die Regierung von British Columbia selbst zur Carbon Tax weitere Informationen (<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/climate-change/clean-economy/carbon-tax>, 27.03.2024).

⁸⁸ Laut Angaben der Regierung von British Columbia (siehe <https://www2.gov.bc.ca/gov/>)

reich bezieht sich auf alle fossilen Brennstoffe, die zur Wärme- und Energiegewinnung genutzt werden. Ausnahmen für Industrie, Luftfahrt, Landwirtschaft und Verkehrsnutzer:innen existieren allerdings ebenso. Emissionen aus den Bereichen Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft sind nicht erfasst. Wettbewerbsaspekte werden durch Ausnahmeregelungen adressiert, so zum Beispiel bei exportierten Kraftstoffen oder beim Kraftstoffverbrauch von Flugzeugen und Schiffen außerhalb von British Columbia.

Die Regierung von British Colombia hat sich dazu bekannt, das gesamte Aufkommen zu verwenden (engl. „Revenue Recycling“), um Einkommensteuern zu reduzieren, sowohl persönliche als auch Unternehmenssteuern, und einkommensschwache Haushalte und Gruppierungen zu entlasten (M. Lee & Sanger, 2008, S. 6). Die Herabsetzungen der Einkommensteuern machen dabei den Großteil aus (Elgie & McClay, 2013, S. 2). Hintergedanken der Aufkommensverwendung sind nach Elgie und McClay einerseits ökonomische Nachteile zu vermeiden und andererseits schwache Gemeinschaften und Haushalte zu entlasten. Heute wird ein Teil des Aufkommens auch über den *CleanBC Industry Fund* in die Industrie investiert, mit dem Ziel Emissionsreduzierungen in den erfassten Branchen zu erreichen.⁸⁹ Durch die aufkommensneutrale Konstruktion der Steuer, wurden die Steuern insgesamt nicht erhöht; Elgie und McClay (2013, S. 2) konstatieren für 2010 sogar eine leichte Steuersenkung der Provinzregierung.

Die Bilanz von Elgie und McClay fällt nach den ersten vier Jahren positiv aus: Sie sehen keine negativen ökonomischen Effekte, welche vor allem am BIP gemessen werden, jedoch den positiven Effekt des eingesparten CO₂ sowie den Effekt auf niedrige Einkommen, die entlastet wurden (Elgie & McClay, 2013, S. 2).

Beck et al. (2015) analysieren die Auswirkungen der Carbon Tax auf die Einkommensverteilung in British Columbia per Backcasting mithilfe eines disaggregierten allgemeinen Gleichgewichtsmodells (CGE). Sie kommen zu dem Schluss, dass die Steuer selbst, das heißt ohne Rückverteilung des Aufkommens, bereits progressiv ist (Beck et al., 2015, S. 40). Mit der ebenfalls progressiven Rückführung der Mittel lautet ihr Fazit daher, dass die Reform insgesamt sehr

content/environment/climate-change/clean-economy/carbon-tax, 27.03.2024), gemäß Weltbank sind 78% aller THG-Emissionen berücksichtigt (siehe <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>, 27.03.2024).

⁸⁹ Siehe Carbon Pricing Dashboard der Weltbank: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org> (27.03.2024).

progressiv ist – ein Ergebnis, das andere Forscher:innen in der Deutlichkeit nicht immer gleichermaßen teilen (vgl. Beck et al., 2015, S. 41f).

In Bezug auf die Reduktion der THG-Emissionen bezeichnen Elgie und McClay die Reform als „highly effective policy“ (Elgie & McClay, 2013, S. 2). Murray und Rivers (2015, S. 8) verweisen auf mehrere Studien, die zeigen, dass die CO₂-Steuer zu einer Reduktion der Emissionen geführt hat. Die Bandbreite reicht von 5% bis über 18% (vgl. Murray & Rivers, 2015, S. 8, Tabelle 4), wobei diese Angaben mit Vorsicht zu lesen sind, da darunter teilweise die Gesamteffekte und teilweise die Effekte pro Kopf berücksichtigt wurden – letztere fallen aufgrund der zugenommenen Bevölkerung in British Columbia höher aus.

Die erfolgreiche Umsetzung der Carbon Tax wirft die Frage nach dem Zustandekommen der Reform auf. Zwei Gründe waren laut Harrison (2012, S. 383) entscheidend. Zum einen wurde die Reform von einer Partei aufgegriffen, die zu der Zeit bereits in der Regierung war. Zum anderen war zu dieser Zeit der Beginn einer neuen Rezession absehbar. Die Aufmerksamkeit war somit auf ökonomische Themen gelenkt und die Reform der CO₂-Steuer wurde weniger wahrgenommen. Harrison fasst verschiedene begünstigende Faktoren zusammen:

Carbon taxes in North America seem most viable where a party leader is personally strongly committed, his or her party already holds a majority in a parliamentary system, the measure can be passed between elections, and the party can deflect attention from the issue in the next election. (Harrison, 2012, S. 404)

Die Situation in British Columbia war nach Harrison „Ausdruck eines perfekten Sturms von politischen Bedingungen“ (Harrison, 2013, S. 19). Ihrer Einschätzung nach hat die Steuer ferner gute Möglichkeiten zu überleben, weil sie nicht (wie nichtaufkommensneutrale Steuern) wieder abgeschafft werden kann ohne auch Begünstigungen streichen oder gegenfinanzieren zu müssen.

Durch das Inkrafttreten des *Greenhouse Gas Industrial Reporting and Control Act* (GGIRCA) wurde 2016 die Carbon Tax ergänzt. Mit diesem können Emissionen von Industrieanlagen oder -sektoren zusätzlich besteuert werden, wenn Grenzwerte überschritten werden. Es handelt sich insofern nicht um eine Erweiterung des Geltungsbereichs der bereits für die Carbon Tax gilt, da alle Unternehmen, die unter den GGIRCA fallen, auch von der Carbon Tax betroffen sind.

Die Ambitionen Kanadas als Ganzes in Form des *Pan-Canadian Framework* (PCF) von 2016 haben ein hohes Ausmaß erreicht und stellen heute die Vorhaben der kanadischen Provinzen in den Schatten (Government of Canada [Hrsg.], 2016): Im Jahr 2023 dürfen die Steuern im ganzen Land 65 CAD/t CO_{2e} nicht unterschreiten. Dieser Backstop-Satz, den die Provinzen als Minimalanforderung nicht unterschreiten dürfen, steigt um 15 CAD/t CO_{2e} pro Jahr und erreicht somit im Jahr 2030 eine Höhe von 170 CAD/t CO_{2e}.⁹⁰

⁹⁰ Siehe *Update to the Pan-Canadian Approach to Carbon Pollution Pricing 2023-2030* der Regierung von Kanada: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/pricing-pollution-how-it-will-work/carbon-pollution-pricing-federal-benchmark-information/federal-benchmark-2023-2030.html> (27.03.2024).

9 Politische Debatte der ökologischen Steuerreform in Deutschland

9.1 Einleitung

In diesem Kapitel geht es darum, ein Verständnis darüber zu entwickeln, welche Bedeutung der ÖSR in Deutschland bisher zukam. Gemessen an der fehlenden öffentlichen Debatte scheint an diesem Konzept politisch nicht festgehalten zu werden, was unter anderem Maxim und Zander (Maxim & Zander, 2019, S. 227) in ihrer Übersicht bestätigen. Um diesen Eindruck für die deutsche Debatte zu überprüfen und die Relevanz der Debatte in Deutschland einzuordnen, werden in diesem Kapitel die Wahlprogramme aller im Deutschen Bundestag vertretenen Parteien systematisch untersucht.

Da es über mehrere Jahre eine politische Debatte um eine ÖSR gab und ab 1999 eine Reform umgesetzt wurde, ist es von Relevanz, die bisherige Bedeutung der ÖSR in Deutschland genauer zu betrachten. Aus diesen Gründen wird herausgearbeitet, welche Rolle der ÖSR in den Wahlprogrammen zukommt. Das heißt, es wird insbesondere gefragt, wie die Idee der ÖSR in die politische Arena kam, welchen Verlauf die politische Debatte nahm und wie sie sich nach der Umsetzung der Reform von 1999 entwickelte. Neben der Darstellung des Verlaufs, geht es auch darum, dass die Entwicklung nachvollziehbar gemacht wird, was bedeutet, dass auch nach den Beweggründen der Akteur:innen gefragt wird.

Dazu wird die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse verwendet, die in der hier angewandten Art auf Mayring (2010) und Kuckartz (2016) zurück geht. Außerdem wird an mehreren Stellen auf Meyer et al. (2001) verwiesen, da sie eine ähnliche Debatte untersuchten.⁹¹

9.2 Methode

9.2.1 Grundlegendes

Qualitative Inhaltsanalyse ist keine feststehende Technik (Mayring, 2010, S. 50). Dennoch obliegt sie einer Systematik und ist nicht freies Interpretieren (Mayring, 2010, S. 12). Auch wenn es keine lange Tradition der qualitativen

⁹¹ Meyer et al. untersuchten in Diskurs-Inszenierungen (2001) die Struktur politischer Vermittlungsprozesse am Beispiel der ÖSR.

Inhaltsanalyse gibt und manche Autor:innen sie gegenüber quantitativer Inhaltsanalyse gerade darüber definieren, dass sie keine Systematik hat, gibt es dennoch konkrete Techniken qualitativer Inhaltsanalyse. Beispielsweise entwickelt Mayring in *Qualitative Inhaltsanalyse* von 2010 eine Methode zur systematischen Interpretation (Mayring, 2010).

Ein Ziel einer jeden Inhaltsanalyse ist es, Komplexität zu reduzieren (Kuckartz, 2016, S. 32). Es geht dabei nicht um Verallgemeinerungen, sondern um die Herausarbeitung des Typischen. Ein Vorteil der qualitativen Sozialforschung ist, dass die Methodik der Inhaltsanalyse „die Vielfalt und Mehrdimensionalität der zu untersuchenden Faktoren“ berücksichtigen kann (T. Meyer et al., 2001, S. 124).

9.2.2 Definition

Eine gängige Definition liefert George (1959):

Kurz, Inhaltsanalyse wird verwendet als ein diagnostisches Instrument, um spezifische Schlußfolgerungen über bestimmte Aspekte des zielgerichteten Verhaltens (purposive behavior) des Sprechers zu ziehen. (George, 1959, S. 7)⁹²

Da es in diesem Kapitel darum geht, die Absicht der politischen Parteien in Bezug auf die ÖSR klarer werden zu lassen, eignet sich diese Methode. Ergänzend wird die verbreitete Definition von Atteslander herangezogen, der darüber hinaus den Entstehungszusammenhang betont:

Inhaltsanalyse ist eine Methode der Datenerhebung zur Aufdeckung sozialer Sachverhalte, bei der durch die Analyse eines vorgegebenen Inhalts (zum Beispiel Text, Bild) Aussagen über den Zusammenhang seiner Entstehung, über die Absicht seines Senders, über die Wirkung auf den Empfänger und/oder auf die soziale Situation gemacht werden. (Atteslander, 1995, S. 238)⁹³

Durch die Inhaltsanalyse können demnach auch Aussagen über den bzw. die Autor:in oder allgemein Sender:in abgeleitet werden (Mayring, 2010, S. 13).

Der Kontext ist bei der qualitativen Inhaltsanalyse zu integrieren, weshalb es wichtig sein kann, an entscheidenden Stellen zusätzliches Material einzubeziehen. In der Einbettung in den Kommunikationszusammenhang sieht Mayring einen Vorteil der Inhaltsanalyse gegenüber anderen Text-

⁹² Übersetzung aus Mayring (2010).

⁹³ Auch zitiert von Meyer et al. (2001, S. 124).

analysemethoden (Mayring, 2010, S. 48). Zur Validierung der Aussagen der Sender:innen werden nach Meyer et al. (2001, S. 124) auch externe Informationen benötigt.

9.2.3 Allgemeines Vorgehen

Die systematische Vorgehensweise ist entscheidend. Mayring geht soweit, dass jede Entscheidung, die zur Analyse getroffen werden muss, auf eine begründete Regel zurückzuführen sein sollte und grenzt sein Vorgehen damit von freier Interpretation ab (Mayring, 2010, S. 12).

Kategorienbildung ist ein maßgebendes Element der qualitativen Inhaltsanalyse. Dieser kognitive Vorgang entscheidet über die anschließenden Prozesse, weil anschließende Gedanken darauf aufbauen (Kuckartz, 2016, S. 31f). Grundsätzlich ist Subsumieren von Generieren abzugrenzen. Das heißt, man kann Kategorien a priori bilden und Begriffe, Aspekte oder Textstellen subsumieren oder man kann Kategorien während des Prozesses der Textanalyse generieren (Kuckartz, 2016, S. 41).

Mayring (2010, S. 64f) differenziert drei Formen des Interpretierens: Zusammenfassen, Explizieren und Strukturieren. Das Vorgehen in dieser Arbeit ist induktive Kategorienbildung, welche Mayring zur Analyseform Zusammenfassung zählt. Wenn jedoch einzelne Textteile hervorgehoben werden und ihr Kontext ergänzt wird, um ein besseres Verständnis der Textteile zu ermöglichen, kann dies auch als Explizieren bezeichnet werden. Dies ist im Zuge des Hinzuziehens des Gesamtkontexts zu verstehen (Mayring, 2010, S. 85f). Der vorliegenden Analyse liegt aus diesem Grund ein Methodenmix von Zusammenfassen und Explizieren zugrunde.

Die Analyse soll insbesondere Aufschluss über die Argumentationsweise der politischen Akteure in Bezug auf Informationsgehalt sowie auf Inszenierungsstrategien liefern (T. Meyer et al., 2001, S. 125). Ein konkretes Ziel ist, den Verlauf in den Blick zu nehmen, um die Entwicklung der Debatte um die ÖSR in Deutschland verstehen zu können.

9.2.4 Kategorien

Dass die Wahl der Kategorien nicht einfach ist, wird auch durch die für die Praxis wenig hilfreiche Einschätzung Krippendorffs deutlich, der dieses Vorgehen als Kunst bezeichnet (Krippendorff, 1980, S. 76). Mayring bietet einen praktischen Ansatz (Mayring, 2010, S. 85):

Wenn das erste Mal das Selektionskriterium im Material erfüllt ist, wird möglichst nahe an der Textformulierung unter Beachtung des Abstraktionsniveaus die erste Kategorie als Begriff oder Kurzsatz formuliert. Wenn das nächste Mal das Selektionskriterium erfüllt ist, wird entschieden, ob die Textstelle unter die bereits gebildete Kategorie fällt (Subsumption) oder eine neue Kategorie zu bilden ist. (Mayring, 2010, S. 85)

Der Grad der Abstraktionsebene muss dabei vorab festgelegt werden und ist in diesem Fall durch marktwirtschaftliche Konzepte in Bezug auf Umwelt definiert. Die Art der Kategorie, das heißt, ob Faktenkategorie, thematische Kategorie, innovative Kategorie oder analytische Kategorie, ist genauso im Vorhinein festzulegen (Kuckartz, 2016, S. 34). Im vorliegenden Fall eignen sich thematische Kategorien, wie bspw. ÖSR, Ökosteuern oder Emissionshandel. Die Gesamtheit aller Kategorien bezeichnet man als Kategoriensystem, wobei es verschiedene Restrukturierungen gibt: lineare Liste, Hierarchie oder Netzwerk. In der Praxis eignet sich fast immer – und so auch hier – die hierarchische Struktur am besten (Kuckartz, 2016, S. 12). Eine hierarchische Struktur hat, wie eine Liste, nach Möglichkeit disjunkte Kategorien, bietet jedoch zusätzlich die Möglichkeit, Unterkategorien zu bilden.

9.2.5 Abgrenzung zu anderen Methoden

Bei quantitativer Analyse geht es um Verallgemeinerung, bei qualitativer um Verstehen, was sich auch auf einzelne Aspekte beziehen kann, die numerisch zu vernachlässigen wären. Hintergrund ist dabei ein unterschiedliches Wissenschaftsverständnis: Ersteres ist eher deduktiv, Zweiteres ist eher induktiv (Mayring, 2010, S. 19).

Zwar unterscheiden sich qualitative und quantitative Inhaltsanalyse auf den ersten Blick deutlich, weil die quantitative Analyse eine Transformation ins Numerische vornimmt, die qualitative Analyse dagegen nahe am Text bleibt. Doch bei genauerer Betrachtung verringert sich die Verschiedenheit beider Methoden, denn um Kategoriensysteme bilden zu können, ist interpretative Textkenntnis Voraussetzung. Daher geht auch der quantitativen Analyse eine qualitative voraus (Mayring, 2010, S. 20).

Anders als bei der quantitativen Analyse sind statistische Auswertungen nicht entscheidend. Quantitative Inhaltsanalyse bezieht sich in der Regel auf größere Textquellen. Es geht daher nicht um tiefgehendes Verständnis, sondern da-

rum, durch Verallgemeinerung Aussagen abzuleiten (Rössler, 2017, S. 17). In Abgrenzung dazu werden in dieser Arbeit Aussagen erst aus dem Material selbst heraus entwickelt.

9.2.6 Konkretes Vorgehen

Zunächst muss eine Materialauswahl getroffen werden (Kuckartz, 2016, S. 30). Stellvertretend für die gesellschaftspolitische Debatte fällt die Auswahl der Texte auf alle Wahlprogramme der in den Deutschen Bundestag eingezogenen Parteien von 1980–2021. Wahlprogramme eignen sich, weil sie eine kontinuierlich verfügbare Quelle sind und an einer relevanten Ebene sind, zwischen Politikvollzug, was sie nicht mehr darstellen, und reiner Politikkommunikation, worunter sie noch nicht einzuordnen sind. Benötigt eine Position oder inhaltliche Wendung zusätzliche Erklärung, werden weitere kontextuale Hintergründe aufgegriffen, zum Beispiel unter Zuhilfenahme von Pressemitteilungen, Zeitungsartikeln oder anderer Fachliteratur.

Meyer et al. (2001, S. 124ff) unterscheiden drei Ebenen, die für die Analyse von politischen Diskursen relevant sind: I. den Politikvollzug, II. die Politikdarstellung durch die Politik selbst und III. die Politikdarstellung durch die Medien. Ebene I können Dokumente von strategischen Sitzungen von Parteien- oder Regierungsgremien sein oder verschiedene Stufen der exekutiven Prozesse. Da es sich oftmals um nicht-öffentliche Dokumente handelt, stellt die Verfügbarkeit ein Problem dar. Obwohl es um den tatsächlichen Politikvollzug geht, ist bereits hier nicht von einer von Vermittlungsaspekten unabhängigen Ebene auszugehen. Ebene III können Fernsehberichterstattungen oder Berichte in Print- oder Onlinemedien sein. Potenzielle Probleme sind die Stetigkeit der Quellen, ein großer Umfang an Material und eine starke Verkürzung der Original-Botschaften. Ebene II können Pressemitteilungen, Bundestagsdebatten und Wahlprogramme darstellen.

Bei der Analyse liegt ein besonderes Augenmerk auf der Zeit um die Steuerreform in Deutschland, die 1999–2003 durch die Bundesregierung umgesetzt wurde. Damit sind die Aussagen der Parteien Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD) und Bündnis 90/Die Grünen (Grüne), die für die Umsetzung verantwortlich waren, besonders in den Blick zu nehmen. Der Koalitionsvertrag von SPD und Grüne von 1998 wird deshalb ergänzend herangezogen. Weil diese beiden Parteien besonders viel zur ÖSR publiziert haben, werden SPD und Grüne

zunächst dargestellt. Anschließend wird auf die weiteren Parteien eingegangen, diese sind: mit wechselndem Namen *Die Linke* (im Folgenden teilweise auch Partei des Demokratischen Sozialismus (PDS), eine Vorgängerpartei von Die Linke), die Unionsparteien *Christlich Demokratische Union Deutschlands* (CDU) und *Christlich-Soziale Union in Bayern* (CSU) im Verbund, die *Freie Demokratische Partei* (FDP) und ab 2017 die *Alternative für Deutschland* (AfD).

Der Fokus der Analyse liegt auf dem in Erscheinung treten der ÖSR. Wenn diese nicht, explizit oder implizit, erwähnt wird, wird geprüft, ob stattdessen andere marktwirtschaftliche Instrumente der Umweltpolitik genannt werden.

Eine Operationalisierung des Kategorienschemas wird nicht verwendet, damit nicht im Vorhinein ein möglicherweise irreführendes Schema angewandt wird (T. Meyer et al., 2001, S. 125). Die Formulierung von Hypothesen zu Beginn ist eher selten und würde auch hier eine ergebnisoffene Analyse behindern (Kuckartz, 2016, S. 46). Entsprechend wird ein ergebnisoffenes Verfahren gewählt, bei dem Thesen im Verlauf entstehen.

9.3 Analyse

9.3.1 Wahlprogramme von SPD und Grüne

9.3.1.1 Erstmaliges Erscheinen der ökologischen Steuerreform

Der Grundgedanke der ÖSR schafft es erstmals 1980 auf die „Wahlplattform“, einem Kurz-Wahlprogramm, der westdeutschen Partei Die Grünen (Grüne [Hrsg.], 1980, S. 4), ohne dass der Begriff explizit genannt wird: „Die Besteuerung der Arbeit ist zu vermindern zugunsten einer Energie und Rohstoffsteuer.“ Die darauffolgenden Wahlprogramme von 1983, 1987 und 1990 stellen diesen Zusammenhang der Erhöhung der Umweltsteuern bei einer gleichzeitigen Entlastung der Arbeit jedoch nicht mehr her (Grüne [Hrsg.], 1983, 1987, 1990). Umweltsteuern sind aber weiter relevant, wie es etwa dem Programm von 1987 zu entnehmen ist (Grüne [Hrsg.], 1987, S. 36). Eine Säule der ÖSR sind Umweltsteuern. Deshalb stellen diese eine Überkategorie zur ÖSR dar, die weitere Unterkategorien haben kann.

Während die SPD bis 1987 auf eine ÖSR nicht eingeht und auch Umweltsteuern nicht thematisiert (SPD [Hrsg.], 1987), nimmt sie 1990 erstmals darauf Bezug. Sie fordert eine „ökologische Ausrichtung der sozialen Marktwirtschaft“ und es heißt weiter: „wir wollen Arbeit steuerlich entlasten und Energiever-

brauch belasten“ (SPD [Hrsg.], 1990, S. 7).⁹⁴ Damit hat die SPD den grundlegenden Zusammenhang der ÖSR im Programm stehen, während er im selben Jahr bei den Grünen nicht auftritt.

Das Wahlprogramm von 1994 der nun gesamtdeutschen Partei Bündnis 90/Die Grünen stellt wieder ansatzweise einen Zusammenhang zwischen Umweltsteuern und Arbeit her. Demnach sollen Einnahmen aus Ökoabgaben „zur Finanzierung des ökologischen Umbaus und zu einer sozialen Flankierung bereit stehen“ (Grüne [Hrsg.], 1994, S. 14). Die soziale Flankierung deutet einen Ausgleich beim Faktor Arbeit an. Jedoch wird der wesentliche Zusammenhang zur Schaffung von Arbeitsplätzen in der Wirkung neuer „Produkte, Produktionsweisen und Technologien“ gesehen, nicht in der steuerlichen Entlastung der Arbeit selbst (Grüne [Hrsg.], 1994, S. 14). Um „unsozialen Folgen“ der ÖSR entgegenzuwirken, soll gleichzeitig eine „soziale Steuerreform“ angestoßen werden. Ein explizit zusammenhängender Mechanismus, der beides kombiniert enthält, fehlt jedoch, was sich mit dem Wahlprogramm der darauffolgenden Bundestagswahl ändert.

Bei der SPD ist ein Trend der Präzisierung der ÖSR im Wahlprogramm zu verzeichnen:

Leitidee dieser Reform ist, einerseits die Arbeit zu entlasten und umweltverträgliches Verhalten zu fördern, andererseits den umweltschädlichen Energie- und Materialverbrauch in gleichem Umfang schrittweise auch durch Erhöhung der Preise einzuschränken. (SPD [Hrsg.], 1994, S. 27)

Weiter heißt es, dass sie ihre „Partner in der EU dazu gewinnen [will], ebenfalls eine ökologische Steuerreform durchzuführen“ (SPD [Hrsg.], 1994, S. 27).

9.3.1.2 Wahlprogramme von SPD und Grüne von 1998

Das Wahlprogramm der SPD von 1998 verfolgt gezielt die Einführung der ÖSR. Das Vorhaben wird prägnant erklärt:

Diese Reform besteht aus zwei Teilen:

Erstens: Entlastung des Produktionsfaktors Arbeit.

Zweitens: Im Gegenzug eine maßvolle und berechenbare Belastung des umweltschädlichen Energieverbrauchs. Die Finanzmittel daraus werden ausschließlich zur Entlastung der Arbeit verwendet. (SPD [Hrsg.], 1998, S. 36)

⁹⁴ Im Wahlprogramm wird auf ein Öko-Steuer-Konzept des Arbeitsberichts Fortschritt '90 Bezug genommen, worauf die Anfänge der Idee bei der SPD zurückzuverfolgen sind.

Auch im Wahlprogramm der Grünen von 1998 findet sich die ÖSR explizit wieder, damals unter leicht anderem Namen:

Eine Ökologisch-soziale Steuerreform verringert nicht nur den Umweltverbrauch, sie sichert und schafft auch Arbeitsplätze, weil mit ihrem Aufkommen die Lohnnebenkosten spürbar gesenkt werden können. (Grüne [Hrsg.], 1998, S. 14f)

Mit der Einführung einer Energiesteuer, der Erhöhung der Mineralölsteuer und dem Abbau ökologisch schädlicher Subventionen werden wesentliche Maßnahmen genannt, die später in der Reform 1999 umgesetzt werden.

Bei der Mittelverwendungsseite wird zwar die Senkung der Lohnnebenkosten zuerst genannt, darauf folgen jedoch ebenfalls die Verkehrs- und Energiewende. Insbesondere die veränderte Anreizstruktur für Produktion und Innovation werden als wichtige Effekte der ÖSR gesehen. Auch an sozialen Ausgleich von Haushalten wird gedacht.

Allerdings sollte laut diesem Wahlprogramm von Bündnis 90/Die Grünen das Konzept auf zehn Jahre angesetzt werden. Die SPD nennt keinen zeitlichen Rahmen im Wahlprogramm von 1998.

9.3.1.3 Koalitionsvertrag von 1998

Im Koalitionsvertrag von 1998 vereinbaren SPD und Grüne die Umsetzung einer ÖSR. Das Ziel wird formuliert, die Sozialversicherungsbeiträge von 42,3% des Bruttolohns auf 40% zu reduzieren, wodurch Arbeitsplätze entstehen sollen. Auch eine „soziale Flankierung“ der Reform wird hervorgehoben (SPD und Grüne [Hrsg.], 1998). Sozialversicherungsbeiträge sollen um 0,8% gesenkt, Mineralölsteuern im Gegenzug erhöht werden: für Kraftstoffe um sechs Pfennig pro Liter, Heizölsteuer um vier Pfennig pro Liter, Gas um 32 Pfennig pro kWh und Strom zwei Pfennig pro kWh. Allerdings wird ein Umsetzungszeitraum von vormals zehn Jahren (Grüne) nicht mehr erwähnt. Stattdessen wird abschließend betont, dass bei der Ausgestaltung „auch die konjunkturelle Lage und die Preisentwicklung auf den Energiemärkten berücksichtigt werden“ müsse (SPD und Grüne [Hrsg.], 1998, S. 16). Das heißt, in Hinblick auf einen langfristigen Korridor für die Reform ist ein Unterschied zum Wahlprogramm der Grünen zu beobachten.

9.3.1.4 Wahlprogramme von SPD und Grüne nach 1998

Die SPD geht in ihren Wahlprogrammen von 2002–2021 nicht mehr auf die ÖSR ein (SPD [Hrsg.], 2002, 2005, 2009, 2013, 2017, 2021). Eine Ausnahme stellt das Programm von 2005 dar, das „Wahlmanifest“, in dem die ÖSR von 1999 im Rückblick als Erfolg aufgezählt wird. Umweltsteuern werden in diesem Jahr ebenso nicht gefordert. Dagegen kommt bei der SPD der Emissionshandel ab 2005 ins Spiel. Aufgrund zahlreicher Nennungen in den Wahlprogrammen verschiedener Parteien wird dem Emissionshandel ab 1998 viel Bedeutung als marktwirtschaftliches Instrument beigemessen.

Das Prinzip sei anerkannt und es sei „[a]llen Anfeindungen zum Trotz“ richtig, Umwelt zu belasten und Arbeit zu entlasten, womit im Wahlprogramm der Grünen von 2002 an der Reform festgehalten wird (Grüne [Hrsg.], 2002, S. 19). Der Einsatz der Mittel verschiebt sich allerdings dahingehend, dass sie auch „durch die Förderung umweltschonenden Verhaltens“ verwendet werden sollen. Weiterführend soll die ÖSR in eine ökologische Finanzreform eingebettet werden, die zusätzlich auch andere finanzpolitische Instrumente beinhaltet, wie den Abbau von umweltschädlichen Subventionen.

Im Wahlprogramm der Grünen von 2005 wird eine Weiterentwicklung zur ökologischen Finanzreform gefordert (Grüne [Hrsg.], 2005, S. 23). Bemerkenswert ist die Einschätzung: „Die ökologische Steuerreform ist ein Erfolg GRÜNER Regierungsbeteiligung und sie wirkt, das musste letztlich selbst die Union eingestehen.“ (Grüne [Hrsg.], 2005, S. 50). Dennoch wird nun wesentlich stärker vom Abbau umweltschädlicher Subventionen gesprochen. Eine Begründung ist darin zu finden: „Angesichts der hohen Ölpreise und des wachsenden Tanktourismus in den Grenzgebieten ist eine Erhöhung der Mineralölsteuer nicht sinnvoll.“ (Grüne [Hrsg.], 2005, S. 50).

Inwieweit sich diese Argumentation als tragfähig erweisen kann, ist durch Kontextualisierung zu prüfen. Insgesamt ist spätestens 2005 eine Abkehr vom Konzept der ÖSR festzuhalten, bei Bündnis 90/Die Grünen wie auch bei der SPD, welches von den Grünen ursprünglich mit einem Horizont von zehn Jahren angedacht war.

Im Wahlprogramm von 2009 taucht die ÖSR im engeren Sinne nur noch in der Rückschau mit dem Blick auf vergangene Erfolge auf (Grüne [Hrsg.], 2009, S. 20). Ansonsten wird von einer ökologischen Finanzreform gesprochen. Zwar wird gesagt, dass „die Steuerlast vom Faktor Arbeit hin zum Faktor Umwelt verlagert werden“ soll (Grüne [Hrsg.], 2009, S. 56). In der Folge wird aber nicht mehr

im Sinne der ÖSR darauf eingegangen, sondern es geht um verschiedene Maßnahmen wie Dienstwagenprivilegien, Brennelementesteuer, Emissionshandel oder Subventionsabbau. Der Begriff ökologische Finanzreform kann demzufolge als Sammelbegriff finanzpolitischer Instrumente mit ökologischer Wirkung konstatiert werden und steht daher nicht zwangsläufig mit der ÖSR in Verbindung. Die ökologische Finanzreform bildet damit eine zusätzliche Kategorie.

Insbesondere nach 1998 gewinnt der Emissionshandel zunehmend an Bedeutung. Er gilt neben Umweltsteuern als weiteres marktwirtschaftliches Instrument der Umweltpolitik und ist daher von Umweltsteuern oder der ÖSR ganz wesentlich zu unterscheiden. Aus diesem Grund bildet der Emissionshandel eine neue Kategorie. Gemessen an der Häufigkeit in den Wahlprogrammen, gehört er zu den wichtigsten Instrumenten der Umweltpolitik. Abgesehen von FDP und Grünen wird er allerdings erst nach seiner Einführung thematisiert. CDU/CSU bspw. nennen den Emissionshandel 2009 erstmalig im Wahlprogramm.

9.3.1.5 Historischer Kontext: Demonstrationen gegen höhere Kraftstoffpreise

Zunächst ist zu sagen, dass es von 1999 bis 2000 eine Steigerung des Ölpreises und unter anderem dadurch auch eine Erhöhung der Benzin- und Dieselpreise gab. So lag der Benzinpreis pro Liter 1999 durchschnittlich noch bei 86,7 Cent und steigerte sich bis 2000 auf 101,8 Cent. Der Dieselpreis pro Liter entwickelte sich ähnlich von 63,9 Cent auf 80,4 Cent und erhöhte sich damit prozentual stärker.⁹⁵ Diese Entwicklung ist nur bedingt auf die Wirkungen der ÖSR zurückzuführen. Die durch die konjunkturelle Situation global angestiegene Nachfrage ist als eine von mehreren weiteren Ursachen auszumachen.⁹⁶

In diesen Zusammenhang sind Proteste von Landwirt:innen und LKW-Fahrer:innen im September 2000 einzuordnen. Am 15.09.2000 fand in Bremen eine Demonstration statt, die laut Medienberichten aus 165–250 LKW bestand und den Verkehr der Innenstadt in Bremen stark beeinträchtigte.⁹⁷ LKW-Fahrer:innen und Landwirt:innen protestierten gegen die hohen Kraftstoffpreise und

⁹⁵ Siehe Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/776/umfrage/durchschnittspreis-fuer-superbenzin-seit-dem-jahr-1972/> und <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/779/umfrage/durchschnittspreis-fuer-dieseldieselkraftstoff-seit-dem-jahr-1950/> (beide 14.09.18).

⁹⁶ Laut dem Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2000) sind 14 Cent bei Diesel und Benzin auf die ÖSR zurückzuführen.

⁹⁷ Siehe Die Welt (<https://www.welt.de/print-welt/article/533988/Die-Wut-der-Lkw-Fahrer.html>, 07.09.18) und Die Tageszeitung („taz“, <http://www.taz.de/!1212047/>, 07.09.18).

forderten, die Ökosteuer und die Mineralölsteuer zu senken. Argumente, die einen Preiskampf mit ausländischen LKW-Fahrer:innen sehen, machen deutlich, dass sich LKW-Fahrer:innen in Deutschland benachteiligt sehen.⁹⁸ Die Tageszeitung („taz“) bezeichnete den Ökosteueranteil am Gesamtpreis als „verschwindend gering“. Aussagen von der Demonstration wie „Die Ökosteuer bringt das Fass zum Überlaufen“ belegen, dass die Situation schon zuvor als problematisch eingeordnet wurde. Diese Art des Protests fand einen Höhepunkt in einer Demonstration am 26.09.2000 in Berlin.⁹⁹ Hier nahmen Menschen aus den Branchen Spedition, Landwirtschaft und Bus- und Taxiunternehmen mit rund 7000 Fahrzeugen teil, wobei die hohen Dieselskosten und die Ökosteuer erneut vehement in der Kritik standen. „Sollte sich die Bundesregierung nicht bewegen, werden wir uns weiterhin bemerkbar machen“ – diese Ankündigung des Präsidenten des Bundesverbandes Güterkraftverkehr, Hermann Grewer, lässt den Druck auf die Bundesregierung durch Verbände erkennen. Auch der Zentralverband des Deutschen Handwerks forderte, die Öko- und die Kfz-Steuer abzuschaffen. Bei dieser Demo erneuerten CDU/CSU und FDP ihre Forderung nach der Abschaffung der Ökosteuer. Nach den Demonstrationen bekennt sich der Präsident des Umweltbundesamtes Andreas Troge zur Ökosteuer und ordnet die Probleme anders ein: „Die Lkw-Fahrer müssten stattdessen gegen Lohndumping und die ruinöse Wettbewerbsverzerrung zwischen den EU-Ländern vorgehen.“¹⁰⁰

Der Analyse von Meyer et al. zufolge fallen CDU/CSU und FDP im September bei der Debatte durch scharfe Wortwahl und „klassische Polemiken“ auf, was sie mit Begriffen wie „unselig“ oder „Missgeburt“ belegen (T. Meyer et al., 2001, S. 172ff). Hinter dieser Emotionalisierung werden inhaltlich vor allem die höhere Belastung für spezifische Wirtschaftszweige und die Ungleichbehandlung bestimmter Personengruppen kritisiert. Die PDS-Position ist im Vergleich differenzierter und eher neutral einzuordnen (T. Meyer et al., 2001, S. 183). Folgt man Meyer et al., spielten auch Medien eine entscheidende Rolle bei der Debatte um die ÖSR, da sie durch einen hohen Inszenierungs- und Dramatisierungsgrad gekennzeichnet war (T. Meyer et al., 2001, S. 185ff). Sie stellen darüber hinaus die Frage, inwieweit Bürger:innen in der Lage sind, sich bei einem Thema wie der ÖSR, sich über Sachstand und Argumente zu informieren, und gehen davon

⁹⁸ Vgl. Die Tageszeitung („taz“): <http://www.taz.de/!1212047/> (07.09.18).

⁹⁹ Siehe Hamburger Morgenpost: <https://www.mopo.de/dienstag-26-09-2000--15-51-trotz-massiver-lkw---demo-keine-steuerentlastung-19539922> (07.09.18).

¹⁰⁰ Siehe Artikel des Hamburger Abendblatts aus dem Jahr 2000: <https://www.abendblatt.de/archiv/2000/article204345385/Die-aufgestaute-Wut.html> (29.10.2022).

aus, dass sie weitestgehend die Informationsangebote der medialen Darstellungsebene nutzen, die sie als defizitär bewerten. Insgesamt hat daher der überwiegende Teil der Berichterstattung laut Meyer et al. wenig zur Versachlichung der Debatte um die ÖSR beigetragen.

Selbst im Jahresgutachten vom Sachverständigenrat zur Beurteilung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung wird deutliche Kritik an der ÖSR geübt (Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung [Hrsg.], 2000). Es wird davon gesprochen, dass die Lenkungswirkung nicht erreicht werde und dass die Konzeption falsch sei, da die Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge nicht richtig sei und nicht dem Verursacherprinzip gefolgt werde. Es dürfe keine Zweckbindung der Steuern geben (Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung [Hrsg.], 2000, S. 4). Darüber hinaus würden Konsumenten stark belastet und verunsichert, sodass das BIP-Wachstum infolgedessen negativ beeinflusst würde. Die Preise für Benzin und Diesel haben sich um 14 Cent durch die ÖSR erhöht. Prinzipiell sieht der Sachverständigenrat Umweltsteuern aber als ein geeignetes Instrument, um globale Klimaerwärmungen zu adressieren. Aufgrund der generellen Verteuerung von Energiepreisen sollen die zusätzlichen Verteuerungen durch die ÖSR jedoch rückgängig gemacht und die weiteren geplanten Schritte unterlassen werden (Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung [Hrsg.], 2000, S. 205).

9.3.1.6 Emissionshandel bei SPD und Grünen

Der Emissionshandel wird früher oder später von allen Parteien im Wahlprogramm aufgegriffen. Die Entwicklung in den Wahlprogrammen von SPD und Grüne wird in diesem Abschnitt abgehandelt.

Bündnis 90/Die Grünen fordern 2002 erstmalig die „zügige Einführung des Emissionshandels“ (Grüne [Hrsg.], 2002, S. 12). Seither hat er in jedes Wahlprogramm Einzug erhalten. Von 2009 an geht es um die Verbesserung bzw. Korrektur. Im Wesentlichen geht es dabei um Kritik an der kostenlosen Zuteilung von Zertifikaten, der Schließung von gesetzlichen Schlupflöchern und der Verknappung von Zertifikaten (Grüne [Hrsg.], 2009, S. 56, 2013, S. 41, 2017, S. 34). Bei der SPD wird der Emissionshandel nach seiner Einführung mit Verweis auf seine erwünschte Wirkung der Verminderung von Emissionen erwähnt (SPD [Hrsg.], 2005, S. 6) und bleibt auch hier fortan durchweg bis 2021 im Wahlprogramm enthalten. Von 2009 bis 2017 wird der Emissionshandel dann auch seitens der SPD,

ähnlich wie durch Bündnis 90/Die Grünen, kritisch behandelt und eine „Reduktion des Emissionsbudgets“ (SPD [Hrsg.], 2009, S. 26) sowie allgemein die Weiterentwicklung des Emissionshandels gefordert (SPD [Hrsg.], 2013, S. 63). 2013 ist von einer „Reaktivierung des Emissionshandels“ die Rede, was verdeutlicht, wie gering die Wirkung bis dato von der SPD zu diesem Zeitpunkt eingeordnet wird (SPD [Hrsg.], 2013, S. 89). Auffällig ist, dass in allen drei genannten Programmen der Emissionshandel als zentrales Instrument beschrieben wird, wenn auch der Kontext etwas variiert (als Instrument für hochmoderne, effiziente fossile Kraftwerke [2009], zur Energieeffizienz [2013], oder für den Klimaschutz [2017]). Im aktuellen Programm von 2021 wird auf den Emissionshandel nur am Rande eingegangen, wenngleich weiterhin von seiner Befürwortung auszugehen ist (vgl. zur Einführung des nationalen Emissionshandels SPD [Hrsg.], 2021, S. 10 und 55).

Sollten die Klimaziele nicht über den Emissionshandel erreichbar sein, will die SPD „Verhandlungen für die Vereinbarung von CO₂-Mindestpreisen auf europäischer Ebene aufnehmen“ (SPD [Hrsg.], 2017, S. 63). Damit kommt mit CO₂-Mindestpreisen ein neues Instrument ins Spiel, das komplementär zum Emissionshandel funktionieren soll. Näher wird es allerdings nicht erklärt und 2021 werden Mindestpreise nicht mehr erwähnt (SPD [Hrsg.], 2021).

Auch von Bündnis 90/Die Grünen wird ein CO₂-Mindestpreis gefordert – hier bereits ab 2013 (Grüne [Hrsg.], 2013, S. 41, 2017, S. 35, 2021, S. 21). Die Funktionsweise dieser Konzepte wird auch hier nicht erläutert.

Somit bilden der Mindestpreis auf CO₂ bzw. die Bepreisung von CO₂ eine weitere Begriffskategorie. Dabei ist leider nicht zu klären, welche Politikmaßnahme darunter genau verstanden werden soll. Es könnten unterschiedliche Instrumente gemeint sein (BMWi [Hrsg.], 2016; Agora Energiewende [Hrsg.], 2017; Deutscher Bundestag [Hrsg.], 2018). Ein Mindestpreis kann durch Steuern bzw. Abgaben oder indirekt im System des Emissionshandels als Mindestpreis pro Zertifikat hergestellt werden (EWI Energy & Research Scenarios, 2017).

Die Unklarheit, die mit den Begriffen *Mindestpreis* und *Bepreisung von CO₂* entsteht, könnte beabsichtigt sein, um weniger Bezugsmöglichkeiten durch politische Konkurrent:innen entstehen zu lassen.

9.3.1.7 SPD und Grüne heute

In den Wahlprogrammen der Grünen von 2013, 2017 und 2021 taucht die Idee der ÖSR als solche nicht mehr auf (Grüne [Hrsg.], 2013, 2017, 2021). Lediglich der Begriff erscheint im Programm von 2021, jedoch im Kontext der Besteuerung

von ökologischen Produkten im Ernährungsbereich (Grüne [Hrsg.], 2021, S. 52). Bis 2017 wird noch von einer ökologischen Finanzreform gesprochen, die der Beschreibung von 2009 stark ähnelt. Andere Konzepte rücken stattdessen in den Vordergrund (Grüne [Hrsg.], 2017, S. 38, 42, 72). 2017 wird bspw. explizit formuliert, dass die Mehreinnahmen aus der Reduktion von umweltschädlichen Subventionen für den Klimaschutz investiert werden sollen, was bedeutet, dass nicht eine Entlastung von Arbeit vorgesehen ist, sondern die zusätzlichen Finanzmittel für Umweltzwecke eingesetzt werden sollen. Des Weiteren wird 2017 mit der Reform des Emissionshandels an diesem Konzept festgehalten (Grüne [Hrsg.], 2017, S. 34f). In diesem Zuge wird auch ein Mindestpreis bzw. eine aufkommensneutrale CO₂-Bepreisung außerhalb des EU ETS gefordert, womit eine CO₂-Steuer adressiert sein könnte (Grüne [Hrsg.], 2017, S. 233). Darüber hinaus sollen unterschiedliche Mehrwertsteuersätze geprüft werden, welche als Umweltsteuern einzuordnen wären. Scheinbar im Widerspruch zu diesen Maßnahmen steht die Forderung zur Abschaffung der Stromsteuer, was einer Reduktion von Umweltsteuern gleichkäme und damit eine teilweise gegenläufige Maßnahme darstellen würde. Diese Maßnahme ist jedoch im Kontext der Forderung nach einer einheitlicheren CO₂-Bepreisung einzuordnen.

Im Programm von 2021 wird der Begriff der ökologischen Finanzreform nicht mehr genutzt (Grüne [Hrsg.], 2021). Dagegen wird das Konzept des Ökobonus verfolgt, welches der ÖSR zumindest nahesteht: „Die Einnahmen aus dem nationalen CO₂-Preis geben wir als Energiegeld pro Kopf an die Menschen zurück.“ (Grüne [Hrsg.], 2021, S. 20).

Bei der SPD wird in den Programmen von 2017 und 2021 die ÖSR nicht explizit erwähnt. Wie bereits erwähnt, soll dagegen der Emissionshandel zentrales Klimaschutzinstrument sein und deshalb weiterentwickelt werden (SPD [Hrsg.], 2017, S. 61ff). Sollte diese jedoch nicht zielführend sein, sollen „Verhandlungen für die Vereinbarung von CO₂-Mindestpreisen auf europäischer Ebene“ aufgenommen werden. Auch die SPD will einen Ökobonus prüfen: „Mit dem Ansteigen des CO₂-Preises werden wir für weitere sozial gerechte Ausgleichsmaßnahmen sorgen. Einen Pro-Kopf-Bonus werden wir prüfen.“ (SPD [Hrsg.], 2021, S. 10).

Insgesamt hat die SPD gegenüber Bündnis 90/Die Grünen anteilig am Gesamtprogramm einen wesentlich kürzeren Teil zu Umweltthematiken im Wahlprogramm, wodurch die Ungenauigkeit an verschiedenen Stellen teilweise erklärt werden kann.

9.3.2 Wahlprogramme anderer Parteien

9.3.2.1 Wahlprogramme von CDU/CSU

Im untersuchten Zeitraum von 1980–2021 ist bei den Unionsparteien CDU und CSU die Idee der ÖSR durchweg nicht vorzufinden (CDU/CSU [Hrsg.], 1980, 1983, 1987, 1990, 1994, 1998, 2002, 2005, 2009, 2013, 2017, 2021).

In den Programmen von 1980 und 1983 wird nicht über Umweltsteuern gesprochen. Im Programm von 1987 ist Umwelt zwar ein zentrales Thema; die Nuklearkatastrophe von Tschernobyl im Vorjahr könnte ein Grund dafür sein; Umweltsteuern spielen jedoch keine Rolle. Das Programm von 1990 fordert zumindest, dass eine CO₂-Abgabe im Rahmen der Europäischen Gemeinschaft eingeführt werden soll (CDU/CSU [Hrsg.], 1990, S. 17). Ein Zusammenhang mit Arbeit wird jedoch nicht hergestellt.

In den darauffolgenden Programmen von 1994 und 1998 spielen Umweltsteuern wiederum keine Rolle. Im Jahr 1998, in dem neben SPD und Grüne auch die FDP auf Umweltsteuern zu sprechen kommt, distanzieren sich CDU/CSU explizit von nationalen Energiesteuern, weil diese aus Wettbewerbsgründen „Arbeitsplätze massiv gefährden würden“ (CDU/CSU [Hrsg.], 1998, S. 27).

Von 2002 bis 2021 fällt mit Blick auf die ÖSR auf, dass ab 2009 auch hier der Emissionshandel ins Spiel kommt. Er wird als marktwirtschaftliches Instrument akzentuiert, soll ein „Weg zu einer ausgewogenen Balance zwischen Ökonomie und Ökologie“ sein und fortentwickelt werden (CDU/CSU [Hrsg.], 2009, S. 71). Im Wahlprogramm von 2013 setzt sich die CDU/CSU ebenso explizit für den Emissionshandel ein. 2017 jedoch verschwindet dieser Begriff wieder: Betont wird lediglich, dass man an bestehenden Zielen festhalte und man bei der Energiewende und beim Klimaschutz auf marktwirtschaftliche Instrumente setze (CDU/CSU [Hrsg.], 2017, S. 68f). Im aktuellen Programm von 2021 greift die CDU/CSU den Emissionshandel erneut explizit auf und fordert die Überführung der CO₂-Bepreisung der Bereiche Wärme und Verkehr in einen europäischen Emissionshandel (CDU/CSU [Hrsg.], 2021, S. 41). Darüber hinaus ist in ebendiesem Programm die Rede von der Modernisierung von Unternehmenssteuern, wozu spezifischere Erläuterungen jedoch ausbleiben (CDU/CSU [Hrsg.], 2021, S. 71).

Insgesamt hat sich die Union marktwirtschaftlichen Instrumenten der Umweltpolitik genähert, eine aufgeschlossene Haltung gegenüber der ÖSR kann allerdings bis heute nicht ausgemacht werden.

9.3.2.2 Wahlprogramme von FDP, Die Linke und AfD

Die FDP, Die Linke und die AfD thematisieren das Themenfeld um die ÖSR nur wenig. Aus diesem Grund können diese Parteien knapp abgehandelt werden.

Von 1990–1998 setzt sich die FDP für Umweltsteuern ein (FDP [Hrsg.], 1990, 1994, 1998). Daraufhin distanziert sie sich und fordert ab 1998 bis heute, den Emissionshandel einzuführen bzw. weiterzuentwickeln (FDP [Hrsg.], 1998, 2002, 2005, 2009, 2013, 2017, 2021). Für eine ÖSR im Sinne dieser Arbeit setzt sie sich nicht ein. Jedoch ist aufgrund der Trendwende von Umweltsteuern zum Emissionshandel ein bemerkenswerter Verlauf zu verzeichnen. Im Wahlprogramm von 1990 wird verlautet:

Eine zeitlich abgestufte Klimaschutzsteuer in Gestalt einer Energiesteuer auf fossile Primärenergieträger auf europäischer Ebene ist ein ökologisch wirksames und ökonomisch sinnvolles Instrument, um die angestrebte Reduzierung der CO₂-Emissionen um 25 % bis zum Jahre 2005 zu erreichen. (FDP [Hrsg.], 1990, S. 88)

1994 wird bestärkt, eine Umweltsteuer einzuführen, nämlich eine CO₂-Energiesteuer – im Zweifel sogar national (FDP [Hrsg.], 1994, S. 35). Obwohl für den Fall der Einführung einer nationalen Steuer Entlastungen für Wirtschaft und Bürger:innen versprochen werden, ist die Entlastung nicht aufkommensneutral geplant, sondern das Aufkommen soll in den allgemeinen Haushalt fließen.

Die FDP setzt sich für einen „dritten Mehrwertsteuersatz auf Energieverbrauch ein, wenn er europaweit einheitlich eingeführt wird“ (FDP [Hrsg.], 1998, S. 77). Weiter heißt es: „So verstandener Umweltschutz schafft Arbeitsplätze und gefährdet keine.“ Damit nähert sich die FDP in diesem Programm der Grundidee der ÖSR. Dieser Ansatz verschwindet darauffolgend allerdings, prägend wird fortan der Emissionshandel. Das Wahlprogramm von 1998 ist deshalb hervorzuheben, weil die FDP (nur) in diesem Jahr gleichzeitig die Einführung eines Emissionshandels befürwortet, was sie erheblich früher als CDU/CSU tut, die ihn erst 2005 im Wahlprogramm aufnimmt (CDU/CSU [Hrsg.], 2005).

Auch im Programm von 2002 werden die Vorschläge der EU-Kommission zum Emissionshandel unterstützt (FDP [Hrsg.], 2002). Interessant ist, dass die Abkehr von Umweltsteuern und insbesondere der 1999 eingeführten Ökosteuern nun sehr deutlich herauszulesen ist und die Trendwende von Steuern hin zum Emissionshandel vollzogen ist. Der Emissionshandel ist damit das zentrale marktwirtschaftliche Instrument der Umweltpolitik der FDP nach 1999.

„Ökosteuern“ seien abzuschaffen, weil sie unsozial, ungerecht und arbeitsplatzfeindlich seien und sich weder positiv auf Umwelt noch auf Lohnnebenkosten ausgewirkt hätten (FDP [Hrsg.], 2002, S. 1).

Im aktuellen Programm der FDP von 2021 ist eine Ergänzung zum Emissionshandel bemerkenswert: Dieser soll nicht nur ausgeweitet werden, sondern darüber hinaus ist eine Rückzahlung des Aufkommens aus dem Emissionshandel pauschal pro Person vorgesehen. Hier firmiert unter dem Begriff der Klimadividende, was in der vorliegenden Arbeit mit dem Begriff des Ökobonus deklariert ist.

Bei der Partei, die heute unter dem Namen *Die Linke* (auch *Linkspartei*) firmiert, wird die Reform von 1999 nicht ausschließlich kritisch gesehen, insgesamt spielt die ÖSR jedoch keine zentrale Rolle. Die Partei selbst ist das erste Mal 2005 in den Deutschen Bundestag eingezogen, damals unter dem Namen *Die Linkspartei.PDS*. Nach der Fusion mit der Partei *Arbeit & soziale Gerechtigkeit – Die Wahlalternative* (WASG) wird sie *Die Linke* bezeichnet und ist seitdem ununterbrochen im Deutschen Bundestag vertreten.

Prinzipiell hat *Die Linke* eine positive Grundhaltung zur ÖSR. Sie fordert aber, die sozialen Fehlwirkungen zu korrigieren (Die Linke [Hrsg.], 2005, S. 20). Gleichzeitig setzt sie auf die Weiterentwicklung des europäischen Emissionshandels. Insgesamt wird wenig Bezug auf die ÖSR genommen, was auch für spätere Programme gilt.

In den Wahlprogrammen von 2013, 2017 und 2021 ist die ÖSR nicht erkennbar (Die Linke [Hrsg.], 2013, 2017, 2021). Der Emissionshandel wird weiterhin kritisch gesehen. Im Programm von 2017 sowie im Programm von 2021 ist bei den Instrumenten Ökosteuer und Emissionshandel das Wesentliche, dass bei beiden „Industrierabatte“ kritisiert werden, worunter Ausnahmeregelungen zugunsten von Teilen der Industrie verstanden werden (Die Linke [Hrsg.], 2017, S. 81, 2021, S. 69).

Der Emissionshandel wird erstmals 2005 in Bezug auf seine Weiterentwicklung neutral erwähnt (Die Linke [Hrsg.], 2005, S. 20). Ab 2009 wird er jedoch deutlich kritisiert, so heißt es, dass er als zentrales Klimaschutzinstrument versagt hätte und seine Bilanz verheerend sei (Die Linke [Hrsg.], 2013, 2017). 2021 wird darüber hinaus die Wirksamkeit in Abrede gestellt: „Emissionshandel bietet keinen wirksamen Klimaschutz.“ (Die Linke [Hrsg.], 2021, S. 68). Die Kritik am Emissionshandel fällt auffallend schärfer aus als bspw. bei SPD oder Grüne.

2017 zog mit der AfD eine weitere Partei in den Deutschen Bundestag ein. Eine Befürwortung von Umweltsteuern oder des EU-Emissionshandels

ist im Wahlprogramm von 2017 nicht zu finden. Dagegen wurde gefordert, das Pariser Klimaabkommen vom 12.12.2015 zu kündigen und verschiedene Gesetze und Verordnungen abzuschaffen bzw. zu streichen; darunter die Energieeinspar-Verordnung (EnEV), das Erneuerbare-Energien-Wärmege-setz (EEWärmeG) und das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) (AfD [Hrsg.], 2017, S. 88ff). Im Programm von 2021 wird die AfD noch deutlicher: „Jegliche Form der CO₂-Besteuerung ist abzuschaffen.“ (AfD [Hrsg.], 2021, S. 175). Da-ran wird deutlich, dass die AfD nicht nur die Erhöhung von CO₂-Steuern ab-lehnt, welche zwangsläufig mit der ÖSR verbunden wären, sondern entge-gengerichtete Maßnahmen anstrebt.

9.4 Fazit politische Debatte der ökologischen Steuerreform in Deutschland

Aus der Analyse der Wahlprogramme ergibt sich folgendes Kategoriensystem der ÖSR bzw. ihrer marktwirtschaftlichen Alternativen. Die hierarchische Struk-tur der Anordnung wird nachfolgend erklärt.

Kategorien:

- Umweltsteuern
 - Ökologische/ökologisch-soziale Steuerreform
 - Belastung (des Faktors) Umwelt/Energie & Entlastung (des Faktors) Arbeit (allgemeinere Variante)
 - Höhere Besteuerung bzw. höhere Abgaben (des Faktors) Umwelt/Energie & niedrigere Besteuerung bzw. Abga-ben (des Faktors) Arbeit (präzisere Variante)
 - Ökosteuern
 - Klimasteuer / Klimaschutzsteuer
 - CO₂-Steuer
 - Dritte Mehrwertsteuersatz auf Energieverbrauch (FDP 1998)
 - Ökobonus
- Ökologische Finanzreform
 - Abschaffung schädlicher Subventionen
- Emissionshandel / Zertifikathandel
- Bepreisung von CO₂ / Mindestpreis auf CO₂

Da ein Teil der ÖSR auch Umweltsteuern bzw. -abgaben enthält, lässt sie sich unter Umweltsteuern subsumieren. Daneben tauchen in dieser Kategorie eine

Vielzahl von Begriffen und Konzepten auf, die Unterkategorien bilden. Selten werden diese Konzepte detailliert erklärt, weswegen nicht klar wird, was genau gemeint ist. Es ist daher wahrscheinlich, dass sich viele dieser Konzepte stark überschneiden, so zum Beispiel Klimasteuern bzw. Klimaschutzsteuern und CO₂-Steuern. Ein dritter Mehrwertsteuersatz auf Energieverbrauch ist auch in diesem Kontext anzusiedeln, was jedoch einzig von der FDP im Jahr 1998 genannt wird.

Ökosteuer wird in der Regel als Synonym zur ÖSR verwendet. Die Reform von 1999 ist häufig, insbesondere in späteren Texten, mit diesem Begriff Ökosteuern umschrieben. Eine Begriffsverschiebung ist demnach vorzufinden, da der Begriff der ÖSR durch den der Ökosteuern teilweise abgelöst wurde. Ursprünglich wurde der Begriff Ökosteuern mit einer abwertenden Konnotation verwendet.

Es gibt Unterkategorien der ÖSR. Diese unterscheiden sich inhaltlich wenig: In einem Fall wird von einer Be- und Entlastung gesprochen, während im anderen Fall von Steuersenkungen und -erhöhungen gesprochen wird. Das Prinzip der ÖSR wird explizit besonders häufig in der Zeit von 1994–1998 genannt.

Das gerade in aktuellen Programmen aufgegriffene Konzept des Ökobonus ist davon zu unterscheiden. Zwar lässt es sich bei Umweltsteuern einordnen, weil diese auch Teil dieses Konzepts sind, jedoch sollen beim Ökobonus die Mehreinnahmen in einer pro Kopf-Prämie pauschal an die Bevölkerung zurückgezahlt werden. Die konzeptionelle Nähe zur ÖSR ist damit gegeben.

Als weitere Kategorie ist die ökologische Finanzreform zu nennen. Theoretisch kann eine ÖSR inbegriffen sein. Allerdings wird dieser Begriff im Kontext von verschiedenen finanzpolitischen Maßnahmen mit ökologischem Bezug erwähnt, sodass er einen Sammelbegriff darstellt. Die ÖSR kann darunter subsumiert werden. Ob dies im Einzelfall zutreffend ist, ist dagegen oft fraglich, weshalb eine separate Kategorie gewählt wurde.

Die dritte Kategorie ist die des Emissionshandels. Dieser ist von Umweltsteuern grundsätzlich zu unterscheiden und wird zumeist als zweites relevantes marktwirtschaftliches Instrument in Bezug auf Umwelt verstanden. Bei ihm geht es um eine Mengenregelung. Das heißt, es wird eine feste Anzahl von Zertifikaten bestimmt, die nicht überschritten werden kann. Der Preis wird indirekt über die Verknappung von Umweltverbrauch beeinflusst. Bei Umweltsteuern bzw. -abgaben ist es andersherum: Der Preis wird direkt erhöht, die Menge bleibt variabel.

Schließlich ist für die Bepreisung von CO₂ und für ähnliche Formulierungen wie Mindestpreis auf CO₂ eine vierte Kategorie zu bilden. Man findet diese an verschiedenen Stellen, insbesondere in Wahlprogrammen von 2017 (FDP

[Hrsg.], 2017; Grüne [Hrsg.], 2017; SPD [Hrsg.], 2017). Dabei ist aber nicht definiert, ob eine Steuer, Emissionshandel oder beides gemeint ist. Eine Zuordnung in eine bestehende Kategorie ist daher nicht möglich und eine eigene Kategorie ist zu bilden. Der Mindestpreis scheint zumindest komplementär zum Emissionshandel, da es neben ihm genannt wird. Diese Unklarheit könnte bewusst motiviert sein, um sich nicht auf spezifische Instrumente festzulegen oder um der politischen Konkurrenz weniger Bezugsmöglichkeiten zu bieten.

Nicht alle genannten Kategorien bzw. Begriffe der Kategorien werden gleich häufig genannt. Zu den häufigsten zählen die ÖSR¹⁰¹, der Emissionshandel und die Bepreisung von CO₂ bzw. ein Mindestpreis auf CO₂. Ihre Frequenz unterscheidet sich dabei im Zeitverlauf deutlich. In den Jahren vor der Reform von 1999 wird der Begriff ÖSR stark verwendet, während die anderen Begriffe noch nicht geprägt sind. Der Emissionshandel tritt dann in den 2000er Jahren besonders häufig in Erscheinung und wird bis heute kontinuierlich genannt. Die geringere Häufigkeit der Nennungen und zugleich stärkere Kritik in heutigen Wahlprogrammen am Emissionshandel sind ein Beispiel dafür, dass in Wahlprogrammen nichts gefordert werden muss, was es bereits gibt, sodass der Blick auf Verbesserungen ausgerichtet ist. Bepreisung und Mindestpreis auf CO₂ sind vor allem Begriffe aus dem Jahr 2017.

Im Zeitverlauf ist schließlich zu erkennen, wie das Konzept zunächst an Bedeutung gewinnt, es dann 1999–2003 durch eine Reform angewandt wird, in welcher Zeit es stark in die Kritik gerät und dann wieder zu größten Teilen an Bedeutung verliert. Durch Arbeiten aus dem wissenschaftlichen Bereich ist die Reform weit vor der Reform von 1999 bekannt geworden. Bemerkenswert ist, dass die Wirkung der Reform dennoch in der Öffentlichkeit dramatisiert dargestellt wurde, obwohl sie wissenschaftlich wenige negative Bewertungen erhält. Ihr Verschwinden ist deshalb nur zu verstehen, wenn man die öffentliche und politische Debatte um die ÖSR betrachtet.

Dieses Erscheinen, gepaart mit dem Verschwinden, bezieht sich fast ausschließlich auf die Positionierungen von Bündnis 90/Die Grünen und SPD. Die anderen Bundestagsfraktionen, insbesondere CDU/CSU, hatten sich nie explizit für eine ÖSR ausgesprochen und sind auch bis heute zurückhaltend mit der Nennung von konkreten marktwirtschaftlichen Instrumenten für den Umweltschutz. Es kann demnach von Lagerbildung gesprochen werden. Das

101 Die Ökologische Finanzreform ist dagegen hauptsächlich ein Begriff der Grünen und daher nicht sehr häufig.

eine Lager verfolgte zeitweise das Konzept der ÖSR (SPD und Grüne), während das andere Lager nie Fürsprecher und zeitweise starker Widersacher (CDU/CSU) war.¹⁰² Ein drittes Lager wäre schließlich eher neutral bzw. kontrovers zu sehen (Die Linke, FDP).

Im fortgeschrittenen Prozess von heute sind weder die ÖSR noch ein erweitertes Konzept wie das der ökologischen Finanzreform in Wahlprogrammen der Mitgliedsparteien des Bundestags vorzufinden. Dieses Kommen und Gehen des Konzeptes wirft Fragen auf, die schwer auf der Sachebene zu erklären sind, stattdessen unter anderem auf ungünstiges Timing und „Mechanismen des politischen Schlagabtausches“ zurückzuführen sind (T. Meyer et al., 2001, S. 287). Aus diesem Grund lohnt es sich, Argumentationsmuster gegen die ÖSR kurz in den Blick zu nehmen.

Es werden verschiedene Begründungen gegen die ÖSR hervorgebracht. Die wesentlichen Argumentationsmuster aus den Wahlprogrammen, die sich gegen die ÖSR oder für eine Abkehr von der ÖSR aussprechen, lassen sich – ungeachtet von Parteigrenzen – wie folgt zusammenfassen:

- Die ÖSR ist unsozial und ungerecht (Argumentationsstrang soziale Gerechtigkeit).
- Die ÖSR ist schädlich für den Wettbewerb gegenüber dem Ausland (Argumentationsstrang internationaler Wettbewerbsdruck).
- Die ÖSR ist ein Eingriff in die Freiheit der Konsument:innen.
- Die ÖSR führt zu Verzerrungen, was zu Ineffizienzen führt. Der Lenkungseffekt ist nicht (hinreichend) gegeben.
- Belastungen der ÖSR bspw. durch höhere Benzin- und Energiepreise sind sowohl für Bürger:innen als auch für Wirtschaftsakteur:innen nicht zumutbar, da diese bereits zum Vorreformzeitpunkt (grenzwertig) hoch sind.

Dabei scheint der letzte Punkt inhaltlich vordergründig und kann in einer tieferen Interpretation auf die ersten beiden Punkte zurückgeführt werden (soziale Gerechtigkeit und internationaler Wettbewerbsdruck). Die Analyse zeigt jedoch, dass dies nicht immer geschieht, sodass dieses Argument der Unmachbarkeit und Unzumutbarkeit als Dramatisierung gewertet werden kann. In diesen Argumentationsweisen wird insgesamt ein hoher Dramatisierungs- und Inszenierungs-

102 Auch die AfD wäre heute in diesem Lager einzuordnen.

versuch deutlich¹⁰³, während die sachlichen Contra-Argumente laut Meyer et al. (2001, S. 119ff) verschleiert werden.

Im Jahr 2001 bilanzierten Meyer et al. während der Umsetzungsphase der Reform von 1999–2003, dass die Debatte nicht durch Sachlichkeit auffällt, sondern in ihr eine „dezidierte Strategie der Emotionalisierung“ zu finden ist (T. Meyer et al., 2001, S. 281ff). Es greifen „Mechanismen des politischen Schlagabtausches“, bei dem der politische Widersacher diskreditiert werden soll. Die hier untersuchte Ebene II (Politikdarstellung durch die Politik selbst) steht damit nicht für eine sachliche Darstellung der Politik. Auf Ebene III (Politikdarstellung durch Medien) kommt eine mediale Eigenlogik und Selektion hinzu, wodurch es zu einer weiteren verkürzten Darstellung komplexer Zusammenhänge kommt. Das Inszenierungspotential nimmt damit auf der nachgeschalteten Ebene weiter zu, womit argumentative Sachlichkeit zunehmend erschwert wird. Für die breite Bevölkerung ist davon auszugehen, dass vor allem dieser Informationskanal genutzt wird, dessen Unzulänglichkeiten hier dargestellt sind. An diesem Beispiel wird die Bedeutung der Medien zur Akzeptanz von politisch sichtbaren Reformen deutlich.

Zum heutigen Stand der Debatte lässt sich sagen, dass Maßnahmen, die in die Richtung einer ÖSR deuten könnten, genauso wie die Debatte um eine Reform und ihre mögliche Funktionsweise fehlen. Das Nichterscheinen in Wahlprogrammen kommt einer Distanzierung von der ÖSR gleich.

Für Umweltsteuern allein zu plädieren und nicht für die gleichzeitige Entlastung der Arbeit ist weniger komplex. Um eine ÖSR leichter vermitteln zu können, könnte es sein, dass deshalb aus taktischen Gründen auf die Entlastung des Faktors Arbeit nicht mehr hingewiesen wird, wenngleich dies nicht als wahrscheinlich zu bewerten ist. Dagegen scheint das Konzept des Ökobonus, das zumindest Soziales und Ökologisches miteinander verbindet, parteiübergreifend Relevanz zu haben.

Im Verlauf der Debatte bis heute ist bei den Parteien teilweise eine Konvergenz der Positionen zu beobachten. Der Emissionshandel hat dabei eine herausragende Bedeutung. Andere Konzepte werden kaum verfolgt.

Um die Reform von 1999 waren die Konfliktlinien noch deutlicher; insbesondere zwischen CDU/CSU und FDP einerseits und SPD und Grünen anderer-

103 Der Blick auf die Verschiebung der Argumentationslinien von Ebene I (Politikvollzug) über Ebene II (Politikdarstellung durch Politik) bis hin zu Ebene III (Politikdarstellung durch Medien) von Meyer et al. (2001) verdeutlicht die Emotionalisierung und bewusste Inszenierung der Debatte.

seits. Dieser Konflikt wird noch klarer und nachvollziehbarer, wenn ein Blick auf die Anliegen der unterschiedlichen Verbände und NGOs geworfen wird, die den Parteien teilweise nahestehen. Zur Kontrastierung werden deshalb die Interessen von Verbänden herangezogen. Bei der Vielzahl an unterschiedlichen Meinungen, Positionen und Vorschlägen zum Thema Umweltsteuern bzw. marktwirtschaftliche Instrumente der Umweltpolitik ist es nötig, sich auf kontrastreiche Gruppierungen zu fokussieren. Diese sind Umweltverbände und -NGOs einerseits und Industrie- und Arbeitgeber:innen-Verbände andererseits.

Im Jahr 2004 bekennt sich der *Bund Umwelt- und Naturschutz Deutschland* (BUND) wiederholt zu den wesentlichen Elementen der ÖSR. Angelika Zahrnt, damalige BUND-Vorsitzende (1998–2007), sieht in der ÖSR ein Erfolgsmodell (BUND [Hrsg.], 2004): „Sie entlastet die Umwelt, schafft neue Arbeitsplätze und senkt die Lohnnebenkosten. Sie hat noch Schwächen, aber es lohnt sich, sie zu verbessern und fortzuführen.“ Diese Aussage steht stellvertretend für ähnliche Positionen von mehreren Organisationen, wie etwa Greenpeace, der Deutschen Umwelthilfe, dem Naturschutzbund Deutschland (NABU) oder dem Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS).

Am entgegengesetzten Pol sei der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) als Industrieverband herausgegriffen. An einer mündlichen und schriftlichen Befragung zum Thema ÖSR im Rahmen eines Forschungsprojekts nahm ein Vertreter des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) teil (T. Meyer et al., 2001, S. 222ff). Die Identität dieser Person wurde im Rahmen des Forschungsprojekts von Meyer et al. (2001) bewusst nicht bekanntgegeben, um mehr Offenheit zu erlangen. Er betrachtet die zugenommene Bedeutung von Umwelt in der Politik mit großer Sorge: „Also, dass einfach die Grünen das erste Mal Regierungspartei wurden und mit ihnen die Roten und da man natürlich von Seiten der Industrie ganz starke Ängste hatte, dass sich Umweltpolitik entwickelt als etwas, was gegen die Wirtschaft läuft.“ Das bedeutet, dass ein Antagonismus von Umwelt und Wirtschaft proklamiert wird. Ein Zuviel des einen (Umwelt) würde dem anderen (Wirtschaft) schaden. Außerdem wird die Lenkungswirkung der ÖSR kritisch angezweifelt. Stattdessen hält dieser Vertreter des BDI unternehmerische Selbstverpflichtungserklärungen für effektiver für den Umweltschutz.

Trotz dieser Analyse bleibt offen, wie politische Verantwortliche aus den Parteien hinter verschlossenen Türen über eine ÖSR denken und sprechen. Programme von Parteien sind als Vermittlung der Politik durch die Politik selbst zu

sehen. Durch die Untersuchung der Programme kann ansatzweise, aber nicht vollständig auf die Motivation und die Haltung geschlossen werden.

Es bleibt deshalb unklar, wie heute über eine ÖSR gedacht wird. Die geringe Bedeutung in aktuellen Wahlprogrammen muss nicht zwangsläufig bedeuten, dass die Reform „abgestempelt“ ist oder bedeutungslos in den Parteien ist. Aufgrund der angeführten Intransparenz und wahrscheinlich vorhandener Inszenierungsstrategien bei der Politikvermittlung ist die Rolle der ÖSR bei den Parteien nicht in Gänze zu klären. Die Analyse aufgrund der Wahlprogramme lässt jedoch vermuten, dass die ÖSR kein diskutiertes Konzept mehr darstellt.

Davon abgesehen hat der Krieg in der Ukraine ab Februar 2022 eine neue Dynamik im Bereich der Energieversorgung in Europa ausgelöst und damit verschiedene Fragen der Bepreisung von Energieträgern und mögliche Entlastungen in ein neues Licht gerückt. Die Entwicklung zukünftiger Konzepte ist damit in Bewegung gekommen und manches, was zuvor nicht denkbar war, erscheint nun möglich. Einerseits ist das Argument von Entlastungen aus sozialen Gründen sowie aus Gründen des Wettbewerbs verstärkt worden. Andererseits erscheinen die Steuern und CO₂-Preise auf Energieträger im Gegensatz zu den temporär erreichten Erhöhungen der Energiepreise durch erhöhte Beschaffungspreise relativiert. Von beiden Entwicklungen könnte die Debatte um eine ÖSR profitieren, wenn auch im Unklaren liegt, in welche Richtung sie sich weiter entwickeln wird.

Mit Blick auf das Thema Wettbewerb und die Nachteile für diesen durch nationale Besteuerungen ist bemerkenswert, dass die aktuellen Wahlprogramme (von 2021) aller im Bundestag vertretenen Parteien – mit Ausnahme der AfD – sich entweder um Carbon Leakage Gedanken machen oder einen Grenzausgleichsmechanismus vorsehen. Damit ist eine hohe Sensibilität im fast gesamten politischen Spektrum in Bezug auf Wettbewerbsfragen im Kontext von Klimaschutzbemühungen festzustellen.

10 Fazit der Umsetzungen und Debatten

In Teil II wurden verschiedene Perspektiven eingenommen und dadurch wurden diverse Zusammenhänge ersichtlich. Das nachfolgende Resümieren dieses Teils erlaubt es, einen Überblick zu gewinnen, Schlüsse zu ziehen und schließlich die Forschungsfragen für den folgenden Modellierungsteil zu präzisieren.

Verschiedene Trends wurden konstatiert. Vor dem Hintergrund der voranschreitenden Klimaveränderungen, aber auch den sich verschärfenden Protesten und der zunehmenden Sensibilität für dieses Thema, scheint ein Fenster für klimapolitische Reformen geöffnet zu sein. Das anwachsende Umweltbewusstsein in Deutschland könnte ein guter Ausgangspunkt sein, sich den abzeichnenden ökologischen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts auf politischer Ebene angemessen zu stellen.

Die Digitalisierung und Technologisierung induzieren weitreichende strukturelle Veränderungen und erhöhen in diesem Zuge auch den Druck auf die Arbeitsmärkte. Durch diese Veränderungen werden Reformen attraktiver, die Beschäftigungseffekte mit in den Blick nehmen. Für übergreifende Politikmaßnahmen, wie die ÖSR, könnte es dadurch wahrscheinlicher werden, in der Debatte Resonanz zu finden.

Hinzu kommt der demografische Wandel. Dieser verändert die Situation auf den Arbeitsmärkten und könnte die Finanzierungsprobleme der Alterssicherungssysteme und des Sozialstaats insgesamt weiter verschärfen. Die Frage, wie Rentenversicherungsbeiträge in ausreichendem Ausmaß für die Absicherung zukünftiger Generationen gesichert werden können, stellt sich verstärkt. Die ÖSR könnte daher auch als ergänzende Finanzierungsquelle der Alterssicherung an Attraktivität gewinnen.

Schließlich ist der Trend der abnehmenden BIP-Wachstumsraten der letzten Jahrzehnte bemerkenswert. Die Auseinandersetzung mit der Frage, wie eine Volkswirtschaft mit niedrigem, keinem oder negativem BIP-Wachstum umgehen kann, erscheint früher oder später unausweichlich. Auch hier könnten übergreifende Konzepte mit positiven Effekten auf die Beschäftigung stärker nachgefragt werden. Damit sprechen mehrere wesentliche Trends der 2020er Jahre dafür, dass sich das Konzept der ÖSR gerade für das aktuelle Jahrzehnt besonders eignen könnte.

Aus der Literaturübersicht kristallisieren sich mehrere Aspekte der Forschungsfragen klarer heraus. So ist festzuhalten, dass weiterer Forschungsbedarf

für die Wirkungen weitreichender Reformen besteht. Vergangene Forschungsarbeiten visierten tendenziell geringe Preise für THG-Emissionen an. Auch die Umsetzung in Deutschland durch die Reform von 1999 weist ein geringes Ausmaß auf. Die jüngste Klimaforschung legt dagegen das Erfordernis deutlich höherer Preise nahe. Eine der Zeit angepasste modellbasierte Beschäftigung mit dem Thema der ÖSR erscheint allein aus diesem Grund lohnend.

Die fiskalische Potenzialabschätzung zeigt, dass selbst bei einer Bepreisung von 200 und 400 EUR/t CO₂e die erforderlichen Finanzströme auf der Entlastungsseite vorhanden sind. Das Volumen der Rentenversicherungsbeiträge allein wäre bei 200 EUR/t CO₂e ausreichend. Der Faktor Arbeit ist momentan deutlich am meisten belastet, Umweltsteuern haben dagegen gerade in Deutschland ein vergleichsweise geringes Ausmaß (Bär et al., 2022). Am fiskalischen Potenzial für eine weitreichende Reform fehlt es insofern nicht.

Im Sinne der Internalisierung von externen Effekten ist die Besteuerung von allen Treibhausgasen gemessen an ihren THG-Wirkungen sinnvoll. Frühere Reformen, wie bspw. die Reform von 1999 in Deutschland, verfolgten nicht diesen Ansatz, der für zukünftige Reformen aber angebracht ist und heute Common Sense darstellt. Konsequenterweise berücksichtigt das Steuerregime im Idealzustand nicht nur CO₂, sondern alle Treibhausgase gleichermaßen in Bezug auf ihre THG-Wirkung.¹⁰⁴ Schließlich sind möglichst alle Sektoren gleichermaßen einzubeziehen, um die Vermeidung der THG-Emissionen dort anzustoßen, wo sie ökonomisch am günstigsten sind.

Methodologisch ist darauf zu achten, dass geeignete Modellierungsarten angewendet werden. Die Bewertung der Reformen darf nicht einseitig, anhand von einzelnen Parametern vorgenommen werden, sondern ein differenzierter Bewertungsansatz ist vorzuziehen. Dass BIP-Wachstum unreflektiert positiv bewertet wird, ist ein Manko der meisten Modellierungen. Bei den Modellszenarien ist folglich darauf zu achten, dass dem BIP möglichst weitere Kenngrößen zur Seite gestellt werden, die eine umfänglichere Bewertung der Maßnahmen erlauben. Unterschiedliche Modellierungsarten sind für die verschiedenen Teilfragen heranzuziehen. Die bisherige Forschung weist eine starke Häufung gleichgewichts- und optimierungsbasierter Ansätze auf.

Die normativen Hintergründe der Wohlfahrtsökonomik als Grundlage vieler Modellierungen wurden aufgezeigt und es wurde eruiert, inwieweit die

¹⁰⁴ Begrifflich ist folglich von THG-Steuern, nicht von CO₂-Steuern zu sprechen.

Theorie der optimalen Besteuerung methodologische Grundlage für die Bearbeitung des Themas der ÖSR sein sollte. Beim heutigen Stand der nationalstaatlichen Verpflichtungen zu Klimazielen erscheint es sinnvoller, die vorhandenen, normativen Vorgaben der Politik als gegeben zu nehmen und darauf aufzubauen. Die Abkehr oder zumindest die Ergänzung von wohlfahrtsökonomischer Effizienz als Bewertungsmaßstab könnte sich als lohnend erweisen. Indikatorenbasierte Bewertungssysteme könnten bspw. an ihre Stelle treten, da sie enger mit realpolitischen Größen korrespondieren und somit transparentere Politikberatung ermöglichen.

Die Rekonstruktion der deutschen politischen Debatte vor, während und nach der Einführung der ÖSR von 1999 in Deutschland hat politische Mechanismen offenbart und die Komplexität aufgezeigt, die mit der Umsetzung bereichsübergreifender Maßnahmen einhergeht. Um sich letztlich durchsetzen zu können, muss eine ÖSR infolgedessen mehrere Kritikpunkte von Beginn an berücksichtigen. Das Beispiel British Columbia (Kanada) zeigt, dass für den Erfolg einer ÖSR viele Bedingungen erfüllt sein müssen. Diese Konditionen geben auch weitere Hinweise auf die beschriebenen Schwierigkeiten der Umsetzung in Deutschland. Das heutige Pan-Canadian Framework zur Bepreisung von THG-Emissionen zeigt auch, dass föderale Reformen wie in der Provinz British Columbia einen Anstoß für das ganze Land geben können.

Politisch viel diskutiert, etwa in Deutschland während der Reform von 1999, sind außerdem die sozialen Auswirkungen und Verschiebungen, darunter insbesondere fiskalische Verteilungswirkungen auf der Einkommen- und der Ausgabenseite. Bemerkenswert ist, dass die Forschung zu Verteilungseffekten gemischt ausfällt – teilweise werden regressive, teilweise progressive Auswirkungen beschrieben (Beck et al., 2015). Dennoch ist zu konstatieren, dass diese Überlegungen in der heutigen anwendungsorientierten Wirtschaftsforschung verankert sind. Aus diesem Grund wird von einer zusätzlichen Beschäftigung im Rahmen dieser Arbeit abgesehen. Doch auch wenn Veränderungen der Einkommensgruppen nicht im Detail in den Blick genommen werden, bleibt das Beschäftigungsniveau eine zentrale Größe. Durch eine ÖSR kann sowohl die Arbeitsnachfrage als auch das Arbeitsangebot beeinflusst werden. Beispielsweise können höhere Löhne dazu führen, dass mehr Freizeit gewählt wird (vgl. Karydas & Zhang, 2019). Nachfrage- und Angebotsveränderungen können Ausgangspunkt eines langfristig eher positiven sowie eher negativen Wandels sein und sind zu berücksichtigen.

Die ökonomischen Auswirkungen einer ÖSR sind von zentraler Bedeutung für die vorliegende Arbeit. Es stellt sich die Frage, welche Auswirkungen, auch durch hohe Preise für THG-Emissionen zu erwarten wären. Die Größenordnungen der sektoralen Be- und Entlastungen spielen für die Preisentwicklungen und damit die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Sektoren eine große Rolle. Mit einer Verschiebung THG-intensiver Produktion in andere Länder wäre weder dem Klima noch dem Nationalstaat geholfen. Dieses Problem des Carbon Leakage gilt es dementsprechend so gering wie möglich zu halten.

Grenzausgleichsmechanismen werden gerade bei hohen THG-Steuern zu einem ernstzunehmenden Instrument. Diese Möglichkeit gilt es daher mitzudenken und es ist ggf. zu prüfen, in welchen Sektoren sie notwendig und realistisch erscheint. Beispielsweise in den womöglich stark betroffenen Sektoren der Grundstoffe könnten Grenzausgleichsmechanismen eine gute Option sein (unter anderem Stahl, Zement, Düngemittel, vgl. CBAM).

Die Praxis zeigt, dass der Versuchung, Ausnahmeregelungen für im internationalen Wettbewerb stehenden Unternehmen zu erlassen, immer wieder nachgegeben wird. Hier scheint ein grundsätzliches Problem zu existieren, bei dem auch Faktoren wie bspw. Lobbyismus eine Rolle spielen könnte. Daher ist zu prüfen, wie groß die Effekte auf die inländischen Sektoren, den außenwirtschaftlichen Handel und damit auch auf die denkbaren Wettbewerbsnachteile sein können.

Eine Grobabschätzung für die kurzfristigen Effekte ist von großem Interesse. Zur Beantwortung dieser Fragen dient Kapitel 11, in welchem mithilfe eines Input-Output-Modells die sektoralen Verschiebungen durch die Reform zum Untersuchungsgegenstand werden.

Im jüngeren Literaturstrang wird darauf hingewiesen, dass es auf die lange Frist ankommt und kleine Veränderungen – bspw. bei der Beschäftigung oder der Forschung und Entwicklung – langfristig große Folgen haben können (vgl. Bretschger & Smulders, 2012; Kruse-Andersen, 2016; Karydas & Zhang, 2019). Doch die Einschätzungen der ökonomischen Resultate einer ÖSR sind ambivalent und es besteht weiterer Forschungsbedarf (vgl. Maxim & Zander, 2019).

Langfristige Effekte sind abhängig von den Entwicklungen im Bereich der Forschung und Entwicklung. Eine Reform zieht mit großer Wahrscheinlichkeit veränderte Forschungsanreize nach sich und ist auf diese Weise in der langen Frist nicht neutral. Damit stellen sich die Fragen, auf welche Art, in welche Richtung und in welchem Ausmaß sich die Forschungsaktivitäten ent-

wickeln. Welche Investitionen werden durch eine ÖSR attraktiver, welche werden weniger rentabel? Und was lösen diese Aspekte für die Ökonomie insgesamt aus, etwa für das Beschäftigungsniveau oder das BIP? Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen sind die veränderten Anreize für die Forschung und Entwicklung in den Blick zu nehmen. Um die Dynamiken von Unternehmen im Wettbewerb durch veränderte Anreize zu simulieren, wird in Kapitel 12 ein agentenbasiertes Modell herangezogen.

Abschließend ist festzuhalten, dass die parallele Umsetzung verschiedener Konzepte möglich und sinnvoll sein kann. Das gilt für die Einnahmenseite (wer wird wie belastet?) genauso wie für die Ausgabenseite (wofür werden die Einnahmen verwendet?). Trotz alledem sollte die Lösung aller angesprochenen Probleme nicht von der Bepreisung von Treibhausgasen allein erwartet werden. Andere begleitende Maßnahmen sollten trotz der Fokussierung der vorliegenden Arbeit weiterverfolgt werden.

TEIL III

Modellierungen

11 Sektorale Effekte im Kontext des internationalen Wettbewerbs (Input-Output-Modell)

11.1 Einführung

11.1.1 Vorüberlegungen

Die sektoralen Be- und Entlastungen durch eine ÖSR sind nicht gleichverteilt, sondern die Sektoren sind sehr unterschiedlich von einer Reform betroffen, die an der einen Stelle (durch THG-Steuern) zusätzliche Kosten erzeugt und an der anderen Stelle (durch die Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge) Kosten senkt.

Von der Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge werden die einzelnen Sektoren und Unternehmen nicht im gleichen Ausmaß begünstigt wie sie von der THG-Steuer betroffen sind. So gibt es sowohl Sektoren, welche netto belastet werden, als auch Sektoren, welche netto profitieren. Für die Einschätzung der Effekte insgesamt ist deshalb auch eine Differenzierung der Sektoren entscheidend.

Darüber hinaus wird als mögliche negative Auswirkung einer ÖSR vielseitig diskutiert, ob eine nationale Reform zu negativen Effekten im Rahmen des internationalen Wettbewerbs führen könnte. Konkret wird befürchtet, dass der Export durch die Belastung zusätzlicher Steuern beeinträchtigt sein könnte und sich dementsprechend die Handelsbilanz verschlechtert und Unternehmen langfristig die Produktion nicht im Inland halten. Vor dem Hintergrund des bereits diskutierten Carbon Leakage ist dieser ökonomische Aspekt auch aus ökologischer Sicht relevant, denn die reine Verlagerung von THG-intensiver Produktion reduziert global betrachtet keine THG-Emissionen.

Wenn auch mit unterschiedlicher Ausprägung stehen alle Sektoren unter dem Druck des internationalen Wettbewerbs. Die vollständige Weitergabe der Preisaufschläge an die Nachfrage könnte in einer geschlossenen Volkswirtschaft unter bestimmten Umständen plausibilisiert werden, für die vorliegende offene Volkswirtschaft mit sowohl inländischer Nachfrage nach ausländischen Gütern als auch ausländischer Nachfrage nach inländischen Gütern ist eine solche Annahme jedoch nicht zu rechtfertigen. Güter aller Sektoren unterliegen dem ständigen Vergleich des ausländischen Angebots und geringe Preisänderungen können große Änderungen der Nachfrage implizieren.

Aus diesen Gründen spielt bei der Betrachtung der folgenden sektoralen Input-Output-Modellierung die Frage nach den Auswirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit eine gewichtige Rolle und die Einführung einer ÖSR ist auch in den Rahmen der Debatten internationaler Wettbewerbsfähigkeit einzuordnen.

Diese Problemfelder der sektoralen Verschiebungen als auch der internationalen Wettbewerbsfähigkeit sind im vorliegenden Kapitel zu vertiefen und es gilt zu prüfen, welche Sektoren auf welche Weise betroffen sein könnten und inwieweit das Argument der bedrohten Wettbewerbsfähigkeit zutreffend ist.

Die Aufteilung in Sektoren kann den Eindruck erwecken, dass bestimmte Güter vollständig in bestimmten Sektoren erzeugt werden. Doch tatsächlich sind die Sektoren voneinander stark abhängig: Erzeugnisse aus den einen Sektoren werden als Vorprodukte in anderen Sektoren genutzt. Aufgrund dieser intersektoralen Abhängigkeit wirkt sich eine Steuerveränderung in einem Sektor auch auf andere Sektoren aus. Zur realistischen Untersuchung dieser interdependenten sektoralen Kostenanpassungen wird deshalb die Input-Output-Modellierung gewählt, welche sich für derartige Anwendungen etabliert hat (vgl. R. E. Miller & Blair, 2009; Cordier et al., 2017; Lam et al., 2019; Zhai et al., 2021).

Beim Blick auf Wettbewerbsfragen ist die lange Frist von größerer Bedeutung, da sich die Frage stellt, wie langfristig die Weichen für eine kompetitive Wirtschaft gestellt werden können. Allgemein ist davon auszugehen, dass sich die Technologie durch die fortschreitende Zeit weiterentwickelt oder zumindest verändert. Wahrscheinlich erscheint darüber hinaus, dass die veränderten Kosten neue Anreize für neue Investitionen setzen, sodass sich technologische Gegebenheiten – im Sinne von Input-Output-Verhältnissen – zusätzlich verändern. Dennoch wird in dieser Modellierung – was üblich in Input-Output-Modellierungen ist – von konstanter Technologie ausgegangen. Durch technologische Anpassungen wäre zu erwarten, dass die Effekte abgemildert werden, da sich die inländischen Akteure auf die geänderten Rahmenbedingungen einstellen können.

Mit der Annahme der unveränderten Technologie wird sichergestellt, dass mögliche positive Effekte nicht überschätzt werden. Mit diesen Ceteris-Paribus-Annahmen kann die Simulation deshalb als Worst-Case-Szenario für die lange Frist interpretiert werden, welches möglicherweise problembehaftete Sektoren identifizieren kann und die Gesamtwirkungen dieser Reform im internationalen Wettbewerb abzuschätzen vermag.

11.1.2 Forschungsfragen und -hypothesen

Vor diesem Hintergrund stellen sich die Forschungsfragen, wie sich eine Steuerverschiebung durch die ÖSR sektoral auswirken kann:

- Wie verändern sich die Kosten- und Preisstrukturen der Sektoren? Welche Sektoren sind am stärksten, welche am geringsten betroffen?
- Welche Nachfrageauswirkungen – national sowie im Rahmen des internationalen Wettbewerbs – sind dadurch zu erwarten?
- Welche Folgewirkungen werden bei der Gesamtproduktion, dem BIP und der Beschäftigung in der langen Frist eintreten?

Die Einführung einer ÖSR über strukturelle Steuerverschiebungen werden ad-hoc, das heißt ohne Übergangsphase, simuliert.¹⁰⁵ Gleichzeitig ist zu betonen, dass keine weiteren Maßnahmen implementiert werden (wie zum Beispiel Grenzausgleichmechanismen). Gefragt wird, wie sich die Ökonomie schlimmstenfalls entwickeln könnte. Daher werden weder denkbare Erhöhungen von ausländischen THG-Steuern noch andere möglicherweise begleitende Maßnahmen angenommen. Vielmehr soll die Simulation die am stärksten betroffene Bereiche aufzeigen, sodass auf dieser Grundlage weitere Überlegungen getroffen werden und ggf. weitere Maßnahmen eruiert werden.

Bei vollständiger (100%iger) Rückzahlung an die Unternehmen sind folgende Forschungshypothesen zu formulieren:

- i. Es gibt sowohl Sektoren mit positiven als auch mit negativen insgesamt Preisveränderungen, genauso wie es Sektoren mit positiven und negativen Veränderungsraten der Gesamtproduktion gibt (vgl. Bach et al. 2001).
- ii. Das BIP entwickelt sich weder positiv noch negativ, sondern bleibt etwa neutral, da es sich um eine aufkommensneutrale Reform handelt.
- iii. Die Beschäftigungseffekte sind aufgrund der Konstruktion der ÖSR insgesamt positiv, da erwartet wird, dass in beschäftigungsintensiven Sektoren die Nachfrage nach Arbeit mehr steigt als sie in den anderen Sektoren sinkt.

¹⁰⁵ Längerfristig bezieht sich nicht auf eine bestimmte Anzahl von Jahren oder auf eine Jahreszahl, sondern auf das neue Gleichgewicht, wenn sich die Auswirkungen der interdependenten Kaskadeneffekte in einer neuen Balance eingefunden haben.

Bei teilweiser (50%iger) Rückzahlung an die Unternehmen:

- iv. Sektoral gibt es weiterhin positive Effekte. Die Volkswirtschaft als Ganze wird jedoch belastet, was zu negativen Implikationen für das BIP führt und wodurch die Anzahl der Erwerbstätigen sinkt.

Aufgrund der angesprochenen großen Bedeutung von internationalen Interdependenzen wird im Folgenden der Kontext des internationalen Wettbewerbs allgemein in den Blick genommen. Anschließend wird die Methodik der Modellierung vorgestellt – zunächst allgemein, dann konkret für die vorliegende Anwendung. Schließlich werden die Ergebnisse präsentiert, um sie abschließend zu diskutieren und in die Gesamtdebatte einzuordnen.

11.2 Forschungsstand: ökologische Steuerreform im Kontext des internationalen Wettbewerbs

11.2.1 Aspekte der Wettbewerbsfähigkeit

Ein relevantes Element der Input-Output-Modellierung dieses Kapitels ist die ausländische Nachfrage und damit die Frage, inwieweit die Wettbewerbsfähigkeit durch eine ÖSR beeinträchtigt ist. Aufgrund dieser Bedeutsamkeit werden im Folgenden verschiedene Aspekte dieses Thema näher beleuchtet.

Der Erhalt und die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit sind Themen, die aus den öffentlichen Debatten kaum wegzudenken sind. Für globalisierte Volkswirtschaften mit hohen Export- und Importanteilen an der Gesamtwirtschaftsleistung spielt der Außenhandel eine große Rolle. Konkurrenzfähig im Markt mit anderen Unternehmen zu sein und zu bleiben, ist eine fortwährende Herausforderung auf Unternehmensebene. Darüber hinaus sind Unternehmen abhängig von politischen Reglementierungen und Gegebenheiten, weshalb Unternehmensverbände und Lobbyvertretungen für günstigere Bedingungen ihrer vertretenen Gruppe eintreten. Diese Interessensvertretung spiegelt sich selbst auf wissenschaftlicher Ebene wider. Beispielhaft kann der zweijährlich erscheinende *Länderindex Familienunternehmen* dienen, welcher vom Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und Calculus Consult erstellt und von der Stiftung Familienunternehmen beauftragt wurde, in dem die Situation für Familienunternehmen dargelegt wird (Heinemann et al., 2023).

Konkret ist die Reduktion von Steuern eines der zentralen Themen von Arbeitgeber- und Wirtschaftsverbänden. Die Forderung der Senkung der Unter-

nehmenssteuern, wie es der Präsident des Bundesverbands der Deutschen Industrie, Siegfried Russwurm, fordert, kann beispielhaft genannt werden.¹⁰⁶ Im globalen sowie im europäischen Vergleich hat Deutschland hohe Unternehmenssteuern, ohne Steuersenkung – so die Argumentation – sei die globale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in Gefahr. In Deutschland liegen die Körperschaftsteuersätze im Jahr 2023 bei ca. 30%, während der OECD-Durchschnitt bei unter 26% liegt.¹⁰⁷ Russwurm zufolge betragen die Gewinnsteuern in Deutschland ca. 30%, während der EU-Durchschnitt bei 21% liegt. Laut Statista ist seit über zwei Jahrzehnten ein negativer Trend auszumachen.¹⁰⁸

Verschiedene politische Ebenen greifen dieses Thema auf und versuchen im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten im internationalen Kontext ihren Beitrag zu leisten (bspw. unter Berücksichtigung des Prinzips der Inländerbehandlung der Welthandelsorganisation (WTO), vgl. Gerhart & Baron, 2003). Auf EU-Ebene soll ein neuer Plan der EU-Kommission zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit, der *grüne Industrieplan* (engl. „Green Deal Industrial Plan“), „insbesondere die Netto-Null-Industrie (also die CO₂-neutrale Industrie) stärken und den raschen Übergang zur Klimaneutralität unterstützen.“¹⁰⁹ Die vier Säulen dieses Plans sind: ein günstiges Regelungsumfeld für die Netto-Null-Industrie, ein schnellerer Zugang zu Finanzmitteln, die richtigen Kompetenzen für Arbeitskräfte und ein offener Handel für widerstandsfähige Lieferketten. Laut Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen sind Energie und Rohstoffe die beiden Kernelemente der Wettbewerbsfähigkeit.

Im Rahmen der EU ist neben dem Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit die Ausgewogenheit zwischen den EU-Mitgliedsländern ein gewichtiger Aspekt; so werden unter anderem ausgeglichene Leistungsbilanzsaldos angestrebt (Gabrisch & Staehr, 2015). Vor diesem Hintergrund werden spätestens seit der globalen Finanzkrise ab 2007 hohe Inflationsunterschiede unter Mitgliedsländern als problematisch angesehen (Fischer, 2010).

106 Siehe FAZ-Artikel mit dem Präsidenten des Bundesverbands der Deutschen Industrie vom 23.01.2023: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/russwurm-die-globale-wettbewerbsfaehigkeit-des-standortes-ist-gefaehrdet-18623852.html> (27.03.2024).

107 Siehe Statistikportal Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1225581/umfrage/unternehmenssteuern-ausgewaehlter-laendern/> (27.03.2024).

108 Ibidem.

109 Siehe Pressemitteilung der EU-Kommission zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der EU vom 01.02.2023: https://germany.representation.ec.europa.eu/news/gruner-industrieplan-fur-mehr-wettbewerbsfaehigkeit-und-den-ubergang-zur-klimaneutralitaet-2023-02-01_de (27.03.2024).

Trotz der breiten Anwendung des Konzepts der Wettbewerbsfähigkeit gibt es auch kritische Stimmen. Der Träger des Alfred-Nobel-Gedächtnispreises für Wirtschaftswissenschaften Paul Krugman hat im Jahr 1994 auf die Überschätzung der Bedeutung der Wettbewerbsfähigkeit hingewiesen und soll hier stellvertretend genannt werden. Krugman (1994, S. 28ff) sieht eine „gefährliche Bessenseheit“ darin und stellt das Konzept grundsätzlich in Frage: „competitiveness is a meaningless word when applied to national economies“ (Krugman, 1994, S. 44). Jenseits dieser Extremposition ist Wettbewerbsfähigkeit dennoch ein anerkannter und vielseitig verwendeter Begriff, der unentbehrlich erscheint, um in den Sphären Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sprachfähig zu sein.

11.2.2 Konzepte zur Messung von Wettbewerbsfähigkeit

Es stellen sich die Fragen, wie Wettbewerbsfähigkeit definiert ist und wie sie gemessen werden kann. Begrifflich geht es bei einer Fähigkeit um ein Potenzial oder um eine theoretische Leistung, weniger um die tatsächliche. Die Höhe des BIP, das aktuelle Wachstum des BIP oder die aktuelle Erwerbsquote erscheinen zur Messung der Wettbewerbsfähigkeit daher ungeeignet. Doch es verbleiben eine ganze Reihe theoretisch denkbarer Varianten: die Wachstumsprognose des BIP, Lohn- oder Energiestückkosten als Indikator für Produktivität, die totale Faktorproduktivität, getätigte Investitionen, vorhandene Infrastruktur und Kapital, das technologische Niveau einer Ökonomie insgesamt, die Patentaktivitäten oder verfügbare Arbeitskräfte und ein hohes Ausbildungsniveau als soziales Kapital.

Im Folgenden soll ein Überblick über verschiedene Ansätze gegeben werden. Zum einen werden zusammengesetzte Indices zur ganzheitlichen Erfassung von Wettbewerbsfähigkeit abgehandelt, zum anderen werden grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten der näheren Differenzierung von Wettbewerbsfähigkeit erörtert, um die Herausforderungen in diesem Kontext darzulegen.

Aufgrund dieser Fülle von Ansatzpunkten erscheint ein zusammengesetzter Index naheliegend, welcher aus mehreren Teilaspekten gebildet wird, wie es zum Beispiel im *Global Competitiveness Report* (Schwab et al., 2019), im World Competitiveness Ranking im IMD World Competitiveness Yearbook (IMD [Hrsg.], 2022b, 2023) oder im Länderindex Familienunternehmen (Heinemann et al., 2023) geschieht. Wettbewerbsfähigkeit kann grundsätzlich sowohl als relatives Konzept verstanden werden, welches eine Aussage trifft, welches von zwei Ländern kompetitiver ist, als auch als kardinales Konzept, bei dem eine absolute

Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit ebenfalls möglich ist. Die genannten Indices versuchen Wettbewerbsfähigkeit auf einer kardinalen Skala zu verankern und damit zu objektivieren (Schwab et al., 2019; IMD [Hrsg.], 2022b; Heinemann et al., 2023). Im Global Competitiveness Index etwa können sich alle Länder gleichzeitig verbessern – die führenden inbegriffen (Schwab et al., 2019, S. vii).

Im IMD World Competitiveness Yearbook wird jährlich ein Ranking zur Wettbewerbsfähigkeit von 63 Ländern herausgegeben (IMD [Hrsg.], 2022b, 2023).¹¹⁰ Das Ziel des Reports ist anhand von verschiedenen Indikatoren Wettbewerbsfähigkeit umfassend zu beurteilen (IMD [Hrsg.], 2022a).¹¹¹ So wird sie nicht allein über BIP oder Produktivität ermittelt, sondern die Analyse nimmt auch politische, soziale und kulturelle Dimensionen in den Blick und zeigt, dass Länder mit unterschiedlichen Ansätzen erfolgreich im Sinne hoher Wettbewerbsfähigkeit sind. Verschiedene Quellen werden berücksichtigt, die durch eigene Umfragen unter Führungskräften ergänzt werden; das Ranking wird schließlich auf Grundlage von 333 Kriterien erstellt. Bemerkenswert ist, dass mit Dänemark an der Spitze ein Land steht, das seine CO₂-Emissionen deutlich gesenkt hat und laut Arturo Bris, Leiter des IMD World Competitiveness Center, „im Bereich der Nachhaltigkeit eine äußerst aggressive Haltung eingenommen“ hat.¹¹²

Als weiteres Beispiel für einen umfassenden Ansatz zur Messung der Wettbewerbsfähigkeit und der Herausgabe eines dazugehörigen Rankings können der Global Competitiveness Report, herausgegeben vom *Weltwirtschaftsforum* (WEF), und der darin enthaltene *Global Competitiveness Index* (GCI) genannt werden (Schwab et al., 2019).¹¹³ Der Index zielt darauf ab, die *totale Faktorproduktivität* (TFP) zu ermitteln. Schwab et al. definieren diese als denjeni-

110 Russland und die Ukraine wurden gegenüber 2021 wegen unzureichender Belastbarkeit der verfügbaren Daten nicht gewertet. Siehe für weitere Infos zum Ranking: <https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness/> (27.03.2024).

111 Das zitierte Booklet (IMD [Hrsg.], 2022a) ist die Zusammenfassung des umfassenderen Yearbooks (IMD [Hrsg.], 2022b). Der Bericht entstand in Zusammenarbeit mit einer großen Anzahl von Partnerinstituten und -organisationen aus 56 Ländern und wurde erstmalig 1989 veröffentlicht.

112 Siehe Artikel zum World Competitiveness Ranking von Juni 2022: <https://www.imd.org/news/updates/denmark-tops-economic-competitiveness-ranking/> (27.03.2024).

113 Mit der Ausnahmesituation der Corona-Pandemie im Jahr 2020 wurde der Global Competitiveness Index nicht fortgeführt, sondern der Fokus auf Maßnahmen zur Erholung der Wirtschaft nach den Schocks der Corona-Pandemie gelegt (Schwab et al., 2020). Die letzte Fortführung des Rankings des Global Competitiveness Index ist aus dem Jahr 2019 (Schwab et al., 2019). Ursprünglich wurde der GCI unter anderem von Xavier Sala-i-Martin entwickelt.

gen Teil des Wirtschaftswachstums, der nicht durch das Wachstum der Produktionsfaktoren erklärt wird. Die Autoren interpretieren die TFP als intelligenten Einsatz der Produktionsfaktoren (Schwab et al., 2019, S. vii). In der wissenschaftlichen Literatur wird die Erhöhung der TFP teilweise als technologischer Fortschritt aufgefasst (vgl. Solow, 1957). Grundsätzlich werden in der TFP alle Teilproduktivitäten (so etwa Arbeitsproduktivität, Bodenproduktivität und Kapitalproduktivität) zusammengeführt, was formal als Summe der Teilproduktivitäten ausgedrückt werden kann.

Mit dieser Definition der Wettbewerbsfähigkeit wird das Produktivitätswachstum allgemein als Ziel betrachtet. Wegen des stagnierenden Produktivitätswachstums seit der Finanzkrise wird demnach von einem „globalen Wettbewerbsdefizit“ gesprochen (Schwab et al., 2019, S. viii). Wettbewerbsfähigkeit wird insofern nicht nur als relative Größe verstanden. So werden bspw. auch Singapur, dem Land mit dem höchsten Score (84,8), keine optimalen Bedingungen attestiert. Einige Gründe werden als mögliche Ursache für die insgesamt nicht gut dastehende Weltwirtschaft genannt, so sei unter anderem die Geldpolitik möglicherweise ausgereizt. Von einem schwierigen geopolitischen Umfeld und eskalierenden handels- und geopolitischen Spannungen wird gesprochen (Schwab et al., 2019, S. viii).¹¹⁴

Der Index von 2019 setzt sich aus 103 Indikatoren zusammen, die in zwölf Säulen kategorisiert werden können: Institutionen, Infrastruktur, Informations- und Kommunikationstechnologeeinsatz, makroökonomische Stabilität, Gesundheit, Qualifikationen, Produktmarkt, Arbeitsmarkt, Finanzsystem, Marktgröße, Unternehmensdynamik und Innovationsfähigkeit (Schwab et al., 2019, S. vii). Trotz der BIP-Wachstumsorientierung der Arbeit von Schwab wird somit eine große Vielfalt von Faktoren für die Wettbewerbsfähigkeit als relevant erachtet. Würde ein breiteres Verständnis von Wohlstand zugrunde gelegt (wie etwa in der Donut-Ökonomie von Raworth, 2017), wäre es umso mehr zu erwarten, dass einzelnen Wettbewerbsfaktoren keine entscheidende Rolle zukommt.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der näheren Differenzierung von Wettbewerbsfähigkeit. Eine grundsätzliche Unterscheidung ist in preisliche und nicht-preisliche Wettbewerbsfähigkeit (vgl. Fischer, 2010; Benkovskis & Wörz,

¹¹⁴ Die Arbeit von Schwab unterliegt einem impliziten Wachstumsziel, welches auch begründet wird: „Sustained economic growth remains a critical pathway out of poverty and a core driver of human development“ (S. vii). So sei die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit sogar der Schlüssel zur Verbesserung des Lebensstandards. Die Begriffe von Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit verschwimmen in dieser Argumentation.

2013; Fischer & Hossfeld, 2014; Fischer et al., 2018; Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a). Letztere ist breiter aufgestellt und beinhaltet auch Faktoren, welche schwieriger zu fassen sind, weshalb der Fokus in der Regel auf der preislichen Wettbewerbsfähigkeit liegt.

Fischer et al. (2018) zählen verschiedene Indikatoren zur Messung der preislichen Wettbewerbsfähigkeit auf und evaluieren diese empirisch entlang der Frage, welche Indikatoren der beste Prädiktor für reale Exporte in der langen Frist sind. Auf theoretischer Ebene gibt es gemäß Fischer et al. (2018, S. 122ff) nicht den einen Indikator zur Messung preislicher Wettbewerbsfähigkeit, sondern alle Indikatoren haben Vor- und Nachteile. Manche Indikatoren versuchen Produktivitätssteigerungen zu messen, so etwa Indikatoren auf der Grundlage von Lohnstückkosten. Preisbasierte Indikatoren dagegen können Produktivitätssteigerungen nur schwer fassen, da sie von höheren Gewinnmargen verborgen werden können. Dafür können sie umfassender sein, bspw. Indikatoren auf Grundlage von BIP-Deflatoren oder Deflatoren des Gesamtumsatzes. Durch die Berücksichtigung der Gesamtproduktion deckt dieser Indikator eine breite Preis- und Kostenbasis ab, sodass der ganzen Wertschöpfungskette mehr Bedeutung zukommt. Zeitnahe Verfügbarkeit ist darüber hinaus ein Kriterium, welches zum Beispiel von Indikatoren auf der Grundlage von Verbraucherpreisindices geleistet werden kann. Darüber hinaus werden die realen Wechselkurse auf Basis der Exportpreise oder auf Grundlage von Produktionspreisen zur Messung von Wettbewerbsfähigkeit genutzt.

Als Ergebnis der empirischen Untersuchung wird jedoch resümiert, dass sich weitgefasste preis- und kostenbasierte Indikatoren für die preisliche Wettbewerbsfähigkeit besser als Prädiktor für reale Exporte in der langen Frist eignen, so zum Beispiel Wechselkurse auf Grundlage von BIP-Deflatoren oder Deflatoren des Gesamtumsatzes (Fischer et al., 2018, S. 120 und 136). Weniger geeignet seien dagegen enggefasste Indikatoren wie bspw. häufig verwandte verbraucherpreisindex- oder kaufkraftindex-basierte reale Wechselkurse.

Einen anspruchsvollen Ansatz für preisliche Wettbewerbsfähigkeit aus dem Feld der Produktivitätsansätze präsentieren Fischer und Hossfeld (2014). Die Indikatoren für preisliche Wettbewerbsfähigkeit werden hierbei, wie es häufig der Fall ist, als Abweichung des aktuellen realen Wechselkurses von einem Benchmark-Niveau berechnet (Fischer & Hossfeld, 2014, S. 153). Diese Benchmarks sind jedoch nicht leicht zu berechnen, erfordern länderübergreifende Panel-Daten und müssen einer Reihe von Bedingungen genügen: Sie

sollten theoretisch überzeugen, leicht berechenbar, plausibel, robust und kurzfristig zu berechnen sein.

Benkovskis und Wörz (2013) konstruieren mit dem angepassten relativen Exportpreisindex (engl. „Adjusted Relative Export Price Index“) einen auf Exportpreise aufbauenden Index, welcher nicht nur Ausdruck der preislichen Wettbewerbsfähigkeit sein soll, sondern auch der nicht-preislichen Faktoren wie etwa der Qualität. Hintergrund ihrer Aufgabenstellung war, dass die gestiegenen Marktanteile von entwickelnden Ökonomien nicht nur über preisliche Faktoren, wie zum Beispiel dem realen effektiven Wechselkurs, zu begründen waren (Benkovskis & Wörz, 2013, S. 2). Bei der Untersuchung von neun entwickelnden Ökonomien (Argentinien, Brasilien, Chile, China, Indien, Indonesien, Mexiko, Russland und Türkei) stellen die Autoren große Unterschiede in der nicht-preislichen Wettbewerbsfähigkeit fest, was sie zu einer relevanten Größe macht.

Fischer (2010) nennt drei theoretisch unterschiedliche Ansätze zur Messung von Wettbewerbsfähigkeit zwischen Ländern des Europäischen Währungsraums (EWU). Für die Mitgliedsländer, für die nominal feste Wechselkurse bestehen, werden drei einfache Indikatoren zur Bestimmung der Wettbewerbsfähigkeit aufgeführt: (1) die *relative Kaufkraftparitäten*(KKP)-Theorie, (2) die absolute KKP-Theorie und (3) der *Produktivitätsansatz*. Die Änderung der realen effektiven Inflationsrate wird als der konventionelle Ansatz beschrieben, welchen es laut Fischer jedoch zu ergänzen gilt.

(1) Die relative KKP-Theorie begründet sich darüber, dass in einer Währungsunion ein höherer realer Wechselkurs für eine niedrigere Wettbewerbsfähigkeit steht, da die Preiserhöhungen auch die Exportpreise unattraktiver machen (Fischer, 2010, S. 5f). Fischer resümiert, dass für die lange Frist die meisten Untersuchungen diesen Zusammenhang bestätigen.

(2) Bei der absoluten KKP-Theorie reicht es nicht, allein reale Wechselkurse heranzuziehen, sondern es ist ein Warenkorb vonnöten, anhand dessen die Kaufkraft für die verschiedenen Länder absolut bestimmt werden kann (Fischer, 2010, S. 8f). Auch hier steht eine hohe absolute KKP für geringe Wettbewerbsfähigkeit, da es dann in den anderen berücksichtigten Ländern günstiger ist, den definierten Warenkorb zu erwerben. Empirische Evidenz für die absolute KKP-Theorie ist laut Fischer allerdings nur sehr schwer zu finden, weshalb es eher als langfristiges normatives Konzept zu sehen sei (Fischer, 2010, S. 8).

(3) Eine Schwäche der relativen und absoluten KKP-Theorie ist jedoch, dass beide mögliche Produktivitätsgewinne im Inland ignorieren, welche ebenfalls für die Wettbewerbsfähigkeit von Relevanz sind. Mit dem Produktivitätsansatz, welcher auf Balassa (1964) und Samuelson (1964) zurückgeht, wird diese Lücke geschlossen (Fischer, 2010, S. 9f). Kern der Hypothese von Balassa und Samuelson ist, dass ein hohes nominales Preisniveau für hohe Produktivität und damit hohe Wettbewerbsfähigkeit steht. Dieser Ansatz steht den Ansätzen der KKP entgegen, da sich das nominale Preisniveau erhöhen kann (höhere Wettbewerbsfähigkeit laut Produktivitätsansatz), während sich bspw. die absolute KKP ebenfalls positiv entwickeln kann (weniger Wettbewerbsfähigkeit laut absoluter KKP-Theorie).

Alles in allem gibt es keine Einigkeit zur Messung von Wettbewerbsfähigkeit. Vielmehr erscheinen unterschiedliche Perspektiven vonnöten, um ein ganzheitliches Bild zu erhalten. Die Integration verschiedener Faktoren in zusammengesetzte Indices erscheint naheliegend, bringt jedoch zwangsläufig das Problem mit sich, eine Auswahl der Faktoren sowie deren Gewichtung vornehmen zu müssen.

11.2.3 Wettbewerbsfähigkeit im Kontext von Energie- und THG-Steuern

In der vorliegenden Arbeit kommt Energiepreisen eine zentrale Rolle zu, da diese durch Energie- und THG-Steuern wesentlich beeinflusst werden. Im Folgenden wird deshalb erörtert, wie das Spannungsfeld von Energie- und THG-Steuern einerseits und Wettbewerbsfähigkeit andererseits ist.

Im europäischen und internationalen Vergleich weist Deutschland geringe Energiestückkosten auf (Germeshausen & Löschel, 2015; Kaltenegger et al., 2017). Germeshausen und Löschel (2015) schlussfolgern daraus eine hohe Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. Laut Reuster et al. (2017) sind die Energiepreise jedoch nicht sehr bedeutend für die deutsche Wettbewerbsfähigkeit.

Im Monatsbericht vom November 2022 gibt die Deutsche Bundesbank Einschätzungen zur aktuellen, durch den Krieg in der Ukraine ausgelösten Energiekrise und zeigt mittels eines Erzeugerpreisindex für Energie (Energiepreiserhöhungen gewichtet nach ihren nationalen Anteilen), dass die deutschen Energiepreise im OECD-Vergleich wesentlich stärker betroffen sind

(Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a, S. 48). Das Ergebnis einer Überschlagsrechnung der Bundesbank insgesamt ist jedoch, dass sich die preisliche Wettbewerbsfähigkeit allein aufgrund des relativen Energiekostenanstiegs in Deutschland von Januar bis September 2022 – in diesem Zeitraum war er besonders ausgeprägt – um 0,9% verschlechtert hat, diese Negativentwicklung aber durch veränderte Wechselkurse überkompensiert werden konnte, sodass die preisliche Wettbewerbsfähigkeit Ende 2022 „eher als günstig“ beschrieben wird (Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a, S. 47).

Zur Einschätzung dieser preislichen Wettbewerbsfähigkeit werden zwei Indikatoren verwendet (Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a, S. 49–53): Einer der beiden Indikatoren sind reale effektive Wechselkurse. Diese werden verglichen mit den langfristigen Durchschnitten und berücksichtigen den Deflator des Gesamtabsatzes im In- und Ausland, um reale Aussagen treffen zu können. Bemerkenswert ist, dass dieser im langfristigen historischen Verlauf derzeit trotz der Energiekrise von der Bundesbank weiterhin eher als günstig eingeschätzt wird. Die historische Entwicklung dieses Indikators ist in der folgenden Abbildung dargestellt und zeigt die geringe Schwankung trotz der Energiekrise.

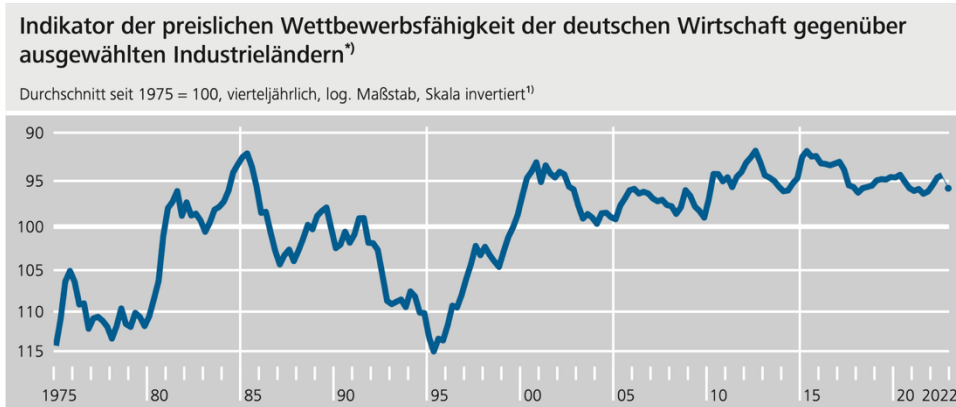


Abbildung 8: Indikator der preislichen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft gegenüber ausgewählten Industrieländern

Produktivitätssteigerungen werden allerdings auch bei dieser Bewertung außen vor gelassen, weshalb die Deutsche Bundesbank eine zweite Messmethode zur Beurteilung der preislichen Wettbewerbsfähigkeit heranzieht (Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a, S. 53f). Dieser zweite Indikator setzt bei realen Wechselkursen an und korrigiert diese um Produktivitätseffekte. Das heißt, im

Allgemeinen können Produktivitätsgewinne ungünstigere reale Wechselkurse ausgleichen.

Auf Grundlage von Input-Output-Analysen schätzt die Deutsche Bundesbank, dass Energiekosten ca. 2% der Gesamtproduktionskosten ausmachen (Basisjahr 2019) (Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a, S. 53), womit die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen durch Energiepreissteigerungen beschränkt sind. In Deutschland verteuerten sich die Energiepreise um 30% stärker als der Durchschnitt von 24 berücksichtigten OECD-Ländern.¹¹⁵ Wird bei dem Ergebnis der Bundesbank die nominale Abwertung des EUR gegenüber des USD miteinbezogen, ergibt sich für die betrachtete Ländergruppe eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von 1,9%, ohne diese Einbeziehung läge eine Verschlechterung von 0,9% vor (Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a, S. 54).¹¹⁶ Anzumerken ist aber zum einen, dass Wechselkursschwankungen heterogene Wirkungen aufweisen – sowohl mit Blick auf verschiedene Länder als auch mit Blick auf verschiedene Branchen –, sodass sich Wechselkurseffekte nicht pauschal einordnen lassen. Die Exporteinbußen können für einzelne Unternehmen erheblich größer sein. Zum anderen ist darauf hinzuweisen, dass die Kombination von Energiepreiserhöhungen und den Änderungen der Wechselkurse in der langen Frist nicht gegeben sein muss.

Bei den Erdgaspreisen in Europa wird im Rahmen des Jahresgutachtens des Sachverständigenrats erwartet, dass sie langfristig deutlich über den Preisen der Region Nordost-Asien oder den USA liegen werden: Für Europa werden im Jahresgutachten des Sachverständigenrates zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung ab 2026 Preise von ca. 40 EUR je MWh Erdgas erwartet, für die USA dagegen die Rückkehr zum Vorkriegsniveau (Grimm et al., 2022, S. 235f). Eine verringerte Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Industrie wird dadurch erwartet (Grimm et al., 2022, S. 237) und die Steigerung der Energieeffizienz zur Senkung des Bedarfs auch deshalb als Maßnahme zur Adressierung dieser Herausforderungen empfohlen.

Die Reduktion des Energieverbrauchs bzw. der Energieintensität kann wiederum positive Wirkungen haben:

115 Ermittelt anhand des energiespezifischen Erzeugerpreisindex der OECD (Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a, S. 53).

116 Der Zeitraum ist Januar bis September 2022, die verglichene Ländergruppe sind 24 Partnerländer der OECD, vgl. Bundesbank [Hrsg.] (2022b).

Die Wirtschaftszweige, die zwischen den Jahren 1995 und 2019 ihre Energieintensität besonders stark reduziert haben, haben im Jahr 2019 tendenziell einen höheren Anteil an der Bruttowertschöpfung als im Jahr 1995. (Grimm et al., 2022, S. 240)

Die Energieeinsparungen von Erdgas in Deutschland liegt bei knapp 10% für den Zeitraum von Januar bis Mai 2022 im Vergleich mit den gleichen Zeiträumen der Jahre 2018–2021 (Grimm et al., 2022, S. 230). Bei Haushalten und Gewerbekunden ist ein Rückgang um 8% festzustellen (Januar bis September 2022 verglichen mit 2018–2021), in der Industrie Einsparung von ca. 19% im September (September 2022 verglichen mit September der Jahre 2018–2021). Allerdings ist der größte Teil der Einsparwirkung auf mildere Wetterbedingungen zurückzuführen, ein weiterer Teil der Reduktion ist mit dem Wechsel des Energieträgers zu erklären (engl. „Fuel Switching“).

Grundsätzlich sind in Europa die Ausgaben für fossile Energien anteilig am BIP bereits heute geringer als in der restlichen Welt (Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022b, S. 15). Daher ist zu erwarten, dass sich die Erhöhung von Energiepreisen und ähnlich auch die Erhöhung von THG-Preisen für europäische Länder weniger folgenreich auswirken.

11.2.4 Fazit Forschungsstand (internationaler Wettbewerb)

Die Komplexität des internationalen Handelssystems, welches ein Zusammenspiel verschiedener teilweise unabhängiger, teilweise abhängiger Faktoren ist, ist deutlich geworden. Festzuhalten ist in jedem Fall, dass sich Energiepreiserhöhungen nicht unmittelbar in schlechtere Wettbewerbsfähigkeit übersetzen lassen. Darüber hinaus wurden durch den russischen Überfall der Ukraine und der dadurch ausgelösten Energiekrise beträchtliche umwelt- und sozialpolitische Herausforderungen aufgeworfen, welche die möglichen Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform relativieren. Im Jahresgutachten 2022/23 des Sachverständigenrates zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung werden verschiedene Aspekte genannt (Grimm et al., 2022): Neben höheren Energiepreisen wurden auch Lieferketten unterbrochen und mussten neu ausgelotet werden. Die Inflation gemessen am Verbraucherpreisindex war zwischenzeitlich auf dem höchsten Stand seit Anfang der 1950er Jahre (Vergleich Oktober 2022 mit Vorjahreswert) (Grimm et al., 2022, S. 3). Zugleich werden die Haushalte im untersten Einkommensdezil als „besonders stark belastet“

einschätzt, da 60% dieser Haushalte eine Sparquote von kleiner oder gleich null aufweisen (Grimm et al., 2022, S. 4).

Auch mittelfristige Herausforderungen werden für Deutschland und Europa benannt: Unter anderem wird von einer asymmetrischen Entwicklung der Energiepreise gesprochen, auch beim Blick auf die kommenden Jahre, da die Energiepreise in anderen Regionen der Welt wie den USA nicht gleichermaßen ansteigen würden (Grimm et al., 2022, S. 9). Beim Blick auf die Wettbewerbsfähigkeit seien besonders stark Unternehmen energieintensiver Industrien betroffen, die sich in Konkurrenz mit Unternehmen außerhalb der EU befinden. Explizit genannt werden Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung, der Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden und Unternehmen, die besonders energieintensive Produkte der chemischen Grundstoffindustrie herstellen.

Ein bemerkenswertes Fazit der Autor:innen des Jahresgutachtens ist deshalb die Reduktion internationaler Abhängigkeiten: In diesem Kontext wird Autonomie gefordert und Resilienz an verschiedenen Stellen als Teil der Strategie ausgewiesen (Grimm et al., 2022, S. 392 und 399). „Protektionistische[...] Tendenzen sowie handelsverzerrende[...] Praktiken“ werden allerdings weiterhin abgelehnt (Grimm et al., 2022, S. 13).

Eine Studie von BayernLB Research und Prognos AG aus dem Jahr 2023 zeigt, dass Dienstleistungen weltweit im Außenhandel weiter an Bedeutung zunehmen und gerade die deutschen Dienstleistungsexporte besonders stark zugenommen haben (Ahrens et al., 2023, S. 23). Ahrens et al. vermuten, dass es für Deutschland lohnend sein könnte, auf stark nachgefragte Dienstleistungsprodukte zu setzen. Für die Jahre 2010–2020 ist insbesondere die Zunahme der Exportvolumina der Bereiche *Instandhaltung und Reparaturleistungen* und *geistiges Eigentum* zu nennen (Ahrens et al., 2023, S. 23f). Darüber hinaus bestehe ein hohes globales Nachfragewachstum deutscher Klima- und Umwelttechnologien (Ahrens et al., 2023, S. 24f). Diese positiven Trends und Chancen könnten weitere Gründe sein, beim Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands nicht nur auf preisliche Faktoren wie etwa Energie- und THG-Preise zu achten, sondern eine breitere Perspektive einzunehmen.

11.3 Methodik der Input-Output-Modellierung

Mithilfe von sektoral aufgegliederten THG-Emissionen können unmittelbare Zusatzkosten je Sektor und damit unmittelbare Preisaufschläge je Sektor berechnet werden. Jedoch ist eine solche Betrachtung der Preisveränderungen nicht hinreichend, denn Unternehmen eines Sektors beziehen auch Vorleistungen (oder Vorprodukte, engl. „Intermediates“) aus anderen Sektoren. Die Produktionskosten der Sektoren sind interdependent und eine Steuererhöhung wirkt sich durch Vorleistungen auch indirekt auf die anderen Sektoren aus. Genau diesen Zusammenhang berücksichtigt die Input-Output-Analyse. Auf der Grundlage von Input-Output-Tabellen werden zunächst die unmittelbaren Preiserhöhungen berechnet, um dann die kaskadenartigen weiteren Preisveränderungen zu simulieren. Da sich die Input-Output-Analyse für den vorliegenden Fall als geeignet erweist, werden ihre wesentlichen Grundzüge nachfolgend eingeführt.¹¹⁷

Die tabellenförmige Darstellung der Wirtschaft als Kreislauf wurde bereits vom Physiokraten François Quesnay im 18. Jahrhundert betrieben.¹¹⁸ Das wesentliche Verfahren, welches bis heute die Grundlage für die mathematischen Modellierungen ist, entwickelte im 20. Jahrhundert Wassily Leontief (siehe *Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States*, Leontief, 1936), der dafür 1973 den Alfred-Nobel-Gedächtnispreises für Wirtschaftswissenschaften verliehen bekam.

Grundsätzlich können Input-Output-Tabellen neben monetären, auch physische oder sozio-ökonomische Einträge enthalten (wie zum Beispiel Ressourceneinsatz in Tonnen oder zeitlicher Aufwand in Stunden). Etwa in der ehemaligen DDR wurden monetäre Input-Output-Tabellen durch physische Angaben erweitert, um weitere Strukturanalysen zu ermöglichen. Diese erweiterten Input-Output-Tabellen flossen dann als *Natural-Wert-Verflechtungsbilanz* auch in die Jahres- und Fünfjahrespläne ein (siehe Ludwig, 2010, S. 12).¹¹⁹ Rein monetäre Input-Output-Tabellen sind allerdings der häufigste Fall. Das vorliegende Modell zählt zu den monetären, jedoch physisch erweiterten Modellen (engl. „Physical Augmented Models“), da es THG-Emissionen berücksichtigt (vgl. Choi et al., 2010, S. 3528).

¹¹⁷ Zur Einführung in Input-Output-Rechnungen siehe Frenkel et al. (2016, S. 199–226), Brümmerhoff und Grömling (2011, S. 175–191) oder Kuhn (2010), die ebenfalls Grundlage für die nachfolgenden einführenden Ausführungen sind.

¹¹⁸ Vgl. insbesondere die *Tableau Économique*, welche Quesnay 1758 entwickelte (Quesnay, 1888).

¹¹⁹ Ein anderes Beispiel für eine physische Input-Output-Analyse liefern Giljum und Hubacek (2004).

Die für die Analyse und Modellierung erforderlichen Input-Output-Tabellen werden von Statistikämtern zur Verfügung gestellt; zum Beispiel dem Statistischen Bundesamt für Deutschland oder dem Institut national de la statistique et des études économiques für Frankreich. In Deutschland sind Input-Output-Tabellen Teil der offiziellen VGR des Statistischen Bundesamts.

Ausgangspunkt der Analyse sind die Kontensysteme der VGR (Brümmerhoff & Grömling, 2011, S. 175). Aus bilanziellen Gründen entspricht das Gesamtaufkommen (auch Gesamtoutput, definiert als Summe aus Produktionswert, Gütersteuern abzüglich. -subventionen und Importen) der Gesamtverwendung (auch Gesamtinput, definiert als Summe aus Vorleistungen, Konsum, Bruttoinvestitionen und Exporten). Die tabellarische Darstellung ermöglicht es, eine große Anzahl solcher bilanziellen Identitäten übersichtlich darzustellen.

Abbildung 9 zeigt eine schematische Darstellung einer Input-Output-Tabelle, wie sie auch im Rahmen der vorliegenden Modellierung angewandt wird. Exemplarisch sind drei Produktionsbereiche abgebildet: primärer, sekundärer und tertiärer Sektor. Die Zeilen sind als Output (Aufkommen), die Spalten als Input (Verwendung) zu lesen.¹²⁰

		Produktionsbereiche			letzte Verwendung			Gesamte Verwendung
		S1	S2	S3	Konsum	Invest.	Exporte	
Gütergruppen	S1	Quadrant 1: Vorleistungsmatrix			Quadrant 2: Endnachfragematrix			Σ S1
	S2							Σ S2
	S3							Σ S3
Gütersteuern abzgl. Gütersubventionen		Quadrant 3: Primärinputsmatrix						
Bruttowertschöpfung	ANE							
	Abschreibungen							
	NBÜ							
Importe (zu CIF-Preisen)								
Gesamtes Aufkommen		Σ S1	Σ S2	Σ S3				

Abbildung 9: Schema einer Input-Output-Tabelle: Inländische Produktion zu Herstellungspreisen

120 Auch im deutschen Sprachgebrauch hat sich Input-Output-Analyse durchgesetzt, nur teilweise wird von Verwendung (entspricht Input) und Aufkommen (entspricht Output) gesprochen.

Die Zelle (Gütergruppe S2; Produktionsbereich S1) ist sowohl als Input für Sektor 1 (von Sektor 2) als auch als Output von Sektor 2 (für Sektor 1) zu interpretieren. So sagt die Zahl, die in diesem Feld stünde, aus, welche Vorleistungen in Sektor 2 von Sektor 1 benötigt werden, um den angegebenen Verwendungen entsprechen zu können. In Quadrant 1 stehen insofern die Vorleistungen. Quadrant 2 bildet die Endnachfrage bzw. die letzte Verwendung ab. Aufgegliedert nach Konsum, Investitionen und Exporten ist hier abzulesen, in welcher (monetären) Quantität Güter der einzelnen Gütergruppen nachgefragt werden. In Quadrant 3 sind die primären Inputs festgehalten. Diese setzen sich aus Gütersteuern abzüglich -subventionen, Arbeitnehmerentgelte im Inland (ANE), Abschreibungen, Nettobetriebsüberschüsse (NBÜ) und Importen zusammen.

Die Importe sind in diesem Fall in CIF-Preisen angegeben. CIF (Cost Insurance Freight) ist eine freiwillige Vereinbarung aus dem Außenhandel.¹²¹ CIF-Preise enthalten die bis zur Weiterverwendung anfallenden Kosten, das heißt neben den Güterkosten auch Versicherungs- und Frachtkosten. FOB-Preise (Free On Board) grenzen sich davon ab und definieren sich als Importpreise, bei denen der Importeur die Verantwortung für die Fracht bereits auf dem Schiff übernimmt; womit zusätzliche, in FOB-Preisen noch nicht berücksichtigte Kosten anfallen, bis die Güter am gewünschten weiterzuverwenden Ort sind. Im Rahmen dieser Arbeit werden bei Importen die CIF-Preise verwandt, da die Gesamtkosten entscheidend sind und dementsprechend Transportkosten und Versicherungen nicht unberücksichtigt bleiben können.

Ein vierter Quadrant ist darüber hinaus ausführbar – wenn auch hier nicht abgebildet und im Rahmen der nachfolgenden Modellierung nicht erforderlich. Gibt es keinen vierten Quadranten bzw. ist er eine Nullmatrix, wird von einem offenen System gesprochen: Nicht alle Transaktionen sind dann interdependent, da mögliche Verflechtungen der primären Inputs mit der letzten Verwendung außen vor gelassen werden (Brümmerhoff & Grömling, 2011, S. 179). Dem entgegen steht ein geschlossenes System mit Einträgen im vierten Quadranten; das heißt, die primären Inputs (Quadrant 3) werden ebenfalls auf die letzte Verwendung aufgeteilt. Beispielsweise können direkte Importe auf die private Konsumnachfrage entfallen und deshalb als positiver Wert in Quadrant 4 dargestellt sein.

¹²¹ Die Begriffe CIF und FOB sind *Incoterms*, vgl. Citaristi in einem Beitrag zur *International Chamber Of Commerce* (2022).

Die Summen der Zeilen und Spalten entsprechen sich jeweils: So stimmen bspw. ΣS_1 als gesamtes Aufkommen von Sektor 1 am unteren Ende und ΣS_1 als gesamte Verwendung von Sektor 1 am rechten Ende der Abbildung überein.

Die Systematik der Input-Output-Tabellen unterteilt die Volkswirtschaft in homogene Produktionsbereiche. Die Anzahl der Sektoren kann hierbei variieren: von einer Aufteilung in primäre, sekundäre und tertiäre Wirtschaftsbereiche bis hin zu feinen Aufgliederungen von 71 Gütergruppen, 71 Produktionsbereichen und 59 Wirtschaftsbereichen, für Deutschland bereitgestellt durch das Statistische Bundesamt (Kuhn, 2010, S. 5).

Die Abgrenzung der Bereiche kann unterschiedlichen Systematiken folgen. Das laut Brümmerhoff und Grömling entscheidende Lieferprogramm des Europäischen System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen (ESVG) sieht die Unterteilung in Produktionsbereiche vor: Unternehmen werden demnach dem Bereich zugeordnet, in dem der „Schwerpunkt ihrer wirtschaftlichen Tätigkeit“ liegt (Brümmerhoff & Grömling, 2011, S. 179), wobei die Kriterien Umsätze und Beschäftigungszahlen sind. Bei diesem pragmatischen Ansatz werden insofern die nicht schwerpunktmäßigen Teile von Unternehmen Bereichen zugeordnet, die nicht der wirtschaftlichen Tätigkeit entsprechen. Eine zweite, für diese Arbeit weniger relevante Ansatz „versucht möglichst homogene Güter zugrunde zu legen“ (Brümmerhoff & Grömling, 2011, S. 180), sodass die Tätigkeiten eines Unternehmens in mehrere Bereiche aufgeteilt werden können.

Die oben schematisch beschriebene Input-Output-Tabelle wird aus Basis tabellen gewonnen: der Aufkommenstabelle (engl. „Make Table“) und der Verwendungstabelle (engl. „Use Table“). Die Aufkommenstabelle gibt den Wert der im Inland produzierten Güter an; sie wird um Importe ergänzt, sodass das (inländische) Gesamtaufkommen abgelesen werden kann. Aus der Verwendungstabelle kann die Verwendung der Güter abgelesen werden; aus ihr können ferner die Ursprünge der entstehenden Bruttowertschöpfung abgelesen werden. Decken sich die Gütergruppen und Produktionssektoren zu 100%, hat die Aufkommenstabelle nur Diagonaleinträge (ansonsten Nullen). In einem solchen Fall wäre die Aufteilung in Aufkommens- und Verwendungstabelle nicht notwendig, weil die Aufkommenstabelle keine zusätzlichen Informationen böte (R. E. Miller & Blair, 2009, S. 137–139).

Eine zentrale Komponente für viele Modellierungen ist die Inputkoeffizientenmatrix, die auch für die folgende Modellierung wesentlich ist. Inputko-

effizienten sind anteilige Angaben ein und desselben Bereichs. Für die Inputkoeffizienten der Vorleistungen geben sie an, „welcher Anteil des Produktionswertes eines Bereichs von einem anderen Produktionsbereich bezogen wurde“ (Brümmerhoff & Grömling, 2011, S. 186). Outputkoeffizienten gehen andersherum vor: sie „geben an, welcher Anteil eines Outputbereichs an einen anderen Bereich der Zwischen- und Endnachfrage geliefert wurde“ (Brümmerhoff & Grömling, 2011, S. 187).

Die Input-Output-Analyse hat verschiedene Anwendungsfelder. Forschungsfragen können laut Brümmerhoff und Grömling (2011, S. 187f) zum Beispiel sein, wie hoch die Importabhängigkeiten der Exporte der verschiedenen Sektoren sind (vgl. Loschky & Ritter, 2007) oder welche makroökonomischen Effekte zu erwarten sind, wenn sich die Importpreise von Energieträgern wie Öl und Gas erhöhen (vgl. B. Meyer, 2008).

Input-Output-Tabellen können als Grundlage für umfassende Modellierungen genutzt werden. Es gibt verschiedene Verfahren, mit den Daten der Input-Output-Tabellen umzugehen. Die Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) nutzt bspw. die Tabellen und zusätzlich weitere Daten der VGR, um darauf aufbauend ein makroökonomisches Modell zu entwickeln. Das heißt, zusätzliche Modellteile und -parameter werden über die Schätzung von Zeitreihendaten hinzugefügt (Lehr et al., 2011, S. 7). Das Pantarhei-Modell ist als ein solches Beispiel zu nennen. Gleichzeitig unterliegt dieses Modell weiteren strengen Konsistenzanforderungen, was bilanzielle Buchungen betrifft (Lehr et al., 2011, S. 7).

11.4 Modell

11.4.1 Grundlegendes

Die Methodik in der vorliegenden Arbeit orientiert sich an den Arbeiten von Choi et al. (2010, 2016). Das Grundgerüst dieser Arbeiten wird übernommen und für den vorliegenden Zweck angepasst.

In der Arbeit von 2010 untersuchen Choi et al. mittels des Input-Output-Ansatzes die wirtschaftlichen und ökologischen Effekte eines CO₂-Preises in den USA. Grundlage dafür sind Daten der US-Ökonomie von 2002. Choi et al. heben hervor, dass es möglich ist, breit angelegte wirtschaftliche Auswirkungen unmittelbar zu berechnen. Die Wirkungen über den ganzen Lebenszyklus der Produkte sei dagegen schwerer einzuschätzen (Choi et al., 2010, S. 3527). Um das Problem

der wechselseitigen Abhängigkeiten entlang der Produktionsketten in den Griff zu bekommen, nutzen sie deshalb den Input-Output-Ansatz. Mit dieser Methode ist es möglich, die angesprochenen ökonomischen Kettenreaktionen zu simulieren und die neuen Gleichgewichtswerte zu berechnen, die sich in der langen Frist einfinden. Die Anpassungen der Umweltauswirkungen bezeichnen Choi et al. (2010) dennoch als kurzfristige Effekte, da die wahrscheinliche Anpassung der Produktionsprozesse, das heißt technologische Veränderungen, nicht berücksichtigt werden. Als Ergebnis wird eine Preisveränderung ermittelt, die wiederum eine Reaktion auf die Nachfrage auslöst. Somit kann erneut der Input-Output-Ansatz herangezogen werden, um die letztlichen Effekte auf die Gesamtproduktion und die Emissionen zu ermitteln.

Choi et al. (2010, S. 3535) sehen in ihrem Ansatz einen allgemeinen Rahmen zur Simulation von Maßnahmen bzw. wirtschaftlicher Störungen, die gleichzeitig ökologische, wirtschaftliche und technologische Auswirkungen haben. Dabei gilt es, einen guten Kompromiss zwischen der wünschenswerten Anwendung möglichst feiner Sektorenaufschlüsselungen und der Machbarkeit aufgrund der Datenverfügbarkeit zu finden (Choi et al., 2010, S. 3535f).

2016 verfeinerten Choi et al. die Methodik der Publikation von 2010 und erarbeiteten auf dieser Grundlage ein Rahmenwerk zur Analyse von ökonomischen und ökologischen Auswirkungen von energiepolitischen Maßnahmen. Der wesentliche Unterschied ist, dass mehrere Perioden simuliert werden, sodass mehrere Politikmaßnahmen im Zeitverlauf stufenweise umgesetzt werden können. Um die Methodik darzustellen, wird eine Fallstudie für die USA präsentiert, bei der eine Benzinsteuern eingeführt wird, deren Aufkommen zur Subventionierung von Biokraftstoffen in späteren Perioden verwendet wird. Als Ergebnis halten sie fest, dass der gesamtwirtschaftliche Ressourcenverbrauch sowie die Emissionen von fossilen Brennstoffen entlang der Produktionskette sinken werden.

Als ein Vorteil der Methode wird gesehen, dass ein breites Spektrum von Effekten und unbeabsichtigten Nebeneffekten im Blick behalten werden kann. Die Einführung mehrerer Perioden erscheint für den Zweck des in diesem Kapitel angewandten Modells weniger geeignet. Aus diesem Grund ist für die vorliegende Arbeit die Methode von Choi et al. (2010) von größerer Relevanz.

Ein entscheidender Aspekt bei der Methodik von Choi et al. (2010, S. 3529) ist die Trennung in Preis und Menge, weil ansonsten nicht differenzierbar ist, welchen Anteil jeweils Preis- und Mengeneffekte haben. Physische und monetäre Input-Output-Modelle sind methodologisch äquivalent, sofern es für alle

Sektoren nur einen homogenen Preis gibt (vgl. Weisz & Duchin, 2006). Durch sektorale, nicht-homogene Preise erweitern Choi et al. (2010, S. 3528) in dieser Hinsicht die Methodologie, lassen damit die parallele Betrachtung monetärer und physischer Größen zu.

Die größten Unterschiede der vorliegenden Modellierung zur Methodik von Choi et al. (2010) sind:

- Verwendung aktueller Daten für Deutschland, sowohl für die Input-Output-Tabellen als auch die sektoralen Daten von THG-Emissionen (an der Stelle der USA und sektoralen CO₂-Emissionen bzw. Energieverbräuchen)
- Implementierung der ÖSR (anstatt der bloßen Einführung einer zusätzlichen CO₂-Steuer)
- Verwendung von Preiselastizitäten der Nachfrage für die lange Frist (anstatt der kurzen Frist)
- Zusätzliche Berücksichtigung von Beschäftigungseffekten und damit Erweiterung der Methodik um den Faktor Arbeit

11.4.2 Szenarien

Die modellierte ÖSR berücksichtigt die THG-Emissionen aller Sektoren. Das generierte Aufkommen wird zu 100% zur Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge verwendet. Bei der Frage, wessen Beitragsteile entlastet werden, werden zwei Szenarien bedacht:

- 100% Rückzahlung an die Unternehmen gemäß den Kosten der Arbeitnehmerentgelte
- 50% Rückzahlung an die Unternehmen gemäß den Kosten der Arbeitnehmerentgelte und 50% Rückzahlung an die Haushalte

Die Finanzierung der Arbeitnehmerentgelte auf Unternehmensseite kann als Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge interpretiert werden. Bei der Variante mit 50% Rückzahlung an die Unternehmen werden Haushalte zwar entlastet, diese voraussichtlich positiven Effekte daraus werden im Modell jedoch nicht weiter berücksichtigt. Daher ist es bei diesem Szenario für die Simulation unerheblich, ob die Rückzahlung an die Haushalte per Reduktion der Sozialversicherungsbeiträge stattfindet oder per Lohnsteuerreduktion. Diese Versionen unterscheiden sich in der umgesetzten Input-Output-Modellierung nicht, womit die

Definition der ÖSR im engeren Sinne (vgl. Kapitel 2) Anwendung findet, da Unternehmen in jedem Fall mindestens teilweise profitieren.

Mit der Reform soll ein Preis gewählt werden, der ausreichend groß ist, um weitreichende Transformationsprozesse anzustoßen. Vor dem Hintergrund der Darstellungen in Kapitel 6.7 zur Höhe des THG-Preises wird hier ein Preis von 200 EUR/t CO₂e als Untergrenze gewählt. Diese Höhe wird daher als ein Szenario herangezogen. Für den hohen Zwei-Grad-Ziel-Pfad für 2050 geben Rogelj et al. (2018) eine Bandbreite von 45–1050 USD₂₀₁₀/t CO₂e an; für den Unter-1,5-Grad-Ziel-Pfad für das Jahr 2100 sogar 690–30.100 USD₂₀₁₀/t CO₂e. Das heißt, unter Umständen ist ein erheblich höherer Preis vonnöten, um die Klimaziele zu erreichen. Um diesen Varianten gerecht zu werden, wird zusätzlich ein Szenario mit 400 EUR/t CO₂e simuliert.

Unsicherheit besteht darüber hinaus bei der Höhe der Preiselastizität der Nachfrage. Für diese werden deshalb zwei Varianten berücksichtigt: $\varepsilon = -0,5$ und $\varepsilon = -0,8$. Der betragsmäßig höhere Wert kann als pessimistischere Variante interpretiert werden, weil bei ihm die Reaktion der Nachfrage auf Preiserhöhungen größer ausfällt und somit größere negative Effekte erwartet werden. Aus diesen Varianten (2x2x2) ergeben sich acht Szenarien, die mit Kurzformen dieses Musters abgekürzt werden: **Höhe der Steuer** (200 oder 400) – **Höhe der Rückzahlung an Unternehmen** (50 oder 100) – **Höhe der Elastizität** (0.5 oder 0.8)

Tabelle 2: Die acht Szenarien

	200 EUR/t CO ₂ e	400 EUR/t CO ₂ e
100% Rückzahlung an Unternehmen	200-100-0.5	400-100-0.5
	200-100-0.8	400-100-0.8
50% Rückzahlung an Unternehmen	200-50-0.5	400-50-0.5
	200-50-0.8	400-50-0.8

Das Beispiel 400-50-0.8: Die Variante, bei der die größten negativen Auswirkungen zu erwarten sind, ist 400-50-0.8, da hier die Steuer hoch (400 EUR/t CO₂e), die Rückzahlung an die Unternehmen gering (50% Rückzahlung an Unternehmen) und die Reaktion der Nachfrage hoch sind ($\varepsilon = -0,8$). In der gleichen Systematik werden bei der Variante 200-100-0.5 die geringsten Effekte erwartet.

11.4.3 Zur Nomenklatur

Die Nomenklatur orientiert sich an existierenden Konventionen und soll ein intuitives Verständnis ermöglichen (vgl. Choi et al., 2016; ergänzt durch R. E. Miller & Blair, 2009, ab S. 143). Ein paar Beispiele sollen die zentralen Regeln veranschaulichen:

- Z bezeichnet als Großbuchstaben eine Matrix: die intersektoralen Vorprodukte.
- v bezeichnet als kleiner Buchstabe den Vektor der primären Inputs nach Sektoren in monetären Werten.
- $\hat{v}$ bezeichnet die Diagonalmatrix des Vektors v .
- v' bezeichnet den Zeilenvektor, während v ein Spaltenvektoren ist.
- $\Delta v\%$ bezeichnet die prozentuale Veränderung des Vektors v , das heißt:

$$\Delta v\% = \frac{(v_{neu} - v_{alt})}{v_{alt}}.$$
- p_1 bezeichnet den Preis in der Periode nach Anpassungen, wohingegen p_0 den Preis zu Beginn meint.

Die für das Verständnis erforderlichen Variablen sind jeweils nachfolgend im Text eingeführt. Zusätzlich ist eine Liste der Variablen im Anhang zu finden.

11.4.4 Vorgehen

11.4.4.1 Allgemeines

Der Kerngedanke der Methode von Choi et al. (2010, 2016) wird übernommen: Veränderte Kosten (Input) führen zu veränderten Preisen, sodass sich ein neues Gleichgewicht in der Volkswirtschaft findet. Die Idee der Ansätze ist, ausgehend von der Gesamtproduktion der Sektoren die benötigten Inputs zu berechnen. Dazu zählen neben den Vorleistungen auch die primären Inputs (auch Wertschöpfung, im Modell engl. „Value Added“): Steuern, Arbeitnehmerentgelte, Produktionsabgaben, Abschreibungen, Nettobetriebsüberschüsse und Importe (Kuhn, 2010, S. 20), wobei sich die Betriebsüberschüsse als Saldo ergeben.

An dieser Stelle kann eine zusätzliche THG-Steuer gemäß den jeweiligen Emissionen der Sektoren eingeführt werden. Für die Höhe des exogen gegebenen Preises auf Treibhausgase werden zwei Varianten unterschieden. Das Steueraufkommen wird aufgeteilt und mittels einer Zahlung an die Sektoren und ggf. zusätzlich an die Haushalte zurückbezahlt. Die berücksichtigten Varianten sind wie

in den Szenarien näher erläutert: 1) Vollständige Rückzahlung an die Unternehmen gemäß den sektorspezifischen Kosten der Arbeitnehmerentgelte, 2) teilweise Rückzahlung an die Unternehmen gemäß den sektorspezifischen Kosten der Arbeitnehmerentgelte und teilweise Rückzahlung an die Haushalte.

Die Basis für die THG-Steuer sind die THG-Emissionen in Deutschland. Von diesen werden jedoch die Emissionen der Haushalte ausgenommen, die nicht den Sektoren zugeordnet werden können. Hierbei handelt es sich um 22,8% aller THG-Emissionen in Deutschland (Bezugsjahr 2019), die damit nicht besteuert werden. Da der Fokus auf den ökonomischen Verflechtungen liegt und die Reduktion der Emissionsreduktion nicht Teil der Forschungsfrage ist, kann diese Begrenzung der Reform gebilligt werden.

Dieser Eingriff in das Input-Output-System verändert die benötigten Inputs. Um Input und Output der Sektoren in Einklang zu bringen, ist eine Anpassung des Preises vonnöten. Der nächste Schritt ist die Simulation der Reaktion der Nachfrage, die dann wiederum herangezogen wird, um die neue Produktion, das neue BIP und, daran anknüpfend, das neue Beschäftigungsniveau zu ermitteln. Die Reaktion der Nachfrage erfolgt anhand von langfristigen Preiselastizitäten der Nachfrage.

Das heißt, es wird angenommen, dass die Nachfrage als Ganze auf die veränderten Preise reagiert (vgl. Choi et al., 2010). Die Nachfrage aller Akteur:innen ist vom Preis abhängig, namentlich die Konsumnachfrage privater Haushalte und Organisationen, der Konsum des Staates, Investitionen in Anlagen, Vorratsveränderungen und Nettozugang an Wertsachen sowie die Exporte bzw. Importe. Ein Teil der Reaktion ist kurzfristig und konjunkturell begründet und würde durch andere Politikmaßnahmen ggf. erwidert werden. Diesem Effekt wird dadurch begegnet, dass möglichst langfristige Preiselastizitäten herangezogen werden. Im Sinne der Worst-Case-Herangehensweise ist eine mögliche Überschätzung konjunktureller Effekte ohnehin nicht problematisch.

Die Preiselastizitäten der Exportnachfrage liegen über der allgemeinen bzw. gemittelten Preiselastizität der gesamten Nachfrage. Die Reaktion des Exports wird insofern tendenziell unterschätzt, die Reaktion des Inlands dagegen tendenziell überschätzt, sodass sich die Fehler ausgleichen und die Reaktionen im Erwartungswert insgesamt als realistisch betrachtet werden können.

Die Berechnungen werden einmalig durchgeführt und bilden keinen Zeitverlauf ab. Dennoch wird eine hohe THG-Steuer eingeführt. Die abrupte Einführung einer Steuer ist dabei nicht für die reale Umsetzung vorgesehen,

viel mehr zeigt diese Berechnung der Preise eine Perspektive auf, was langfristig passieren könnte, wenn eine Reform ohne Begleitmaßnahmen oder ohne internationale oder zumindest europäische Abstimmung und ohne andere Anpassungen, bspw. technologischer Natur, durchgeführt würde. Langfristig bezieht sich in diesem Kontext nicht auf eine hohe Anzahl von Jahren, sondern auf das neue Gleichgewicht, das sich nach den die Auswirkungen der interdependenten Kaskadeneffekte einfindet. Diese Simulation kann daher als eine Worst-Case-Analyse gelesen werden und ermittelt eine obere Grenze denkbarer negativer Auswirkungen.

Die Datenbasis steht zum einen mit einer Darstellung von Input-Output-Tabellen in zwölf Sektoren des Statistischen Bundesamts zur Verfügung (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023b). Zum anderen werden sektorale THG-Emissionen benötigt. Diese werden in einer Aufgliederung nach NACE Rev. 2 von Eurostat bereitgestellt und sind auf die 12er Gliederung der Input-Output-Tabelle anzupassen.¹²²

11.4.4.2 Modellierungsablauf

Der Modellierungsablauf kann wie folgt zusammengefasst werden: Zunächst wird die ÖSR als THG-Steuer mit gleichzeitigen Entlastungen eingeführt. Manche Unternehmen haben damit höhere Produktionskosten, als Reaktion verändern sie die Preise ihrer Produkte. Diese Anpassung passiert simultan bei allen Unternehmen, sodass eine Kettenreaktion ausgelöst wird. Das neue Gleichgewicht wird über das Verfahren nach Leontieff ermittelt.¹²³ Als erstes Ergebnis steht schließlich eine Preisverschiebung der verschiedenen Sektoren zubuche. Diese Preisveränderung wird dann zum Ausgangspunkt weiterer Entwicklungen: Aufgrund der veränderten Preise reagiert die Nachfrage mithilfe von Preiselastizitäten der Nachfrage. Eine neue letzte Verwendung kann berechnet werden (Schritt 3). Daran schließt die Neuberechnung der Gesamtproduktion (Schritt 4) und der Beschäftigung (Schritt 5) an.

¹²² Siehe online abrufbare Daten von Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (27.03.2024).

¹²³ Vgl. dazu die standardsetzende Arbeit des russisch-amerikanischen Wirtschaftswissenschaftlers Wassily Leontief, insbesondere „Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States“ (1936).

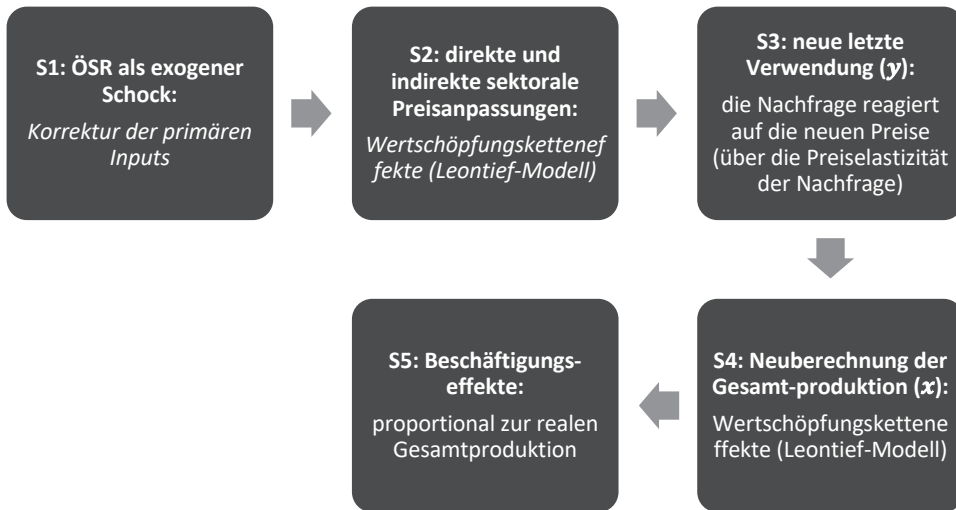


Abbildung 10: Flussdiagramm der angewandten Methodik

Schritt 0: Ursprünglicher Preis¹²⁴

Der ursprüngliche Preisvektor p ($= p_0$) wird als Schritt 0 berechnet, um anschließend Preisänderungen einschätzen zu können:

$$p = A^T p + v \text{ oder } p = (I - A^T)^{-1} v.$$

Der Multiplikator $(I - A^T)^{-1}$ wird dabei als Leontief-Inverse bezeichnet. Sie berücksichtigt die direkten und indirekten Auswirkungen der Preiserhöhung. A ist die Inputkoeffizientenmatrix, das heißt die Technologiematrix aller Sektoren. Aus mathematischen Gründen wird hier die transponierte Variante A^T davon benötigt. v ist der Vektor der primären Inputs; dieser monetäre Vektor berechnet sich aus Spaltensummen aus der Matrix der primären Inputs V .

Schritt 1: ökologische Steuerreform als exogener Schock¹²⁵

In der Matrix der primären Inputs V werden die THG-Steuern der ÖSR implementiert. Dafür sind die Gütersteuern der primären Inputs zu ergänzen: Die Höhe der THG-Emissionen der Sektoren werden mit dem jeweiligen THG-Preis

¹²⁴ In Schritt 0 werden die Variablen A und v durch Excel ermittelt. Mithilfe von Matlab wird p berechnet.

¹²⁵ Für Schritt 1 wird Δv % in Excel berechnet.

auf die Gütersteuern aufgeschlagen. Der Zusatz der Gütersteuern $T_{THG,i}$ in Sektor i berechnet sich daher als Produkt aus der THG-Intensität und dem THG-Preis (das heißt: $T_{THG,i} = \text{Stückzahl } q_i \cdot \text{THG-Intensität} \cdot \text{THG-Preis } t_{THG}$).

Im Gegenzug werden die Sozialversicherungsbeiträge so weit reduziert, dass sie vom Volumen her den Einnahmen der THG-Steuererhöhung entsprechen (das heißt, es gilt: $\Sigma \text{ Sozialversicherungsbeiträge} = \Sigma \text{ THG-Steuern}$). Die Verteilung der Entlastung wird proportional zu den Ausgaben *Arbeitnehmerentgelt* der primären Inputs vorgenommen. Daraus ergeben sich neue Werte der primären Inputs. Auf dieser Grundlage kann deren Summe v sowie die prozentuale Veränderung $\Delta v\%$ berechnet werden.

Schritt 2: Sektorale Preisveränderungen¹²⁶

Die Preisveränderungen $\Delta p\%$ werden nach dem Prinzip des Leontief-Preis-Modells berechnet. Auch mittelbare Effekte werden darüber berücksichtigt, sodass die Interdependenzen der Sektoren integriert sind. Dafür ist es notwendig, zunächst die prozentuale Veränderung der primären Inputs in normalisierter Form Δk zu berechnen:

$$\Delta k = \hat{v}(\hat{x})^{-1} \Delta v\%$$

wobei für die prozentuale Veränderung der primären Inputs gilt: $\Delta v\% = \frac{(v_{0,1} - v_0)}{v_0}$.

Die Preisveränderung ergibt sich aus:

$$\Delta p\% = (I - A^T)^{-1} \Delta k$$

Der neue Preis aufgrund der veränderten primären Inputs ist:

$$p_1 = p(1 + \Delta p\%)$$

Schritt 3: neue letzte Verwendung¹²⁷

Die Preisveränderungen können als Ausgangspunkt für weitere Reaktionen verwandt werden. Die letzte Verwendung besteht aus vier Komponenten: privater Konsum, Staatskonsum, Investitionen und Nettoexporte. Über Preiselastizitäten können Effekte auf die Nachfrage berechnet werden.

¹²⁶ Für Schritt 2 werden die Variablen A , v , $\Delta v\%$ und x über Excel aufbereitet und zur Verfügung gestellt. In Matlab erfolgt die Berechnung von Δk und p_1 .

¹²⁷ Zur Berechnung von $y_{0,1}$ und y_1 wird Matlab herangezogen.

Zur Berechnung der Reaktion der Nachfrage, wozu insbesondere auch die ausländische Nachfrage bzw. die Exporte zählen, werden Preiselastizitäten der Nachfrage aus der Fachliteratur herangezogen. Diese stellen eine Abschätzung dar, was schlimmstenfalls passieren würde, wenn die Reform sofort ohne Transitionsphase umgesetzt würde, auch sonst keine Abmilderungen oder Anpassungen vorgenommen würden und international keine Erhöhung der THG-Preise stattfindet. Damit können möglicherweise problematische Sektoren identifiziert werden.

Im Hintergrund spielt die physische letzte Verwendung f_0 (engl. „Physical Final Demand“) eine Rolle, die allerdings aufgrund von Kürzungen aus den Gleichungen fällt und für Kalkulation daher nicht zwingend nötig ist. Dennoch gilt für die ursprüngliche letzte Verwendung y_0 (in EUR) (Matrix):

$$y_0 = \widehat{p}_0 f_0$$

Zunächst wird die letzte Verwendung bei neuem Preis und alter Nachfrage, schließlich bei neuem Preis und neuer Nachfrage berechnet. Die letzte Verwendung $y_{0.1}$ (in EUR) bei zunächst gleichbleibender physischer letzter Verwendung f_0 ist:

$$y_{0.1} = \widehat{p}_1 f_0 = (I + \Delta p^{\%}) \widehat{p}_0 f_0 = (I + \Delta p^{\%}) y_0$$

$y_{0.1}$ stellt damit einen Zwischenschritt dar, der den neuen Preis berücksichtigt, aber nicht die Reaktion der Nachfrage. Aufgrund der existierenden Schwankungsbreite der Preiselastizität der Nachfrage ist es sinnvoll, zwei Varianten zu berechnen: $\varepsilon = -0,5$ und $\varepsilon = -0,8$ (siehe unten zur Validierung der Größen). Schließlich wird die neue letzte Verwendung y_1 (in EUR) nach vollständiger Anpassung, das heißt mit neuem Preis und nach Reaktion der physischen letzten Verwendung f_1 , berechnet:

$$y_1 = \widehat{p}_1 f_1 = (I + \Delta p^{\%}) \widehat{p}_0 f_1 = (I + \Delta p^{\%}) (I - \Delta p^{\%} \widehat{\varepsilon}_d) y_0 = (I - \Delta p^{\%} \widehat{\varepsilon}_d) y_{0.1}$$

wobei die physische letzte Verwendung über $f_1 = (I - \Delta p^{\%} \widehat{\varepsilon}_{d,i}) f_0$ berechnet werden kann und für die Preiselastizität der Nachfrage wiederum als $\varepsilon = -\frac{(f_1 - f_0)/f_0}{\Delta p^{\%}}$ ausgedrückt werden kann.

Schritt 4: Neuberechnung der Gesamtproduktion¹²⁸

Um die neue Gesamtproduktion x bzw. die Differenz zur ursprünglichen Produktion Δx zu berechnen, wird das Leontief-Modell erneut angewandt. Dabei ist

¹²⁸ Für Schritt 4 werden Δy und Δx über Matlab ermittelt.

der Unterschied der letzten Verwendungen $y_{0,1}$ und y_1 die Grundlage, denn beim Schritt von y_0 auf $y_{0,1}$ wurden nur Preisveränderungen berücksichtigt, die Menge aber nicht angepasst.

$$\Delta y = y_1 - y_{0,1} = [-\Delta p^{\%} \widehat{\varepsilon}_d] y_{0,1} = [-(I + \Delta p^{\%}) \Delta p^{\%} \widehat{\varepsilon}_d] y_0$$

$$\Delta x = (I - A_1)^{-1} \Delta y$$

wobei für die neue Inputkoeffizientenmatrix gilt: $A_1 = Z_1 (\Delta p^{\%})^{-1}$.

Die angepasste Inputkoeffizientenmatrix A_1 ist erforderlich, da sich durch die Preisverschiebungen auch die benötigten intersektoralen Vorprodukte Z_1 verändert haben (welche sich im Allgemeinen als Produkt berechnen: $Z = A \cdot \hat{x}$). Zu betonen ist, dass keine technologische Anpassung stattfand: A_0 und A_1 beschreiben die gleiche Technologie bei unterschiedlichen Preissystemen.¹²⁹

Schritt 5: Beschäftigungseffekte¹³⁰

Choi et al. (2010) nehmen Beschäftigungseffekte nicht in den Blick, sodass dieser Aspekt eine Erweiterung ihres Modells ist. Um die realen Beschäftigungseffekte einschätzen zu können, wird ähnlich zur Berechnung des Ressourcenverbrauchs bei Choi et al. (2010, S. 3530) vorgegangen und die Preiseffekte berücksichtigt.

Anhand der neu berechneten Gesamtproduktion x kann die neue Beschäftigung berechnet werden. Dazu wird angenommen, dass sich die Anzahl der Beschäftigten L proportional zur realen Gesamtproduktion x verhält. Zum anderen wird angenommen, dass die neue Arbeitsnachfrage die gewünschte neue Anzahl an Arbeitskräften findet und insofern weder ein Mangel an Arbeits- und Fachkräften noch das Problem der Sucharbeitslosigkeit auftritt. Hierbei handelt es sich um eine starke Annahme, die nur dann zu rechtfertigen ist, wenn das Aus-

¹²⁹ Bemerkung: Gegenüber dem Modell von Choi et al. (2010, siehe S. 3533-3535) wird die Neuberechnung der Emissionen ausgelassen, da dies nicht der Fokus des Modells ist. Die Veränderungen der Emissionen abschätzen zu können, ist gemäß der Einschätzung des Autors dieser Zeilen nicht die Stärke des Modells, das von den steuerlichen Anpassungen ausgeht und die wirtschaftlichen Folgen in den Blick nehmen soll. Diese sind an dieser Stelle nicht der entscheidende Bezugspunkt, da in der langen Frist die wesentlichen Emissionsreduktionen durch technologische Veränderungen (oder um genau zu sein: durch Veränderungen der Inputkoeffizientenmatrix) zu erwarten sind. In der langen Frist müsste von starken Verschiebungen ausgegangen werden, welche schwer abzuschätzen sind und weitere Modellmodule benötigen würden, um weitere makroökonomische Auswirkungen abbilden zu können. Das vorliegende Modell geht jedoch davon aus, dass die Wirtschaftsstruktur (Verflechtung der Sektoren) unverändert bleibt.

¹³⁰ Die Berechnung dieser letzten Schritte erfolgt in Matlab.

maß der Beschäftigungseffekte insgesamt gering ist. Eine Erhöhung der Beschäftigung in einem Sektor um bspw. 50% wäre dagegen als sehr problematisch anzusehen und es wäre kaum glaubhaft davon auszugehen, dass die notwendigen Arbeits- und Fachkräfte vorhanden sind. Diesen Aspekt gilt es deshalb bei den Ergebnissen im Blick zu behalten.¹³¹

Als Zwischenschritt wird die Arbeitsintensität $\varphi_{L,i}$ (Beschäftigte pro Output) berechnet, das heißt für jeden Sektor i : $\varphi_{L,i} = \frac{L}{x_i}$.

- a) Die reale Entwicklung der Gesamtproduktion $x_{1,real}$ berechnet sich über die neue nominale Gesamtproduktion x_1 unter Berücksichtigung der Preissteigerung $\Delta p\%$ (jeweils je Sektor):

$$x_{1,real} = \frac{x_1}{1 + \Delta p\%}$$

- b) Die neue Anzahl der Beschäftigten L_1 berechnet sich dann aus der alten Beschäftigung L unter Berücksichtigung des Quotienten der realen Veränderung der Gesamtproduktion (jeweils je Sektor):

$$L_1 = \frac{x_{1,real}}{x_0} L$$

11.4.4.3 Ergänzende Bemerkungen

Gegenüber der Methode von Choi et al. (2010, 2016) wurden diverse Aspekte angepasst. Im Sinne der Forschungsfrage werden die sektoral aufgeschlüsselten THG-Emissionen von Deutschland für die Zuordnung der Steuer zugrunde gelegt. Gleichmaßen ändert sich die Datengrundlage bei den Input-Output-Tabellen, bei denen eine zwölfsektorale Aufgliederung für Deutschland herangezogen wird.

Die Kostenveränderung wird, wie oben beschrieben, anhand der Idee der ÖSR durchgeführt: Die THG-Steuern werden der Kategorie *Gütersteuern abzüglich Gütersubventionen* der Input-Output-Tabellen zugeschlagen. Die Entlastung erfolgt proportional der sektoralen Beträge der Kategorie *Arbeitnehmerentgelte im Inland*.

Theoretisch könnte die Entlastung der Beiträge die tatsächlichen Volumina überschreiten. Sozialversicherungsbeiträge werden in den Input-Output-

¹³¹ In den Ergebnissen bestätigt sich, dass sich die Beschäftigungseffekte im Rahmen halten und diese Annahme insofern zu rechtfertigen ist.

Tabellen nicht separat ausgewiesen, sodass eine Schätzung vorgenommen werden muss, um sicherzugehen, dass dieser Fall nicht eintritt. Die von Unternehmen finanzierten Sozialleistungen belaufen sich im betrachteten Jahr 2019 ca. 309 Mrd. EUR (BMAS [Hrsg.], 2021b, S. 304–308). Dieser Betrag wird bei der hohen Steuer von 400 EUR/t CO₂e weder insgesamt noch sektoral überschritten, sodass das Problem in der Praxis nicht auftritt.

Als Ungenauigkeit der Modellierung ist festzuhalten, dass in den Szenarien Steuern pauschal als zusätzliche Steuern in Höhe von 200 und 400 EUR/t CO₂e angenommen werden – eine Berücksichtigung bereits existierender Steuern wird außen vor gelassen. Gemessen an diesen anvisierten Höhen können bisherigen THG-Steuern in Deutschland als gering deklariert und deshalb vernachlässigt werden.

Das Basisjahr der Modellierung ist aufgrund der Datenverfügbarkeit der Input-Output-Tabellen das Jahr 2019. Die ab 2021 eingeführte CO₂-Steuer der Bereiche Wärme und Verkehr sind noch nicht realisiert und damit ohnehin nicht Teil der oben angesprochenen Problematik der Nichtberücksichtigung existierender Steuern.¹³² Eine detaillierte Berücksichtigung erweist sich aufgrund der bislang uneinheitlichen THG-Steuern als problematisch: Unterschiedliche Verursacher von Treibhausgasen werden, gemessen am THG-Gehalt, unterschiedlich besteuert. Beispielsweise wird Strom seit 2003 unverändert mit 2,05 Cent je Kilowattstunde belastet, wohingegen sich andere Besteuerungen verändert haben, wie etwa bei Treibstoffen im oben genannten Bereich Verkehr. Je höher die Besteuerung der THG-Emissionen eines Energieträgers heute und damit vor der Reform ist, desto stärker wird der Effekt überschätzt. Das bedeutet, dass neben des geringen Ausmaßes des Fehlers die existierenden Abweichungen darüber hinaus als höherer Preis auf THG-Emissionen interpretiert werden können. Die Interpretation der Ergebnisse als Worst-Case-Szenario ist insofern weiterhin zutreffend.

Die THG-Emissionstabellen von Eurostat weisen neben der sektoralen Zuordnung auch den Haushalten direkt Emissionen zu, sie betragen ca. 23% der Gesamtemissionen (197 Mio. t CO₂e). Die Reaktionen der Haushalte sind allerdings mit dieser Methode nicht konsistent zu berücksichtigen und werden deshalb außen vor gelassen, wie es auch bei den positiven Reaktionen durch die Entlastungen der Haushalte durch die Sozialversicherungsbeiträge praktiziert wird.

¹³² Siehe Übersicht zur CO₂-Steuer der Bereiche Wärme und Verkehr der Bundeszentrale für politische Bildung vom 17.12.2020: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/hintergrund-aktuell/324668/ab-2021-co2-preis-auf-heiz-und-kraftstoffe/> (27.03.2024).

11.4.5 Validierung

11.4.5.1 Input-Output-Tabellen

Als Quelle der Input-Output-Tabellen wird auf die jährlich vom deutschen Statistisches Bundesamt herausgegebenen *Input-Output-Rechnung nach 12 Gütergruppen / Wirtschafts- und Produktionsbereichen* zurückgegriffen (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023b).¹³³ Die letzte Version enthält die Werte für das Jahr 2019, welches deshalb als Basisjahr gewählt wird (siehe Tabelle 18 im Anhang).

11.4.5.2 THG-Emissionen

Für die THG-Emissionen werden die Daten des *Statistischen Amts der Europäischen Union* (Eurostat) genutzt.¹³⁴ Der Datensatz *Air emissions accounts by NACE Rev. 2 activity* (kurz: ENV_AC_AINAH_R2) weist alle THG-Emissionen nach der NACE-Revision 2-Systematik für Deutschland aus. Die jährlichen Daten berücksichtigen jeweils in CO₂-Äquivalenten (CO₂e) die Treibhausgase CO₂, Distickstoffmonoxid bzw. Lachgas (N₂O), Methan (CH₄), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW bzw. engl. HFC), Perfluorcarbone (PFC), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃).

In diesem Datensatz werden neben den sektorspezifischen Emissionen auch die Emissionen der Haushalte angegeben. Diese gliedern sich auf in Emissionen durch Heizen und Kühlen, durch Mobilität bzw. Transport und durch andere Aktivitäten. Mit der gleichen Methode können sie im Rahmen der Input-Output-Analyse dennoch nicht berücksichtigt werden, da sie nicht einem der wirtschaftlichen Sektoren zugeordnet werden können. Weitere notwendige Annahmen würden zusätzliche Unschärfe in die Modellierungsergebnisse bringen. Eine allgemeine Preiserhöhung der THG-Emissionen ist darüber hinaus in diesem Bereich schwerer zu beurteilen, da die Nachfrage der Haushalte von anderen Faktoren stark beeinflusst sind (etwa durch das Sparverhalten, die konjunkturelle Lage der Wirtschaft oder die Verfügbarkeit von neuen Produkten auf dem Markt). So hat bspw. die Energiekrise in Deutschland im Jahr 2022 gezeigt, dass

¹³³ Siehe „Input-Output-Tabelle 2019 zu Herstellungspreisen – Inländische Produktion und Importe“ (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023b). Online abrufbar beim deutschen Statistischen Bundesamt: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Input-Output-Rechnung/input-output-12-guetergruppen-pdf-5815117.html> (27.03.2024).

¹³⁴ Online abrufbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (27.03.2024).

wirtschaftliche Akteur:innen stärker auf die Preiserhöhung mit reduzierter Nachfrage reagiert haben als Haushalte. Aus diesen Gründen werden die haushaltsspezifischen Emissionen außen vor gelassen.

Tabelle 3: THG-Emissionen der zwölf Sektoren für Deutschland 2019

	Sektor	THG-Emissionen (t CO ₂ e)
1	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei	63.243.917,36
2	Bergbauerzeugnisse, Steine und Erden	4.450.634,26
3	Nahrungs- und Futtermittel, Getränke und Tabakerzeugnisse	12.292.105,91
4	Chemische und pharmazeutische Erzeugnisse	28.740.374,97
5	DV-geräte, elektronische u. optische Erzeugnisse, elektrische Ausrüstungen, Maschinen	4.746.934,04
6	Fahrzeuge	7.780.146,92
7	Sonstige Erzeugnisse des Verarbeitenden Gewerbes	145.991.602,84
8	Dienstlg. der Energieversorg., der Wasserversorg., der Entsorgung, usw.	240.256.947,86
9	Bauarbeiten	9.648.157,90
10	Handels- und Verkehrsleistg., Dienstleistg. d. Gastgewerbes	116.644.684,59
11	Informations-, Kommunikations-, Finanz-, Versicherungs-, Unternehmensdienstg.; Dienstg. des Grundstücks- und Wohnungswesens	9.247.642,84
12	Öff. u. sonst. Dienstleistg. einschl. Waren priv. Haushalte	21.466.923,51
	Summe	664.510.073,00

11.4.5.3 Preiselastizitäten der Nachfrage

Das Interesse der Forschungsfrage ist die lange Frist, weshalb die langfristigen Preiselastizitäten der Nachfrage in den Blick genommen werden. Mit langfristigen Elastizitäten werden unterschiedliche Zeiträume beschrieben, Bach et al. (2019, S. 7) zufolge teilweise fünf bis zehn Jahre (vgl. Übersicht von Goodwin et al., 2004), teilweise länger als zehn Jahre (vgl. Übersicht von Simmons-Süer et al., 2011).

Allen Publikationen zu langfristigen Preiselastizitäten der Nachfrage ist gemein, dass die Preiselastizität der Nachfrage in der kurzen Frist geringer ist als in der langen. Grund dafür ist, dass in der langen Frist weitere Anpassungen

stattfinden können und Bedarfe langfristig anders gedeckt werden (vgl. Bach, Isaak, et al., 2019, S. 6f).

Preiselastizitäten sind dabei keineswegs als ohne Unsicherheit behaftete ökonomische Fakten anzusehen, denn zu ihrer Ermittlung werden unterschiedliche Methoden herangezogen. Arbeiten von S. Okajima und H. Okajima (2013) oder Alberini und Filippini (2011) machen dies im Bereich der Energiepreise und -nachfrage deutlich, dieser Zusammenhang ist jedoch gleichermaßen für andere Preiselastizitäten zutreffend. Alberini und Filippini (2011, S. 890) kommen allein über unterschiedliche Schätzmethoden zu Unterschieden der Preiselastizitäten der Elektrizitätsnachfrage in der langen Frist von bis zu 70%, in der kurzen Frist sogar bis zu 88%. Auf Miller und Alberini (2016, S. 238) sei an dieser Stelle verwiesen, weil sie einen systematischen Überblick geben, welche Variablen in den verschiedenen Arbeiten berücksichtigt wurden.

Grundsätzlich wären sektorspezifische Werte für die Preiselastizität der Nachfrage vorzuziehen. Die Verfügbarkeit dieser Werte ist jedoch lückenhaft, womit eine aktuelle, ausdifferenzierte und methodisch einheitliche Bereitstellung dieser Elastizitäten nicht möglich ist. Aus diesem Grund wird auf für alle Sektoren einheitliche Faktoren zurückgegriffen.

Viele Studien beschränken sich auf die Preiselastizitäten von Energieprodukten. Diese bieten eine Grundlage, für das Modell sind jedoch Preiselastizitäten aller Sektoren relevant. Im Folgenden sind verschiedene Quellen aufgeführt, wobei sich keine für den vorliegenden Fall als ideal erweist. Eine aktuelle sektorspezifische Aufschlüsselung gemäß den zwölf verwendeten Sektoren ist nicht verfügbar. Die Quellen weisen unterschiedliche Bandbreiten auf. Im Sinne der Worst-Case-Analyse wird auf den oberen Bereich des dargestellten Spektrums zurückgegriffen.

Als Destillat der unten aufgeführten Quellen wird hierfür die Bandbreite von $\varepsilon = -0,5$ bis $-0,8$ festgehalten, wobei Elastizitäten, die betragsmäßig kleiner als eins sind, als inelastisch gelten, größer als eins als elastisch. $\varepsilon = -0,5$ dient der Modellierung als ein Wert, der geringfügig oberhalb der Mitte des Spektrums anzusiedeln ist und insofern als realistischer Wert genutzt werden kann. $\varepsilon = -0,8$ ist ein Wert, der mit hoher Wahrscheinlichkeit signifikant oberhalb des realistischen Wertes liegt und damit besonders Ausdruck der Worst-Case-Überlegung ist.

In einem Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt fassen Bach et al. (2019) Preiselastizitäten zur Abschätzung kurz- und lang-

fristiger Lenkungswirkungen für die Bereiche Wärme und Verkehr zusammen. Teil ihrer Untersuchung sind die Preiselastizitäten bei den Energieträgern (etwa Strom oder Erdgas) der Haushalte, im Verkehrssektor sowie im *Gewerbe-, Handels und Dienstleistungssektor* (GHD). Die Ergebnisse sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst; eine Schwankungsbreite von $\varepsilon = -0,32$ bis $\varepsilon = -0,8$ ist bei Energiepreiserhöhungen festzuhalten (Bach, Isaak, et al., 2019, S. 8):

Tabelle 4: Referenzwerte für kurz- und langfristige Preiselastizitäten

Sektor	Energieträger	Anwendungsfall	kurzfristig	langfristig
Haushalte	Erdgas	Raumwärme	-0,20	-0,51
	Erdgas	Warmwasser	-0,05	-0,51
	Heizöl	Raumwärme	-0,20	-0,32
	Heizöl	Warmwasser	-0,05	-0,32
	Strom	Raumwärme	-0,20	-0,40
	Strom	Warmwasser	-0,05	-0,40
	Strom	Elektrogeräte	-0,025	-0,40
GHD	Erdgas (Naturgas)	Raumwärme	-0,20	-0,51
	Erdgas (Naturgas)	Prozesswärme	-0,10	-0,51
	Heizöl (leicht)	Raumwärme	-0,20	-0,32
	Heizöl (leicht)	Prozesswärme	-0,10	-0,32
	Strom	Raumwärme	-0,20	-0,40
	Strom	Prozesswärme	-0,10	-0,40
Verkehr	Benzin	Transport	-0,25	-0,80
	Diesel	Transport	-0,05	-0,80

In diesem Kontext wird das grundsätzliche Problem bei der Schätzung von langfristigen Elastizitäten thematisiert: Zukünftige Entwicklungen können ex ante nicht abgeschätzt werden, da sie auf vergangenen Erfahrungen beruhen (Bach, Isaak, et al., 2019, S. 14). Bach et al. (2019) halten Vorsicht bei der Interpretation vergangener Werte für Elastizitäten für angebracht, da sie auf allgemeinen Preisschwankungen beruhen können. Grundsätzlich halten sie bei einer politisch angekündigten, stetigen Erhöhung der Steuern eine stärkere Reaktion für möglich, was für die vorliegende Modellierung Anlass ist, eher pessimistische Schätzungen anzunehmen.

Da die geschätzten Elastizitäten der meisten empirischen Studien auf marktgetriebenen Energiepreisschwankungen basieren, wird hier implizit angenommen, dass die Verbraucher auf marktgetriebene Preiserhöhungen in gleichem Maße reagieren wie auf Preiserhöhungen, die durch Steuern induziert werden. Diese

Annahme ist jedoch nicht zwangsläufig realistisch, da marktbasierte Preisschwankungen in der Regel nicht im Voraus antizipiert werden können. Im Gegensatz dazu ermöglicht ein glaubhaft festgelegter CO₂-Preispfad über die nächsten zehn Jahre die Antizipation zukünftiger Preissteigerungen. Dadurch könnte die Nachfragerreaktion stärker ausfallen, da die Akteure bereits in der Gegenwart die zukünftig höheren Energiepreise einpreisen und damit die Möglichkeit haben, ihre Investitionsentscheidungen entsprechend anzupassen. (Bach, Isaak, et al., 2019, S. 14f)

Eine solche Anpassung der Investitionen entspricht allerdings einer Veränderung der Technologiematrix. Derartige technologische Veränderungen sind als wünschenswert zu bewerten, da zu erwarten ist, dass damit die THG-Intensität der Produktion weiter verringert werden kann. Diese Antizipation kann also zu höheren Preiselastizitäten führen, würde in diesem Fall aber zugleich das Ziel der THG-Reduktion schneller erreichen.

Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass die Energienachfrage im Sinne der Elastizitäten bei den Haushalten weniger stark reagiert als im GHD-Sektor (Bach, Isaak, et al., 2019, S. 13). Eine mögliche Deutung ist, dass der GHD-Sektor mehr Möglichkeiten hat, um auf Preisveränderungen zu reagieren. Dieser Zusammenhang bestätigt sich mit der Energiekrise im Jahr 2022. Ausgelöst durch den Krieg in der Ukraine und dadurch begründeten Lieferengpässen stiegen die Energiepreise und explizit auch die Strompreise erheblich. Dennoch reduzierte sich der Energieverbrauch der Haushalte im Bereich Wohnen in Deutschland laut dem Statistischen Bundesamt 2022 gegenüber dem Vorjahr 2021 nur um 0,9%.¹³⁵

Jenseits der preisinduzierten Nachfrageveränderungen bei Energieprodukten existieren weitere Ursachen. Krishnamurthy und Krström (2013, S. 20) weisen darauf hin, dass sich im Falle von selbst angegebenem Energiesparverhalten die Energienachfrage von Haushalten um 2–4% reduzieren lassen.

Miller und Alberini (2016) untersuchen die Preiselastizität der Haushalte im Bereich Energie. Drei Quellen werden berücksichtigt: die American Housing Survey (AHS), die Residential Energy Consumption Survey (RECS) sowie Formulare der Energy Information Administration (EIA). Diese drei Datensätze weisen eine Bandbreite von $\varepsilon = -0,2$ bis $-0,8$ auf (M. Miller & Alberini, 2016, S. 246). Miller und Alberini (2016, S. 238) geben außerdem einen Überblick über die empirischen Studien zu Preiselastizitäten. Diese bestätigen insgesamt, dass

¹³⁵ Siehe Pressemitteilung des Statistischen Bundesamts vom 16.12.2022: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/12/PD22_542_85.html (27.03.2024).

fast alle Ergebnisse in der langen Frist unter einer Elastizität von 1 liegen, in der Regel sogar deutlich darunter.

Boogen et al. (2014) untersuchten die Preiselastizitäten des privaten Stromverbrauchs in der Schweiz in der langen und kurzen Frist. Aufbauend auf Haushaltsumfragen aus den Jahren 2005 und 2011 stellt ihre Forschung nicht nur ein Update dar, sondern es konnten über den Einsatz von Instrumentalvariablen mögliche Endogenitätsprobleme korrigiert werden (Boogen et al., 2014, S. 22f). Darüber hinaus konstruierten Boogen et al. einen Index für den Gerätebestand, um den vorhandenen Bestand an Geräten der Haushalte berücksichtigen zu können, da dieser die Reaktion der Haushalte auf Preisveränderungen mitbestimmt. Ihre Ergebnisse liegen in der Spannweite von $\varepsilon = -0,56$ und $\varepsilon = -0,68$.

Gemäß der Arbeit von S. Okajima und H. Okajima (2013) auf Basis einer Paneldatenanalyse der Jahre 1990–2007 beträgt die Preiselastizität des privaten Stromverbrauchs in Japan $\varepsilon = -0,487$ in der langen Frist. Gegenüber vorherigen Schätzungen wird die erste Differenz der verallgemeinerten Methode der Momentenschätzung verwendet, mit dem Zweck, Verzerrungen des dynamischen Panels zu umgehen (Okajima & Okajima, 2013, S. 433f). Dahinter steht das Problem, dass es zeitverzögerte abhängige Variablen geben kann, die das Ergebnis verzerren. Da auch zeitverzögerte Variablen (engl. „Lagged Variables“) keine Abhilfe verschaffen, wurde die oben genannte Methode gewählt. Laut den Autoren ist das Resultat, dass die Preiselastizität in der langen Frist niedriger ausfällt als in vorherigen Arbeiten.

Auch Alberini und Filippini (2011, S. 889f) weisen auf das Problem hin, dass bei dynamischen Panelmodellen die verzögerte Konsumvariable endogen ist. Je nach Methodenwahl, wobei alle Varianten diese Begebenheit korrigieren können, kommen Alberini und Filippini (2011, S. 894) zu Preiselastizitäten der Nachfrage der privaten Stromnachfrage in der langen Frist von $\varepsilon = -0,435$ bis $\varepsilon = -0,729$.

Choi et al. (2010) kreieren in ihrer Arbeit für einen ähnlichen Zweck drei Szenarien.¹³⁶ Ein erstes Szenario geht von einer sektorübergreifenden Preiselastizität von $\varepsilon = -0,3$ aus. Szenario 2 geht teilweise von $\varepsilon = -0,3$ und teilweise von $\varepsilon = -0,5$ aus, wobei die betragsmäßig höheren Werte für den Bereich der Stromerzeugung gelten. Das pessimistischste Szenario ist sektorspezifisch differenziert und nimmt Werte zwischen $\varepsilon = -0,3$ und $\varepsilon = -1,0$ an (Choi et al., 2010, S. 3532).

¹³⁶ Siehe S. 8 von Appendix A der Publikation von Choi et al. (2010), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510001102> (27.03.2024).

Bernstein und Griffin untersuchen die Energiesektoren und konstatieren, dass die Preiselastizität über die Jahre sehr konstant ist (2006, S. 51f): Die Preiselastizität der Nachfrage habe sich über 15–20 Jahre in verschiedenen Regionen der USA nicht verändert. Diese über die Zeit geringe Varianz der Preiselastizitäten konstatieren auch Miller und Alberini (2016, S. 246). Bernstein und Griffin (2006, S. 22f) zufolge liegt die Preiselastizitäten in der langen Frist auf nationaler Ebene zwischen $\varepsilon = -0,32$ (Stromnachfrage der Haushalte), $\varepsilon = -0,36$ (Erdgas der Haushalte) und $\varepsilon = -0,97$ (kommerzielle Stromnachfrage).

Die Arbeit von Pagoulatos und Sorensen (1986), die aufgrund der Untersuchung einer Auswahl verschiedener Sektoren im Bereich Essen und Tabakindustrie in den USA bis heute Relevanz hat, kommt zu Preiselastizitäten in der Bandbreite von $\varepsilon = -0,0$ bis $\varepsilon = -0,8$. Die Elastizitäten schwanken von bspw. destilliertem Schnaps ($-0,033$) oder Soft Drinks ($-0,052$) über mittlere Werte wie zum Beispiel bei Brot und Backwaren ($-0,220$) oder Käse ($-0,585$) bis hin zu hohen Elastizitäten im Fleisch verarbeitenden Gewerbe ($-0,703$) oder bei Zigarren ($-0,756$) (Pagoulatos & Sorensen, 1986, S. 240).

Dabei bestätigen Pagoulatos und Sorensen die verbreitete Hypothese, dass die Preiselastizität der Nachfrage vom Wettbewerb des jeweiligen Sektors abhängig ist: In Sektoren mit hohen Werbeausgaben ist die Elastizität geringer. Niedrige Elastizitäten sind den Autoren zufolge auch dann vorzufinden, wenn die Informationsbeschaffung teuer ist (Pagoulatos & Sorensen, 1986, S. 247).

Insgesamt wird deutlich, dass es zwar zu Nachfrageeffekten bei Energiepreiserhöhungen zahlreiche Forschungsarbeiten gibt (vgl. Bach, Isaak, et al., 2019; M. Miller & Alberini, 2016; Krishnamurthy & Kriström, 2013; Boogen et al., 2014; Okajima & Okajima, 2013), jedoch nicht zur Preiselastizität der Nachfrage insgesamt.

11.4.6 Ergebnisse

11.4.6.1 Unmittelbare Be- und Entlastungen

In Tabelle 5 sind die unmittelbaren Be- und Entlastungen beispielhaft für die Szenarien 400-100-0.5 bzw. 400-100-0.8 abgebildet.¹³⁷ Da diese unmittelbaren Effekte noch unabhängig von der Preiselastizität sind, gilt die Tabelle für die beiden

¹³⁷ Beispielhaft ausgewählt ist das Szenario 400-100, das heißt: eine THG-Steuer in Höhe von

Szenarien gleichermaßen. Dargestellt sind die durch die THG-Steuer entstehenden Belastungen sowie die durch die Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge der Arbeitgeber als 100%-Rückzahlung an die Unternehmen. In einer dritten Spalte ist der Saldo abgebildet. In diesen Varianten mit voller Rückzahlung ist die Summe der Saldos null.

Tabelle 5: Unmittelbare Be- und Entlastungen des Szenarios 400-100

Sektor	THG-Steuern (Mill. EUR)	Entlastung Sozialversicherungs- beiträge Arbeitgeber (Mill. EUR)	Nettobelastung (Mill. EUR)
1	25.297,57	1.085,72	24.211,85
2	1.780,25	720,85	1.059,40
3	4.916,84	4.793,37	123,47
4	11.496,15	3.380,65	8.115,50
5	1.898,77	15.613,71	-13.714,94
6	3.112,06	8.798,06	-5.686,00
7	58.396,64	20.582,21	37.814,43
8	96.102,78	4.526,61	91.576,17
9	3.859,26	13.046,57	-9.187,30
10	46.657,87	50.004,22	-3.346,34
11	3.699,06	66.649,86	-62.950,81
12	8.586,77	76.602,20	-68.015,43
Summe	265.804,03	265.804,03	0,00

Mit 96 Mrd. EUR wird Sektor 8 (Energie) durch die THG-Steuer am höchsten belastet; dies stellt über ein Drittel der Gesamtbelastung dar. Gleichzeitig widerfährt diesem Sektor (selbst beim abgebildeten Szenario mit 100% Rückzahlung) nur eine geringe Entlastung, sodass eine Netto-Belastung von 92 Mrd. EUR zu Buche steht.

An zweiter Stelle steht Sektor 7 (verarbeitendes Gewerbe) mit einer Belastung von 58 Mrd. EUR. Dem steht allerdings eine nicht zu verachtende Entlastung von 21 Mrd. EUR gegenüber. Dennoch bleibt eine Netto-Belastung von 38 Mrd. EUR.

400 EUR/t CO_{2e} und 100% Rückzahlung an die Unternehmen (keine Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge der Arbeitnehmer:innen). Die Preiselastizität der Nachfrage ist bis hierher noch nicht relevant.

Anders ist die Situation in Sektor 10 (Handels- und Verkehrsleistungen, Dienstleistungen des Gastgewerbes): Hier stehen hohen Belastungen (47 Mrd. EUR) noch höhere Entlastungen (50 Mrd. EUR) gegenüber, sodass sich im Saldo eine Entlastung von 3 Mrd. EUR ergibt. Hohe Entlastungen sind in arbeits- bzw. dienstleistungsintensiven Bereichen zu erwarten und hier auch zutreffend.

Erwartungsgemäß ist vor diesem Hintergrund, dass in den Dienstleistungssektoren 11 und 12 die höchsten Entlastungen stattfinden (76 Mrd. EUR in Sektor 12 und 67 Mrd. EUR in Sektor 11). Gleichzeitig sind die Belastungen in diesen Sektoren gering, sodass hohe Netto-Entlastungen verbucht werden. Die beiden Sektoren sind daher als die größten Profiteure der abgebildeten Reform zu bezeichnen, was sich auch in anderen Reformvarianten widerspiegelt (siehe unten).

Hervorzuheben ist schließlich Sektor 1 (Landwirtschaft): Eine hohe Belastung von 26 Mrd. EUR steht hier einer geringen Entlastung von nur 1 Mrd. EUR gegenüber. Als Gründe dafür sind einerseits zu nennen, dass im landwirtschaftlichen Bereich neben CO₂ zu einem relevanten Anteil auch andere Treibhausgase entstehen, so zum Beispiel Methan. Andererseits ist der Grad der Arbeitsintensivität der modernen Landwirtschaft gering und Entlastungen über Sozialversicherungsbeiträge schlagen sich daher kaum nieder.

Alle anderen, nicht explizit genannten Sektoren weisen deutlich geringere Netto-Belastungen bzw. -Entlastungen auf. Bemerkenswert ist allerdings der industrielle Sektor 5: Obwohl es sich nicht um einen dienstleistungsgeprägten Bereich handelt, profitiert er mit einer Netto-Entlastung von 14 Mrd. EUR erheblich von der Reform. Die niedrigen Emissionswerte in dieser Branche sind als Hauptgrund zu nennen.

Insgesamt wird deutlich, dass durch die sehr ungleichen Be- und Entlastungen enorme sektorale Verzerrungen stattfinden können. Eine auf die sozialen Versicherungsbeiträge ausgelegte Reform kann zu merklichen Veränderungen der Sektorenentwicklungen führen.

Die Nettobelastungen aller Szenarien sind in Tabelle 6 zu sehen. Bei einer Steuer von 400 EUR/t CO₂e sind diese jeweils genau doppelt so hoch wie bei der Steuer von 200 EUR/t CO₂e, was daran liegt, dass sich sowohl die Belastung (THG-Steuer) als auch die Entlastung (Anteile der Sozialversicherungsbeiträge) genau verdoppeln. Zunächst ist daher der Blick auf die Reformen mit einer Steuer von 200 EUR hinreichend.

Tabelle 6: Unmittelbare Nettobelastungen

Sektor	Nettobelastung der Szenarien (Mill. EUR)			
	200-50	200-100	400-50	400-100
1	12.377,35	12.105,92	24.754,71	24.211,85
2	709,91	529,70	1.419,83	1.059,40
3	1.260,08	61,73	2.520,16	123,47
4	4.902,91	4.057,75	9.805,83	8.115,50
5	-2.954,04	-6.857,47	-5.908,08	-13.714,94
6	-643,49	-2.843,00	-1.286,97	-5.686,00
7	24.052,77	18.907,22	48.105,54	37.814,43
8	46.919,74	45.788,09	93.839,48	91.576,17
9	-1.332,01	-4.593,65	-2.664,02	-9.187,30
10	10.827,88	-1.673,17	21.655,77	-3.346,34
11	-14.812,94	-31.475,40	-29.625,88	-62.950,81
12	-14.857,17	-34.007,72	-29.714,33	-68.015,43
Summe	66.451,01	0,00	132.902,01	0,00

Die Gewinner und Verlierer sind die gleichen, wie sie in der obigen Variante (400-100) beschrieben wurden. Sechs der zwölf Sektoren weisen teilweise Nettoentlastungen auf (die Sektoren 5, 6, 9, 10, 11 und 12). Sektor 10 (Handels- und Verkehrsleistungen, Dienstleistungen des Gastgewerbes) stellt davon eine Besonderheit dar, da dieser im Fall der 50%igen Rückzahlung an die Unternehmen netto belastet wird (bei der Steuerhöhe von 200 EUR um 10,8 Mrd. EUR), im Fall der 100%igen Rückzahlung dagegen netto entlastet wird, wenn auch nur geringfügig (um 1,7 Mrd. EUR). Auffallend hoch entlastet werden die Sektoren 11 und 12; auffallend hoch belastet die Sektoren 1, 7 und 8. Aus dem Saldo ist hier ablesbar: Die Nettobelastungen der Reformen mit 100%iger Rückzahlung belaufen sich auf 0 EUR, die Reform mit 50% Rückzahlung hat dagegen Nettobelastungen von 66 bzw. 133 Mrd. EUR – jeweils der Hälfte der Steuerbelastung.

Die Unterschiede der Varianten 200-50 und 200-100 sind heterogen. Den gleichbleibenden Belastungen stehen verschiedene Entlastungen gegenüber. Das heißt, dort wo hohe Sozialversicherungsbeiträge zu zahlen sind, sind die Unterschiede am größten. In wenig arbeitsintensiven Bereichen sind die Differenzen teilweise kaum merklich.

11.4.6.2 Unmittelbare und gesamte Preiseffekte

Durch die Reform entstehen Preiserhöhungen unmittelbar, das heißt auf Grundlage der eingesetzten Steuer abzüglich der Entlastungen im Bereich der Sozialversicherungsbeiträge. Auf diesen Preisschock folgen dann weitere Auswirkungen entlang der Wertschöpfungskette auf die anderen Sektoren, welche zu den Gesamtpreiserhöhungen führen. Die Preisverschiebungen sind insofern voneinander abhängig und verstärken sich, wie Tabelle 7 zeigt, in der sowohl die unmittelbaren als auch die gesamten Preiseffekte für alle Szenarien und Sektoren abzulesen sind.

Tabelle 7: Unmittelbare und gesamte Preisveränderungen

Sektor	Szenario							
	200-50		200-100		400-50		400-100	
	$\Delta p\%$ unm.	$\Delta p\%$ gesamt	$\Delta p\%$ unm.	$\Delta p\%$ gesamt	$\Delta p\%$ unm.	$\Delta p\%$ gesamt	$\Delta p\%$ unm.	$\Delta p\%$ gesamt
1	12,4%	14,7%	12,1%	14,0%	24,8%	29,4%	24,3%	28,0%
2	0,7%	1,2%	0,5%	0,9%	1,5%	2,4%	1,1%	1,8%
3	0,5%	4,5%	0,0%	3,3%	1,0%	8,9%	0,0%	6,6%
4	1,4%	2,7%	1,2%	2,1%	2,8%	5,4%	2,3%	4,2%
5	-0,4%	0,2%	-1,0%	-0,8%	-0,8%	0,4%	-1,9%	-1,6%
6	-0,1%	0,9%	-0,5%	-0,1%	-0,2%	1,8%	-0,9%	-0,2%
7	2,4%	4,6%	1,9%	3,6%	4,8%	9,3%	3,8%	7,2%
8	20,8%	26,0%	20,3%	24,7%	41,6%	51,9%	40,6%	49,5%
9	-0,4%	0,7%	-1,2%	-0,9%	-0,7%	1,5%	-2,4%	-1,7%
10	0,9%	1,9%	-0,1%	0,2%	1,9%	3,9%	-0,3%	0,3%
11	-0,7%	-0,7%	-1,6%	-2,0%	-1,5%	-1,3%	-3,2%	-4,1%
12	-1,4%	-0,9%	-3,3%	-3,2%	-2,9%	-1,7%	-6,5%	-6,4%

Die Sektoren 1 (Landwirtschaft) und 8 (Energie) sind in allen Varianten besonders betroffen, was an den hohen Preisaufschlägen dieser Sektoren abzulesen ist. Dies ist Ausdruck eines hohen Anteils der Belastungen an der Gesamtproduktion der jeweiligen Sektoren. Sektor 7 ist in absoluten Zahlen zwar ebenfalls stark belastet (siehe Tabelle 6), hat jedoch ein größeres Volumen, sodass sich die Preise erkennbar, aber weniger deutlich erhöhen (die Summe der gesamten letzten Verwendung ist in Sektor 7 über viermal so hoch wie in Sektor 8).

Ohne auf alle Preisveränderungen eingehen zu können, sollen einige nennenswerte Werte angesprochen werden. Sektor 3 (Nahrungs- und Futtermittel, Getränke und Tabakerzeugnisse) ist vom unmittelbaren Schock kaum betroffen;

bspw. im Fall 200-50 liegt die Preiserhöhung bei 0,5%; die Gesamtpreiserhöhung dagegen bei 4,5%. Hier werden hohe Abhängigkeiten von Sektoren mit Preiserhöhungen sichtbar. Das gegenteilige Beispiel wäre theoretisch denkbar, existiert aber nicht, wie in Tabelle 5 zu erkennen ist, da die Gesamtpreiserhöhungen immer höher sind als die unmittelbaren Preiserhöhungen. Beispielsweise in Sektor 5 (Elektronik und Maschinen) reduzieren sich die Gesamtkosten intrasektoral, was an den negativen unmittelbaren Preisveränderungen abzulesen ist; die Abhängigkeit von anderen Sektoren mit Preiserhöhungen überwiegt allerdings, so dass aufgrund der verteuerten Vorprodukte auch hier letztendlich eine Gesamtpreiserhöhung zu konstatieren ist.

11.4.6.3 Effekte auf Gesamtproduktion x und BIP y

Für die vorliegende Modellierung kommt es auf die Betrachtung der realen Veränderungen an, bspw. zur Bewertung der Auswirkungen auf reale Größen wie etwa auf Beschäftigungsverhältnisse. In einem geschlossenen System der Input-Output-Modellierung gibt es keine aggregierten Auswirkungen auf das Preisniveau oder das BIP (siehe Veränderung des realen BIP in Tabelle 8, welche bei vollständiger Mittelverwendung 0% betragen). Daher gleichen sich im Folgenden in der Regel die realen und nominalen Werte. Unterschiede gibt es allerdings bei der nicht vollständigen Mittelverwendung, weshalb das Wort „real“ mitgeführt wird.

Die reale Veränderung der Gesamtproduktion weist eine große Spannweite auf. Den Erwartungen entsprechend ist im Szenario 400-50-0.8 mit der weitreichenden Reform, der teilweisen Rückzahlung an Unternehmen und der stärkeren Reaktion der Nachfrage, die größte Produktionsreduktion (-6,3%) und im gegenteiligen Szenario 200-100-0.5 die geringste Reduktion der Gesamtproduktion (-0,5%) zu verzeichnen.

Die reale Gesamtproduktion entwickelt sich daher summa summarum in allen Szenarien negativ. Dennoch gibt es profitierende Sektoren. So nimmt in Sektor 12 (öffentliche und sonstige Dienstleistungen) die reale Gesamtproduktion in allen Szenarien zu. Die größten Effekte treten in den Szenarien 400-100-0.5 und 400-100-0.8 in Erscheinung: Hier finden jeweils weitreichende Reformen statt und Unternehmen erhalten volle Rückzahlung. Da die Sozialversicherungsbeiträge im dienstleistungsgeprägten Sektor 12 eine große Rolle spielen (siehe Tabelle 5), profitiert dieser Bereich deutlich.

Tabelle 8: Prozentuale Veränderungen der Gesamtproduktion und des BIP

Sektor	Szenario							
	200				400			
	50		100		50		100	
	0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8
Veränderungen der realen Gesamtproduktion x^*								
1	-16,8%	-19,3%	-15,9%	-18,1%	-30,8%	-35,6%	-29,2%	-33,5%
2	-1,8%	-2,2%	-1,4%	-1,6%	-3,5%	-4,3%	-2,7%	-3,3%
3	-6,3%	-7,5%	-4,6%	-5,5%	-12,2%	-14,6%	-9,0%	-10,8%
4	-3,9%	-4,7%	-3,0%	-3,6%	-7,7%	-9,2%	-5,9%	-7,1%
5	-0,4%	-0,6%	1,1%	1,2%	-0,9%	-1,2%	2,2%	2,5%
6	-1,3%	-1,6%	0,2%	0,2%	-2,7%	-3,2%	0,3%	0,4%
7	-6,2%	-7,3%	-4,6%	-5,3%	-12,0%	-14,2%	-9,1%	-10,5%
8	-26,7%	-30,3%	-25,4%	-28,7%	-46,3%	-53,5%	-44,2%	-50,8%
9	-1,3%	-1,7%	1,0%	1,1%	-2,7%	-3,4%	2,0%	2,2%
10	-3,1%	-3,8%	-0,5%	-0,6%	-6,1%	-7,6%	-0,9%	-1,3%
11	-0,2%	-0,6%	2,3%	2,3%	-0,3%	-1,3%	4,6%	4,8%
12	1,1%	1,2%	4,6%	5,4%	2,2%	2,4%	9,4%	11,0%
Gesamt	-2,7%	-3,3%	-0,5%	-0,7%	-5,1%	-6,3%	-0,8%	-1,1%
Veränderungen des realen BIPs y								
Gesamt	-0,7%	-1,2%	0,0%	0,0%	-1,5%	-2,3%	0,0%	0,0%
Veränderungen der Anzahl der Erwerbstätigen								
Gesamt	-1,6%	-2,1%	1,0%	1,1%	-3,1%	-4,0%	2,3%	2,5%
* Entspricht auf sektoraler Ebene der Veränderung der Anzahl der Erwerbstätigen								

Kein weiterer Sektor weist in allen Szenarien positive Ergebnisse auf. Gemischte Sektorenergebnisse bei der Gesamtproduktion sind in den Sektoren 5 (Elektronik und Maschinen), 6 (Fahrzeuge), 9 (Bauarbeiten) und 11 (verschiedene Dienstleistungen) festzustellen. Sektorenergebnisse sind insbesondere abhängig vom Ausmaß des Faktors Arbeit bzw. vom Ausmaß der jeweiligen Sozialversicherungskosten. Die Szenarienergebnisse insgesamt sind vor allem abhängig vom Einsatz des Aufkommens.

An der Diskrepanz zwischen realem BIP und realer Produktion wird die Struktur der Input-Output-Analyse deutlich: Kleine Veränderungen in der letzten Nachfrage führen zu größeren Veränderungen in der Gesamtproduktion, weil entlang der Wertschöpfungskette mehrere Sektoren beteiligt sind, sodass

ein Kaskadeneffekt eintritt, bei dem die geringere Nachfrage nach dem einen Gut auch Auswirkungen auf die Nachfrage nach anderen Gütern haben kann.

Die Beschäftigungseffekte stehen ebenfalls am Ende dieser Kette, wie in der letzten Zeile von Tabelle 8 zu sehen ist. Sie werden im Detail im nächsten Kapitel abgehandelt.

11.4.6.4 Beschäftigungseffekte

Die Zahl der Erwerbstätigen verteilt sich auf die Sektoren sehr ungleich: Laut der Zählung des Statistischen Bundesamts machen die dienstleistungsgeprägten Sektoren 10, 11 und 12 zusammen 77,0% der Erwerbstätigen im Inland aus (ca. 35 von 45 Mio.).¹³⁸ Diese drei Sektoren sind daher besonders entscheidend für die Entwicklung der Gesamtbeschäftigung. Preissenkungen können zu hohen positiven Beschäftigungseffekten führen, die prägend für die Gesamtentwicklung sind. Tabelle 9 zeigt die Aufteilung der Erwerbstätigen im Inland in absoluten Zahlen und anteilig.

Auffällig ist darüber hinaus, dass der Energiesektor 8 eine der geringsten Erwerbstätigenzahlen aufweist. Lediglich 475.000 Menschen arbeiten in diesem Bereich. Nur Sektor 2 (Bergbau) und Sektor 4 (Chemie) weisen geringere Beschäftigungen vor. Auch die durch die Reform stark betroffene Landwirtschaft hat mit 1,3% nur einen geringen Anteil an der Gesamterwerbstätigenzahl des Landes.

Die Erwerbstätigen-Intensitäten geben Aufschluss darüber, welche Sektoren besonders arbeitsintensiv sind.¹³⁹ Die positiven Effekte der Gesamtproduktion in Sektor 12 (siehe Tabelle 8) werden vor diesem Hintergrund verständlich, da Sektor 12 mit einem Wert von 13,7 Erwerbstätige/Mio. EUR mit Abstand die höchste Erwerbstätigen-Intensität aufweist. Die geringsten Intensitäten haben die Sektoren 2 (Bergbau), 4 (Chemie) und 6 (Fahrzeuge), welche als kapitalintensive Sektoren gelesen werden können.

Durch die ÖSR ist zu erwarten, dass THG-intensiven Sektoren ein Nachteil widerfährt, während arbeitsintensive Sektoren einen Vorteil haben. Im Umkehr-

¹³⁸ Diese Sektoren sind namentlich: „Handels- und Verkehrsleistungen, Dienstleistungen des Gastgewerbes“, „Informations-, Kommunikations-, Finanz-, Versicherungs-, Unternehmensdienstleistungen; Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens“ und „Öffentliche und sonstige Dienstleistungen einschließlich Waren privater Haushalte“.

¹³⁹ Die Erwerbstätigen-Intensität wird als Quotient aus der Anzahl der Erwerbstätigen und der Gesamtproduktion gebildet [in Erwerbstätige / Mio. EUR].

schluss bedeutet dies, dass auch kapitalintensive Bereiche eher einen Nachteil haben könnten.

Tabelle 9: Erwerbstätige im Inland 2019 (vor der Reform)

Sektor	Bezeichnung	in Tausend	anteilig	Erwerbstätigen-Instensität*
1	Erzeugnisse der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei	580	1,3%	5,8
2	Bergbauerzeugnisse, Steine und Erden	72	0,2%	0,7
3	Nahrungs- und Futtermittel, Getränke und Tabakerzeugnisse	908	2,0%	3,5
4	Chemische und pharmazeutische Erzeugnisse	303	0,7%	0,9
5	DV-geräte, elektronische u. optische Erzeugnisse, elektrische Ausrüstungen, Maschinen	1.691	3,7%	2,4
6	Fahrzeuge	720	1,6%	1,2
7	Sonstige Erzeugnisse des Verarbeitenden Gewerbes	3.065	6,8%	3,1
8	Dienstlg. der Energieversorg., der Wasserversorg., der Entsorgung, usw.	475	1,0%	2,1
9	Bauarbeiten	2.591	5,7%	6,9
10	Handels- und Verkehrsleistg., Dienstleistg. d. Gastgewerbes	10.837	23,9%	9,3
11	Informations-, Kommunikations-, Finanz-, Versicherungs-, Unternehmensdienstg.; Dienstg. des Grundstücks- und Wohnungswesens	9.844	21,7%	4,9
12	Öff. u. sonst. Dienstleistg. einschl. Waren priv. Haushalte	14.191	31,3%	13,7
	Summe	45.277	100,0%	5,7
* Erwerbstätigen-Instensität = Erwerbstätige / Gesamtproduktion x [in Erwerbstätige / Mill. EUR]				

Die Beschäftigungseffekte sind aus Tabelle 8 zu lesen. Für die sektoralen Effekte gilt, dass diese den Veränderungen der Gesamtproduktion entsprechen, da angenommen wird, dass sich die Beschäftigung bzw. die Erwerbstätigenzahl proportional zur realen Gesamtproduktion verhält. Aus diesem Grund sind die sektoralen prozentualen Veränderungen der realen Gesamtproduktion x aus Tabelle 8 zugleich die prozentualen Veränderungen der Erwerbstätigenzahl.

Für die Gesamtentwicklung der Beschäftigung gilt diese Proportionalität allerdings nicht mehr, da die Erwerbstätigenzahlen der Sektoren sehr unter-

schiedlich sind und nicht den sektoralen Gesamtproduktionswerten entsprechen. Für die aggregierte Beschäftigungsentwicklung zeigt sich ein positiveres Bild. Die Ursache dafür sind die hohen Beschäftigungszahlen in den dienstleistungsorientierten Sektoren, insbesondere in den Sektoren 10, 11 und 12.

Es stellt sich eine klare Abhängigkeit der Beschäftigungseffekte von der Konstruktion der Reform heraus: Genau dann, wenn 100% des Steueraufkommens an die Unternehmen zurückgezahlt werden, sind die Beschäftigungseffekte positiv. Wenn nur die Hälfte zurückgegeben wird und somit die andere Hälfte den Haushalten zukommt, entstehen negative Effekte bei der Erwerbstätigenentwicklung. Bemerkenswert ist, dass die weitreichendere Reform mit 400 EUR/t CO₂e mit +2,3% ($\varepsilon = -0,5$) und +2,5% ($\varepsilon = -0,8$) bessere Effekte erzielen als die weniger weitreichende Reform mit +1,0% ($\varepsilon = -0,5$) und +1,1% ($\varepsilon = -0,8$). Diese positiven Effekte werden hierbei durch höhere Steuern verstärkt.

Im ungünstigsten Szenario (400-50-0.8) stehen Erwerbstätigeneinbußen von 4,0% zu Buche. Selbst dieses Extremszenario erscheint vor dem Hintergrund der langen Frist, auf die sich diese Reduktion strecken würde, insgesamt milde. Diese Negativentwicklung würde unter Umständen durch andere Entwicklungen wie etwa Innovationen im Bereich der erneuerbaren Energien oder der Herstellung von effizienteren Produkten kompensiert.

11.4.6.5 Entwicklung des Preisniveaus

Preisniveauentwicklungen werden auf unterschiedliche Arten gemessen. Für die vorliegende Modellierung ist die Perspektive von Haushalten und die gesamtwirtschaftliche Perspektive von Interesse:

1. Inflation des privaten Konsums (Verbraucherpreise): Für Verbraucher:innen ist die Preisentwicklung der für sie relevanten Güter entscheidend. Der Verbraucherpreisindex für Deutschland bspw. berechnet für diese Perspektive die Veränderung der Preise über einen definierten Warenkorb, der regelmäßig angepasst wird.¹⁴⁰
2. Inflation der letzten Nachfrage (BIP): Zur Bewertung der wirtschaftlichen Entwicklung einer Ökonomie insgesamt ist die Preisentwicklung der Ökonomie als Ganze entscheidend, wirtschaftliche Akteur:innen wie

¹⁴⁰ Siehe Bundeszentrale für politische Bildung zum Preisindex allgemein (<https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/20317/preisindex/>, 27.03.2024) und Deutsches Statistisches Bundesamt für eine Erklärung des Verbraucherpreisindex' (https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Verbraucherpreisindex/_inhalt.html, 27.03.2024).

Unternehmen inbegriffen. Dafür wird nicht ein fester Warenkorb genutzt, sondern die Veränderung der Preise aller gehandelten Güter berücksichtigt, wie es der BIP-Deflator macht, der das BIP als Ganzes einbezieht.¹⁴¹

Beide Maße können theoretisch im Rahmen des Input-Output-Modells berechnet werden. Allerdings ist im geschlossenen System des Input-Output-Modells, welches in den Szenarien vorliegt, in denen das Aufkommen vollständig in den Kreislauf zurückfließt, die gesamtwirtschaftliche Preisentwicklung konstruktionsbedingt immer null (Inflation der letzten Nachfrage ist 0%). Die Entwicklung der Verbraucherpreise kann jedoch von der Entwicklung des gesamtwirtschaftlichen Preisniveaus abweichen. Auf die Inflation des privaten Konsums zu achten, ist lohnend, um möglicherweise zusätzliche Belastungen der Haushalte durch eine Preisverschiebung feststellen zu können. Nicht von Relevanz ist die resultierende Inflation bei teilweiser Rückzahlung des Aufkommens, da hier die Aussagekraft fraglich ist. Die Inflation bei teilweiser Rückzahlung wird daher nicht berücksichtigt und das Augenmerk liegt im Folgenden lediglich auf der Inflation des privaten Konsums (Verbraucherpreise) bei vollständiger Rückzahlung.

Die Inflationsrate π_{VP} der Verbraucherpreise berechnet sich wie nachfolgend beschrieben, wobei die Rechnung sektorenweise erfolgen muss und die Inflation sich jeweils aus der gewichteten Summe ergibt. Die Inflationsrate π_{VP} des privaten Konsums (Verbraucherpreise) ist: (für alle Sektoren i)

$$\pi_{VP} = \sum_i \left(\frac{y_{0.1,HH}(i)}{y_0(i)} - 1 \right)$$

Im Kontrast dazu würde sich die Inflationsrate π_{BIP} der letzten Nachfrage (BIP) wie folgt berechnen: (für alle Sektoren i)

$$\pi_{BIP} = \sum_i \left(\frac{y_{0.1}(i)}{y_0(i)} - 1 \right)$$

Tabelle 10 fasst die Ergebnisse zusammen. Wie angekündigt ist die Inflation der letzten Nachfrage (BIP) konstruktionsbedingt jeweils null. Darüber hinaus ist in Tabelle 10 zu sehen, dass die Inflationsraten unabhängig von der Preiselastizität der Nachfrage sind.

141 Siehe Bundeszentrale für politische Bildung zur Erklärung des BIP-Deflators: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/19114/deflator/> (27.03.2024).

Tabelle 10: Preisniveauentwicklungen

	Szenario			
	200		400	
	100		100	
	0.5	0.8	0.5	0.8
Inflation des privaten Konsums (Verbraucherpreise)	0,6%	0,6%	1,2%	1,2%
Inflation der letzten Nachfrage (BIP)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Die Inflationsrate π_{VP} des privaten Konsums weicht stets von der Inflationsrate π_{BIP} der letzten Nachfrage ab, da der private Konsum nur einen Teil der letzten Nachfrage darstellt (neben Staatskonsum, Investitionen und Nettoexporten) und eine andere sektorale Zusammensetzung hat. Die Inflationsrate π_{VP} des privaten Konsums ist positiv und damit höher als die Inflationsrate der letzten Nachfrage (BIP), welche 0,0% beträgt. Zur Erklärung hilft ein Blick auf Tabelle 7: Die Preisanstiege der stärker nachgefragten Sektoren der Haushalte (etwa die Sektoren 1, 3, 8 oder 10) sind höher als die durchschnittliche Preiserhöhung. Vor allem die Sektoren 1 (Landwirtschaft) und 8 (Energie) sind von Preiserhöhungen betroffen. Bei beiden ist der Anteil der Haushaltsnachfrage an der gesamten Nachfrage hoch, womit die Inflationsrate π_{VP} des privaten Konsums zu erklären ist. Nicht überraschend sind die höheren Raten in den Szenarien mit einer Steuer von 400 EUR/t CO₂e gegenüber den Szenarien mit einer Steuer von 200 EUR/t CO₂e. Da alle Effekte größer sind, sind auch die Auswirkungen auf die Inflationsraten höher (1,2% statt 0,6%).

Allerdings sind die Werte von π_{VP} mit maximal 1,2% (bei 400 EUR/t CO₂e) in die lange Frist einzuordnen. Würde die ÖSR zum Beispiel 15 Jahre anvisieren, um die Steuerhöhe von 400 EUR/t CO₂e zu erreichen, würde es sich um eine erhöhte Inflationsrate um 0,08%-Punkte (π_{VP}) pro Jahr handeln. Selbst in den extremen Szenarien ist deshalb an dieser Stelle keine erhebliche Preissteigerung zu erwarten. Die Preisniveauentwicklungen reduzieren nichtsdestoweniger die Effekte der Reform, was in den Analysen zu berücksichtigen ist.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Haushalte durch eine positive Inflationsrate des privaten Konsums zusätzlich belastet sind, das Ausmaß dieser zusätzlichen Belastung jedoch gering ist und nur wenig Rolle bei der Gesamtbewertung der ÖSR spielt.

11.5 Diskussion und Fazit

11.5.1 Ausgewählte Szenarien

Einige Szenarien sind es wert, im Detail betrachtet zu werden. Dazu zählen insbesondere die weniger umfangreichen Szenarien mit einer Steuer von 200 EUR/t CO_{2e}, da diese wahrscheinlicher politisch relevant werden. Hierbei wird insbesondere auf die wahrscheinlicher zutreffende Preiselastizität der Nachfrage von $\varepsilon = -0,5$ eingegangen. Darüber hinaus sind besonders vorteilhafte sowie unvorteilhafte Szenarien in den Blick zu nehmen. Schließlich wird auf ein bislang noch nicht dargestelltes Postwachstumsszenario eingegangen, das besondere Relevanz für eine der übergeordneten Fragestellungen dieser Arbeit hat.

Szenario 200-100-0.5 (realitätsnah und 100% Rückzahlung)

Dieses Szenario ist – genau wie das nächste – im doppelten Sinne realitätsnah: Einerseits ist die Reform weniger umfangreich in der Höhe der Steuer sowie den möglichen Belastungen für Haushalte und Unternehmen. Andererseits ist nicht die höhere Preiselastizität angenommen, sondern diejenige, die realistischer erscheint. Aus diesen Gründen ist dieses genau wie das folgende Szenario von besonderem Interesse.

Durch die volle Rückzahlung waren die geringsten Auswirkungen zu erwarten, was sich nun an den Ergebnissen auch bestätigt. Das vergleichbare Szenario mit der Preiselastizität von $\varepsilon = -0,8$ weist allerdings ähnlich geringe Effekte auf, so beträgt die reale BIP-Entwicklung zum Beispiel in beiden Szenarien 0,0%. Eine höhere Preiselastizität induziert zwar stärkere Reaktionen, die größeren Auswirkungen sind allerdings weiterhin nahe Null.

Die Beschäftigungseffekte insgesamt sind mit +1,0% leicht positiv, insbesondere weil die Sektoren 11 und 12 mit einer hohen Anzahl von Beschäftigten deutliche Steigerungen aufweisen (+2,3% und +4,6%). Diese Sektoren profitieren netto von der ÖSR: Gemessen an den BIP- und Gesamtproduktionseffekten und nicht zuletzt den Auswirkungen auf die Beschäftigung. Das Fazit für dieses Szenario fällt daher positiv aus. Eine derart gestaltete Reform ist für die Wirtschaft als Ganze von Vorteil. Die volle Rückzahlung an die Unternehmen bedeutet jedoch, dass etwaige soziale Brüche nicht aus dem Aufkommen der Reform finanziert werden können.

Szenario 200-50-0.5 (realitätsnah und 50% Rückzahlung)

Durch die geringere Rückzahlung an die Unternehmen verschieben sich die oben beschriebenen Effekte – teilweise leicht ins Negative –, sie sind jedoch weiterhin insgesamt als eher gering einzuschätzen. So liegt die Entwicklung des realen BIP bei $-0,7\%$, die Beschäftigungseffekte bei $-1,6\%$. Als Ursache für die nun negative Beschäftigungsentwicklung kann stellvertretend der Sektor 11 betrachtet werden: Beim vergleichbaren Szenario mit 100% Rückzahlung an die Unternehmen (siehe oben) wurden in diesem Bereich deutlich positive Effekte erzielt ($+2,3\%$), in diesem Szenario sind nun jedoch leicht negative Effekte festzustellen ($-0,2\%$). Statt zunehmender Erwerbstätiger stehen in diesem Sektor nun weniger Erwerbstätige zu Buche. Ähnliche Verschiebungen weisen alle Sektoren auf.

Beim zweiten realitätsnahen Szenario sind somit weniger gute Resultate zu konstatieren. Die leicht negativen Werte bei der Beschäftigung und beim BIP sind jedoch angesichts einer längeren Umsetzungsphase auf mehrere Jahre zu verteilen und deshalb als gering zu beurteilen. Der Vorteil besteht darin, dass 50% des Aufkommens noch zur Verfügung stehen, um bspw. etwaige soziale Härten abzufedern. Das Fazit fällt deshalb auch hier positiv aus.

Szenario 400-50-0.8 (unvorteilhaft)

Als besonders unvorteilhaftes Szenario fällt 400-50-0.8 auf: Es weist sowohl eine hohe Reduktion des BIP ($-2,3\%$) als auch der Erwerbstätigenzahl ($-4,0\%$) auf, was in beiden Fällen die Minimalwerte aller Szenarien sind. Auch die Preisniveauentwicklung mit $4,3\%$ bei Verbraucherpreisen wird von keinem anderen Szenario übertroffen. Der Beschäftigungsrückgang ist in den Sektoren 1 (Landwirtschaft: $-35,6\%$) und 8 (Energie: $-53,5\%$) besonders drastisch. Auch Sektor 10, der zu den arbeitsintensiveren Sektoren gehört, entwickelt sich in dieser Hinsicht mit einer Reduktion der Erwerbstätigen von $7,6\%$ bemerkenswert negativ.

Dennoch ist erneut darauf hinzuweisen, dass sich diese Entwicklungen auf mehrere Jahre strecken würden, womit sich das Gesamtergebnis weiterhin im Rahmen halten würde. Dazu kommt, dass die beiden besonders betroffenen Sektoren (Landwirtschaft und Energie) gesondert mit Maßnahmen bedacht werden müssten, was – politisch gesprochen – auch als wahrscheinlich anzusehen ist. Auf die gleichbleibende Technologie ist aufmerksam zu machen. Die Reduktion im landwirtschaftlichen Bereich würde daher bedeuten, dass ca. ein Drittel der derzeit bewirtschafteten Flächen brachliegen würden, was auch vor dem Hintergrund der durch den Krieg in der Ukraine ausgelösten Getreideknappheit als

nicht wahrscheinlich erscheint.¹⁴² Im Energiesektor ist langfristig große Veränderungen im Sinne der Dekarbonisierung der Energieproduktion zu erwarten. Der starke Rückgang der Beschäftigung sowie der Gesamtproduktion erscheint hier deshalb ebenso wenig einzutreffen.

Szenario 400-100-0.8 (vorteilhaft)

Durch die vollständige Rückzahlung des Aufkommens an die Unternehmen entstehen im ansonsten gleichen Szenario große positive Effekte. Das gilt vor allem für die Zahl der Erwerbstätigen, die insgesamt um 2,5% zunimmt. Die reale BIP-Entwicklung ist mit 0,0% auch der höchste Wert.

Es zeigt sich insgesamt, dass durch die vollständige Rückzahlung summa summarum eher positive Effekte entstehen, durch die 50%ige Rückzahlung dagegen eher negative. Die hohe Steuer und die betragsmäßig hohe Preiselastizität ($\varepsilon = -0,8$) wirken als Hebel, sodass das günstigste und ungünstigste Szenario nur durch die unterschiedliche Art der Rückzahlung verursacht werden.

Im Sinne einer Postwachstumsökonomie ist der Erhalt von hinreichend hoher Beschäftigung von großer Relevanz, die Entwicklung des BIP dagegen weniger entscheidend. Relevanter werden dagegen alternative Messsysteme, wie sie in Kapitel 7.3.4 erwähnt werden. Insofern erweist sich dieses Szenario als interessant; zur Entschärfung von Verteilungsproblemen bleiben bei diesem Szenario jedoch keine Mittel mehr übrig. Eine geringere Rückzahlungsquote an die Unternehmen wäre deshalb vor diesem Hintergrund von Interesse.

Szenario 400-80-0.5 (Postwachstum)

Dieses Szenario adressiert die Überlegungen, die vom vorherigen Szenario ausgegangen sind, und versucht unter realistischen Bedingungen (Preiselastizität der Nachfrage von $\varepsilon = -0,5$) ein Szenario zu formen, bei dem trotz einer weitreichenden Reform (400 EUR/t CO₂e) keine negativen Beschäftigungseffekte entstehen, zugleich aber möglichst viel Aufkommen übrigbleibt, um die Haushalte zu entlasten. Mit 400-80-0.5 ist dieses Szenario gefunden, denn folgende Werte resultieren:

- Veränderung der Erwerbstätigenzahl: +0,1%
- Veränderung des realen BIP: -0,6%

20% des Aufkommens, was bei 400 EUR/t CO₂e die erhebliche Summe von 53,2 Mrd. EUR jährlich bedeutet (Gesamtaufkommen ca. 266 Mrd. EUR), stehen dann

¹⁴² Aus ökologischer Sicht wäre allerdings eine Extensivierung der Landwirtschaft anzustreben, was mit einer höheren Beschäftigung einherginge.

weiterhin zur Entlastung der Haushalte oder andere Zwecke zur Verfügung. Bemerkenswerterweise würde das BIP in diesem Szenario leicht schrumpfen, die Erwerbstätigenzahl aber etwa konstant bleiben. Ein solches Szenario weist einen Weg aus, der, ganz im Sinne der Postwachstumsbewegung, trotz sinkendem BIP die Ökonomie stabil halten könnte.

11.5.2 Reflexion der Ergebnisse

Zur Reflexion der Ergebnisse sind zunächst die Forschungsfrage mit Blick auf die Forschungshypothesen zu evaluieren, um dann weitere Aspekte der Ergebnisse zu reflektieren.

Unter den Sektoren gibt es sowohl positive als auch mit negative insgesamte Preisveränderungen. In sechs Sektoren (1, 2, 3, 4, 7 und 8) entstehen in allen Fällen insgesamte Preiserhöhungen. Herauszuheben sind die Sektoren 1 und 8 in den Szenarien mit 400 EUR/t CO₂e und vollständigem Rückfluss an die Unternehmen mit einer gesamten Preiserhöhung von 28% (Sektor 1) bzw. 50% (Sektor 8). Die meisten Ergebnisse liegen dagegen im geringen einstelligen Prozentbereich. In zwei Sektoren (11 und 12) stehen immer Preissenkungen zu Buche. In den übrigen vier Sektoren (5, 6, 9 und 10) kommt es auf die Reform an.

Durch die Preissteigerung wird in einigen Fällen Inflation induziert: Diese hängt entscheidend davon ab, ob das Aufkommen vollständig an die Unternehmen geht. Das Preisniveau der letzten Nachfrage (BIP) ist bei vollständiger Rückzahlung konstant (0,0% Preisniveauerhöhung), jedoch entsteht bei 50%iger Rückzahlung eine Inflation in Höhe von 1,5-2,9%.

Forschungshypothese i bestätigt sich folglich für die gesamten Preisveränderungen. Dies gilt auch für die sektorale Veränderungen der realen Gesamtproduktion. Sektorale betrachtet gibt es sowohl Sektoren, die immer ein Defizit der realen Gesamtproduktion aufweisen (Sektoren 1, 2, 3, 4, 7, 8 und 10), wie es auch einen Sektor gibt, der in allen Szenarien positive Ergebnisse hat (Sektor 12). Vier Sektoren haben gemischte Ergebnisse (5, 6, 9 und 11). Summa summarum ist das Ergebnis der Gesamtproduktion in jedem Fall negativ, wobei es mit Werten von -6,3% (400-50-0.8) bis -0,5% (200-100-0.5) je nach Szenario ein breites Spektrum gibt. Das reale BIP entspricht jedoch nicht diesem Wert, sondern der letzten Verwendung und verändert sich insgesamt weniger negativ als die Gesamtproduktion. Tatsächlich bleibt bei vollem Einsatz des Aufkommens zur

Reduktion der Arbeitskosten das reale BIP mit 0,0% unverändert, womit Forschungshypothese ii validiert wird. Auch Forschungshypothese iii ist zu bestätigen, da in allen Szenarien mit 100% Rückzahlung an die Unternehmen die Anzahl der Erwerbstätigen zunimmt.

Eine grundlegend andere Situation entsteht, wenn nur 50% des Aufkommens an die Unternehmen zurückgezahlt werden. Für diese Szenarien ist anzumerken, dass die anderen 50% ungenutzt bleiben und insofern dem Kreislauf entnommen werden. Der Rückgang des realen BIP beläuft sich in diesen Fällen auf 0,7% (200-50-0.5) bis 2,3% (400-50-0.8). Auch die Anzahl der Erwerbstätigen sinkt in allen Szenarien mit 50%igem Einsatz des Aufkommens zur Reduktion der Arbeitskosten, von -4,0% (400-50-0.8) bis -1,6% (200-50-0.5). Forschungshypothese iv der 50%igen Aufkommensverwendung wird insofern ebenfalls bestätigt, dass negative Entwicklungen zu verzeichnen sind. Das Ausmaß ist hier allerdings gering, bspw. für das reale BIP liegt der Rückgang für die gesamte Umsetzungsphase der Reform schlechtesten Falls bei 2,3% (400-50-0.8), was bei 15 Jahren ca. 0,15% BIP-Rückgang per anno sind. Die Szenarienergebnisse hängen daher wesentlich vom Einsatz des Aufkommens.

Anhand der Input-Output-Modellierung können Entwicklungen sektorenweise abgebildet und differenzierte Aussagen getroffen werden. Außerdem kann die Wertschöpfung entlang der Produktionskette berücksichtigt und somit Kaskadeneffekte durch Preiserhöhungen realistisch abgebildet werden. Die Wirkungen der ÖSR können auf dieser Ebene daher wesentlich besser als ohne sektorale Aufteilung simuliert werden.

Die Reaktion der Nachfrage beruht auf einheitlichen Elastizitäten. Zum einen sind präzise und aktuelle sektorale Werte schwer auffindbar und auf die durch die Statistikämter angegebenen Sektoren anwendbar, zum anderen besteht ein Grundproblem darin, dass Elastizitäten auf vergangenen Werten beruhen und eher kurzfristige Effekte abbilden. Gerade bei größeren Verschiebungen ist nicht gewährleistet, dass die Ökonomie lediglich im Sinne der Elastizitäten reagieren würde oder ob andere Wirkmechanismen dazu kommen. Auch ist es schwer zu beantworten, ob die Reaktion in der langen Frist größer oder kleiner als durch die Elastizitäten generiert ausfällt: Langfristig größere Effekte könnten dann auftreten, wenn die Wirkungen zunächst unterschätzt würden. Langfristig kleinere Effekte könnten bei einer kurzfristigen Überschätzung auftreten. Bei der Ankündigung einer langfristigen Steuerreform dürfte allerdings Transparenz bestehen und es insofern zu keiner Über- oder Unterschätzung kommen.

Darüber hinaus handelt es sich bei der zwölfgliedrigen Aufteilung weiterhin um eine grobe Kategorisierung. Es könnte sein, dass einzelne Unternehmen sehr stark von der Reform profitieren bzw. sehr stark von der Reform belastet werden. Beide Extreme sind grundsätzlich in den Mittelwerten der Sektorenwerte nicht abrufbar. Die Resultate können im Einzelfall daher extremer sein als es im Modell abgebildet ist. Eine feinere Sektorenaufgliederung könnte diesen Aspekt abmildern und präzisere Effekte darstellen, wenn das Grundproblem auch bestehen bliebe.

Dennoch kann über die Input-Output-Modellierung die Ökonomie sektorenweise berücksichtigt werden, Indikationen über die Sektorenentwicklung als Ganze gegeben werden und wertvolle Richtungsaussagen getroffen werden. Vor dem Hintergrund dieser grundsätzlichen Limitationen bzw. Implikationen der Methodenwahl sind im Folgenden weitere, konkrete Einordnungen insbesondere von sektorenbezogenen Ergebnissen zu diskutieren.

Als zentrale Auffälligkeiten sind zunächst die Entwicklungen in zwei Sektoren festzuhalten: dem landwirtschaftlichen (Sektor 1) sowie dem energieproduzierenden Sektor (Sektor 8). Diese beiden verzeichnen mit deutlichem Abstand die größten Effekte im Hinblick auf BIP und Erwerbsarbeitszahlen. Beiden Sektoren kommt jedoch in der Dekarbonisierung der Volkswirtschaft eine Sonderrolle zu, weshalb es lohnend ist, sie separat zu diskutieren.

Der landwirtschaftliche Bereich ist wenig durch CO₂-Emissionen gekennzeichnet, stattdessen nehmen andere Treibhausgase (insbesondere Methan und Lachgas) eine große Rolle ein. So stammen mit 77% der größte Anteil der Methan-Emissionen und mit 78% auch der größte Anteil der Lachgas-Emissionen im Jahr 2021 in Deutschland aus der Landwirtschaft; die CO₂-Emissionen machen einen Anteil von weniger als 0,5% der THG-Emissionen des Sektors aus.¹⁴³ Im Jahr 2019 entstanden dem Umweltbundesamt zufolge 92% der THG-Emissionen des Sektors durch Verdauung und Tierhaltung (43), Wirtschaftsdünger (17%) und die landwirtschaftlichen Böden (33%).

Trotz der relevanten Höhe lassen sich diese THG-Emissionen nur schwer reduzieren. Insbesondere die Reduktion auf null erscheint trotz weit-

¹⁴³ Der Landwirtschaftssektor des Umweltbundesamts umfasst weniger Emissionen (59,3 Mio. t CO₂e gegenüber 63,2 Mio. t CO₂e (beides 2019)) und ist insofern anders zugeschnitten als der Landwirtschaftssektor aus der 12er Gliederung der Input-Output-Tabelle, die alle Erzeugnisse der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei enthält. Zur groben Orientierung können die prozentualen Angaben des UBA dennoch dienen. Siehe UBA: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft> (27.03.2024).

reichender Maßnahmen beim Weiterbestehen der landwirtschaftlichen Produktion nicht möglich. So wird in gesamtgesellschaftlichen Studien davon ausgegangen, dass sich die Emissionen nicht auf null reduzieren lassen (vgl. etwa Prognos et al., 2020, S. 104–110; es werden mit 44 Mio. t CO₂e im Zieljahr 2050 gerechnet). Auch die Bundespolitik sieht gemäß des Klimaschutzgesetzes von 2019 lediglich vor, die THG-Emissionen bis 2030 auf 56 Mio. t CO₂e zu senken.¹⁴⁴

Die Ergebnisse der Modellierung sind auch deshalb mit Bedacht zu interpretieren, weil der Bereich Landwirtschaft stark subventioniert wird und somit marktwirtschaftliche, preisinduzierte Wirkungen verzerrt werden können.¹⁴⁵

Bei der Einschätzung der Größenverhältnisse ist zunächst festzustellen, dass die zu erhebende THG-Steuer verglichen mit dem Teil des BIP von Sektor 1 sehr hoch ist: Bei einer Steuer von 400 EUR/t CO₂e beträgt die aggregierte THG-Steuer in Sektor 1 25,3 Mrd. EUR, wohingegen der Teil des BIP von Sektor 1 sich auf 40,6 Mrd. EUR beläuft.¹⁴⁶ Die hohe Steuer von 400 EUR/t CO₂e könnte den Sektor überfordern.

Trotz der schwierigen Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Produktion in der EU ist die Versorgung der Bevölkerung mit europäischen Produkten politisch laut der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung gewünscht, sodass beträchtliche Subventionen existieren: Diese belaufen sich auf 45–75%, abhängig von der Struktur eines landwirtschaftlichen Haupterwerbsbetriebs.¹⁴⁷ Die *Gemeinsame Agrarpolitik* (GAP) gehört zu den am stärksten vergemeinschafteten Politikbereichen der EU.¹⁴⁸ An der politischen Erwünschtheit würde eine Steuer nichts ändern, weshalb es nicht sinnvoll erscheint, eine Steuer zu erheben, um diese dann in gleicher Höhe als Subventionen zurückzubezahlen.

144 Onlinezugang zu Anlage 2 (zu § 4) „Zulässige Jahresemissionsmengen für die Jahre 2020 bis 2030“, siehe: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/> (27.03.2024).

145 Siehe Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/warum-wird-die-landwirtschaft-so-stark-subventioniert> (27.03.2024).

146 Jeweils die Werte aus dem Modell, dementsprechend für das Jahr 2019.

147 Siehe Bundesinformationszentrum Landwirtschaft der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/warum-wird-die-landwirtschaft-so-stark-subventioniert> (27.03.2024).

148 Siehe Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/gap/gap_node.html (27.03.2024).

Mit 7 Mrd. EUR (2022) Subventionen für die deutsche Landwirtschaft durch die EU sind hohe staatliche Zuschüsse zu konstatieren.¹⁴⁹ Diese werden allerdings von der bereits genannten Summe der THG-Steuern bei einer Steuer von 400 EUR/CO₂e (25,3 Mrd. EUR im Jahr 2019) um ein Vielfaches übertroffen.

Einer solchen strukturbeeinträchtigenden Maßnahme im Bereich der Landwirtschaft ist deshalb mehr Aufmerksamkeit zu widmen, als dies im Rahmen dieser Modellierung möglich ist; vieles spricht dafür, diesen Sektor einer separaten Analyse zu unterziehen. In Bezug auf die Erwerbstätigenzahlen macht Sektor 1 darüber hinaus nur einen geringen Anteil aus (1,3% aller Erwerbstätigen). Überdies ist beim Blick auf die THG-Emissionen der Landwirtschaftssektor nicht ansatzweise so relevant wie der Energiesektor, in dem über ein Drittel (36%) aller sektoralen THG-Emissionen entstehen.

Der Energiesektor (Sektor 8) stellt ebenfalls eine besondere Situation dar. Kein anderer Sektor ist für so viele THG-Emissionen verantwortlich wie dieser Sektor (36%); relevant sind vor allem die CO₂-Emissionen, die durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern entstehen. Gleichzeitig gibt es gerade für diesen Sektor anspruchsvolle politische Zielsetzungen.

Die Bundesregierung leitet aus der THG-Neutralität bis 2045 ab, die Stromproduktion bis 2035 THG-neutral zu gestalten (BMWK [Hrsg.], 2023). Im Bereich der Stromproduktion sind umfangreiche Maßnahmen vorgesehen: gesetzliche Änderungen zum Ausbau von PV- und Windkraft-Anlagen, die Änderung des Strommarktdesigns, der Netzausbau auf Übertragungsnetzebene, der Netzausbau und die Flexibilisierung auf Verteilnetzebene etc. Gleichzeitig wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz angestrebt, die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien gegenüber 2023 fast zu verdreifachen (BMWK [Hrsg.], 2023, S. 23): von 250 Terawattstunden (TWh) auf 700–750 TWh. Die Strategie der Energieeffizienz, die zentral für die anderen Sektoren ist, steht hier insofern nicht im Vordergrund – gerade beim Strom geht es um eine andere Produktionsweise und nicht um Verbrauchsreduktion.

Die negativen Prognosen für Sektor 8 der Modellierung wären nur ohne eine der genannten Maßnahmen zu erwarten und sind deshalb zu relativieren. Die benannten Umbauarbeiten kommen auf Modellebene einer Veränderung der

¹⁴⁹ Siehe EU-Subventionen für die deutsche Landwirtschaft 2022, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft vom 23.05.2023: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/direktzahlung/veroeffentlichung-eu-zahlungen.html> (27.03.2024).

Technologiematrix gleich. Da diese im vorliegenden Modell jedoch unberücksichtigt bleiben, sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu lesen. Nach dem Umbau des Energiesystems ist es sogar denkbar, dass Energie günstiger wird (Umbaukosten außen vorgelassen), was wiederum weitreichende Folgen hätte (vgl. Rifkin, 2014).

Somit sind die beiden durch die Modellierung am stärksten negativ betroffenen Sektoren als Spezialfälle zu betrachten, die realen Effekte könnten gerade hier deutlich positiver ausfallen, als es die modellierten Ergebnisse vermuten lassen.

Jenseits dieser Sektoren ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen im Rahmen der Modellierung bemerkenswert, denn auffallend ist, dass sich die Beschäftigung nicht zwangsläufig gleichgerichtet mit dem BIP entwickelt. Dies hat zweierlei Hintergründe: Zum einen verhält sich die Beschäftigung nicht proportional zum BIP (y), sondern zur Gesamtproduktion (x). Zum anderen werden die Sektoren differenziert: Es zeigt sich, dass die arbeitsintensiven Sektoren von der Reform profitieren können. In diesem Fall kann eine kleine Veränderung am BIP eine größere Veränderung an der Beschäftigung verursachen. Dies kann als Chance begriffen werden, da mit der Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge tendenziell die arbeitsintensiven Branchen entlastet werden, was insbesondere in den Sektoren 10, 11 und 12 auch so zu beobachten ist.

Die Sektoren 10, 11 und 12 machen über 77% der Gesamtbeschäftigung aus. Die Entwicklungen dieser Bereiche sind daher besonders relevant. Sektor 12 (Öffentliche und sonstige Dienstleistungen einschließlich Waren privater Haushalte) ist hierbei hervorzuheben: Er macht über 31% der Gesamtbeschäftigung aus und erzielt in allen Szenarien positive Beschäftigungseffekte, was ihn zu einem Treiber positiver Beschäftigungseffekte macht. Würde der Bewertungsrahmen der Reform auf die Erwerbstätigenzahl beschränkt, würde sich der Erfolg der Reform zentral an den Sektoren 10, 11 und 12 entscheiden; kleinere negative Entwicklungen in anderen Sektoren wären dagegen vernachlässigbar.

Jedoch könnte die Reform unter Umständen einen weiteren Wandel in Richtung einer Dienstleistungsgesellschaft und damit eine Deindustrialisierung begünstigen, denn erhöhte Kosten für THG-Emissionen bei gleichzeitig geringen Kosten von Personal stellt für Unternehmen einen Anreiz dar, mehr personalintensive, wirtschaftliche Tätigkeiten zu verfolgen.

Auf Ebene der OECD-Länder hat sich zwar in den vergangenen Jahren (2011–2021) keine relevante weitere Verschiebung hin zum tertiären Sektor abgezeichnet. Deutschland hat jedoch im Vergleich mit anderen OECD-Ländern

(etwa mit Italien, Frankreich, Vereinigtes Königreich oder den USA) das geringste Niveau von Dienstleistungen an der Gesamtwertschöpfung (tertiärer Sektor anteilig am BIP: 62,4% (2019), 63,3% (2020) und 62,9% (2021)).¹⁵⁰ Eine solche Reform könnte aber eine Verschiebung hin zum tertiären Sektor anstoßen, sodass Deutschland womöglich zu den hohen Werten des Dienstleistungssektors anderer Länder (zum Beispiel USA mit 77,6% (2021)) aufschließen würde.

Diese Prozentzahlen machen deutlich, dass, gemessen am Anteil der Wertschöpfung am BIP, der wichtigste Bereich für Deutschland bereits heute der tertiäre Bereich ist und die Rolle des sekundären Bereichs bzw. der Industrie, welche in den öffentlichen Debatten eine zentrale Position einnimmt, nicht überschätzt werden sollte. Im Rahmen anknüpfender Forschungsfragen erscheint es lohnend, der Industrie im Sinne des produzierenden Sektors weitere Aufmerksamkeit zu widmen, um ggf. im Rahmen der Input-Output-Modellierung besonders die Exportströme differenzierter aufzuschlüsseln.

Beim Blick auf Dienstleistungen könnte die ÖSR der Entwicklung einer Postwachstumsgesellschaft zugutekommen. In einer Postwachstumsgesellschaft gibt es viele Tätigkeiten, die personalintensiv sind, so zum Beispiel Reparaturen, denen eine große Rolle zukommt (vgl. Schmelzer et al., 2022, S. 229–237; oder in einer konkreten Vision: Paech, 2012). Wenn diese günstiger werden, könnte das Entwicklungen zugunsten einer Postwachstumsgesellschaft ermöglichen. Um dieses Szenario in die Postwachstumsüberlegungen insgesamt einzuordnen, wird es in der abschließenden Diskussion in Teil IV aufgegriffen.

Bei der Ausgestaltung der Rückzahlung ist kein klares Ergebnis festzuhalten, außer, dass alles zwischen den zwei modellierten Varianten von 50% und 100% Rückzahlung realisierbar erscheint. In jedem Fall sollte separat an soziale Maßnahmen gedacht werden. Dafür liegt es nahe, nicht 100% an die Unternehmen zurückzuzahlen, um weiteren Spielraum für Entlastungen von Haushalten zur Verfügung zu haben. Genauso wäre aber eine begleitende, in sich kostenneutrale Einkommenssteuerreform denkbar, um die Verteilungseffekte zu begleiten.

Bei den Benefits, wie bspw. den gewonnenen Arbeitsplätzen, ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese transformativen Effekte nur so lange eintreten, wie die Reform in der Umsetzung begriffen ist. Wenn sich die Wirkungen vollständig realisiert haben, bleiben die zuvor vorhandenen Probleme bestehen. So

150 Siehe Daten der Weltbank: <https://data.worldbank.org/indicator/NV.SRV.TOTL.ZS?locations=DE-FR-GB-US-IT> (27.03.2024).

ist etwa nicht zu erwarten, dass die Fragen des langfristigen Erhalts von Arbeitsplätzen in der Volkswirtschaft auf eine neuartige Weise gelöst werden könne. Dennoch kann die ÖSR in der kurzen bis mittleren Frist Linderung verschaffen und Druck beim Lösen dieser persistenten Herausforderung abbauen. Nicht nur aufgrund dieses Szenarios erscheint die weitere Verfolgung dieses Reformansatzes in seinen Grundsätzen lohnend.

11.5.3 Anknüpfende Forschungsfragen und Modellerweiterungen

Mit Blick auf zukünftige Modellierungen wäre es aufgrund der besonderen Situation des landwirtschaftlichen und des energieproduzierenden Sektors interessant, diese Sektoren gesondert zu betrachten. Sektor 1 könnte von der Steuer ganz ausgenommen oder lediglich der Teil der CO₂-Emissionen berücksichtigt werden, während andere THG-Emissionen ausgelassen werden.

Die Situation ist bei Sektor 8 bedeutend schwieriger im Rahmen der Input-Output-Analyse zu berücksichtigen. Es wurde klar, dass umfassende strukturelle Veränderungen zur Erreichung der Klimaziele in Deutschland erwartet werden können und teilweise im Gang sind (vgl. BMWK [Hrsg.], 2023). Daher stellt sich die Frage, ob und wie technologische Anpassungen im Sinne einer Reduktion der THG-Intensität zur Energieproduktion in Sektor 8, entgegen der verbreiteten Handhabe, in die Input-Output-Modellierung aufgenommen werden können. Die Fragen nach der Höhe und Geschwindigkeit dieses Transformationsprozesses stellen sich. Darüber hinaus wird damit das Problem aufgeworfen, wie mit der auch auf die eine oder andere Weise stattfindenden technologischen Entwicklung der anderen Sektoren umgegangen werden kann – was umso anspruchsvoller zu beantworten sein wird. Dennoch wären auch hier zumindest grobe Abschätzungen von hohem Interesse.

In diesem Zusammenhang wäre auch über eine Modellerweiterung auf einen längeren Zeitraum mit mehreren Perioden nachzudenken. Hierbei wären auch technologische Veränderungen notwendigerweise zu berücksichtigen, das heißt, die Technologiematrix zu endogenisieren. Die nachfolgende agentenbasierte Modellierung setzt aus diesem Grund hier an. Doch eine Berücksichtigung sich anpassender Technologie könnte auch im Rahmen der Input-Output-Analyse fruchtbar sein, insbesondere um sektorale Technologieeffekte aufdecken zu können.

Weitere Einblicke könnte auch eine größere Anzahl der Sektoren geben. Eine höhere Disaggregation ermöglicht im Allgemeinen präzisere Aussagen über

betroffene Bereiche, da bei heterogenen Sektorenaufteilungen Teile eines Sektors (Unterbranchen) profitieren können, während anderen Teilen des gleichen Sektors Verluste zuteilwerden. In diesem Fall führt die Zusammenlegung verschiedener Teile zu einer Verschleierung der Disparitäten.

Darüber hinaus wäre es grundsätzlich reizvoll, der Frage der Auswirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit vertiefend nachzugehen. Dazu zählen vor allem die Perspektiven verschiedener Messvarianten: Neben den verschiedenen Möglichkeiten der preislichen Wettbewerbsfähigkeit wären auch andere, nichtpreisliche Indikatoren zu integrieren. Eine Überlegung wäre hierbei, ob nicht mehr Fokus auf den Außenhandel gelegt werden könnte, da die inländischen Effekte von der nationalen Regierung mit anderen Maßnahmen, vor allem sozialen Kompensationen, abgedeckt werden können. In diesem Fall könnte bspw. die Exportabhängigkeitsquote berechnet werden.¹⁵¹ Auf Grundlage der vorhandenen Modellergebnisse könnte eine eigene Variante einer Exportabhängigkeitsquote konstruiert werden und der Frage nachgegangen werden, was bei THG- und damit Energiepreiserhöhung mit Exporten und damit der Beschäftigung im Inland geschieht.

11.5.4 Fazit

Als Resümee ist zu ziehen, dass die Szenarienergebnisse wesentlich vom Einsatz des Aufkommens abhängen. Die sektoralen Ergebnisse werden insbesondere davon bestimmt, wie groß die Rolle des Kostenfaktors Arbeit ist. In mehreren Szenarien waren geringere negative Entwicklungen zu beobachten, wenn auch über viele Jahre gestreckt. Diese können mit Blick auf die Wettbewerbsfähigkeit der jeweiligen Sektoren sowie dem Land als Ganzes kritisch gesehen werden. Doch die Befassung mit dem Thema der Wettbewerbsfähigkeit von Volkswirtschaften hat gezeigt, dass es nicht nur auf möglichst geringe Preise ankommt. Stattdessen gibt es eine Vielzahl an Ansätzen, wie Wettbewerbsfähigkeit gefasst werden kann und eine Vielzahl von Einflussfaktoren erweisen sich als relevant (vgl. Fischer & Hossfeld, 2014; Fischer et al., 2018; Schwab et al., 2020; Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a; IMD [Hrsg.], 2023).

¹⁵¹ Definition des Statistischen Bundesamtes: „Die exportabhängigen Erwerbstätigen umfassen neben den Erwerbstätigen, die direkt in der Exportgüterproduktion arbeiten, auch die Erwerbstätigen, die Vorleistungsgüter für die Exportgüterproduktion im Inland produzieren.“, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Globalisierungsindikatoren/schuesselindikatoren.html> (05.01.2024).

Bei dieser Input-Output-Modellierung handelt es sich um eine Adhoc-Einführung der Steuern, in der Praxis würden sich die potenziellen negativen Effekte auf einen längeren Zeitraum (ca. 10–15 Jahre) strecken. Alle Szenarien erscheinen daher realisierbar, einschließlich derjenigen mit einer Steuer von 400 EUR/t CO₂e. Das gilt umso mehr, weil abmildernde Einflüsse wie begleitende Maßnahmen, ausländische Klimaschutzbemühungen bzw. Erhöhungen des THG-Preises und Anpassungen der inländischen Unternehmen auf die neuen Rahmenbedingungen wahrscheinlich sind und es sich in diesem Sinne um eine Worst-Case-Analyse handelt.

Die Reformidee der ÖSR hat sich anhand der Input-Output-Modellierung aus verschiedenen Perspektiven als wertvoll erwiesen, weiter verfolgt zu werden: Positive Beschäftigungseffekte sind möglich; die Gewinnung von zusätzlichen Mitteln zur Verwendung von Zwecken für den sozialen Ausgleich ist grundsätzlich gegeben; sofern gewünscht, sind bei entsprechender Ausgestaltung positive Wachstumseffekte möglich – selbst bei der Umsetzung weitreichender THG-Steuern mit 400 EUR/t CO₂e; und schließlich sind die problematischsten Entwicklungen in denjenigen Sektoren, die aus den diskutierten Gründen als Spezialfälle zu betrachten sind und zusätzliche analytische Aufmerksamkeit benötigen.

12 Technologische Effekte in der langen Frist (agentenbasiertes Modell)

12.1 Einführung

12.1.1 Vorüberlegungen

Geänderte finanzielle Anreize können nicht nur eine Verschiebung der Nachfrage zwischen den Sektoren bedeuten, sondern in der langen Frist auch die technologische Entwicklung in eine andere Richtung lenken.

Die Frage, ob technologische Entwicklungen durch staatliche Interventionen wie zum Beispiel durch Subventionen induziert werden können, wurde in Deutschland mit der Einführung des EEG im Jahr 2000 öffentlich diskutiert. Im EEG aus dem Jahr 2000 wurde unter anderem die Subventionierung der Stromeinspeisung durch Solarkraftanlagen geregelt. Eine vom Bundestag eingesetzte Expertenkommission konnte im Jahr 2014 keine „messbare Innovationswirkung“ feststellen.¹⁵² Dem widersprachen daraufhin sowohl das Bundeswirtschaftsministerium als auch mehrere Wissenschaftler im Rahmen eines Expertenstatement des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung: „Die Unterzeichner kommen dabei zu dem Schluss, dass das EEG sehr wohl Innovationswirkung erzeugt und die Erneuerung der Energiesysteme unterstützt hat.“¹⁵³ Auch Samadi et al. (2013) kommen bspw. zum Schluss, dass diese Subvention ein zentraler Grund für die schnelle Verbesserung der Effizienz der PV-Module ab 2000 waren. Diese öffentliche Debatte zeigt nicht nur die Uneinigkeit, sondern auch die Wichtigkeit dieser Thematik.

Für den Blick auf die sektoralen Effekte sowie auf die Kostenerhöhungen und -senkungen und den Wechselwirkungen im Außenhandel wurde im vorherigen Kapitel ein Input-Output-Modell erstellt, technologische Veränderungen wurden jedoch ausgenommen. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel der Frage der Auswirkungen der ÖSR auf technologische Entwicklungen in der langen Frist nachgegangen.

¹⁵² Siehe Frankfurter Allgemeine Zeitung (<https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftspolitik/oekostrom-regierungsberater-wollen-eeg-abschaffen-12820227.html>, 27.03.2024) und Bundeswirtschaftsministerium (<https://www.bmwk-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2014/05/Meldung/bundesregierung-weist-eeg-kritik-der-expertenkommission-forschung-innovation-zurueck.html>, 27.03.2024).

¹⁵³ Siehe Webarchiv (ursprünglich Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2014): <https://web.archive.org/web/20140519002224/http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/service/presseinfos/2014/EFI-Expertenstatement.php> (27.03.2024).

12.1.2 Forschungsfragen und -hypothesen

Die übergreifende Fragestellung ist, wie sich die Technologie im Sinne der Input-Output-Verhältnisse verändert, wenn sich die Anreize für technologische Entwicklungen aufgrund der Einführung der ÖSR verändern. In drei Teilen werden drei unterschiedliche Themen bearbeitet. Jeder dieser Teile hat eigene Forschungshypothesen. Folgende Forschungsfragen werden mithilfe der Szenarioanalyse adressiert:

Szenarien A:

Wie unterscheidet sich die Wirkung auf technologische Entwicklungen bei den folgenden Szenarien: keine Reform, ÖSR und Ökobonus? Die folgenden Forschungshypothesen gilt es zu prüfen:

- A.i Durch die Preissteigerungen der ÖSR und des Ökobonus⁴ wird erwartet, dass die Unternehmen auf diese finanziellen Anreize reagieren, die technologische Entwicklung beeinflusst wird und eine größere Reduktion der THG-Emissionen erzielt wird (vgl. unter anderem Samadi et al., 2013; Jin et al.; 2022).
- A.ii Die Effekte auf die THG-Emissionen werden bei der ÖSR und dem Ökobonus ähnlich erwartet, da in beiden Fällen die gleichen THG-Preise eingeführt werden.
- A.iii Die Effekte auf die Arbeitsnachfrage werden der ÖSR-Literatur entsprechend (vgl. unter anderem Bosquet, 2000; Maxim & Zander, 2019; van der Ploeg et al., 2022) bei der ÖSR am günstigsten erwartet, da in diesem Szenario die Arbeitskosten reduziert werden und gleichzeitig die THG-Emissionen verteuert werden. Diese Wirkung wird in abgeschwächter Form auch beim Ökobonus erwartet, da auch hier eine relative Kostenverschiebung zugunsten der Arbeit stattfindet.

Szenarien B:

Das Modell dieses Kapitels hat einen Schwerpunkt auf technologischer Entwicklung. Mit den Szenarien B soll der Frage nachgegangen werden, ob einzelne Modellannahmen der technologischen Entwicklung signifikante Unterschiede verursachen können. Dazu gehört auch die Frage, unter welchen Annahmen über die technologische Entwicklung die THG-Emissionen entsprechend den nationalen Klimazielen reduziert werden können. Die folgende Forschungshypothese gilt es zu prüfen:

- B.i Die Veränderung der Kostenanreize über die THG-Steuer und den Arbeitskosten ist nicht ausreichend, um die THG-Reduktionen den Klimazielen entsprechend zu erreichen (vgl. Amendola et al., 2024), so dass es zusätzlich einer Steigerung der grundsätzlichen Geschwindigkeit der technologischen Entwicklungsfähigkeit bedarf.

Szenarien C:

Wie unterscheidet sich die Wirkung auf technologische Entwicklungen bei unterschiedlichen Arten der Erhöhung der THG-Steuer in der langen Frist? Ist ein linearer, quadratischer oder beschränkt-wachsender Kurvenverlauf der THG-Steuererhöhung günstiger im Sinne der Reduktion der THG-Emissionen und der Effekte auf Arbeit? Als Forschungshypothese ist daher zu formulieren:

- C.i Es wird erwartet, dass die Anreize dann am stärksten sind, wenn frühzeitig hohe THG-Steuersätze vorliegen. Die größten Effekte der technologischen Entwicklung werden daher beim beschränkt-wachsenden Kurvenverlauf erwartet, die kleinsten Effekte beim quadratischen Kurvenverlauf, die Effekte des ansonsten angenommen linearen Pfads dazwischen.

Da technologische Veränderungen mit anderen Größen in Interaktion stehen, sind auch die Effekte auf die Produktion, den Umsatz und die resultierenden Größen, THG-Emissionen und Beschäftigung, in den Blick zu nehmen.

In diesem Kapitel werden mögliche Effekte der oben genannten Fragestellungen modellbasiert mithilfe der Szenarioanalyse untersucht. Das Zusammenspiel von Technologie bzw. technologischen Verbesserungen, Wettbewerb und Verhaltensweisen der Akteure auf Mikroebene wird simuliert, um die Makroeffekte in der langen Frist sichtbar zu machen. Hierfür erweist sich die agentenbasierte Modellierung als besonders geeignet. Diese Modellierungsart wird daher eingeführt und die zentralen Charakteristika erläutert.

Der Schwerpunkt der Fragestellungen und der Modellierung liegt auf qualitativen Aspekten, das heißt im Speziellen der Richtung des technologischen Fortschritts. Das Ausmaß der Wirkung einer ÖSR ist nichtsdestotrotz von Relevanz, weshalb zusätzlich die quantitativen Entwicklungen anhand von deskriptiven Statistiken in den Blick genommen werden. Daraus sollen Abschätzungen und Einordnungen der Größen ermöglicht werden.

Nachfolgend wird zunächst auf die wissenschaftliche Literatur an der Schnittstelle der Themenbereiche Technologie, Wettbewerb und Klima insbe-

sondere mittels agentenbasierter Modellierung eingegangen. Der Modellierung wird ein Teilkapitel vorangestellt, in dem die bereits erwähnten deskriptiven Statistiken zur technologischen Entwicklung verschiedener Länder erörtert werden.

12.2 Forschungsstand: gelenkte technologische Entwicklung

12.2.1 Technologie in ökonomischen Modellen

Zunächst stellt sich die Frage, was unter Technologie und technologischer Entwicklung zu verstehen ist. In ökonomischen Modellen wird Technologie häufig, wie unter anderem dem neoklassischen Wachstumsmodell (auch als Ramsey-Cass-Koopmans-Modell bekannt, siehe Ramsey, 1928) und vielen Modellen, die auf dieser Grundstruktur aufbauen, über Parameter in der Produktionsfunktion erfasst (vgl. Vetter, 2016, S. 4–33). Eine auf die zwei Inputfaktoren Kapital und Arbeit aufbauende Produktionsfunktion $F(K, L)$ kann Technologie an verschiedenen Stellen berücksichtigen:

$$Y = a_Y \cdot F(a_K K, a_L L),$$

wobei a_Y , a_K und a_L mögliche Technologieparameter sind. Dabei ist eine kapitalerweiternde Technologie a_K (das heißt, $Y = F(a_K K, L)$), eine arbeitserweiternde Technologie a_L (das heißt, $Y = F(K, a_L L)$) und eine neutrale Technologie (das heißt, $Y = a_Y \cdot F(K, L)$) möglich, wobei die letztgenannte Variante keine große Verbreitung aufweist.

Der wesentliche Teil der herkömmlichen Modelle implementiert Technologie als exogenen Faktor, davon abweichend existieren jedoch ebenfalls Modelle mit endogenem Wachstum (Romer, 1987, 1994). Je nach Modellierungsrichtung und Modelltypologie unterscheidet sich die Art und Weise der Implementierung von Technologie und technologischer Entwicklung. In neoklassischen Modellen wurde Barro und Sala-i-Martin (1995, S. 18) zufolge in den 1950er und 1960er Jahren Technologie als Residuum eingeführt, um neben Kapitalakkumulation eine weitere Ursache für langfristiges Wachstum zu erhalten.

Aufgrund der Flexibilität bestehen bei agentenbasierten Modellen zahlreiche Möglichkeiten, Technologie zu etablieren (vgl. unter anderem Gerst et al., 2013; Wolf et al., 2013; Hötte, 2020; Lamperti et al., 2020), wobei die oben dargestellte Variante ebenfalls möglich ist. Die Substitution von Inputfaktoren der Produktion ist ein Unterschied zwischen herkömmlichen neoklassischen Modellen,

etwa bei einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit hohen Substitutionsmöglichkeiten, und agentenbasierten Modellen, in denen häufig feste Verhältnisse der Inputfaktoren verwendet werden.

Es gibt grundsätzliche Kritik technologischer Entwicklung als Lösung aller Umweltprobleme, so unter anderem aus wachstumskritischer Perspektive (vgl. Paech, 2012; Schmelzer & Vetter, 2019). In einer Übersicht resümieren Parrique et al. (2019, S. 49–52), dass die bisherige technologische Entwicklung unzureichend und unangemessen ist, um die zur Lösung der Umweltprobleme erforderliche Entkopplung des BIP vom Umweltverbrauch zu erreichen. Darüber hinaus konstatieren Parrique et al. (2019, S. 40ff), dass technologische Entwicklung zur Verschiebung von Problemen führen kann, da die technische Lösung des einen Problems, ein anderes Umweltproblem generieren kann. Daher ist auch der Frage nachzugehen, inwieweit die aktuelle technologische Entwicklung ausreichend ist bzw. inwieweit sie gesteigert werden müsste, um anspruchsvolle Klimaziele zu erreichen.

12.2.2 Verschiedene Arten von Technologiemodellen

Neben unterschiedlichen Modellierungstraditionen gibt es verschiedene Aspekte und Fragerichtungen, die beim Überthema technologische Entwicklung verfolgt werden können. Einerseits gibt es eher mikroökonomisch orientierte Themen, wie zum Beispiel die Fragen der Pfadabhängigkeit von technologischer Entwicklung inkl. möglicher Lock-in-Situationen (vgl. Dosi, 1982; Arthur, 1988; Unruh, 2000). In diesen mikroökonomischen Bereich sind auch die Themen von Absorptionsfähigkeit von Organisationen oder Unternehmen, das heißt, der Fähigkeit externe Informationen aufzunehmen und zu verarbeiten, von Cohen und Levinthal (1990) zu zählen. Über das Thema der Absorptionsfähigkeit können die Hintergründe konkreter technologischer Entwicklung als Such- und Lernprozess gefasst werden.

Andererseits gibt es eher makroökonomisch orientierte Themen. Hier ist die Transitionforschung zu nennen, die die erforderlichen Voraussetzungen für *Transitions* und Wandel untersucht und mögliche Übergangspfade in den Blick nimmt (vgl. Geels & Schot, 2007; Jacobsson & Bergek, 2011). Auch der Themenstrang *Technology Diffusion and Adoption* mit den Fragen der Einführung, Verbreitung und Übernahme von neuen Technologien in verschiedenen Volkswirtschaften (bspw. Comin & Hobijn, 2010) ist eher makroökonomisch einzuordnen.

Gräbner et al. (2021) adressieren die Thematik der technologischen Verbesserungen insbesondere auf Unternehmensebene mit dem Begriff der Fähigkeitsakkumulation (engl. „Capability Accumulation“), das heißt der Anhäufung neuer technologischer Fähigkeiten von Unternehmen. Dabei geben sie eine Übersicht der umgesetzten Varianten von technologischer Entwicklung bzw. Fähigkeitsakkumulation in endogenen Wachstumsmodellen und agentenbasierten Modellen (Gräbner et al., 2021, S. 3ff). In endogenen Wachstumsmodellen wird demzufolge bspw. bei Grossman and Helpman (1991b, 1991a) und Aghion and Howitt (1992) in F&E investiert, um temporäre Monopoleinkünfte zu erzielen. Im Modell von Rivera-Batiz and Romer (1991) können durch Investitionen in bessere Inputs Produktionskosten gesenkt werden. Bei Romer (1990) dagegen hängt die Fähigkeitsakkumulation an Wissenschaftler:innen, die benötigt werden, um die Produktivität zu steigern.

Die von Gräbner et al. (2021, S. 5) zusammengestellten agentenbasierten Modellen enthalten alle probabilistische Elemente, wie bspw. bei Dosi et al. (2019) und Caiani et al. (2019), in deren Modelle in F&E investiert wird, um die Wahrscheinlichkeit von Arbeitsproduktivitätssteigerungen zu erhöhen. Auch bei Ciarli et al. (2018) wird in F&E investiert, um die probabilistische Innovationsstätigkeit zu steigern und damit die erwarteten Gewinne zu maximieren; die Innovationen der unterschiedlichen Unternehmenstypen haben dabei unterschiedliche Effekte (höhere Arbeitsproduktivität und höhere Produktqualität). Im Modell von Rengs et al. (2020) kann zwischen zwei Investitionsmöglichkeiten gewählt werden: zum einen gibt es Investitionen in grüne F&E zur Senkung der Kohlenstoffintensität, zum anderen gibt es Investitionen in braune F&E zur Steigerung der Arbeitsproduktivität.

Vor dem Hintergrund der in diesem Papier erarbeiteten Strategien zur Integration von „Prozessen der Fähigkeitsakkumulation“ in makroökonomische Modelle halten Gräbner et al. den Rahmen der agentenbasierten Modellierung für „am vielversprechendsten“, um empirische Erkenntnisse besser in makroökonomische Modelle zu integrieren (Gräbner et al., 2021, S. 15).

Das Interesse der vorliegenden Arbeit ist vor allem die Richtung und das Ausmaß der technologischen Entwicklung und die Frage, wie diese gelenkt werden können. Hier sind die Arbeiten von Acemoglu unter dem Begriff *Directed Technological Change* bzw. *Directed Technical Change* zu nennen (Acemoglu, 1998b, 2002a, 2002b, 2003; Acemoglu et al., 2012) und aufgrund ihrer zentralen Rolle in diesem Themenfeld näher zu betrachten.

12.2.3 Gelenkte technologische Entwicklung

Im Allgemeinen erscheint klar, dass es bei technologischen Entwicklungen mehrere Möglichkeiten und Pfade gibt. Dosi (1982, 1988) zufolge wird die Richtung des technologischen Wandels vom technologischen Paradigma vorgegeben, welches seinerseits dadurch bestimmt ist, was gesellschaftlich unter den zu lösenden technologischen Problemen verstanden wird. In Bezug auf die Klimathematik kann dieses Problemverständnis bspw. durch das zunehmende Bewusstsein, THG-Emissionen zu reduzieren, verändert werden. Diese verschiedenen Richtungen gilt es auch auf Modellebene zu integrieren. Im neoklassischen Wachstumsmodell gibt es bspw. nur eine Variable für den technologischen Fortschritt, womit es nur schlechtere oder bessere Technologie geben kann, nicht aber verschiedene Richtungen. Das heißt, um Technologiepfade auf Modellebene zu ermöglichen, muss es mindestens zwei Technologievariablen geben. Dann stellen sich nicht nur die Fragen, welches Ausmaß die technologische Entwicklung hat und wie es gesteigert werden kann, sondern auch die Fragen, welche Richtungen möglich und wünschenswert sind und über welche Bedingungen eine Lenkung erreicht werden kann. Zur Umsetzung dieser Mehrdimensionalität ist ein naheliegender Ansatz, einen zweiten Technologieparameter einzuführen, sodass ein Feld an Möglichkeiten aufgespannt wird. Hierbei sind die Arbeiten von Acemoglu (1998b, 2002a, 2003) grundlegend.

Vetter (2016, S. 18–23) fasst den Mechanismus des technologischen Fortschritts verschiedener Modelle von Acemoglu (1998b, 2002a, 2003) folgendermaßen zusammen: Es gibt zwei symmetrische Sektoren A und B mit zwei Produktionsfaktoren a und b und zwei korrespondierenden Technologieparametern. Sektor A produziert produktionsfaktor-a-intensive Güter (zum Beispiel arbeitsintensiv), Sektor B produziert produktionsfaktor-b-intensive Güter (zum Beispiel kapitalintensiv).

Für diese zwei Produktionsfaktoren lassen sich je nach Fragestellung unterschiedliche Variablen einsetzen. So gibt es Modelle zu den Inputfaktorpaaren Kapital/Arbeit, gering/hoch qualifizierte Arbeit und Arbeit/natürliche Ressourcen. Die technologische Entwicklung wird dabei von Profitabilitätsaspekten geleitet. Um auf den Absatzmärkten möglichst als Monopolist aufzutreten, haben Unternehmen den Anreiz in die Entwicklung zu investieren. Da es für jeden Inputfaktor eine Technologievariable gibt, spannt sich ein Feld für die technologische Entwicklung auf. Tendenziell lohnt es sich mehr, in die Technologie des knapperen Gutes

zu investieren. Darüber hinaus lohnt es sich für Sektor A tendenziell mehr in die Technologie des produktionsfaktor-a-intensiven Gutes zu investieren.

Mit der dargestellten Modellmechanik kann auch die Frage gestellt werden, wie ein Pfad von hohem ressourcen-erweiternden technologischen Wandel eingeschlagen werden kann, wenn für die Produktionsfaktoren das Paar Ressourcen/Arbeit gewählt wird (Acemoglu et al., 2012). Für die Ergebnisse des Modells ist hierbei erneut die Frage zentral, ob die Inputfaktoren natürliche Ressourcen und Arbeit Substitute oder Komplemente sind. Nimmt man Komplemente an, was bei diesem Paar realistischer erscheint, dann hat ein höheres Arbeitsangebot weniger Innovationen im arbeitsintensiven Sektor und damit mehr Innovationen im ressourcenintensiven Sektor zur Folge.

Im Kontext von Umweltthemen wird die Steigerung der ressourcen-erweiternden Technologie gegenüber der arbeits-erweiternden Technologie angestrebt, um den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. In diesem Fall könnte im Modell von Acemoglu et al. (2012) das Ressourcenangebot reduziert werden, um relative Knappheit auch beim ressourcenintensiven Gut und damit eine Preissteigerung herzustellen. Damit würden zwei Anreize entstehen: zum einen würde die Investition in die ressourcen-erweiternden Technologie attraktiver werden. Zum anderen würde es Anreize geben, den Inputfaktor Arbeit zu erhöhen, was bedeutet, dass es Anreize für höhere Beschäftigung gibt. Diese Mechanik ist bemerkenswert, da die Senkung des Umweltverbrauchs bei gleichzeitiger Erhöhung der Beschäftigung auch das Ziel der ÖSR ist (doppelte Dividende). Das Modell von Acemoglu et al. (2012) deutet darauf hin, dass die Beschäftigung selbst dann zunehmen könnte, wenn durch die Reform der Faktor Arbeit nicht entlastet wird, sondern ausschließlich eine Zusatzbelastung im Umweltbereich besteht.

Der Zusammenhang, dass die Investitionen zur Verbesserung der Technologie eher in das knappere Gut eingesetzt werden, existiert allgemein und firmiert unter der *Hypothese der induzierten Innovation* (engl. „Induced Innovation Hypothesis“), welche auf Hicks (1932) zurückgeht. Naqvi und Stockhammer (2018) zufolge stützen sich endogene Wachstumsmodelle in der Regel auf die Hypothese der induzierten Innovation, welche sie wie folgt beschreiben:

A key theory behind this is the induced innovation hypothesis (Hicks, 1932) which states that inputs with rising costs will see higher R&D investment to improve input-specific productivity gains, which, for profit-maximizing firms, imply lower costs. (A. Naqvi & Stockhammer, 2018, S. 169)

Bei mehreren Dimensionen der technologischen Entwicklung, stellt sich die Frage, welche technologische Richtung eingeschlagen wird. Dosi (1982) zufolge kommt einem technologischen Paradigma dabei eine gewichtige Rolle zu: Denn das Paradigma definiert die Probleme, die dann die Technologie lösen soll. Marktbedingungen können hierbei einerseits zu Beginn in das Paradigma mit einfließen und entscheiden andererseits am Ende, welche neue Technologie rentabel ist und sich schließlich bewährt.

12.2.4 Technologie als Wettbewerbsfaktor

Technologische Entwicklung ist ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor (Dasgupta, 1986; Fagerberg, 1996; Bhawsar & Chattopadhyay, 2015). Hier ist anzumerken, dass in ökonomischen Modellen Technologie eine abstraktere Rolle einnimmt als Forschung und Entwicklung im engeren Sinne; so spielen in den Begriff der Technologie je nach Modell und Abstraktionsebene unter anderem Produktivitäten von Unternehmen, die Qualität der Infrastruktur, kulturelle Errungenschaften mit Blick auf Arbeitsabläufe oder natürlich die Investition in Forschung und Entwicklung mit hinein.

In Kapitel 11.2.2 wurde bereits darauf hingewiesen, wie schwierig das Konzept der Wettbewerbsfähigkeit zu greifen ist (vgl. auch Bhawsar & Chattopadhyay, 2015, S. 669ff), beim Konzept der Technologie verhält es sich ähnlich. Beides sind beliebte „buzz-words“ (Fagerberg, 1996, S. 39), die dennoch hohe Relevanz haben.

Über zufällige Innovationen kann technologische Entwicklung als evolutorischer Prozess beschrieben werden, wie es insbesondere Dosi tut, bei dem es deshalb Abhängigkeitspfade gibt (vgl. Dosi, 1982, 1988; Dosi et al., 2010; Dosi & Nelson, 2010). Dosi (1988, S. 1120) beschreibt den Prozess der Innovation wie folgt: Private gewinnorientierte Akteure setzen Mittel ein, wenn sie ungenutzte wissenschaftliche und technische Möglichkeiten vermuten, die neue Produkte und Verfahren ermöglichen, die sich vermarkten lassen, sodass den Akteuren ein finanzieller Vorteil entsteht. Technologie ist nicht nur auf Mikroebene ein Wettbewerbsfaktor, sondern auch auf Makroebene für Volkswirtschaften als Ganze von Relevanz und es gibt politische Bemühungen, durch Innovationspolitik die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.¹⁵⁴

¹⁵⁴ Siehe Europäisches Parlament (<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/de/sheet/67/innovationspolitik>, 27.03.2024) und die deutsche Bundesregierung (<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/forschung/zukunftsstrategie-forschung-innovation-2163454>, 27.03.2024).

12.2.5 Die Porter-Hypothese

Die durch Rentabilität beeinflusste technologische Entwicklung ist von den Produktionsbedingungen, den Preisen und Kosten und in der Konsequenz auch von preisverändernden Reformen abhängig. Prinzipiell findet durch jede Steuer eine Preisverschiebung und damit eine Anreizverschiebung statt. Im Rahmen der ÖSR wird durch die Preisverschiebung langfristig ein technologischer Vorteil erhofft, welcher teilweise als dritte Dividende bezeichnet wird, aber nicht zwangsläufig als Veränderung der Richtung der technologischen Entwicklung zu begreifen ist. Verallgemeinert kann die dritte Dividende als positive, langfristige ökonomische Wirkung verstanden werden, wozu insbesondere technologische Effekte zählen. Diese dritte Dividende wird auch als Porter-Hypothese bezeichnet (Porter, 1990).

Enevoldsen et al. (2009) definieren die Porter-Hypothese wie folgt: „The original Porter hypothesis states that high national environmental standards will encourage domestic industries to innovate and hence improve competitiveness“ (Enevoldsen et al., 2009, S. 100). Als Porter seine Hypothese 1990 postulierte, widersprach er damit der konventionellen Meinungen (Andersen, 2009, S. 5f). Andersen zufolge war Porters Hypothese in einen breiteren theoretischen Rahmen zum Thema Wettbewerbsfähigkeit eingebettet, zusammenfassend würden Unternehmen auf den äußeren Druck der neuen Preise reagieren und nach Verbesserungen streben. Die Porter-Hypothese wird bis heute uneinheitlich beantwortet: Zhao et al. (2022) führen bestätigende Beiträge (Jaffe & Stavins, 1995; Jaffe & Palmer, 1997; Campbell, 2003) sowie kritische Arbeiten auf, die keine signifikante Steigerung des technologischen Fortschritts nachweisen (Gray & Shadbegian, 1995; Lanoie et al., 2008; H. Wu et al., 2020). Bemerkenswert ist, dass sich Forschungsaktivität, wie bei den Thematiken der ÖSR und der DD (siehe Kapitel 7.2.3), in Europa und den USA abgenommen hat, während sie sich in China verstärkte. Beispielsweise bestätigen Wu und Lin (2022) die Porter-Hypothese für die chinesische Eisen- und Stahlindustrie. Mit Blick auf die Emissionshandelssysteme auf Erhebungsseite der THG-Bepreisung ist Europa auf die Arbeit von Jin et al. (2022) hinzuweisen, die die Porter-Hypothese in Bezug auf die Wirksamkeit im Rahmen des Emissionshandels untersuchen und die Effekte ebenfalls bestätigt sehen, wobei die Verstärkung der Wirkungen unter anderem durch eine strengere Durchsetzung der Vorschriften möglich sei.

12.2.6 Die Frage der Substituierbarkeit

Bei Modellierungen mit Arbeit und Energie bzw. THG-Emissionen spielt die Frage der Substituierbarkeit eine zentrale Rolle. Was das Thema Klima und Energie angeht, ist grundsätzlich eine Verschiebung festzustellen: Zunächst – und teilweise bis heute – lag der Fokus auf Energie, welche als Inputfaktor in Modelle integriert wird (vgl. Kemfert & Welsch, 2000; Su et al., 2012; Liu et al., 2018; D’Alessandro et al., 2020; Lamperti et al., 2020). Da Energieverbrauch aber nicht im direkten Zusammenhang mit dem Klimawandel steht – beim Stromverbrauch wird bspw. eine deutliche Erhöhung für sinnvoll erachtet –, sind stattdessen die THG-Emissionen mehr in den Blick gerückt, welche dann nicht mehr als Inputfaktor, jedoch als Nebenprodukt und Kostenfaktor berücksichtigt werden können. Dieser Zusammenhang ist in der wissenschaftlichen Literatur allerdings nicht gleichermaßen umfassend bearbeitet wie das Zusammenspiel von Energie und Arbeit als Inputfaktoren. Eine Alternative darüber hinaus wäre, Ressourcen als Inputfaktor zu integrieren (vgl. A. Naqvi & Stockhammer, 2018; King, 2022), aber auch hier ist festzuhalten, dass Emissionen sich ontologisch von Ressourcen unterscheiden, denn die Verwendung aller Ressourcen in Bezug auf Treibhausgase würde ein Verfehlen der Klimaziele bedeuten. Davon abgesehen ist es auch möglich, sowohl (Energie-)Ressourcen als auch THG-Emissionen zu implementieren (vgl. D’Alessandro et al., 2020).

Das Thema der Substitution von Arbeit als Inputfaktor und THG-Emissionen als Nebenprodukt hat insofern konzeptionelle Schwierigkeiten, da ontologisch unterschiedliche Ebenen angesprochen werden, ist aber von hoher Relevanz, weil durch die ÖSR gerade eine solche Veränderung der Einsatzfaktoren bzw. des Einsatzfaktors Arbeit und des Nebenprodukts THG-Emissionen angeregt werden soll.

THG-Emissionen anstelle von Energie zu verwenden, widerspricht einer Handhabung der Produktionsfunktion, welche zwar mehrere Inputfaktoren berücksichtigt, aber nicht mehrere Outputfaktoren vorsieht. So ist es verbreitet, die Inputfaktoren etwa auf Arbeit L , Kapital K und Energie E zu erweitern (vgl. Kemfert & Welsch, 2000), beim Output Y aber nur einen Faktor beizubehalten:

$$Y = F(L, K, E).$$

THG-Emissionen GHG würden in dieser Gleichung einen weiteren Output bedeuten:

$$Y + GHG = F(L, K).$$

Die THG-Emissionen entstehen hier unbeabsichtigt als Kuppelprodukt mit dem Output. Diese zwangsläufige Kuppelproduktion ist in der Fachliteratur unter *Joint Production* bekannt (Baumgärtner et al., 2001, 2006; Mishra, 2007). Der Gedanke von mehreren Outputs ist nicht neu. Kurz (1986) zeigt auf, dass es Ansätze zur Kuppelproduktion von klassischen und frühen neoklassischen Ökonomen gibt. Auch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde dieser Gedanke aufgegriffen, ohne große Verbreitung zu finden (Mishra, 2007, S. 9f). Im Kontext von Umweltproblemen als ungewünschtes Nebenprodukt der Produktion erneut von Baumgärtner et al. (2001, 2006).

Energieeinsatz und THG-Emissionen stehen zwar in Verbindung, haben aber kein festes Austauschverhältnis. Energie kann auf unterschiedliche Weise produziert werden: THG-intensiv und weniger THG-intensiv durch erneuerbare Energien.

Grundsätzlich hat das Thema der Substitution eine hohe Relevanz. Liu et al. (2018) zeigen, dass durch Substitution immens THG-Emissionen eingespart werden können. Ihren Modellierungsergebnissen folgend werden ca. 46% der CO₂-Emissionsreduktionen den Substitutionen von Energie mit Arbeit oder Kapital zugeschrieben. Beispielsweise Wesseh et al. (2013) greifen die Debatte um die Substitution bzw. Komplementation auf und untersuchen unter anderem die Beziehungen von Energie zu Arbeit und Kapital. Das Verhältnis von Kapital und Energie ist Wesseh et al. zufolge umstritten, da es sowohl Befunde gibt, die die These stützen, dass Kapital und Energie Komplemente sind, als auch Ergebnisse, dass Kapital und Energie Substitute sind. Bei Arbeit und Energie ist es dagegen klarer, da sie für Substitute befunden werden, so auch von den Autoren selbst (Wesseh et al., 2013, S. 128).

12.2.7 Technologische Entwicklung und Klima in agentenbasierten Modellen

Im Hinblick auf die agentenbasierte Modellierung der durch die ÖSR induzierten technologischen Entwicklung dieses Kapitels sind die Arbeiten von Gerst et al. (2013), Wolf et al. (2013), Rengs et al. (2015), Lamperti et al. (2018, 2020), Hötte (2020) und Amendola et al. (2024) sowohl methodisch als auch inhaltlich besonders relevant und hervorzuheben. Ohne Bezug zum Klimawandel ist außerdem das *K+S-Modell* von Dosi et al. (2022) zu erwähnen, da es sich ebenfalls auf Grundlage von agentenbasierter Modellierung vertieft mit Arbeitsplatzschaffung

und -zerstörung durch technologische Entwicklung beschäftigt und das Aufkommen technologischer Paradigmen sowie neuer Sektoren erlaubt.

Gerst et al. (2013) entwickeln einen mehrstufigen Modellrahmen ENGAGE, der mithilfe der agentenbasierten Methodik einige übliche Modellannahmen lockert. Unter anderem kann die Annahme von rationalen und homogenen Akteur:innen abgemildert werden und somit zum Beispiel die Entscheidungen von weniger rationalen, heterogenen Akteur:innen auf die Wirksamkeit von Politiken untersucht werden. Eine Besonderheit des Modells ist, dass es Verhandlungsführer auf internationaler Ebene gibt, die durch die heterogenen Akteur:innen der nationalen Ebene eingeschränkt werden. Somit gibt es Feedbacks von der internationalen zur nationalen Ebene und vice versa.

Die zentralen technologischen Aspekte werden auf Ebene der Energieerzeugung realisiert: Es gibt drei konkurrierende Unternehmen („kohlenstofflastig“, „kohlenstoffarm“ und „kohlenstofffrei“), die die Energietechnologie probabilistisch weiterentwickeln, um sie dem einen Energieerzeugungsunternehmen anzubieten. Die Energieerzeugungstechnologie ist abhängig von verschiedenen Produktivitäten: die Arbeitsproduktivität bei der Energieerzeugung, die Arbeitsproduktivität bei der Herstellung der Energietechnologie, die Energieintensität bei der Herstellung der Energietechnologie und die Wärmerate bei der Energieerzeugung (Gerst et al., 2013, S. 68).

Auf Ebene der Konsumgüter- und Kapitalgüterunternehmen gibt es darüber hinaus technologische Parameter in Form von Produktivitäten (zum Beispiel die Arbeitsproduktivität der Bedarfsproduktion, Energieintensität der Bedarfsproduktion oder die Arbeitsproduktivität der Maschinenproduktion), sodass sich auf Ebene der Technologie ein Netz aus wechselseitigen Abhängigkeiten bildet.

Gerst et al. (2013, S. 70) resümieren, dass eine CO₂-Steuer die technologische Entwicklung auf zwei Weisen beeinflusst: Zum einen über die Investitionsentscheidung des Energieerzeugungsunternehmens, welches kohlenstoffintensive oder kohlenstoffärmere Technologien auswählen kann. Zum anderen durch die Nachfrage der Konsumgüterunternehmen. Bemerkenswert ist, dass wenn das Aufkommen der CO₂-Steuer für die Entlastung der Haushalte verwendet wird, nur eine geringe Verbesserung gegenüber des Baseline-Szenarios entsteht, eine höhere Wirkung jedoch zustande kommt, wenn die technologische Entwicklung subventioniert wird (Gerst et al., 2013, S. 70).

Wolf et al. (2013) entwickeln ein regionales, agentenbasiertes Modell Lagom regiO, welches zur Familie der Lagom-Modelle zählt, mit dem Ziel, Win-Win-Möglichkeiten für die Klimapolitik zu identifizieren. Eine Besonderheit ist, dass die Agent:innen regional kategorisiert sind und Fragestellungen von räumlicher Interaktion adressiert werden können.

Technologische Entwicklung findet sich über das Lernen von Unternehmen und Haushalten im Modell wieder und betreffen verschiedene Parameter (unter anderem Technologie- oder Konsumkoeffizienten und Mark-ups). Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten: die Akteur:innen können zum einen zufällige Veränderungen der Variablen erzeugen (Mutation) und zum anderen Parameter von anderen Unternehmen nachahmen (Imitation).

Zufallsprozesse spielen daher bei der Wahl der Interaktionspartner und bei der erwähnten Mutation und Imitation eine Rolle. Auf diese Weise können Pfadabhängigkeiten entstehen, sowohl auf Akteursebene als auch auf gesamtgesellschaftlicher Ebene. Auch aufgrund der detaillierten Modelldokumentation bieten Wolf et al. (2013) einen Modellrahmen an, der zur Übertragung auf weitere, insbesondere mit regionalen Aspekten verbundenen Fragestellungen nützlich erscheint.

Rengs et al. (2015) konstatieren, dass zur Untersuchung von Klimapolitiken vorwiegend Modelle mit repräsentativen, rationalen Agent:innen verwendet wurden und adressieren deshalb diese Forschungslücke mit einem Modell mit verschiedenen heterogenen Agent:innen, welche begrenzte Rationalität und soziale Präferenzen aufweisen. Um Verteilungseffekte simulieren zu können, sind nicht nur eine hohe Anzahl Haushalte implementiert, sondern die Haushalte sind auch in verschiedene Kategorien unterteilt, die eigene Verhaltensregeln aufweisen. Zwei Arten von technologischer Entwicklung sind in ihrem Modell möglich: die Erhöhung der Arbeitsproduktivität sowie die Senkung der Kohlenstoffintensität durch grüne Innovationen. In diesem Modell werden unter anderem die Auswirkungen von staatlichen Subventionen für grüne Innovationen simuliert, welche aus einer CO₂-Steuer finanziert werden.

Die besten Ergebnisse in Bezug auf Arbeitslosigkeit werden erzeugt, wenn Arbeitssteuern reduziert werden (Rengs et al., 2015, S. 22). Das Szenario der Steuerverschiebung von Arbeit zu CO₂-Emissionen produziert allerdings keine guten Ergebnisse in Bezug auf die Reduktion der Emissionen (Rengs et al., 2015, S. 23). Die Ergebnisse von Rengs et al. (2015) weisen deutliche Unterschiede zu Modellierungen mit repräsentativen, rationalen Agent:innen auf. Als Beispiel können

nachfrageorientierte Subventionen genannt werden, welche bessere makroökonomische Effekte aufweisen, aber geringere Emissionsreduktionen als Modellierungen mit repräsentativen, rationalen Agent:innen.

In der Tradition der *Dystopischen Schumpeter-trifft-Keynes-Modelle* (engl. „Dystopian Schumpeter meeting Keynes“, DSK) entwickeln Lamperti et al. (2018) ein agentenbasiertes IAM als Alternative zu CGE-IAM. Laut den Autor:innen handelt es sich dabei um das erste agentenbasierte IAM im globalen Maßstab (Lamperti et al., 2018, S. 317).

Grundsätzlich ist die Verwendung von IAM bei der Betrachtung von Klimaszenarien sinnvoll, da auch die Klimaschäden, das heißt, die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wirtschaft, berücksichtigt wird. Tatsächlich werden die Klimaschäden in der wissenschaftlichen Literatur zu komplexen Systemen oft übersehen oder vage nur auf Makroebene berücksichtigt (Greiner et al., 2014). Klimaschäden verstärken die Konsequenzen von Simulationen tendenziell, da durch ihre Berücksichtigung noch schnelleres Handeln sinnvoll wird. Die entscheidenden Mechanismen der Forschungsfrage dieses Kapitels lassen sich jedoch besser in einem weniger komplexen, analytischen Modell verstehen.

Technischen Fortschritt gibt es sowohl im Energiesektor als kostensenkenden Faktor als auch in den anderen Sektoren, unter anderem was den Umgang mit Klimaschäden betrifft. Klimaschäden haben Auswirkungen auf die Mikroebene, das heißt insbesondere auch auf die Pfade der technologischen Entwicklung (Lamperti et al., 2018, S. 316). Das umfassende Modell zeigt, dass es mithilfe eines agentenbasierten Modells möglich ist, die Mikro- und Makroebene zu verknüpfen, sowohl in Bezug auf wirtschaftliche als auch in Bezug auf klimatische Zusammenhänge, und erzeugt höhere Klimaschäden als andere aktuelle Standard-IAM, welche folglich den Autor:innen zufolge die Schäden unterschätzen (Lamperti et al., 2018, S. 329).

Die DSK-Modelle gehören zur Familie der evolutionären Keynes-und-Schumpeter-Modelle (K+S-Modelle). Eine Stärke der DSK-Modelle ist, dass Schocks auf Makro- sowie auf Mikroebene simuliert werden können und nicht-isomorphe (gleichgeschaltete) Entwicklungen möglich sind. Nach Dosi et al. (2017) gibt es eine Modellfamilie der evolutionären Keynes-und-Schumpeter-Modelle, die das Schumpetersche Wachstumsparadigma in ein komplexes System von heterogenen, interagierenden Akteur:innen mit Elementen von Keynes und Minsky in die Meso- und Makrodynamik integrieren, womit zentrale Aspekte von Schumpeter, Keynes und Minsky komplementär verbunden werden.

Diese Gruppe der agentenbasierten Modelle eignen sich besonders um die Auswirkungen von Innovationen, industriellen Dynamiken und makroökonomischen Politiken auf das langfristige Wachstum und die kurzfristigen Schwankungen der Wirtschaft untersuchen (Dosi, Napoletano, et al., 2017, S. 63f).

Lamperti et al. (2020) verwenden ein agentenbasiertes IAM, um Klimaschäden berücksichtigen zu können und untersuchen die Wahrscheinlichkeit eines Übergangs zu grünem, nachhaltigem Wachstum. Technologie spielt im Energiesektor eine Rolle. Hier konkurrieren fossile (braune) und erneuerbare (grüne) Anlagen, wobei braune Anlagen höhere Produktionskosten haben, aber im Gegensatz zu grünen Anlagen keine Installationskosten.

In diesem IAM ist zu bemerken, dass mikroökonomische Klimaschocks (Klimaschäden) zu Beeinträchtigungen der Arbeits- und Energieeffizienz führen können, die wiederum makroökonomische Folgen haben. Eine Besonderheit dieses agentenbasierten Ansatzes ist, dass Klimaschäden der Ebene der Einzelakteur:innen zugeordnet werden, und nicht als Abzug von der Gesamtproduktion berücksichtigt werden (wie unter anderem in den IAM von Nordhaus & Sztorc, 2013; Nordhaus, 2014).

Das Ergebnis der Simulation sind zwei statische Gleichgewichte: eine kohlenstoffintensive Blockade und ein nachhaltiger Wachstumspfad. Ein Resultat des Modells von Lamperti et al. (2020) ist außerdem, dass die durch Schocks verringerte Energieeffizienz makroökonomisch geringere Auswirkungen hat als die Auswirkungen auf die Arbeitsproduktivität.

Hötte (2020) adressiert explizit das Thema technologischer Fortschritt mit der Verbreitung von neuen Technologien und weist darauf hin, dass eine Beschleunigung der technologischen Entwicklung notwendig und entscheidend ist, um die globale Erwärmung auf ein beherrschbares Niveau zu begrenzen. Um der Frage nachzugehen, wie die Verbreitung grüner Technologien beschleunigt werden kann, verwendet Hötte das agentenbasierte Eurace@unibi-Modell (Dawid et al., 2019) mit endogenen Innovationen, welches zwei Technologien aufweist: Grüne Bewerber und herkömmliche Teilnehmer konkurrieren jeweils mit ihren eigenen Technologien.

Der Kapitalstock besteht aus unterschiedlichen Jahrgängen, die sich nach der Art der Technologie und der Produktivität unterscheiden. Technologie kann dabei auf zwei Arten adaptiert werden, entweder durch „Learning by Using“ (aufgrund einer Lernkurve) oder durch „Cross-technology Spillovers“, das heißt, je besser das Vorwissen ist, desto leichter kann die Technologie adaptiert wer-

den. Ein Ergebnis ist, dass die zögerliche Verbreitung grüner Technologien durch technologische Pfadabhängigkeiten zu erklären sind.

Im agentenbasierten Modell von Amendola et al. (2024) werden verschiedene mögliche Politiken zur Steigerung der Energieeffizienz untersucht: von steuerlichen Anreizen und Subventionen bis hin zu der staatlichen Investition in ein öffentliches Forschungslabor.

Kapitalgüterunternehmen nutzen Arbeit und Energie, um Kapitalgüter für Konsumgüterunternehmen herzustellen. Die produzierten Maschinen sind ähnlich wie bei Gerst et al. (2013) durch Koeffizienten für Arbeitsproduktivität und Energieeffizienz gekennzeichnet und benötigen bei Herstellung ihrerseits ebenfalls eine bestimmte Menge an Arbeit und Energie, sodass Technologie im Wesentlichen durch Arbeitsproduktivität und Energieeffizienz der produzierten Maschinen und der Kapitalproduktion definiert ist (Amendola et al., 2024, S. 118). Die technologische Entwicklung findet damit in beiderlei Hinsicht im Kapitalgüterunternehmen statt.

Zur Verbesserung dieser vier Parameter gibt es zwei Möglichkeiten: Innovation und Imitation. Ein Anteil des Umsatzes wird in Forschung und Entwicklung investiert, im Unternehmen werden diese Mittel für Angestellte eingesetzt, die die Forschung und Entwicklung betreiben. Es findet immer nacheinander sowohl Innovation als auch Imitation statt – beides wird durch stochastische Prozesse modelliert. Innovationen finden stochastisch um die bisherige Technologie zentriert statt. Für die Imitation gilt, dass die Übernahme von Technologien von technologisch näheren Unternehmen wahrscheinlicher ist. Ist die neue Technologie nicht in allen vier Dimensionen besser als die alte, greift eine Regel nach dem „erwarteten potenziellen Erfolg“ (Amendola et al., 2024, S. 120).

Das Ergebnis der Modellierung von Amendola et al. (2024) ist, dass zur Steigerung der Energieeffizienz ohne negative Auswirkungen auf makroökonomische Bedingungen und öffentliche Finanzen das Forschungslabor am effektivsten ist. Diese langfristige Strategie sei aber durch sofort einsetzbare Maßnahmen zu ergänzen.

Im Gegensatz zu den vorgestellten Modellen und ihrer Implementierung von technologischer Entwicklung legt das in diesem Kapitel erarbeitete agentenbasierte Modell den Fokus auf die Richtung der technologischen Entwicklung – ob Arbeit oder Emissionen eingespart werden – und die Frage, wie die ÖSR diese Richtung beeinflusst, wenn Unternehmen nur auf der Grundlage von finanziellen Erwägungen die Technologie auswählen. Gegenüber anderen

Arbeiten liegt aufgrund der Reformidee der Entlastung der Arbeit ebenfalls ein Schwerpunkt auf dem Faktor Arbeit bzw. der Arbeitsnachfrage, während der Bezugsrahmen Deutschland ist, wie in der kompletten Arbeit. Im Hinblick auf die Modellkomplexität geht es darum, die Annahme von rationalem und homogenem menschlichem Verhalten aufzuweichen, während gleichzeitig mit der Fokussierung auf wenige Schlüsselmechanismen die Überschaubarkeit und Transparenz des Modells zu gewährleisten ist.

12.3 Deskriptive Statistiken zum technologischen Potenzial

12.3.1 Einführung

In diesem Kapitel wird mittels deskriptiver Statistiken eine grobe quantitative Abschätzung darüber vorgenommen, welches Ausmaß der technologischen Verschiebungen durch die ÖSR realistisch ist und welche Potenziale darin liegen. Dies hat zum Ziel, neben den qualitativen Fragen auch die quantitativen Aspekte grob einordnen und Schlussfolgerungen für die darauffolgende Modellierung ableiten zu können. Von diesen Ergebnissen kann bei der Validierung der Geschwindigkeit der aktuellen technologischen Entwicklung Gebrauch gemacht werden.

Bei dieser Einordnung geht es im ersten Schritt um die Technologie, repräsentiert durch die Arbeitsproduktivität und die THG-Output-Relation, welche im Folgenden definiert wird. Mit dem Vergleich verschiedener Länder werden zwei Aspekte verfolgt: Zum einen stellt sich die Frage, wie diese Technologieparameter von Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern sind (siehe 12.3.2 Statischer Vergleich verschiedener Länder). Zum anderen ist zu fragen, welches Ausmaß die Fortschritte dieser Parameter in den letzten Jahren hatte, um einen Eindruck für den aktuellen Trend und die mögliche zukünftige Entwicklung zu erhalten (siehe 12.3.3 Trend vergangener Jahre). Anknüpfend an die Überlegungen zu den technologischen Parametern geht es im zweiten Schritt auch darum, die Auswirkungen auf die Beschäftigung und die THG-Emissionen in den Blick zu nehmen.

12.3.2 Statischer Vergleich verschiedener Länder

Die Weltbank veröffentlicht die jährlichen Werte für das BIP (in aktuellen USD sowie kaufkraftbereinigt), die Bevölkerung, das Verhältnis von den Erwerbstätigen zur Gesamtbevölkerung und die THG-Emissionen einer Vielzahl von Län-

dern. Insbesondere von 1991 bis 2019 steht eine breite Datenbasis zur Verfügung.¹⁵⁵ Dafür wurden die folgenden Variablen der Datenbank der Weltbank verwendet:

Tabelle 11: Daten der Weltbank

Indikatorname	Code
GDP, PPP (current international \$)	NY.GDP.MKTP.PP.CD
Population, total	SP.POP.TOTL
Employment to population ratio, 15+, total (%) (modeled ILO estimate) ¹⁵⁶	SL.EMP.TOTL.SP.ZS
Total greenhouse gas emissions (kt of CO2 equivalent)	EN.ATM.GHGT.KT.CE

Diese Daten wurden zur Ermittlung der Arbeitsproduktivität und der THG-Output-Relation verwendet. Die Arbeitsproduktivität definiert sich als Quotient von BIP und der Anzahl der Erwerbstätigen (das heißt, das BIP dividiert durch die Anzahl der Erwerbstätigen; zum Beispiel in USD/Tsd. Erwerbstätige), die THG-Output-Relation als Quotient von BIP und THG-Emissionen (das heißt, das BIP dividiert durch die THG-Emissionen eines Jahres; zum Beispiel in USD/t CO₂e).

Üblicherweise wird anstelle der THG-Output-Relation von der THG-Intensität gesprochen, was sein Kehrwert ist. In diesem Kapitel wird jedoch von THG-Output-Relation gesprochen, um methodisch die gleiche Konstruktion für die beiden Technologieparameter zu erhalten. Auf diese Weise erzielen Unternehmen dann Einsparungen, wenn die Arbeitsproduktivität und die THG-Output-Relation erhöht werden.

Über die Gesamtbevölkerung („Population, total“) und die Erwerbstätigenquote („Employment to population ratio, 15+, total (%)“) wurde die erwerbstätige Bevölkerung in absoluten Zahlen ermittelt. Zum Vergleich zwischen Ländern ist das BIP in der kaufkraftbereinigten Version notwendig („GDP, PPP (current international \$)“). Zum intertemporalen Vergleich sind die realen Werte heranzuziehen. Hierbei handelt es sich um eine grobe Einordnung, da

155 Letztes Update seitens der Weltbank: 18.12.2023. Die aktuellen Daten der Weltbank sind online abrufbar: <https://data.worldbank.org/> (18.01.2024).

156 Es ist darauf hinzuweisen, dass die Weltbank eine weite Definition von Beschäftigung bei diesem Indikator verwendet: „Employment to population ratio is the proportion of a country's population that is employed. Employment is defined as persons of working age who, during a short reference period, were engaged in any activity to produce goods or provide services for pay or profit, whether at work during the reference period (i.e. who worked in a job for at least one hour) or not at work due to temporary absence from a job, or to working-time arrangements. Ages 15 and older are generally considered the working-age population.“ Siehe <https://data.worldbank.org/indicator/SL.EMP.TOTL.SP.ZS> (18.01.2024).

eine geringe Arbeitsproduktivität aufweisen tendenziell auch eine geringe THG-Output-Relation haben. Die beiden Parameter sind linear korreliert mit einem R^2 -Wert von 38,8% (OLS-Methode).¹⁵⁸

Je weiter rechts oben in Abbildung 11, desto lichter wird das Feld, sodass es möglich ist, einzelne auffällige Punkte anzusprechen. Die Schweiz und Schweden haben hohe λ_{GHG} -Werte, was bemerkenswert ist, da beide Länder im europäischen Vergleich einen hohen Anteil der Industrie am BIP aufweisen.¹⁵⁹ Die Schweizer Ökonomie ist allerdings unter anderem durch einen ausgeprägten Finanzplatz charakterisiert, was ihre wirtschaftliche Struktur von der deutschen Wirtschaft unterscheidet.¹⁶⁰ Der schwedische Fall ist dagegen bemerkenswert, da die geografisch angrenzenden Länder Finnland und Norwegen deutlich höhere Emissionen im Verhältnis zum BIP aufweisen. Schweden belegte beim *Climate Change Performance Index* (CCPI), welcher jährlich von der nicht Regierungsorganisation Germanwatch herausgegeben wird, kontinuierlich einen der vorderen Plätze.¹⁶¹ So erreichte Schweden in den Jahren 2018–2021 den höchsten vergebenen Platz, anzumerken ist, dass die ersten drei Plätze noch nie vergeben wurden.¹⁶²

Insgesamt ist auffällig, dass die mit hohen Werten herausstechenden Punkte (rechts oben in Abbildung 11) häufig kleine und sehr kleine Länder repräsentieren; so unter anderem Singapur, der Inselstaat Malta oder Luxemburg, das zwar eine sehr hohe Arbeitsproduktivität, aber auch weniger als eine Million Einwohner hat. Diese Länder sind daher nur bedingt mit Deutschland vergleichbar.

Frankreich (FRA) und Italien (ITA) sind hingegen von Interesse, da beides große Volkswirtschaften sind, die bei ähnlich hohen Arbeitsproduktivitäten λ_L höhere λ_{GHG} -Werte als Deutschland (DEU) aufweisen. Bemerkenswert ist auch

158 OLS-Schätzungen auf der Grundlage von anderen funktionalen Formen erzielen geringere R^2 -Werte, so unter anderem: „lin-log“ (32,0%) oder „log-log“ (33,7%), wobei Arbeitsproduktivität die abhängige Variable (y) und THG-Output-Relation die unabhängige Variable (x) ist.

159 Die Anteile des Industriesektors der jeweiligen Länder waren 2022: Deutschland 26,7%, Schweden 23,7%, Schweiz 24,2%, siehe Weltbank: <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.ZS> (18.01.2024).

160 Schweizer Finanzunternehmen tragen ca. 10% zum BIP bei, Deutschland 3,6% im Jahr 2022, siehe Statista <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/308823/umfrage/anteil-des-schweizer-finansektors-am-bip/> und <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/309545/umfrage/anteil-des-finansektors-am-deutschen-bip/> (beide 18.01.2024).

161 Siehe Germanwatch (<https://www.germanwatch.org/>, 20.01.2024) und Climate Change Performance Index (<https://ccpi.org>, 20.01.2024).

162 Schweden weist zum Beispiel bei der Stromproduktion einen hohen Anteil nicht-fossiler Energieträger auf (aufgrund von hohen Anteilen der Kern- und Wasserkraft). Schwedens Erfolg beim Klimaschutz insgesamt hat jedoch auch mit den wirtschaftlichen Tätigkeiten zu tun und wäre in einem anderen Rahmen zu vertiefen.

das Vereinigte Königreich (GBR), das einen höheren λ_{GHG} -Wert und eine niedrigere Arbeitsproduktivität hat als Deutschland.

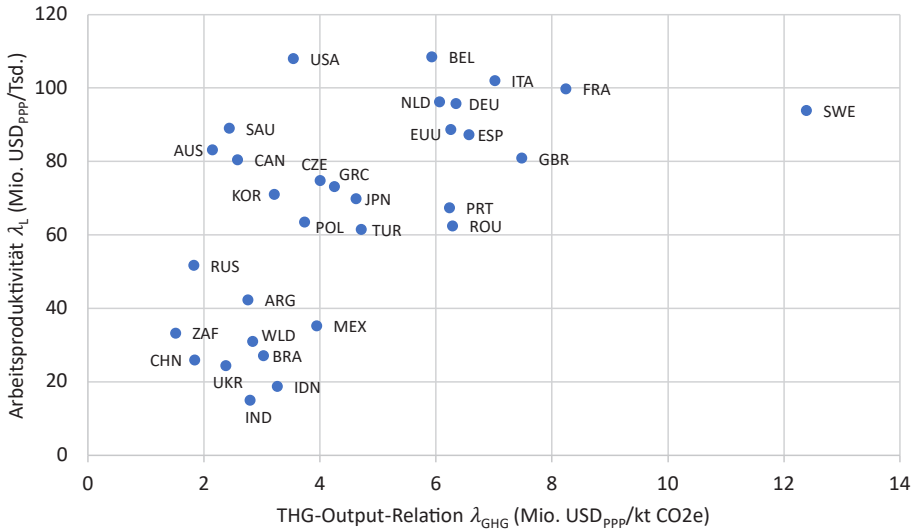


Abbildung 12: Technologieparameter Auswahl („G20+Europa“) (2019)

Um die Ergebnisse differenzierter zu betrachten, sind in Abbildung 12 ausgewählte Länder abgebildet. Diese Auswahl enthält alle G20-Staaten und für die europäische Perspektive die europäischen Länder mit mehr als 10 Mio. Einwohner:innen.

Als Bezugsrahmen wäre im Allgemeinen auch eine andere Auswahl denkbar. Diese würde allerdings zu ähnlichen Ergebnissen gelangen:

1. Die Selektion nach der Kategorisierung der Marktwirtschaft: In der politischen Ökonomie gibt es das Cluster nordeuropäische, exportorientierte, koordinierte Marktwirtschaften (siehe unter anderem Iversen et al., 2016, S. 162), die einen engeren Fokus auf ähnliche europäische Länder böten. Die Auswahl enthielte Österreich, Belgien, Finnland, Deutschland und die Niederlande und grenzt sich von den europäischen Volkswirtschaften in der Peripherie ab (Iversen et al., 2016, S. 162).
2. Die Selektion nach ähnlichen Werten im *Economic Complexity Index* (ECI). Der ECI beschreibt die Diversität von Produktionsstrukturen von Regionen oder Ländern.¹⁶³ Für den vorliegenden Zweck böte sich insbesondere der Teilindex *ECI Technology* des Jahres 2021 an. Deutschland

¹⁶³ Mathematisch wird der ECI über den Eigenwert von Produktionsmatrizen definiert. Siehe

liegt hier auf Platz 2, Schweden auf Platz 1, weitere Länder sind Österreich (Rang 3), Italien (Rang 5), Frankreich (Rang 7), Vereinigtes Königreich (Rang 14), USA (Rang 25).¹⁶⁴

In der Länderauswahl von Abbildung 12 ist eine hohe Korrelation der beiden abgebildeten Größen zu beobachten. Der Vergleich von Ländern mit hohem Einkommen zeigt jedoch ein anderes Bild: Werden bei dieser Auswahl nur die Länder mit einem Pro-Kopf-BIP nach KKP von über 30.000 USD_{PPP} (2019) ausgewählt, ist festzustellen, dass diese Korrelation nicht mehr vorliegt (siehe Abbildung 13).¹⁶⁵

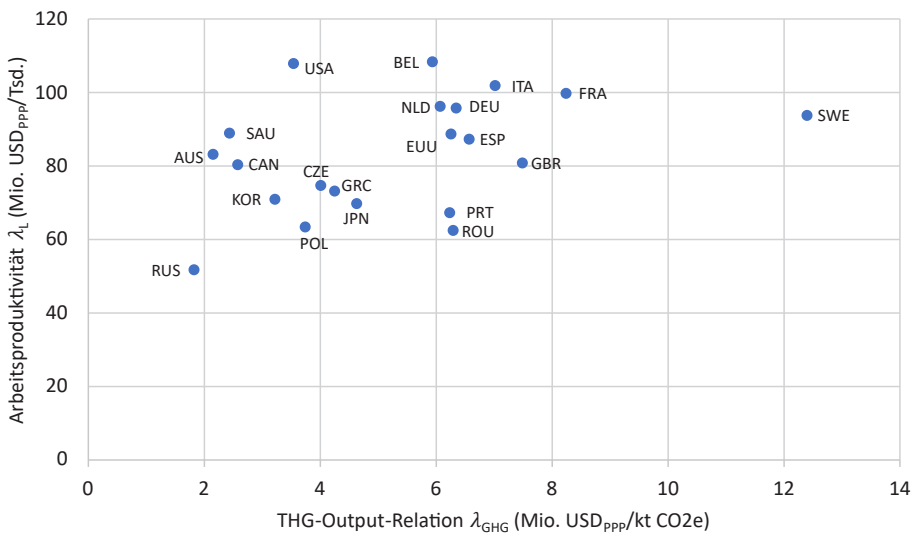


Abbildung 13: Technologieparameter Auswahl II („G20+Europa+BIP“) (2019)

Hidalgo (2021) und Hausmann et al. (2011) zum theoretischen Hintergrund des ECI. Von der Tendenz her lässt sich sagen: Ein Land mit einem hohen ECI produziert vielfältige Produkte (viele Sektoren weisen relevante Umsätze auf) und nutzen Vorprodukte aus vielen Ländern, welche tendenziell selbst einen hohen ECI aufweisen. Länder mit niedrigem ECI beziehen wenig unterschiedliche Produkte aus wenigen Ländern mit tendenziell geringem ECI. Metriken für ökonomische Komplexität wie der ECI können eignen sich unter anderem zur Vorhersage von ökonomischem Wachstum (BIP), Einkommensungleichheit und THG-Emissionen eingesetzt werden (Hidalgo, 2021, S. 92).

¹⁶⁴ Das aktuelle Ranking ist auf der Website des Observatory of Economic Complexity (OEC): <https://oec.world/en/rankings/eci/hs6/hs96?tab=ranking> (19.01.2024).

¹⁶⁵ Die Gleichung der linearen Regression ist $y = 2,4968x + 69,952$, bei $R^2 = 15,5\%$. Das gilt umso mehr für die Auswahl der Länder mit einem Pro-Kopf-BIP nach KKP von über 35.000 USD_{PPP} (2019), da hier $R^2 = 8,5\%$ und der Steigungsparameter noch geringer sind ($y = 1,4651x + 79,798$).

Zur Verdeutlichung dieser unterschiedlichen ökonomischen Strukturen der Länder ist im Gedankenexperiment zu überlegen, was passiert, wenn Deutschland die Technologiekombinationen anderer Länder annehmen würde. Hierbei werden für einen Moment die realen Widrigkeiten außer Acht gelassen, zum Beispiel die Tatsache, dass die Länderspezifikationen auch geografisch und historisch begründet liegen und sich die Geografie und Historie nicht verändern lassen. Die Annahme ist hierbei, dass die Technologie im Sinne der Arbeitsproduktivität und THG-Output-Relation anderer europäischer Länder prinzipiell für Deutschland erreichbar wäre. Das heißt, durch Umstellung der Volkswirtschaft – ob strukturell oder technologisch – würde angenommen, dass auch die anderen Punkte der Wolke erreichbar wären. Folgende Werte werden in den Blick genommen:

Tabelle 12: Durchschnittliche Veränderung der Technologieparameter pro Jahr

	λ_{GHG} (Mio. USD _{PPP} /Tsd. t CO ₂ e)	λ_L (Mio. USD _{PPP} /Tsd. Erwerbstätige)
Deutschland (DEU)	6,3	95,7
Vereinigtes Königreich (GBR)	7,5	80,8
Schweden (SWE)	12,4	93,8

Im Rahmen des Gedankenexperiments lassen sich die Implikationen für Emissionen und Beschäftigung ableiten, wenn sich der deutsche volkswirtschaftliche Aufbau hin zur Struktur anderer Länder verändern würden.

Wenn Deutschland die Technologieparameter von Schweden hätte, dann

- würden die THG-Emissionen bei gleichem BIP lediglich 51% der aktuellen betragen (=6,3/12,4),
- während die Beschäftigung mit einer Reduktion von 2% etwa gleich wäre (=95,7/93,8).

Wenn Deutschland die Technologieparameter des Vereinigten Königreichs hätte, dann

- würden die THG-Emissionen bei gleichem BIP auf 85% reduziert sein (=6,3/7,5)
- und wäre die Beschäftigung um 18% erhöht (=95,7/80,8).

Im Ergebnis ist zu konstatieren: Würde man davon ausgehen, dass die Arbeitsproduktivitäten und THG-Output-Relationen existierender Werte anderer Länder erreichbar wären, wären zwar positive Effekte auf die Beschäftigung (siehe

Vereinigtes Königreich) genauso wie deutlich reduzierte THG-Emissionen vorstellbar (siehe Schweden), eine ausreichende Reduktion der THG-Emissionen im Sinne der Pariser Klimaziele wäre aber auch hier nicht gegeben.

Dennoch zeigen sich gerade durch die Beispiele Vereinigtes Königreich und Schweden Potenziale. Im Sinne der ÖSR ist insbesondere die Substitution, das heißt die Reduktion der Arbeitsproduktivität bei gleichzeitiger Erhöhung der THG-Output-Relation von Relevanz. Der Punkt des Vereinigten Königreichs in Abbildung 13 deutet an, dass eine solche Bewegung nach rechts unten möglich sein könnte, auch wenn gleichzeitig festzuhalten ist, dass sich Deutschland gegenüber den Niederlanden, Belgien und den USA bereits weiter rechts unten in diesem Diagramm befindet.

Vor dem Hintergrund des Pariser Abkommens ist festzuhalten, dass sich alle Länder technologisch deutlich verbessern müssen. Die mehrjährige Betrachtung der Parameter zeigt eine anhaltende Verbesserung in den vergangenen Jahren, die genau dafür einen Anhaltspunkt geben. Diese zeitliche Perspektive wird deshalb nachfolgend untersucht.

12.3.3 Trend vergangener Jahre

Zur Abbildung der zeitlichen Perspektive ist eine zusätzliche Dimension hinzuzufügen. Um die Darstellbarkeit zu gewährleisten ist demzufolge eine stärkere Selektion auf weniger Länder nötig. Hierfür wurden in Abbildung 14 die zuvor schon erwähnten europäischen Länder aufgegriffen, die sich bereits zum Vergleich anboten, und um die USA ergänzt.

Für alle ausgewählten Länder ist für die Jahre von 1991 bis 2019 eine Bewegung nach rechts oben zu verzeichnen, das heißt eine Verbesserung beider Parameter. Schweden fällt mit großen Sprüngen in Richtung hoher THG-Output-Relation auf. Die USA bewegte sich als großes Land weniger sprunghaft. Auffallend ist bei der größten Volkswirtschaft der Welt außerdem die nur geringe Entwicklung bei der THG-Output-Relation.

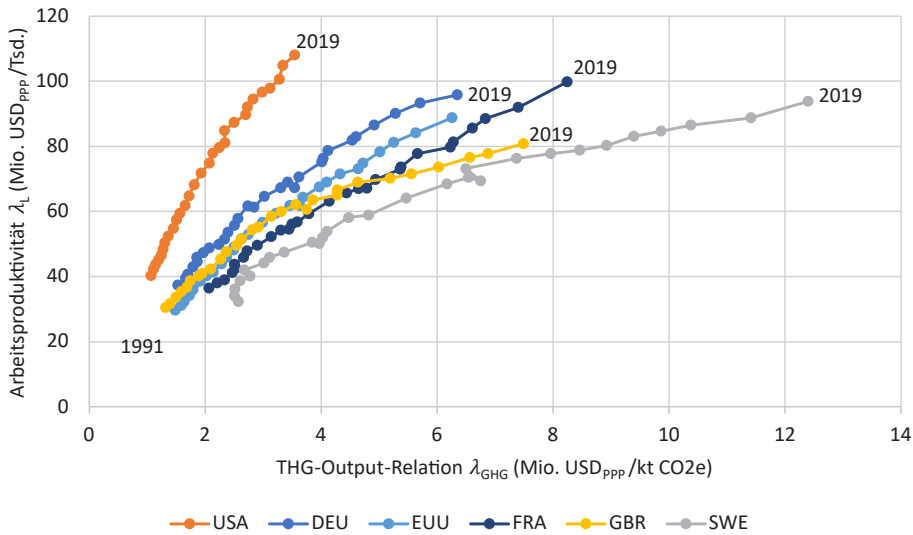


Abbildung 14: Technologieparameter-Verbesserung ausgewählter Länder 1991–2019

Zwischen den beiden Ländern sind die drei großen, europäischen Volkswirtschaften zu finden: das Vereinigte Königreich, Frankreich, Deutschland und passenderweise auch die Europäische Union (in Abbildung 14 mit EUU abgekürzt) als Ganze. Augenscheinlich war die Geschwindigkeit der Verbesserung der Parameter in den späteren Jahren durchschnittlich höher, was die nachfolgende Tabelle belegt. In Tabelle 13 sind die jährlichen Verbesserungen der Parameter λ_{GHG} und λ_L für zwei unterschiedliche Zeiträume (1991–2019 und 2001–2019) angegeben.

Der Eindruck bestätigt sich, denn alle zwölf Werte sind im Zeitraum 2001–2019 höher – teilweise erheblich höher – als im Zeitraum 1991–2019. Damit wird eine Unterschiedlichkeit zwischen den 1990er Jahren einerseits und den 2000er und 2010er Jahren andererseits deutlich. Um den aktuellen Trend zur erschließen, empfiehlt sich deshalb der Zeitraum ab 2001.

An Tabelle 13 wird auch eine große Heterogenität in den durchschnittlichen jährlichen Verbesserungen erkennbar. Am oberen Ende der Arbeitsproduktivitätssteigerung steht die USA in den Jahren 2001–2019 mit einer Steigerung von 2,7 Mio. USD_{PPP}/Tsd. Erwerbstätige pro Jahr. Deutschland verzeichnet im gleichen Zeitraum eine Steigerung von 2,3 Mio. USD_{PPP}/Tsd. Erwerbstätige. Weit abgeschlagen ist die Steigerung der Arbeitsproduktivität weltweit von 0,77 Mio. USD_{PPP}/Tsd. Erwerbstätige pro Jahr seit 2001.

Tabelle 13: Durchschnittliche Veränderung der Technologieparameter pro Jahr

	λ_{GHG} (Mio. USD _{PPP} /Tsd. t CO ₂ e)		λ_L (Mio. USD _{PPP} /Tsd. Erwerbstätige)	
	Differenz p.a. 19919	Differenz p.a. 2001–2019	Differenz p.a. 1991–2019	Differenz p.a. 2001–2019
Deutschland (DEU)	0,17	0,22	2,09	2,34
Frankreich (FRA)	0,22	0,27	2,26	2,53
Vereinigtes Königreich (GBR)	0,22	0,28	1,80	1,85
Schweden (SWE)	0,35	0,47	2,20	2,43
Europäische Union (EUU)	0,17	0,22	2,11	2,38
USA (USA)	0,09	0,11	2,41	2,70
Welt (World)	0,07	0,07	0,77	0,95

Am oberen Ende der Verbesserung der THG-Output-Relation steht Schweden mit einer jährlichen Besserungsrate von 0,47 Mio. USD_{PPP}/Tsd. t CO₂e seit 2001. Der entsprechende weltweite Durchschnittswert liegt auch hier deutlich abgeschlagen bei ca. einem Siebtel (0,07 Mio. USD_{PPP}/Tsd. t CO₂e). Deutschland findet sich mit einer jährlichen Verbesserung der THG-Output-Relation von 0,22 Mio. USD_{PPP}/Tsd. t CO₂e im Zeitraum von 2001–2019 auch hier im Mittelfeld wieder und entspricht dem Mittel der Europäischen Union.

Im Hinblick auf die Validierung der nachfolgenden agentenbasierten Modellierung empfehlen sich die deutschen Werte daher aus verschiedenen Gründen. Hierfür sind für das Ausgangsszenario die deutschen Technologieparameter fortzuschreiben. Ziel der Validierung ist es, diese fortgeschriebenen Werte im Baseline-Szenario (keine Reform) am Ende des Simulationszeitraums zu erreichen. In Tabelle 14 wurden diese Fortschreibungen der Arbeitsproduktivität λ_L und der THG-Output-Relation λ_{GHG} für 15 Jahre vorgenommen.

Tabelle 14: Trendfortschreibung der Technologieparameter von Deutschland

	λ_{GHG} (Mio. USD _{PPP} /Tsd. t CO ₂ e)	λ_L (Mio. USD _{PPP} /Tsd. Erwerbstätige)
Wachstum p.a. (2001–2019)	0,22	2,34
Startwert 2019: ¹⁶⁶	6,35	95,7
Fortschritt in 15 Jahren:	3,30	35,2
Zielwert 2034:	9,64	130,9

Die im Trend fortgeschriebenen deutschen Werte befinden sich im Rahmen der Werte anderer Länder heute. Die Arbeitsproduktivität λ_L würde dann zwar die Werte der vier anderen Vergleichsländer aus Tabelle 13 überschreiten, die THG-Output-Relation λ_{GHG} dagegen den schwedischen Wert von 2019 deutlich verfehlen: Dieser liegt bei 12,4 Mio. USD_{PPP}/Tsd. t CO₂e, der fortgeschriebene Wert von Deutschland ist mit 9,6 Mio. USD_{PPP}/Tsd. t CO₂e deutlich geringer. Selbst wenn Deutschland bereits heute die höhere schwedische Geschwindigkeit hätte, würde dies nur dafür ausreichen, die heutigen Werte der THG-Output-Relation von Schweden innerhalb von 15 Jahren etwa zu erreichen.

Diese Trendfortschreibung macht klar, dass zur Erreichung der Klimaziele eine deutliche Steigerung dieser jährlichen Verbesserungen nötig ist und sich die Geschwindigkeit der technologischen Entwicklung erhöhen muss. Als Gesamtfazit ist zu ziehen, dass langfristig sowohl die anderen Länder mit ihrem heutigen Parameter für die THG-Output-Relation nicht als langfristiges Vorbild dienen können als auch die derzeitige Verbesserungsgeschwindigkeit dieses Parameters von Deutschland keine Option darstellt, um in den nächsten 15 Jahren im Klimaschutz ausreichend voranzukommen.

Die Einschätzungen dieses Kapitels können nichtsdestoweniger zur Orientierung und späteren Validierung des Status quo der technologischen Entwicklung dienen. Ersichtlich wird allerdings, dass eine deutliche Steigerung der technologischen Entwicklung im Klimaszenario der agentenbasierten Modellierung nötig sein wird.

¹⁶⁶ Das Jahr 2019 ist das letzte vollständig verfügbare Jahr und wird deshalb herangezogen.

12.4 Methodik der agentenbasierten Modellierung

12.4.1 Grundlagen

Da unterschiedliche Modellierungsansätze unterschiedliche Grundannahmen aufweisen, wird im Folgenden die Methodologie der agentenbasierten Modellierung erläutert und begründet, warum sich diese für den vorliegenden Anwendungsfall besonders eignet.

Die agentenbasierte Modellierung (engl. „Agent-based Modelling“, teilweise auch „Agent-based Computational Modelling“¹⁶⁷) ist eine computergestützte Modellierungs- und Simulationsmethode, die auf einzelne Agent:innen zur Modellbildung zurückgreift. Diese Individuen oder Akteur:innen verhalten sich nach vorab definierten Regeln, welche bei der Simulation agentenweise angewandt werden. Auf diese Weise können Dynamiken von komplexen Systemen simuliert werden, deren langfristige Entwicklung *ex ante* nicht absehbar ist. Eine hohe Zahl von Agent:innen verschiedener Agentengruppen können interagieren und somit Verbindungen zwischen der Mikro- und der Makro-Ebene sichtbar machen. Die Methode der agentenbasierten Modellierung hat eine lange Tradition in den naturwissenschaftlichen Disziplinen wie etwa der Biologie, ihre Anwendung in der Volkswirtschaftslehre ist dagegen neuer und demnach einer größeren und zunehmenden Dynamik ausgesetzt. Erste Modellierungen wurden laut Dawid (2019, S. 775) im Bereich der Finanzmärkte Ende der 1990er eingesetzt – so zum Beispiel die Arbeiten von Arthur et al. (1996) und Lux und Marchesi (1999). Laut Dawid „handelt es sich zweifellos nach wie vor um ein sehr junges und auch relativ kleines Forschungsgebiet“ (Dawid, 2019, S. 778).

Wesentliche Charakteristiken von agentenbasierter Modellierung sind (vgl. Dawid & Gatti, 2018; Dawid, 2019; Dosi & Roventini, 2019; Axtell & Farmer, 2022):

1. Heterogenität: Agentenbasierte Modelle sind darauf ausgelegt, die Heterogenität der Akteur:innen einer Volkswirtschaft zu berücksichtigen. Somit können unterschiedliche Eigenschaften, Präferenzen und Verhaltensregeln modelliert werden. So kann etwa beschränkte Rationalität oder nicht vollständige Information der Akteur:innen Berücksichtigung finden.
2. Flexibilität: Hohe Flexibilität geht mit der Heterogenität einher. Damit können die Entscheidungsregeln und Interaktionsmuster nahe an die

¹⁶⁷ Teilweise wird „Agent-based Modelling“ auch als Überkategorie des „Agent-based Computational Modelling“ gesehen (Tessfatsion, 2017, S. 385).

Realität heranrücken. Die Methode ist keinem bestimmten Modellierungsparadigma verpflichtet (Dawid, 2019, S. 776). Allgemeine Gleichgewichte sind wie auch zentrale Planer nicht erforderlich.

3. Interaktion und Adaptation: Im Mittelpunkt steht die Interaktion der verschiedenen Einzelakteur:innen. Bei allen Entscheidungen dieser Akteur:innen werden Resultate der vorherigen Entscheidungen anderer Akteur:innen berücksichtigt und bauen auf sie auf. Die Adaption hängt eng mit der Interaktion zusammen: Vorherige Ergebnisse können zu Verhaltensänderungen der bislang gezeigten Verhaltensweisen führen.
4. Nicht-Linearität und stochastische Dynamik: Bei der agentenbasierten Modellierung ist es möglich, differenzierte und damit nichtlineare Verhaltensregeln zu definieren. Kleine Veränderungen einer Variable können große Auswirkungen auf andere Variablen haben. Darüber hinaus konvergieren agentenbasierte Modelle nicht zwangsläufig zu einem schon vorab definierten Gleichgewicht, sondern die Applikation der Verhaltensweisen und die teilweise implementierten Zufallsereignisse führen möglicherweise zu keinem statischen Endpunkt.
5. Zusammenspiel von Mikro-, Meso- und Makroebene: Das Verhalten des Systems als Ganzes (Makroebene) resultiert aus einer Vielzahl von Interaktionen auf der Ebene der Einzelakteur:innen (Mikroebene) (vgl. Lamperti et al., 2018, S. 329). Individuelle Rationalität kann von makroökonomischen Entwicklungen entkoppelt werden (Epstein, 1999, S. 48f). So eignen sie sich bspw. gut, um systemische Risiken etwa zwischen Real- und Finanzmärkten zu simulieren.

Damit bringen agentenbasierte Modelle verschiedene Stärken mit sich (vgl. Dawid, 2019, S. 776ff; Dosi & Roventini, 2019, S. 20–23; Axtell & Farmer, 2022). So können verschiedene Aspekte meist ohne große Schwierigkeiten angepasst und zusätzliche, verfeinerte Annahmen durch eine Erweiterung des Codes implementiert werden. Bei gleichgewichtsbasierten neoklassischen Modellen dagegen kann dies schwieriger sein und es kann vorkommen, dass aufgrund von Lösbarkeitsproblemen, Annahmen nicht oder nur auf eine bestimmte Weise getroffen werden können. In der agentenbasierten Modellierung ist es nicht notwendig, aus Umsetzungsgründen auf Standardannahmen zurückzugreifen. Diese Flexibilität birgt die Chance, eine Vielzahl von Annahmen realitätsnah und passgenau zu treffen.

Der Aspekt der Flexibilität wird allerdings auch als zentraler Kritikpunkt an der agentenbasierten Modellierung genannt, da durch die detaillierten

Annahmen der Agent:innen viele Variablen und damit Freiheitsgrade bei der Validierung entstehen können (Fagiolo & Roventini, 2016). Im vorliegenden Modell wird deshalb die Bildung zusätzlicher Variablen mit Bedacht vorgenommen und auf ihren möglichen zusätzlichen Nutzen hin eingeschätzt.

Eine andere Kritik an agentenbasierter Modellierung ist, dass sie sich nicht gut für Vorhersagen eignet. Dies ist aber vor dem Hintergrund von Modellen wie von Poledna et al. (2023) in der Zwischenzeit als nicht mehr zutreffend zu bewerten, da Out-of-Sample-Forecasts mithilfe von agentenbasierten Modellen gegenüber anderen Modellen konkurrenzfähig sind und zudem im Gegensatz zu DSGE-Modellen eine höhere Disaggregation aufweisen und stock-flow-konsistent sein können.

Die agentenbasierte Modellierung zählt zu den algorithmischen Modellen. Auch wenn sich mathematische und algorithmische Modellierungsarten ontologisch nicht unterscheiden, ergeben sich aus der Tatsache, dass mathematische Modelle aus mathematischen Objekten bestehen, während der grundlegende Baustein in algorithmischen Modellen Prozeduren sind, wichtige epistemologische Unterschiede ergeben (Gräbner, 2018, Punkt 2.20). So liegt eine Stärke der agentenbasierten Modellierung auf der Erklärung der Interaktion von Akteur:innen.

Bei agentenbasierten Modellen kommt der Modellverifikation, das heißt der internen Überprüfung der Konsistenz des Modells, eine besondere Bedeutung zu. Verifikation adressiert die Frage, ob das Modell mit Blick auf die Prozesse und Zusammenhänge das tut, was es tun soll (Gräbner, 2018, Punkt 3.3). Das zu beschreibende Zielsystem spielt hierbei keine Rolle, stattdessen geht es um die Vergewisserung, ob der Algorithmus den Prozess bzw. Zusammenhang beschreibt, der intendiert war. Aufgrund von zum Teil langen Codes, in denen inhaltliche Fehler auftreten können, die nicht zwangsläufig zu einer Fehlermeldung führen, ist die Verifikation eine besondere Angelegenheit der agentenbasierten Modellierung, die es durch die klare Darstellung des Programmcodes sowie der Einhaltung von Programmiernormen und -gepflogenheiten zu adressieren gilt.

Die Validierung adressiert die Frage, wie gut das Modell das zu beschreibende Zielsystem repräsentiert. Tesfatsion (2017, S. 392f) unterscheidet vier Arten der Validierung:

1. Inputvalidierung (Abgleich der Annahmen des Ausgangsmodells mit der Realität)
2. Prozessvalidierung (Abgleich der Prozesse des Modells mit der Realität)

3. Outputvalidierung (Abgleich der Ergebnisse des Modells mit der Realität)
4. Vorhersagende Outputvalidierung (Abgleich der vorhergesagten Ergebnisse mit der Realität)

Bei der Implementierung von festen Buchhaltungsregeln oder Steuergesetzen, wie sie häufig und so auch in der vorliegenden agentenbasierten Modellierung angewandt werden, handelt es sich um Inputvalidierung. Verbreitet ist darüber hinaus auch die Prozessvalidierung, die aufgrund der Frage nach der Richtung und Beschaffenheit technologischer Entwicklungen im vorliegenden Fall ebenfalls in Frage kommt. Dawid (2019, S. 772) zufolge werden typischerweise die zentralen Parameter des Modells direkt aus Daten abgeleitet, die verbleibenden Parameter werden graduell angepasst, um die stilisierten Fakten zu reproduzieren. Die Fähigkeit, eine hohe Anzahl empirischer Fakten zu reproduzieren, wird als Stärke gesehen (Dawid, 2019, S. 777).

Es gibt eine lebendige Debatte darüber, welche Methoden zur Verifikation und Validierung adäquat sind, und neue Methoden werden entwickelt (vgl. J.-S. Lee et al., 2015; Ten Broeke et al., 2016; Schulze et al., 2017). Zunehmend bilden sich Standards heraus, auch wenn es grundlegende Uneinigkeit darüber gibt, inwieweit die Modellverifikation und Validierung notwendig und machbar sind (vgl. Gräbner, 2018, Punkte 1.5 und 1.6).

Die Herausforderungen liegen Dawid (2019, S. 778f) zufolge in der Entwicklung und Verbreitung von Standards, um stärkere Transparenz und Vergleichbarkeit zu erreichen. Die methodologische Entwicklung sei „bei weitem noch nicht abgeschlossen“ (Dawid, 2019, S. 779), Dawid erwartet nichtsdestotrotz, dass die agentenbasierte Modellierung eine zunehmend wichtige Rolle spielen wird.

12.4.2 Eignung der agentenbasierten Modellierung

Bei der vorliegenden Fragestellung der Richtung und möglichen Lenkung der technologischen Entwicklung erscheinen die genannten Vorteile und Charakteristika der agentenbasierten Modellierung besonders zutreffend.

Zur Modellierung des Zusammenspiels von inkrementellen Veränderungen der Produkte durch technologische Entwicklungen erweist sich eine Vielzahl von simulierten und potenziell unterschiedlichen Akteur:innen als sinnvoll, wie sie in der agentenbasierten Modellierung abbildbar sind. Diese Mikroeffekte durch Innovation und der daran anknüpfende Wettbewerbsdruck ha-

ben Auswirkungen auf die Makroebene und bestimmen welcher Technologiepfad langfristig insgesamt eingeschlagen wird. Agentenbasierte Modelle eignen sich, heterogene Effekte zwischen der Mikro- und Makroebene zu berücksichtigen (Dosi et al., 2018; vgl. Dosi, Pereira, et al., 2017; Lamperti et al., 2018). Mit dieser Stärke können die Variablen der Makroebene (Steuern und Sozialversicherungen) auf die Mikroebene gebracht werden (die Interaktion von Unternehmen und Konsument:innen), um dann wiederum – wie bereits beschrieben – die Effekte auf der Makroebene in den Blick zu nehmen (Beschäftigung, THG-Emissionsreduktion und technologische Entwicklung).

Auch beim Aspekt der Technologie bietet sich die agentenbasierte Modellierung an. Um technologische Entwicklung in der langen Frist zu modellieren, gilt es unter anderem Unsicherheit und das Zusammenspiel begrenzt rationaler, heterogener Akteur:innen zu integrieren, wofür sich agentenbasierte Modelle eignen (vgl. Farmer et al., 2015). Die Berücksichtigung dieser Aspekte ist für lange Betrachtungsrahmen von erheblicher Bedeutung (Pindyck, 2013; Farmer et al., 2015).

12.5 Das Modell

12.5.1 Grundstruktur

Im Folgenden werden die Mechanismen mit den dafür notwendigen Variablen des Modells eingeführt.¹⁶⁸ Ergänzend wird das agentenbasierte Modell im technischen Anhang beschrieben. Der zugrundeliegende Code ist darüber hinaus online abrufbar.¹⁶⁹

Dem Ansatz der vorliegenden Arbeit folgend, dass es sich um eine weitreichende und graduell umgesetzte Reform handeln soll, werden für die Umsetzungsphase der Reform 15 Jahre angesetzt. Um mögliche Effekte beim Maßnahmenbeginn sichtbar machen zu können, werden diesen 15 Jahren drei Jahre vor der Reform vorangestellt. Um die Effekte nach Beendigung ebenfalls in den Blick nehmen zu können, werden weitere drei Jahre ohne Reform angehängt. Der Betrachtungszeitraum beträgt damit 21 Jahre, was bspw. von 2024 bis 2045 sein könnte, wobei 2045 dem aktuellen Zieljahr für THG-Neutralität der deutschen Bundesregierung entspricht.

168 In der agentenbasierten Modellierung sind die einzelnen Funktionen als Methoden implementiert – entlang dieser Methoden wird das Modell im technischen Anhang differenzierter beschrieben. Methoden sind in der objektorientierten Programmierung Prozeduren, die von übergeordneten Objekten ausgeführt werden können. Haushalte und Unternehmen sind im vorliegenden Fall die Objekte bzw. Klassen, von denen die Methoden ausgeführt werden können.

169 Siehe Github: <https://github.com/HannesVetter> (27.03.2024).

Die Modellierung findet in diskreter Zeit statt. Als Zeitschritt bzw. Periode wird ein Monat gewählt. Die 21-jährige Hauptphase der Simulation besteht somit aus 252 Zeitschritten bzw. Monaten. Die davorgestellte Burn-in-Phase (s.u.) besteht aus 21 Zeitschritten, sodass es insgesamt 273 Zeitschritte sind.

Die Makrostruktur des Modells orientiert sich an der VGR. Hierbei ist die deutsche Volkswirtschaft Zielobjekt der Validierung (vgl. die Makrostruktur von Poledna et al., 2023, S. 5, die der österreichischen volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung folgt).

12.5.2 Ablauf des Modells

Das Modell durchläuft mehrere Phasen. Am Anfang steht die Initialisierung, in der die Haushalte und Unternehmen generiert werden. Darauf folgt die Burn-in-Phase. In dieser wird das Modell eingeführt, sodass mögliche Anfangsverzerrungen nicht die Ergebnisse der Hauptphase beeinflussen. Die 21-jährige Hauptphase und eigentliche Simulationsphase beginnt daher erst mit Abschluss der Burn-in-Phase. Mit ihr setzt die Entwicklung der Technologie ein. Schließlich werden die Ergebnisse aller Modelldurchläufe gespeichert und zur weiteren Verarbeitung aufbereitet.

Für jedes Szenario werden zehn Durchläufe generiert und Mittelwerte gebildet. Ziel dieses Monte-Carlo-Verfahren ist es sicherzustellen, extreme, ggf. nichtrepräsentative Durchläufe, die grundsätzlich entstehen können, nicht überzubewerten. Die zehn Durchläufe sind außerdem im Einzelnen zu prüfen, um Auffälligkeiten zu identifizieren, da die Simulation an zentralen Stellen auf Zufallsvariablen aufbaut (vgl. Dosi et al., 2013; Dafermos et al., 2018; Lamperti et al., 2018, 2020; Hötte, 2020). Diese Prüfung wurde für alle vorgestellten Ergebnisse durchgeführt und kann anhand der abgebildeten Schaubilder im Anhang nachvollzogen werden. Aus Übersichtsgründen wird auf die Durchschnittswerte dieser zehn Durchläufe zurückgegriffen.

In jedem Szenario erfolgt in jedem Zeitschritt nacheinander die Produktion und der Handel der Güter, die Durchführung der Reform zur Festlegung der Rahmenbedingungen des darauffolgenden Zeitschritts, sofern eine Reform modelliert wird, und schließlich die Vorbereitung der Unternehmen auf den nächsten Zeitschritt.

12.5.3 Akteure des Modells

Das Modell umfasst zwei Akteursgruppen: Haushalte und Unternehmen. Die staatlichen Einnahmen werden aufgrund der Aufkommensneutralität der betrachteten Reformen unmittelbar weitergeleitet, sodass der Staat nicht als eigenständiger Akteur in Erscheinung tritt. Grundsätzlich kaufen Haushalte bei Unternehmen homogene, aber im Preis verschiedene Güter. Haushalte haben zu Beginn ein Startbudget und erhalten ab der zweiten Periode ihr Einkommen von den Unternehmen. Die Produktionskosten der Unternehmen sind auf den Zweck des Modells fokussiert und bestehen lediglich aus den Komponenten: Arbeits-, Betriebs- und Investitionskosten sowie THG-Steuern.

In den Arbeitskosten ist alles enthalten, was für die Unternehmen als Ausgaben für Arbeit entsteht, das heißt auch arbeitsbedingte Steuern und Abgaben. Jenseits der THG-Steuern und der Arbeitskosten gibt es die Betriebskosten. Jegliche Steuern sind somit entweder in Arbeitskosten, Betriebskosten oder THG-Steuern enthalten.

Überschüssige Unternehmensgewinne werden als Dividende an die Haushalte zurückgeführt. Das gleiche gilt für die THG-Steuern, die dem Staat zugehen. Da dieser aber nicht in Erscheinung tritt, werden sie direkt den Haushalten zu gleichen Teilen zugeführt. Verteilungsaspekte bleiben unberücksichtigt.

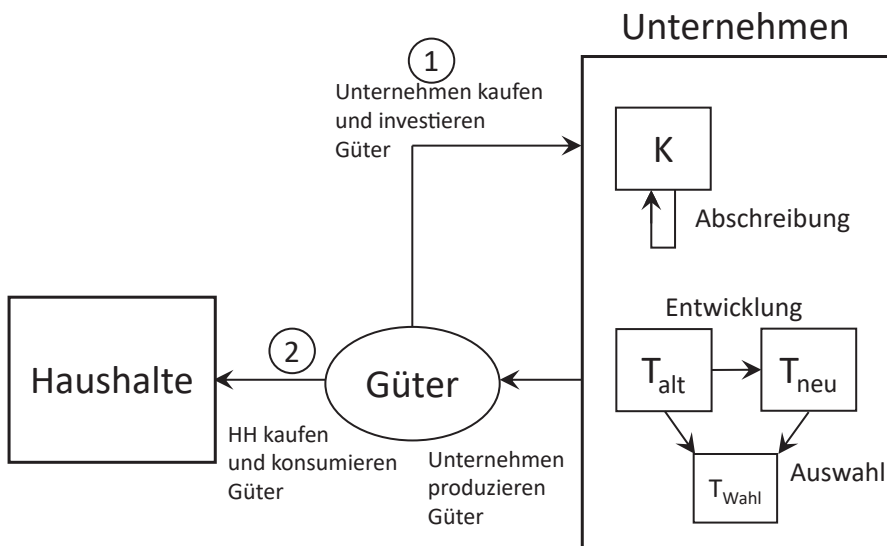


Abbildung 15: Schematische Darstellung des Modells

Investitionen sind ebenfalls Käufe von Gütern, die dann jedoch als Investitionsgüter verwendet werden, um Kapital K zu bilden (siehe Abbildung 15). Diese führen die Unternehmen am allgemeinen Gütermarkt selbst durch. Im ersten Schritt kaufen Unternehmen am Markt Güter als Investitionsgüter, wobei ausgeschlossen wird, dass ein Unternehmen bei sich selbst Güter kauft. Im zweiten Schritt kaufen Haushalte am Markt Güter als Konsumgüter. Die Kapazitäten der Unternehmen innerhalb eines Zeitschritts sind beschränkt und können nur langfristig gesteigert werden. Aufgrund dessen ist diese eben beschriebene Reihenfolge von Relevanz. Übersteigt die Nachfrage das Angebot, können nicht alle Haushalte ihre Bedarfe bedienen.

Außenhandel wird im Modell nicht berücksichtigt. Die Nettoexporte werden als Null angenommen. Tatsächlich lägen sie laut VGR bei 76.300 Mio. EUR im Jahr 2022, was 2,0% des BIP entspricht, sodass mögliche Verzerrungen gering sind (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023a, S. 9). Der in Abbildung 15 skizzierte technologische Prozess wird in einem eigenen Kapitel erläutert.

12.5.3.1 Haushalte

Haushalte stellen einen von zwei Akteursgruppen im Modell dar. Sie haben ein festes verfügbares Einkommen und kaufen damit zu gleichen Teilen (zu je einem Fünftel des verfügbaren Einkommens) bei Unternehmen homogene Güter. Das heißt, diese Güter unterscheiden sich nicht, selbst wenn sie mit unterschiedlichen Produktionsweisen hergestellt wurden. Die Innovationen der Unternehmen sind daher als Prozessinnovationen, nicht als Produktinnovationen zu verstehen. Die Haushalte führen eine *Auftragsliste* (auch *Shortlist* oder *Liste der engeren Wahl*), auf der die fünf aktuell präferierten Unternehmen stehen (vgl. Lengnick, 2013; Rengs et al., 2015).¹⁷⁰ Zunächst werden die Unternehmen auf ausreichend Kapazität hin geprüft und ggf. ersetzt. Zusätzlich wird in jedem Zeitschritt von den fünf Unternehmen der Auftragsliste eines Haushalts das teuerste Unternehmen ersetzt. Auf diese Weise wird einerseits kurzfristig einer Produkttreue entsprochen, da ein höherer Preis nicht zwangsläufig zur Wahl eines anderen Herstellers führt. Andererseits wird langfristig einem Preiswettbewerb entsprochen, da die teuersten Güter aussortiert werden und am Markt nicht bestehen werden können.

¹⁷⁰ Eine Alternative zu diesem Vorgehen ist, dass die Agenten, etwa die Haushalte, nur eine Teilmenge aller Unternehmen im Blick haben und aus diesen die für sie beste Wahl treffen (vgl. Caiani et al., 2016, S. 9). Der Vorteil der Shortlist ist jedoch, dass Haushalte nicht immer alle Unternehmen neu wählen und damit das System rigide ist: Ein hoher Preis führt nicht sofort zum vollständigen Umsatzverlust.

Obwohl es sich um eine langfristige Simulation handelt, wird kein nominales Wachstum etwa der Nachfrage der Haushalte angenommen. Das Wachstum des nominalen Umsatzes, der Nachfrage und anderer Modellvariablen versprechen keinen Mehrwert beim Blick auf die Forschungsfragen. Um zu vermeiden, dass Wachstum die Interpretation der verschiedenen Modellierungsszenarien erschwert, wird auf exogenes, nominales Wachstum verzichtet. Endogen wird allerdings über die Verbesserung der Technologie reales Wachstum erzeugt: Durch die fortschreitende Senkung der Produktionskosten können für die gleichen Mittel mehr Produkte (nach Stück) gekauft werden.

Es wird von 46 Mio. Erwerbstätigen zu Beginn ausgegangen (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023a). Dieser Startwert kann sich im Simulationsverlauf verändern, da die Anzahl der Erwerbstätigen von der Nachfrage von Unternehmen nach Arbeit abhängt. Die relative Zunahme der Erwerbstätigen ist im Modell ein Indikator für eine positive ökonomische Entwicklung. Allerdings wird immer das vollständige Einkommen der Erwerbstätigen auf alle Haushalte aufgeteilt, Arbeitslosigkeit oder andere Verteilungsaspekte werden insofern nicht berücksichtigt.

Das verfügbare Einkommen C der Haushalte entspricht als Quotient von Konsum und BIP gemäß der VGR ca. 75% des BIP (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023a). Der Konsum hängt direkt am verfügbaren Einkommen (vgl. D'Alessandro et al., 2020, S. 5). Sofern Unternehmen ausreichend Kapazitäten aufweisen, konsumieren die Haushalte vollständig ihr Einkommen, andernfalls wird der Konsum auf die nächste Periode verschoben. Grundsätzlich kann sich das verfügbare Einkommen verändern, denn es hängt von den Ausgaben der Unternehmen ab. Steigen etwa die Arbeitskosten, steigt auch das Einkommen der Haushalte. In jedem Zeitschritt wird das Einkommen daher neu berechnet. Die Haushalte geben es dann zu gleichen Teilen bei den fünf Unternehmen der Shortlist aus. Wird es nicht vollständig ausgegeben, verbleibt es bei den Haushalten und erhöht die Ausgaben im nächsten Zeitschritt. Jenseits dessen kann sich das verfügbare Einkommen durch den Ökobonus verändern. In diesem Fall wird das Aufkommen der THG-Steuer an die Haushalte als Einkommen geleitet.

Bevor es zum Kauf kommt, prüfen die Haushalte die Unternehmen ihrer Shortlist. Zuerst wird das teuerste Unternehmen auf der Shortlist durch ein zufälliges Unternehmen der Liste der vorhandenen Unternehmen mit Kapazität ersetzt. Darüber hinaus wird unmittelbar vor jedem Kauf die Kapazität der Unternehmen der Auftragsliste einzeln geprüft. Das heißt, sind die Kapazitäten der

präferierten Hersteller erschöpft, wird ein neues Unternehmen mit potenziell ausreichenden Kapazitäten ausgewählt und somit die Shortlist umgestellt. Dieser Schritt wird so oft wie notwendig durchgeführt, um ein Unternehmen mit Kapazitäten zu finden. Gibt es keine Unternehmen mit Kapazitäten mehr bzw. – auf Modellebene – ist die permanent geführte Liste der Unternehmen mit Kapazitäten leer, wird die Suche abgebrochen und das zuletzt ausgewählte Unternehmen verwendet. In diesem Fall könnte der betroffene Haushalt in dieser Periode seine Nachfrage nicht vollständig stillen.¹⁷¹

12.5.3.2 Unternehmen

Unternehmen sind der zentrale Akteur im Modell. Sie investieren in Kapital, entwickeln neue Technologien und wählen die kostengünstigere Technologie aus. Für die Produktion der Güter ist der Produktionsfaktor Arbeit L erforderlich, sodass durch die Unternehmen Arbeitsnachfrage entsteht. Bei der Produktion entstehen jedoch auch THG-Emissionen GHG , die zu Ausgaben aufgrund der THG-Steuern führen. Die Kosten eines Unternehmens setzen sich aus vier Komponenten zusammen:

- Arbeitskosten L_{cost}
- Betriebskosten und Steuern B
- Investitionsausgaben I
- THG-Steuern GHG_{cost}

Die Summe dieser Komponenten stellt den Gesamtumsatz Y dar. Ergänzt werden sie lediglich durch die Dividende, die als Überschuss entsteht und an die Haushalte abgegeben werden, da die Unternehmen im Besitz der Haushalte liegen (vgl. Caiani et al., 2016, S. 8). Eine Anhäufung von monetärem Vermögen findet nicht statt. Für alle Unternehmen aggregiert entspricht der Gesamtumsatz dem BIP, weshalb $Y = 3.876.800 \text{ Mio. EUR}$ bzw. ein monatlicher Wert von 323.100 Mio. EUR gewählt wird (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023a, S. 9). Durch die Reformen kommen den Arbeitskosten L_{cost} und den THG-Steuern GHG_{cost} zentrale Rollen zu.¹⁷² Sie berechnen sich durch:

¹⁷¹ In den folgenden Simulationen ist durchgängig festzustellen, dass dies nicht der Fall ist. Das heißt, die Nachfrage kann immer bedient werden.

¹⁷² Für L_{cost} ist der Begriff Arbeitskosten gewählt (vgl. Herzog-Stein & Stein, 2023, S. 9f), da für die vorliegende Modellierung ein breiter Begriff verwendet werden soll, der alle Kosten im Zusammenhang mit Arbeit beinhaltet (bspw. inkl. Lohnnebenkosten). Alternative Begriffe wären gewesen: Lohnkosten (enger als Arbeitskosten), Arbeitnehmerentgelt (Begriff aus der VGR) oder Personalkosten (Begriff aus der Unternehmensperspektive).

$$L_{cost} = w \cdot L,$$

$$GHG_{cost} = \tau \cdot GHG,$$

wobei w der Arbeitskostensatz und τ der THG-Steuersatz ist. Über die Arbeitskosten und den Gesamtumsatz definiert sich die Lohnquote $\xi = \frac{L_{cost}}{Y}$. Über die Arbeitskosten L_{cost} ergibt sich eine Lohnquote von ca. 50%.¹⁷³

Investitionen I sind ein weiterer Kostenfaktor, den Unternehmen proportional zur Höhe des Umsatzes der letzten Periode wählen (vgl. Investitionen in Technologie bei Lamperti et al., 2020). Dieser anteilige Faktor berechnet sich aus der VGR und beträgt gerundet 25% (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023a).¹⁷⁴

$$I_t = \psi Y_{t-1}.$$

Sind die finanziellen Mittel dafür nicht ausreichend vorhanden, werden die verbleibenden Finanzmittel investiert. Dabei gibt es keine zusätzlichen Investitionsgüter, sondern die getätigten Investitionen werden in der nächsten Periode am Gütermarkt erworben, wo ebenfalls die Konsumgüter gehandelt werden. Nicht zwischen Konsum- und Investitionsgut zu unterscheiden, ist insbesondere in Input-Output-Modellen üblich, in denen die Outputs der Sektoren gleichermaßen als Konsumgut (letzte Verwendung), als Investitionsgut oder als Vorprodukt weiterer Produkte verwendet werden (vgl. Modelle mit Input-Output-Tabellen von D'Alessandro et al., 2020; King, 2022; Poledna et al., 2023), wird aber auch in Modellen ohne Input-Output-Tabellen derart gehandhabt (vgl. Bovari et al., 2018).

Unternehmen haben ebenfalls eine Auftragsliste mit fünf Unternehmen, um Investitionsgüter zu erwerben. Auch hier wird wie beim Kauf durch die Haushalte angestrebt, die gesamten Investitionsausgaben gleichmäßig auf die

¹⁷³ Aus den Werten der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung: Das Arbeitnehmerentgelt (2.023.600 Mio. EUR) dividiert durch das BIP (3.876.800 Mio. EUR) ergibt eine Lohnquote von 52,2%, was auf 50% gerundet wird (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023). Hier ist anzumerken, dass Lohnquote auf der Grundlage der Arbeitskosten analog breit gefasst ist – die Definition der bereinigten und unbereinigten Lohnquote des Statistischen Bundesamtes weicht davon ab (2023, S.23). Es ist darauf hinzuweisen, dass in die Modellierung keine verketteten Vorprodukte einfließen, sondern die Haushalte kaufen die Endprodukte direkt bei den Unternehmen, die diese Produkte vollständig produziert haben (Prinzip der zusätzlichen Wertschöpfung, bei der vom Produktionswert die Vorleistungen abgezogen werden). In der Modellierung und deshalb auch in dieser Lohnquote sind daher hintereinandergeschaltete Verkaufsprozesse nicht berücksichtigt, weshalb sich ein hoher Anteil der Ausgaben für Arbeit ergibt.

¹⁷⁴ Die Bruttoinvestitionen (970.300 Mio. EUR) dividiert durch das BIP (3.876.800 Mio. EUR) ergibt 25,0% (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023).

fünf Unternehmen aufzuteilen. Dafür wird die erforderliche Menge geprüft: Liegt sie nicht vor, wird das Unternehmen auf der Auftragsliste durch ein anderes ersetzt. Kann die Nachfrage am Markt von keinem Unternehmen bedient werden, wird sie in den nächsten Zeitschritt verschoben.

Der vierte Kostenfaktor sind die Betriebskosten B . Zu diesen zählen allgemeine betriebliche Kosten (zum Beispiel Miete, Zinszahlungen, Vorprodukte und kleinere Anschaffungen, die nicht zu den Investitionskosten zählen) sowie andere Steuern (zum Beispiel Umsatzsteuer und Gewinnsteuern). Sie sind als sowohl von den Arbeitsentgelten L_{cost} als auch von den THG-Steuern GHG_{cost} unabhängiger Bestandteil erforderlich und stellen damit eine weitere Säule dar. Es wird angenommen, dass die Betriebskosten B ein fester, exogener Anteil μ des Gesamtumsatzes Y eines Unternehmens sind. Dieser feste Anteil μ ergibt sich als Restgröße und liegt bei 25%, da 50% für Lohn und 25% für Investitionen vom Gesamtumsatz abgehen. Die Betriebskosten berechnen sich daher als:

$$B = \mu Y.$$

Das Kapital K bestimmt sich durch das Kapital der vorherigen Periode abzüglich eines anteiligen Verfalls gemäß der Abschreibungsrate δ , zuzüglich der Investitionshöhe I :

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_t.$$

Die Abschreibungsraten variieren je nach abzuschreibendem Gut.¹⁷⁵ Laut Baldwin et al. (2005, S. 71) eignet sich ein Mittelwert von 10% per anno (0,83% pro Monat), wobei sich die Abschreibungsraten nicht sehr stark nach der Wahl der Methode unterscheiden. Die Höhe des Kapitals konvergiert in der langen Frist bei ausreichender und konstanter Nachfrage.¹⁷⁶

Die Senkung des Preises p ist der Indikator für die Steigerung der Produktivität durch die bessere Technologie bei Arbeit (λ_L) und THG-Emissionen (λ_{GHG}), denn die Preissenkung ist proportional zur Gesamtproduktivitätssteigerung, welche durch die Verbesserung der Variablen λ_L und λ_{GHG} induziert wird.

¹⁷⁵ So wird laut Bundesfinanzministerium Gebäuden teilweise eine Nutzungsdauer von über 40 Jahren zugeschrieben, was bei linearer Abschreibung eine Abschreibungsrate von 2,5% ergibt. Für einfachere Güter mit kürzerer Lebensdauer wie Kaffeeautomaten gilt eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren, was eine Abschreibungsrate von 20% ergibt. Siehe https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Themen/Steuern/Steuerverwaltung-Steuerrecht/Betriebsprüfung/AfA_Tabellen/afa_tabellen.html (17.02.2024).

¹⁷⁶ Diese Konvergenz ist in den Ergebnissen zu beobachten, wenn auch der konvergierte Wert noch deutlich nicht erreicht sein wird.

Die Produktionsfunktion ist eine Leontief-Produktionsfunktion mit festen Input-Output-Verhältnissen. Derartige feste Input-Output-Faktoren sind in agentenbasierten Modellierungen verbreitet (vgl. D'Alessandro et al., 2020; Poledna et al., 2023); technologische Verbesserungen sind – allgemein wie auch im vorliegenden Modell – durch Verbesserungen dieser Faktoren implementierbar. Diese Verhältnisse werden durch die Kapitalproduktivität λ_K und die Arbeitsproduktivität λ_L repräsentiert. Darüber hinaus entsteht ein Nebenprodukt, nämlich THG-Emissionen GHG , mit der THG-Output-Relation λ_{GHG} , die als Verhältnis von THG-Emissionen zu Output y definiert ist. Damit ergibt sich als Produktionsfunktion der Output y (in Stück):

$$y = F(K, L) = \min\{\lambda_L L; \lambda_K K\}.$$

Das heißt im Umkehrschluss, dass die Beschäftigung von der Arbeitsproduktivität und dem Outputniveau bestimmt wird (vgl. D'Alessandro et al., 2020, S. 5). Arbeit L wird zunächst als verfügbarer, nicht limitierter Faktor angenommen. Das heißt, dass der produktionsbedingten Arbeitsnachfrage am Arbeitsmarkt immer entsprochen werden kann (vgl. Jackson & Victor, 2020). Die Implikation dieser Annahme ist am konkreten Ausmaß der Arbeitsnachfrage im späteren Verlauf zu plausibilisieren. Eine Lagerung von Gütern findet nicht statt, da die Produktion jede Periode auf Nachfrage erfolgt.

Die maximale Kapazität der Produktionsfunktion hängt somit am Kapital sowie an der Kapitalproduktivität. Die Kapitalproduktivität λ_K bestimmt, wie viel Output y durch das vorhandene Kapital produziert werden kann.

Durch die Verbesserung der Technologie, das heißt der Verbesserung der Arbeitsproduktivität λ_L und der THG-Output-Relation λ_{GHG} , sinkt in der langen Frist der Preis p und steigt das Produktionspotenzial. Aus diesem Grund wird für die Kapitalproduktivität λ_K eine Steigerung proportional zur durchschnittlichen Arbeitsproduktivität λ_L angenommen.

Grundsätzlich wird angenommen, dass sich technologische Verbesserungen auf den gesamten Kapitalstock auswirken, nicht allein auf das durch die Investition neu hinzugewonnene Kapital. Theoretisch lässt sich sowohl die Auswirkung auf den gesamten als auch nur auf den neuen Kapitalstock begründen: Technologien können einzelne Arbeitsschritte verbessern, während alle anderen gleichbleiben (zum Beispiel eine Maschine, die einen abgetrennten Arbeitsschritt erledigt). Genauso können Technologien die Produktivität insgesamt verbessern

(zum Beispiel durch eine neue Software oder neue Arbeitsabläufe, die eine insgesamt Verbesserung induzieren). Beide Begründungen werden in der Praxis herangezogen. Im vorliegenden Fall wird der Begründung gefolgt, dass sich durch den Fortschritt die Arbeitsabläufe insgesamt verbessern.

Die beiden Parameter Arbeitsproduktivität λ_L und THG-Output-Relation λ_{GHG} können durch technologische Entwicklung verändert bzw. verbessert werden (siehe Kapitel 12.5.4 Technologische Entwicklung). Die marginalen Kosten (MC) berechnen sich als Summe der Produktionskosten je Stück und lassen sich vereinfachen zu:

$$MC = \frac{1}{y}(wL + \tau GHG),$$

wobei für Arbeit $L = \frac{y}{\lambda_L}$ und für THG-Emissionen $GHG = \frac{y}{\lambda_{GHG}}$ gilt. Output y wird in Stück bemessen, im Gegensatz zum Umsatz Y , welcher die Einheit EUR aufweist. Daraus folgt:

$$MC = \frac{w}{\lambda_L} + \frac{\tau}{\lambda_{GHG}}.$$

Der Preis berechnet sich durch die marginalen Kosten (MC) und einem festen Aufschlag (*markup*, vgl. Caiani et al., 2016, S. 11):

$$p = MC \cdot \text{markup}.$$

Dieses Markup ist in der langen Frist notwendig, da bei der Berechnung der marginalen Kosten und des Preises weder die Betriebskosten noch die Investitionsausgaben berücksichtigt werden und Unternehmen ohne Markup ihre Gesamtkosten nicht decken könnten. Das Markup ist dementsprechend in der Höhe zu wählen, dass die Betriebskosten und Investitionen getragen werden können. Eine solche Markup-Regel ist in der Volkswirtschaftslehre verbreitet. Die Höhe des Aufschlags kann aus Maximierung der allgemeinen Gewinnfunktion $\Pi = p(y) \cdot y - c(y)$ abgeleitet werden (LeRoy Miller, 1982), wobei $c(y)$ die Kosten in Abhängigkeit der Quantität y sind. Daraus folgt:

$$p = \frac{\epsilon}{1+\epsilon} \cdot MC = \frac{1}{1+\eta} \cdot MC,$$

wobei $\frac{1}{\epsilon}$ als Marktmacht interpretiert werden kann und η die Preiselastizität der Nachfrage ist. Das bedeutet, je geringer die Marktmacht, desto näher liegt der Preis an den marginalen Kosten der Produktion. Im vorliegenden Modell wird

von etwas Marktmacht ausgegangen, welche deshalb die marginalen Kosten um einen prozentual festen Aufschlag erhöht.

Die Berechnung der Produktionskapazitäten y_{capa} der nächsten Periode findet am Ende jedes Zeitschritts für jedes Unternehmen statt:

$$y_{capa,t+1} = \lambda_K K_t.$$

Es gibt eine feste Anzahl von Unternehmen. Liquiditätsprobleme können nichtsdestoweniger auftreten, denn im Allgemeinen ist es möglich, dass Unternehmen keine Erfolge bei der technologischen Entwicklung haben, in der langen Frist deshalb zu hohe Preise aufweisen und folglich am Markt wenig Nachfrage erfahren. In diesem Fall kann es aufgrund der fehlenden finanziellen Mittel zur Investition dazu kommen, dass der Kapitalstock abschmilzt. Dieser Entwicklung wird eine Grenze gesetzt: Sinkt der Kapitalstock auf ein Minimalniveau (konkret: 50% des Startniveaus), wird das Kapital auf diesem Niveau gehalten und sinkt nicht weiter. Das kann sowohl als Insolvenz und gleichzeitige Neugründung interpretiert werden als auch als staatliches Unterstützungsprogramm für kleine Unternehmen. Die Technologie bleibt erhalten, aber ein weiteres Abrutschen ist nicht möglich. Auf diese Weise kann das Unternehmen durch mögliche zukünftige technologische Entwicklungen erneut Nachfrage am Markt generieren und potenziell nach einer Phase ohne Umsätze wieder kompetitiv werden.

Wie bei den Haushalten prüfen auch Unternehmen die Auftragsliste und ersetzen ggf. Unternehmen, wenn sie nicht genügend Kapazität aufweisen. Statt des verfügbaren Einkommens setzen die Unternehmen Beiträge ein, die für die Kapitalinvestition zuvor anteilig vom Umsatz reserviert wurden. Investitionen sind ein exogener Anteil ψ des Umsatzes $Y_{sales,t-1}$ der letzten Periode. Kann diese Investitionshöhe nicht erreicht werden, werden zumindest alle übrigen verfügbaren Mittel (CA) eingesetzt:

$$I_t = \min\{\psi Y_{t-1}, CA_t\}.$$

Dieser Betrag wird gleichmäßig für die fünf Unternehmen auf der Auftragsliste eingesetzt. Kann eine Nachfrage nicht bedient werden, wird der Betrag aufgespart und in der nächsten Periode zum Kauf von Investitionsgütern eingesetzt.

Der Bruttogewinn Π_{brutto} berechnet sich aus den Erlösen Y_{sales} abzüglich der Betriebskosten B und den variablen Kosten (die Stückzahl y_{sales} multipliziert mit den marginalen Kosten MC), das heißt Gewinne durch den Verkauf ohne

Abzug der Investitionen in Kapital.¹⁷⁷ Der Nettogewinn Π_{netto} definiert sich als Bruttogewinn abzüglich der Investitionskosten I :

$$\Pi_{\text{brutto}} = Y_{\text{sales}} - B - y_{\text{sales}} \cdot MC,$$

$$\Pi_{\text{netto}} = \Pi_{\text{brutto}} - I.$$

Der Prozess der technologischen Entwicklung findet zwar innerhalb der Unternehmen statt, dennoch wird er im Folgenden in einem eigenen Unterkapitel beschrieben, da es sich um einen zentralen Baustein des Modells handelt.

12.5.4 Technologische Entwicklung

Alle Inputfaktoren haben eine eigene Produktivität bzw. einen eigenen Technologieparameter λ (vgl. A. Naqvi & Stockhammer, 2018). Bei der technologischen Entwicklung geht es um die Verbesserung der Faktoren λ_L , λ_{GHG} und λ_K . Die Kapitalproduktivität wurde bereits thematisiert, sodass es nachfolgend um die Entwicklung der Parameter λ_L und λ_{GHG} geht. Die Verwendung von zwei oder mehr separaten Technologie-Parametern ist in Modellen mit Fokus auf Technologie nicht unüblich (Acemoglu, 1998b, 2002b, 2003; Acemoglu et al., 2012; D'Alessandro et al., 2020) und ist auch in agentenbasierten Modellen wiederzufinden (Hötte, 2020). Es wird angenommen, dass sich das Tupel $(\lambda_L, \lambda_{GHG})$ eines jeden Unternehmens ohne Entstehung von zusätzlichen Kosten zufällig verändert. Der Mechanismus der technologischen Verbesserung ist ähnlich wie im Eurogreen-Modell von D'Alessandro et al. (2020, S. 4f). Im Eurogreen-Modell gibt es ebenfalls zufällige technologische Entwicklungen, die dann auf Grundlage von finanziellen Anreizen ausgewählt werden. Im Unterschied zum vorliegenden Modell wird jedoch statt der THG-Output-Relation die Energieproduktivität verwendet, sodass das Tupel im Eurogreen-Modell aus Arbeits- und Energieproduktivität besteht und Anreize zur Entwicklung für Arbeit und zur Energiereduktion bestehen.

Die grundsätzliche Ansicht, dass es monetäre Anreize sind, die die technologische Entwicklung oder konkreter die Entwicklung neuer Produkte vorantreiben, um sie monetär zu vermarkten, wird in der wissenschaftlichen Literatur seit Jahrzehnten vertreten (vgl. Dosi, 1982; Cohen & Levinthal, 1990).

¹⁷⁷ Die verkaufte Stückzahl y_{sales} wird von der maximalen Produktionskapazität y_{capa} differenziert.

Dass Innovationen nicht nur durch große Ausgaben entstehen können und dass es auch kleinen Unternehmen möglich ist, innovativ und konkurrenzfähig zu sein, wird damit Rechnung getragen. Investitionen sind für die Skalierung der Technologie zur Vergrößerung der Produktionskapazitäten weiterhin notwendig.

In jedem Zeitschritt findet in jedem Unternehmen separat die Entwicklung einer neuen Technologie statt, die allerdings nicht zwangsläufig besser als die alte sein muss: Es wird ein neues Tupel $(\lambda_L, \lambda_{GHG})$ erzeugt, das daraufhin geprüft wird, ob mit diesem im folgenden Zeitschritt unter den neuen Rahmenbedingungen eine kostengünstigere Produktion als mit den bis dahin verwandten Parametern möglich wird. Nur im zutreffenden Fall wird die neue Technologie angenommen, im anderen Fall wird die bereits bekannte Technologie weiter genutzt. Technologie wird so zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor, auch in der Fachliteratur wird Technologie als relevanter Wettbewerbsfaktor benannt (vgl. Fagerberg, 1996; Bhawsar & Chattopadhyay, 2015).

Um auch Substitution eine Rolle zukommen zu lassen, wird angenommen, dass die Entwicklung der beiden Parameter λ_L und λ_{GHG} voneinander abhängig ist. Bildlich bedeutet dies, dass ein stochastischer Prozess um die bisherige Technologie zentriert stattfindet (vgl. Amendola et al., 2024, S. 120).

Die beiden Dimensionen spannen zusammen ein Möglichkeitsfeld auf, das durch drei Beschränkungen limitiert wird, sodass eine Fläche um die momentane Technologie $(\lambda_L, \lambda_{GHG})$ entsteht, in der die neue Technologie entstehen kann (siehe Abbildung 16). Diese Bedingungen sind:

$$\sqrt{\delta_{GHG,\%}^2 + \delta_{L,\%}^2} < 1 \text{ (Bedingung 1: Kreis),}$$

$$|\delta_{GHG,\%} + \delta_{L,\%}| < \omega_0 \text{ (Bedingung 2: Schlauch),}$$

$$\delta_{GHG,\%} \geq 0 \text{ (Bedingung 3: Positivität),}$$

wobei sich $\delta_{GHG,\%}$ und $\delta_{L,\%}$ durch Zufallsvariablen bestimmen:

$$\delta_{GHG,\%} = (2 \cdot \text{random} - 1),$$

$$\delta_{L,\%} = (2 \cdot \text{random} - 1),$$

und *random* eine auf $[0, 1]$ gleichverteilte Zufallsvariable ist.

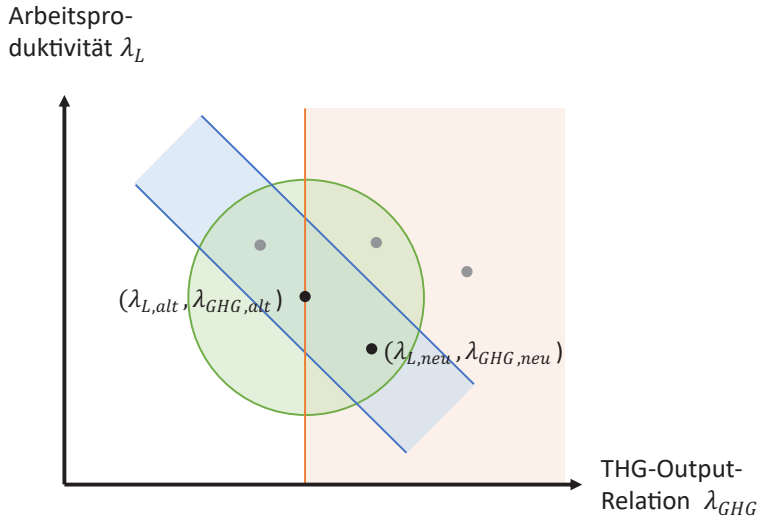


Abbildung 16: Möglichkeitsfeld für technologische Entwicklungen

Für die neue Technologie müssen alle drei Bedingungen erfüllt sein. Ist dies durch die Zufallsereignisse nicht der Fall, wird so lange weitergesucht, bis alle Beschränkungen eingehalten werden. Die dadurch entstehende Fläche der möglichen Tupel $(\lambda_L, \lambda_{GHG})$ ist in Abbildung 16 farblich markiert: Sie ist durch die orange Vertikale (rechts davon, Bedingung 3), durch die blauen Parallelen (innerhalb, Bedingung 2) und durch den grünen Kreis (innerhalb, Bedingung 1) abgegrenzt. Ein neues zufälliges Tupel innerhalb dieser Fläche wird deshalb angenommen. Tupel außerhalb des Kreises, des Schlauchs oder der vertikalen Geraden sind nicht zulässig (graue Punkte).

Die erste Bedingung stellt einen Kreis um die momentane Technologie dar, in dem die neue Technologie aufgrund dieser Beschränkung liegen muss. Sie stellt sicher, dass keine großen Sprünge von einer Periode zur nächsten entstehen können. Die zweite Bedingung hat die Form eines Schlauchs und beschneidet dieses Möglichkeitsfeld weiter.¹⁷⁸ Der offene Parameter $\omega_0 \in (0,1]$ bestimmt

178 Eine alternative Variante wäre hier denkbar: Wie in der obigen Gleichung (Bedingung 2: Schlauch) zu sehen ist, sind in der gewählten Variante die anteiligen Entwicklungsmöglichkeiten von λ_L und λ_{GHG} gleich gewählt: beide Parameter haben die gleiche Chance sich in diesem Schritt prozentual zu erhöhen. Hier ist auch eine andere Wahl denkbar: anstelle der hier angewandten Steigung von -1 wurde auch eine flachere Neigung dieses Schlauchs untersucht, unter anderem die Steigung von $-1/3$. In diesem Fall ergibt sich im ersten Schritt ein anderer Wahrscheinlichkeitsraum und andere Zufallsereignisse. Bei der Kalibrierung, dem zweiten Schritt, wird dieser Effekt dann jedoch wieder annulliert. Das Ergebnis dieser alternativen Variante unterscheidet sich deshalb qualitativ und im Wesentlichen auch quantitativ nicht (abhängig von der

dabei das Verhältnis vom Kreis zum Schlauch (siehe Abbildung 16): Je kleiner ω_0 ist, desto mehr entspricht die Fläche einem diagonalen Schlauch. Je größer ω_0 , desto mehr entspricht die Fläche einem Kreis. Ab $\omega_0 = 1$ enthält der Schlauch den Kreis vollständig und stellt keine zusätzliche Limitierung dar. Technologische Entwicklung kann in diesem Modell damit sowohl „echte technologische Entwicklung“ im Sinne der Verbesserung beider Parameter als auch Substitution im Sinne einer Vergrößerung des einen und einer Verkleinerung des anderen Parameters bedeuten. Zweck der Einschränkung durch den Schlauch ist, die Substitution wahrscheinlicher zu machen als eine Verbesserung beider Parameter.¹⁷⁹ Geschieht dies nicht, werden Unternehmen vor allem Verbesserungen beider Parameter annehmen und Substitution wird bedeutungslos. Deshalb werden starke absolute Verbesserungen unterbunden und gleichzeitig Kombinationen zugelassen, die eine Querverschiebung bedeuten, das heißt, eine Erhöhung des einen und eine Senkung des anderen Faktors.

Die dritte Bedingung stellt sicher, dass sich die THG-Output-Relation nicht verringern kann. Eine Verringerung würde eine Verschlechterung des Verhältnisses von BIP und THG-Emissionen darstellen, was im Angesicht der aktuellen Diskussionen und der vorhandenen Reglementierungen im Klimaschutzbereich unrealistisch erscheint.

Die relativen Veränderungsrate $\delta_{L,\%}$ und $\delta_{GHG,\%}$ werden mit den Kalibrierungsparametern ω_L und ω_{GHG} multipliziert und erweitern so die bisherige Technologie (vgl. Amendola et al., 2024, S. 119f). Die neuen Technologieparameter $(\lambda_{L,new}, \lambda_{GHG,new})$ werden schließlich mittels der Kalibrierung an die Daten ermittelt:

$$\lambda_{L,new} = \lambda_{L,old} + \delta_{L,\%} \cdot \omega_L,$$

$$\lambda_{GHG,new} = \lambda_{GHG,old} + \delta_{GHG,\%} \cdot \omega_{GHG},$$

wobei ω_L und ω_{GHG} als technologisches Potenzial bezeichnet werden können. Das Ausmaß der Veränderung der Parameter λ_L und λ_{GHG} wird über die Para-

konkreten Wahl der Steigung). Aus diesem Grund wurde auf eine solche Variante verzichtet. Die Wahl der Steigung erweist sich als nicht sensitiv.

¹⁷⁹ Die untere Abgrenzungslinie des Schlauches ist nicht unbedingt erforderlich, da hier nur Technologiekombinationen abgeschnitten werden, die zu höheren Kosten führen und deshalb im Vergleich mit der vorhandenen Technologie nicht ausgewählt werden. Diese untere Abgrenzungslinie ist dennoch hilfreich, um weniger Durchläufe zur Entwicklung neuer Technologien zu benötigen. Modelltheoretisch ist der Unterschied nicht relevant, da er durch die spätere Kalibrierung ausgeglichen wird.

meter ω_L und ω_{GHG} so kalibriert, dass in der langen Frist im Baseline-Szenario (keine Reform) die technologische Verbesserung der vergangenen Jahre eintreten (siehe Kapitel 12.5.7 Validierung).

Da es nicht zwangsläufig der Fall sein muss, dass sich beide Parameter verbessern, sondern sich auch beide verschlechtern können oder sich einer verbessern und einer verschlechtern kann, bedarf es einer Auswahlregel nach dem zu erwartenden Nutzen (vgl. Amendola et al., 2024, S. 120). Zur Wahl der Technologie ermitteln Unternehmen, welche Technologie in der unmittelbar nächsten Periode die kostengünstigere darstellt. Dafür ist die Berechnung beider marginalen Kosten notwendig. Es werden der THG-Steuersatz τ und die Arbeitskosten w jeweils der unmittelbar nächsten Periode herangezogen. Die Kombination, die zu den niedrigeren marginalen Kosten führt, wird ausgewählt:

$$MC_{old} = \frac{w_{t+1}}{\lambda_{L,old}} + \frac{\tau_{t+1}}{\lambda_{GHG,old}},$$

$$MC_{new} = \frac{w_{t+1}}{\lambda_{L,new}} + \frac{\tau_{t+1}}{\lambda_{GHG,new}}.$$

Durch die vollständig zufälligen Innovationen kann nicht davon gesprochen werden, dass es ein richtungsweisendes Paradigma für die technologische Entwicklung gibt, die Motivation der Verbesserung der Rentabilität und der Bewährung am Markt entsprechen dagegen der grundsätzlichen Beschreibung der technologischen Entwicklung von Dosi (1982).

12.5.5 Aufbau eines Zeitschritts

Die Struktur jedes Zeitschritts der Hauptphase ist nachkommend zusammengefasst:

1. Produktion und Handel von Unternehmen und Haushalten

Zunächst geht es um die Unternehmen, die Güter am Markt zur Investition in Kapital kaufen wollen. Dafür aktualisieren Unternehmen ihre Shortlist dahingehend, dass sie am Markt Unternehmen mit verfügbaren Kapazitäten suchen. Bei diesem Schritt werden Güter produziert, gehandelt und im Falle der Unternehmen für den Aufbau von Kapital eingesetzt.

Im darauffolgenden Schritt geht es um Haushalte, die Güter am Markt zum Konsum kaufen wollen. Hierbei handelt es sich um die gleichen, homogenen Güter, die sowohl zur Investition als auch zum Konsum genutzt werden können. Die Haushalte aktualisieren ihre Shortlist ebenfalls dahingehend, dass sie am

Markt Unternehmen mit verfügbaren Kapazitäten suchen. Die Haushalte kaufen bei Unternehmen die homogenen Güter allerdings als Konsumgüter. Hier kann es nun vorkommen, dass auf dem Markt keine Unternehmen mehr mit Kapazitäten sind. In diesem Fall könnte die Güternachfrage der Haushalte nicht entsprochen werden. Aufgrund der Produktion der Güter entstehen nicht nur THG-Emissionen, sondern auch Nachfrage nach Arbeit.

2. Durchführung der Reform:

Für die drei unterschiedlichen Varianten werden unterschiedliche Szenarien erstellt:

1. ÖSR: Bei dieser Reform wird das Gesamtaufkommens der THG-Steuer-einnahmen verwendet, um die Kosten für Arbeit zu reduzieren. Konkret bedeutet das für diesen Schritt, dass die Arbeitskostenhöhe w in dem Ausmaß reduziert wird, dass das voraussichtliche Steueraufkommen der THG-Steuern des nächsten Zeitschritts gerade dem Volumen der Arbeitskosten entspricht. Etwaige Abweichungen finden dann im nächsten Zeitschritt wieder Berücksichtigung.
2. Ökobonus: Hierbei werden die Mittelverwendung im Sinne des Ökobonus verwendet. Das heißt, das Aufkommen wird gleichmäßig an die Haushalte aufgeteilt, was die Kaufkraft der Haushalte in der nächsten Runde erhöht.
3. Keine Steuer: Bei dieser Variante gibt es keine Erhöhung der THG-Steuer und somit keine Mittel, für die man eine Verwendung finden müsste.

Auf Grundlage der jeweiligen Variante werden die Steuersätze für die nächste Periode aktualisiert.

3. Vorbereitungen der Unternehmen für den folgenden Zeitschritt:

Nachdem die unternehmerische Produktion und der Handel einerseits und die politische Bestimmung der zukünftigen Steuern bzw. Rückzahlungsmechanismen abgeschlossen sind, bereiten sich die Unternehmen auf den nächsten Zeitschritt vor. Dafür erneuern Unternehmen ihren Kapitalstock durch die getätigten Investitionen. Darüber hinaus versuchen Unternehmen unabhängig voneinander ihre Technologie zu verbessern. Hierzu entwickelt jedes Unternehmen eine eigene, neue Produktionstechnologie, bei der zunächst unklar ist, ob sie besser als die alte Technologie ist. Deshalb werden von jedem Unternehmen die marginalen Kosten der

alten und neuen Technologie berechnet, verglichen und darüber die kostengünstigere Option für den nächsten Zeitschritt gewählt. Daraus leiten sich die Preise und Produktionskapazitäten des nächsten Zeitschritts bzw. Monats ab.

12.5.6 Szenarien

12.5.6.1 Die Szenarioanalyse

Um verschiedene Varianten von THG-Besteuerungen zu modellieren, zu untersuchen und zu vergleichen, eignet sich die Szenarioanalyse. Die Szenarioanalyse wird in vielen, auch nicht-wissenschaftlichen Bereichen eingesetzt: So etwa in der Außenpolitik, um strategische Entscheidungen treffen zu können, bei der militärischen Planung, um sich auf verschiedene Fälle einzustellen, oder in der Ökonomik, um zum Beispiel bei nicht vorhersehbaren Entscheidungen von Zentralbanken verschiedene Möglichkeiten in den Blick zu nehmen oder um bei der Erreichung von ökologischen Zielen verschiedene Reformmöglichkeiten zu vergleichen. Der letztgenannte Einsatzbereich liegt bei der Untersuchung der ÖSR vor. Flaute et al. (2022, S. 6f) beschreiben die Szenarioanalyse wie folgt:

Die Szenarioanalyse ist eine Methode zum Umgang mit den verschiedenen Arten von Ungewissheiten in der Zukunft. Es können verschiedene Annahmen darüber, wie sich die Zukunft entwickeln könnte, getestet werden. Szenarien zeigen mögliche Entwicklungspfade auf, welche die Reaktionen auf die für das jeweilige Szenario getroffenen Annahmen widerspiegeln. (Flaute et al., 2022, S. 6f)

Ein Szenario sei dabei ein in sich konsistentes Bündel von quantifizierten Annahmen (Flaute et al., 2022, S. 7). Gemäß Meinert (2014) ist die Auswahl der Szenarien auf eine Anzahl von zwei bis drei zu reduzieren, um diese Szenarien adäquat ausarbeiten zu können. Mit den Szenarien im Rahmen der agentenbasierten Modellierung werden verschiedene Fragestellungen untersucht, sodass für die verschiedenen Fragestellungen jeweils zwei bis drei Varianten untersucht werden.

Im Nachfolgenden werden mit den Szenarien A, B und C in drei Abschnitten drei unterschiedliche Fragestellungen adressiert. Die wichtigste Frage nach den Auswirkungen der verschiedenen Reformen wird in den Szenarien A untersucht. Darüber hinaus werden mit den Szenarien B und C zwei weitere Aspekte verfolgt.

12.5.6.2 Szenarien A: Reformen im Vergleich

Zentral für diese Arbeit ist die ÖSR. Darüber hinaus wird das Szenario Ökobonus untersucht. Insofern werden die folgenden drei Varianten in den Blick genommen:

- Szenario A.1: keine Reform (Baseline-Szenario)
- Szenario A.2: ÖSR (ÖSR-Szenario)
- Szenario A.3: Ökobonus (Ökobonus-Szenario)

Die zentrale Frage der Szenarien A ist:

- Forschungsfrage A: Welche Auswirkungen haben verschiedene Reformen auf die technologische Entwicklung? Welche Effekte sind insbesondere bei der Arbeitsproduktivität, der THG-Output-Relation, der Arbeitsnachfrage und den THG-Emissionen zu beobachten?

Hierbei liegt der Fokus auf der Richtung der technologischen Entwicklung, das Ausmaß wird jedoch auch in den Blick genommen. Es wird die THG-Steuer in Höhe von 400 EUR/t CO_{2e} simuliert, um deutliche Veränderungen erkennen zu können. Für die Einführung dieser Steuer wird ein linearer Pfad angenommen. Das Aufkommen wird vollständig zur Senkung der Arbeitskosten für Unternehmen verwendet, um den Fokus auf die ökonomischen Aspekte legen. Damit befindet sich die hier modellierte ÖSR im Rahmen der Definition der ÖSR im engeren Sinne, bei der das Aufkommen ganz oder teilweise zur Finanzierung von Sozialversicherungsbeiträgen verwendet wird (vgl. Kapitel 2). Die Grundlage für diese Szenarien ist die Kalibrierung der technologischen Entwicklung anhand der technologischen Entwicklung der Jahre 2001–2019 (siehe Kapitel 12.5.7).

12.5.6.3 Szenarien B: Variation der Technologieannahmen

Der technologischen Entwicklung und insofern auch der Wahl der Technologieparameter ω_0 , ω_L und ω_{GHG} kommt im vorliegenden Modell womöglich eine zentrale Rolle zu. Die Parameter des technologischen Potenzials ω_L und ω_{GHG} wurden in den Szenarien A durch die Kalibrierung bestimmt. Für den Parameter ω_0 sind allerdings auch andere Werte möglich. Klar ist, dass für ω_0 keines der Extreme in Frage kommt: Ein sehr großer Wert würde bedeuten, dass Substitution kaum eine Rolle spielt (die beiden Parallelen schneiden wenig vom Kreis ab); technologische Entwicklung würde nur als Verbesserung beider Werte λ_L und λ_{GHG} stattfinden. Dies trifft auch für mittlere bis große Werte von ω_0 (größer

50%) zu, da damit die Verbesserung beider Technologien häufig auftritt. Für Unternehmen kann es lukrativer sein, eine kleine strikte Verbesserung der Substitution vorzuziehen. Aus diesem Grund sollten Werte in den unteren 50% gewählt werden. Ein sehr kleiner Wert für ω_0 würde bedeuten, dass fast nur Substitution stattfinden kann (die beiden Parallelen schneiden dann viel vom Kreis ab, sodass ein schmaler Schlauch entsteht); technologische Entwicklung im Sinne der Verbesserung beider Werte λ_L und λ_{GHG} würde fast keine Rolle spielen.

Dennoch können für ω_0 grundsätzlich unterschiedliche Werte gewählt werden. In diesen Szenarien sollen deshalb für ω_0 folgende Werte exploriert und verglichen werden:

- Szenario B.1 $\omega_0 = 10\%$ (Baseline)
- Szenario B.2 $\omega_0 = 20\%$ (Baseline) (entspricht Szenario A.1)
- Szenario B.3 $\omega_0 = 30\%$ (Baseline)

Die Parameter des technologischen Potenzials ω_L und ω_{GHG} sind in diesem Zuge für jedes Szenario erneut so zu kalibrieren, dass für das Baseline-Szenario ohne zusätzliche THG-Steuern die Verbesserung der Werte λ_L und λ_{GHG} fortgeschrieben wird (vgl. Szenarien A). Die erste Forschungsfrage in diesem Abschnitt ist deshalb:

- Forschungsfrage B: Reagiert die Simulation auf die Variation des Parameters ω_0 sensitiv?

Darüber hinaus gibt es einen zweiten Aspekt, der in diesem Zuge untersucht wird: Mit den Szenarien A werden die für die Klimaziele erforderlichen Reduktionen der THG-Emissionen nicht erreicht. Die Unternehmen entscheiden im vorliegenden Modell lediglich auf dieser Grundlage von finanziellen Aspekten, wie sich die Technologie entwickelt. Grundsätzlich ist es jedoch denkbar, dass sich in den nächsten Jahren – ob mit oder ohne hohe THG-Steuern – das technologische Potenzial aus anderen Gründen verbessert (so etwa durch direkte öffentliche Forschung, durch staatliche Subventionen, durch die Verbesserung der Infrastruktur und des Rechtsrahmens etc.). Eine solche Erhöhung des technologischen Potenzials kann im Modell über den Parameter ω_{GHG} abgebildet werden. Durch diese Steigerung können unter Umständen entsprechend der Klimaziele Emissionen reduziert werden. Konkret bedeutet dies, dass in den 15 Jahren der Reformumsetzung eine Reduktion der Emissionen um 60% erreicht werden soll.

Es stellt sich somit die Frage, um wie viel dieses technologische Potenzial gesteigert werden muss und ob sich dies in den Szenarien B.1-B.3 unterscheidet.

Wenn der Einfluss des Parameters ω_0 tatsächlich gering ist, dürften sich keine großen Unterschiede bemerkbar machen.

Die Forschungsfrage in diesem Abschnitt ist somit:

- Forschungsfrage B+: Um wie viel muss das technologische Potenzial der THG-Reduktion ω_{GHG} in den jeweiligen Szenarien B.1-B.3 gesteigert werden, damit im Fall der ÖSR die THG-Emissionen den Klimazielen entsprechend reduziert werden?

Damit entstehen die Szenarien:

- Szenario B.1+ $\omega_0 = 10\%$ (ÖSR, ω_{GHG} erhöht)
- Szenario B.2+ $\omega_0 = 20\%$ (ÖSR, ω_{GHG} erhöht)
- Szenario B.3+ $\omega_0 = 30\%$ (ÖSR, ω_{GHG} erhöht)

12.5.6.4 Szenarien C: Variation der Struktur der THG-Steuererhöhung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten und Geschwindigkeiten eine Steuerreform umzusetzen. Insbesondere sind die Varianten zu unterscheiden: ein linearer Anstieg des Steuersatzes; ein zunächst steiler, dann flacher Anstieg und schließlich ein zunächst allmählicher, flacher und dann steiler Anstieg. Gerade beim Blick auf die technologische Entwicklung stellt sich die Frage, in welcher Form die Anreize besonders vorteilhaft sind: Könnte es sein, dass es zunächst nur geringe Anreize benötigt und eine zu schnelle weitreichende Reform keine zusätzlichen Vorteile, vielleicht sogar Nachteile bringt? Ist vielleicht aus diesen Gründen ein langsamer Anstieg sinnvoll? Oder ist das Gegenteil vorteilhafter: Ein schneller Anstieg zu Beginn, um die gewünschte Richtung klar vorzugeben, wodurch ein weiterer Anstieg im späteren Verlauf nicht mehr erforderlich ist?

Die Forschungsfrage ist daher:

- Forschungsfrage C: Welche Auswirkungen hat die Variation der Struktur der Steuererhöhung auf die technologische Entwicklung?

Berücksichtigt werden die folgenden Steuererhöhungskurven, die am Ende der Reform jeweils die gleiche Steuerhöhe $\tau = 400$ EUR/t CO₂e erreichen:

- Szenario C.1: Linearer Anstieg (entspricht Szenario A.2)
- Szenario C.2: Begrenztes Wachstum für einen zunächst steilen, dann flachen Anstieg
- Szenario C.3: Quadratisches Wachstum für einen zunächst flachen und dann steilen Anstieg

Ausgegangen wird von der ÖSR, vom erhöhten technologischen Potenzial ω_{GHG} der Szenarien B wird allerdings nicht ausgegangen, da es lediglich um die steuerinduzierten Effekte geht.

Um die Hypothese C.i aus der Einführung aufzugreifen: Es wird erwartet, dass die zunächst steile Erhöhung besser geeignet ist, um die Richtung vorzugeben und somit zu einer stärkeren Lenkung der technologischen Entwicklung hin zu einer Reduktion der THG-Emissionen führt. Das heißt, die THG-Output-Relation dürfte hier höher als im Szenario mit linearem Steueranstieg sein, die Arbeitsproduktivität niedriger. Als Folge sind deshalb auch niedrigere Emissionen und eine höhere Arbeitsnachfrage zu erwarten. Mit der gleichen Begründung ist die Hypothese für das Szenario der quadratischen Steuererhöhung, dass eine geringere THG-Output-Relation und höhere Arbeitsproduktivität erreicht wird als im Szenario mit linearem Steueranstieg.

12.5.7 Validierung

Detaillierte Angaben zur Validierung aller Parameter sind im Anhang dokumentiert. In diesem Kapitel wird darüber hinaus auf zentrale Aspekte eingegangen, um die Wahl von wichtigen Entscheidungen der Modellierung zu erläutern und transparent zu machen.

Für die Szenarien A und C werden die derzeitigen Geschwindigkeiten des Wachstums der Technologieparameter für Deutschland benötigt. Um diese zu erhalten, werden – ähnlich wie im Kapitel 12.3 – die Durchschnittswerte für das jährliche Wachstum von λ_{GHG} und λ_L der Jahre 2001–2019 ermittelt (siehe Tabelle 15).¹⁸⁰ Da es sich hierbei um reales Wachstum handelt, welches im Modell als Stückzahl angegeben wird, werden die Einheiten im Modell transferiert zu: λ_{GHG} in Stück/Tsd. t CO₂e und λ_L in Stück/Tsd. Erwerbstätige.

Mit diesen jährlichen Wachstumsraten der Technologieparameter lässt sich berechnen, welche Höhe λ_{GHG} und λ_L nach 21 Jahren haben, wenn die Verbesserung weiterhin die gleiche Geschwindigkeit behält. Im Baseline-Szenario werden diese Werte durch Kalibrierung des technologischen Potenzials ω_{GHG} und ω_L angenähert: $\lambda_{GHG,21\text{ Jahre}} = 6,24$ und $\lambda_{L,21\text{ Jahre}} = 92,1$.¹⁸¹ Für

180 Grundlage für das BIP ist das reale BIP mit Basisjahr 2019, siehe Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2023). Grundlage für THG-Emissionen und die Erwerbstätigenzahlen sind die jeweiligen Jahreswerte der Weltbank, siehe <https://data.worldbank.org/> (27.03.2024).

181 $\lambda_{GHG,21\text{ Jahre}} = \text{Startwert (2022)} + 21 \text{ Jahresschritte} = 4,91 + 21 \cdot 0,063 = 6,24$ und $\lambda_{L,21\text{ Jahre}} = 84,28 + 21 \cdot 0,330 = 92,1$.

die Fragestellungen in den Szenarien B werden diese Annahmen aufgehoben, um eine Geschwindigkeit der technologischen Verbesserung zu erreichen, die die Zielerfüllung ermöglicht.

Tabelle 15: Wachstum der Technologieparameter in Deutschland

	λ_{GHG} (Mio. EUR ₂₀₁₉ /Tsd. t CO ₂ e)	λ_L (Mio. EUR ₂₀₁₉ /Tsd. Erwerbstätige)
Wachstum p.a. (2001–2019)	0,063	0,330

Grundsätzlich werden die Werte von Deutschland des vollständig vorhandenen Jahres 2022 verwendet, das gilt etwa für das BIP, die THG-Emissionen und die Erwerbstätigenzahlen. Für das Wachstum der Technologieparameter in Deutschland (siehe Tabelle 15) ist jedoch die Geschwindigkeit, das heißt, eine Veränderungsgröße zu ermitteln, wofür prinzipiell mehrere Jahre nötig sind. Hier wird aufgrund der durchgängigen Datenverfügbarkeit auf die Jahre 2001–2019 zurückgegriffen.

Die Größen der Arbeitsproduktivität λ_L und der THG-Output-Relation λ_{GHG} ergeben sich aus dem BIP, der Anzahl der Erwerbstätigen und den jährlichen THG-Emissionen. Darüber hinaus sind jedoch zur Kalibrierung der derzeitigen Verbesserungsgeschwindigkeit dieser Variablen weitere Parameter nötig. Hier kommen ω_L und ω_{GHG} ins Spiel, die derart gewählt werden, dass die in Tabelle 15 angegebenen Werte erreicht werden (siehe Anhang für die genauen Werte).

Darüber hinaus gibt es den Technologieparameter ω_0 , der als Verhältnis bei der Generierung neuer Werte für die Arbeitsproduktivität λ_L und die THG-Output-Relation λ_{GHG} benötigt wird.¹⁸² Ähnlich wie für ω_L und ω_{GHG} wird ω_0 derart kalibriert, dass die oben beschriebene Verbesserungsgeschwindigkeit der technologischen Entwicklung erreicht wird. Die explorierten Modelldurchläufe zeigen hierbei, dass die Größenordnung von ω_0 keinen entscheidenden Einfluss auf die Modellergebnisse im Sinne der Richtung der technologischen Entwicklung haben, da es bei der Kalibrierung auf das Zusammenspiel aller drei Technologieparameter ω_0 , ω_L und ω_{GHG} ankommt (siehe Szenarien B).

182 Der Parameter ω_0 steht für das Verhältnis der Schlauchbreite zur Kreisgröße im Feld der relativen technologischen Veränderung, siehe Kapitel 12.5.4 zur technologischen Entwicklung.

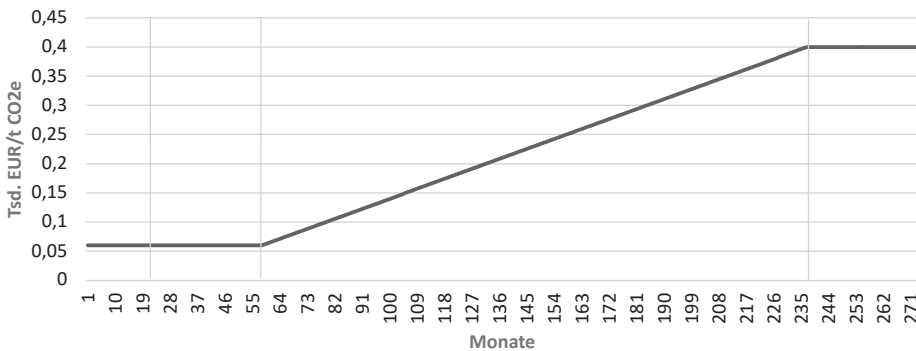


Abbildung 17: Steuersatz der THG-Emissionen im Reformverlauf

Für den Steuersatz der THG-Emissionen werden die bereits in der vorherigen Modellierung verwendeten Werte genutzt. Um die Effekte deutlicher sichtbar zu machen, wird im vorliegenden Modell mit dem Steuersatz von 400 EUR/t CO₂e gearbeitet, der Ausgangswert für vor der Reform ist 60 EUR/t CO₂e.¹⁸³ Im Basisfall wird von einem linearen Anstieg ausgegangen (siehe Abbildung 17), in den Szenarien C wird von dieser Annahme abgewichen.

12.5.8 Ergebnisse

12.5.8.1 Ergebnisse der Szenarien A: Reformen im Vergleich

Die Burn-in-Phase umfasst die Startperiode und 20 weitere Monate. In dieser Zeit sind die Innovationen ausgesetzt. Das Modell erweist sich in dieser Phase als sehr stabil. Da die technologische Entwicklung ausgesetzt ist, ändert sich auch der Preis nicht. Die daran anknüpfende Simulationsphase besteht aus drei Jahren (36 Monate) Phase vor der Reform, aus einer Reformphase von 15 Jahren (180 Monate) und einer Phase nach der Reform von drei Jahren (36 Monate). Alles zusammen inkl. der Burn-in-Phase ergeben sich 273 Perioden. Für die folgenden Abbildungen ist anzumerken, dass ein Zeitschritt einem Monat entspricht und die Angaben – wie der Umsatz, THG-Emissionen etc. – deshalb Monatswerte sind.

¹⁸³ Preise für THG-Emissionen im Rahmen der Emissionshandelssysteme schwanken stark: der EU ETS von 100 EUR/t CO₂e Anfang 2023 bis unter 60 EUR/t CO₂e im März 2024 und der nEHS von 30 EUR/t CO₂e im Jahr 2022 bis 45 EUR/t CO₂e im Jahr 2024. Die gemittelten, gesamtgesellschaftlichen Werte liegen dazwischen. Ein solcher mittlerer Wert wird als Startwert auf 60 EUR/t CO₂e gesetzt. Siehe Rahmendaten für den Projektionsbericht 2023 (Datentabelle), siehe: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rahmendaten-fuer-den-projektionsbericht-2023> (14.02.2024).

Der Gesamtumsatz Y aller Unternehmen je Monat ist im Zeitverlauf in Abbildung 18 dargestellt. Y kann als nominales BIP interpretiert werden, welches sich nach Verteilung aufgliedern lässt, wie es in Abbildung 18 für das Baseline-Szenario vorgenommen wurde.

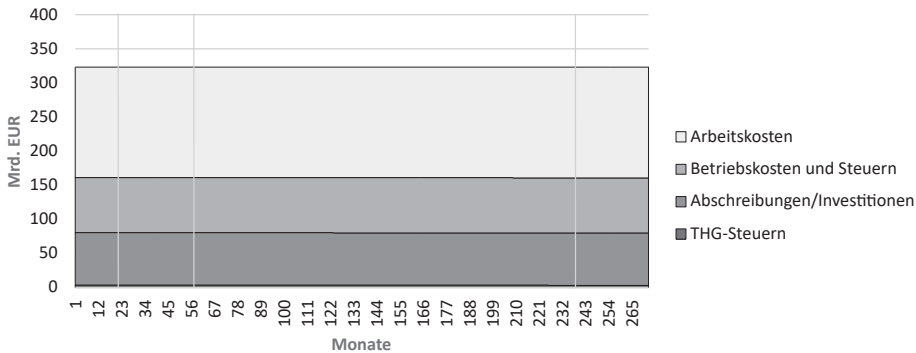


Abbildung 18: Umsatz Y nach Verteilung (nominales BIP) [Baseline]

Durch die vertikalen Striche sind – in dieser wie auch in den übrigen Abbildungen – die Abschnitte kenntlich gemacht: bis zum ersten Querstrich läuft die Burn-in-Phase, vom ersten bis zum zweiten Querstrich die dreijährige Phase vor der Reform, vom zweiten bis zum dritten Querstrich die 15-jährig Reformphase und schließlich ab dem dritten Querstrich die dreijährige Phase nach der Reform.

Im Baseline-Szenario bleiben die vier Anteile des Umsatzes über den vollen Zeitraum unverändert. Der größte Anteil sind die Arbeitskosten mit ca. 50% des Gesamtumsatzes. Gefolgt wird diesem von den Betriebskosten und Steuern und – mit nur einem kleinen Anteil – von den THG-Steuern.

Im ÖSR-Szenario wird die Konstanz durch die zunehmenden THG-Steuern mit dem Beginn der Reform durchbrochen (siehe Abbildung 19). Damit verschiebt sich die Gesamtverteilung, denn der Gesamtumsatz Y bleibt aufgrund der Aufkommensneutralität auf Ebene der Unternehmen gleich. Nach der Reform sind die Anteile erneut konstant.

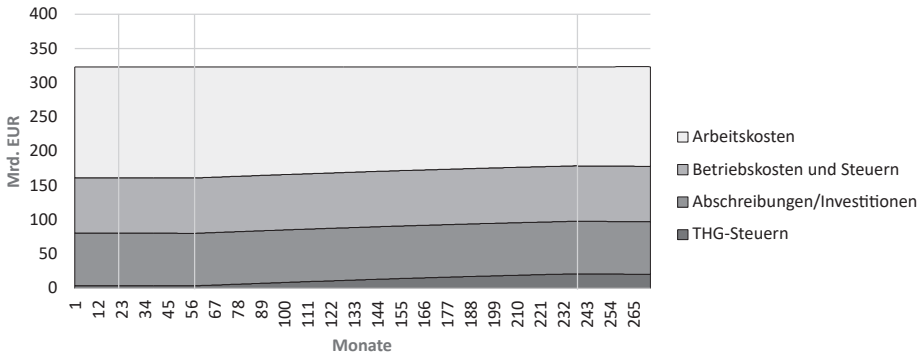


Abbildung 19: Umsatz Y nach Verteilung (nominales BIP) [ÖSR]

Im Ökobonus-Szenario verändern sich ebenfalls mit dem Beginn der Reform die Anteile (siehe Abbildung 20). Der wesentliche Effekt ist allerdings, dass der THG-Steueranteil zunimmt. Die anderen Anteile bleiben etwa unverändert. Das liegt an dem Rückfluss der Steuern an die Haushalte, die dadurch ein höheres Einkommen haben. Zu bemerken ist allerdings, dass der Umsatz aufgrund von möglichen Preisveränderungen nicht proportional zur Stückzahl ist. Wie dieser erhöhte Umsatz insgesamt zu bewerten ist, ist später zu thematisieren.

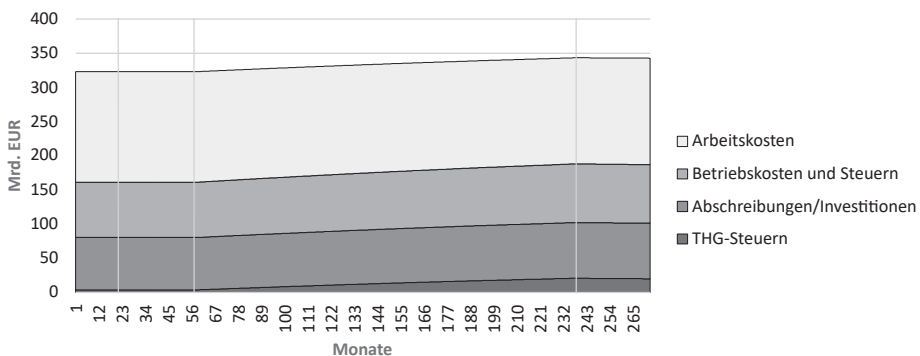


Abbildung 20: Umsatz Y nach Verteilung (nominales BIP) [Ökobonus]

Abbildung 21 zeigt die Entwicklung des Preises über den gesamten Zeitraum. Bis zum Ende der Burn-in-Phase ist der Preis konstant, da für diese Einfindungsphase technologischer Fortschritt noch nicht zugelassen ist. Mit Beginn der Hauptphase ab dem ersten Querstrich reduziert sich zunächst der Preis aufgrund der technologischen Entwicklung, die zur Steigerung von Produktivitäten führt. Anhand der blauen Kurve ist sichtbar, dass sich der Preis im Baseline-Szenario

sich am stärksten reduziert, dicht gefolgt von der grünen Kurve, dem Preis der ÖSR. Damit kann festgehalten werden, dass sich der Preis aufgrund von Kostensenkungen mittels technologischer Entwicklung am besten entwickelt, wenn keine zusätzliche Steuer eingeführt wird.

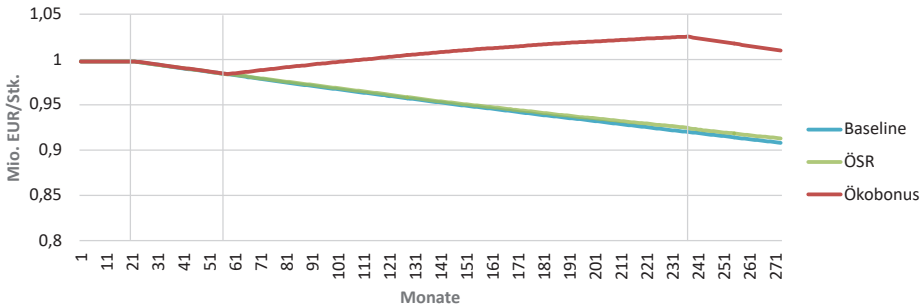


Abbildung 21: Preis p

Innerhalb der Reformphase erhöht sich der Preis im Ökobonus-Szenario im Gegensatz zu den Phasen davor und danach. Hintergrund ist hier, dass durch die THG-Emissionen für Unternehmen zusätzliche Kosten entstehen, die nicht – wie bei der ÖSR – an anderer Stelle entlastet werden. Der Preis ist allerdings nicht ausschließlich ausschlaggebend, da in diesem Szenario die Haushalte auch ein höheres Einkommen haben.

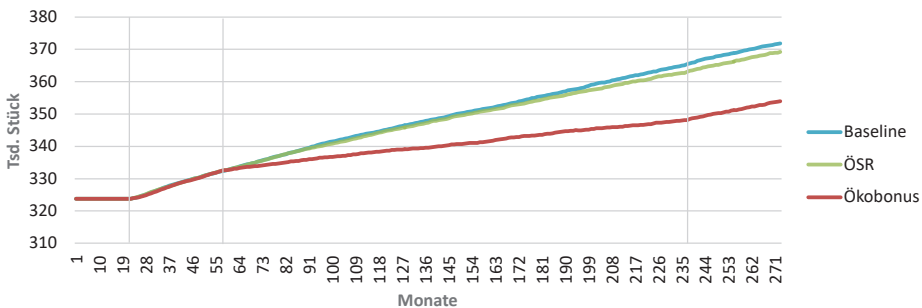


Abbildung 22: Stückzahl y

Die Menge oder Stückzahl y (siehe Abbildung 22) erhöht sich in der Hauptphase der Modellierung, das heißt ab dem ersten vertikalen Strich bis zum Ende, in allen Szenarien sukzessive. Analog zum geringsten Preis ist die größte Erhöhung der Stückzahl im Baseline-Szenario zu beobachten, dicht gefolgt vom ÖSR-Szenario.

Die Stückzahl beim Ökobonus erhöht sich dagegen deutlich weniger. Besonders hier sind Knicke in der Kurve festzustellen: Jeweils vor und nach der Reform ist die Kurve steiler als während der Reform. Offensichtlich reduziert die Ökobonusreform die Stückzahl gegenüber den beiden anderen Szenarien.

Die Menge oder Stückzahl y kann als reales BIP interpretiert werden, da es im Modell nur ein homogenes Gut gibt, das sich, wenn es erstmal hergestellt ist, nur über den Preis unterscheidet. Das Wachstum der Menge bedeutet folglich ein reales Wachstum. Der Umsatz Y ist dagegen als nominales BIP zu interpretieren, da hinter dem Wachstum des Umsatzes lediglich eine Preiserhöhung stehen kann. In dieser Kategorie schneiden demnach das Baseline- und das ÖSR-Szenario am günstigsten ab.

Wie im Kapitel 12.5.2 zum Ablauf des Modells beschrieben, handelt es sich bei den Kurven, wie etwa in Abbildung 21 oder Abbildung 22 dargestellt, um Mittelwerte. Hinter jedem Szenario stehen zehn Durchläufe des Modells mit den gleichen Annahmen. Diese zehn Durchläufe sind in Abbildung 23 für die Stückzahl y des Baseline-Szenarios exemplarisch dargestellt.

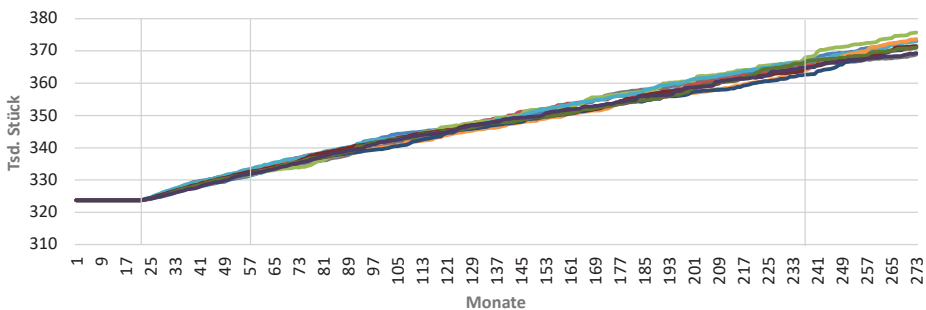
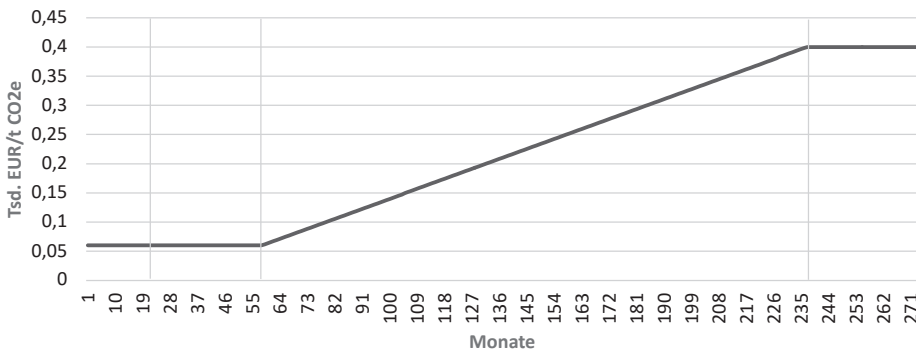


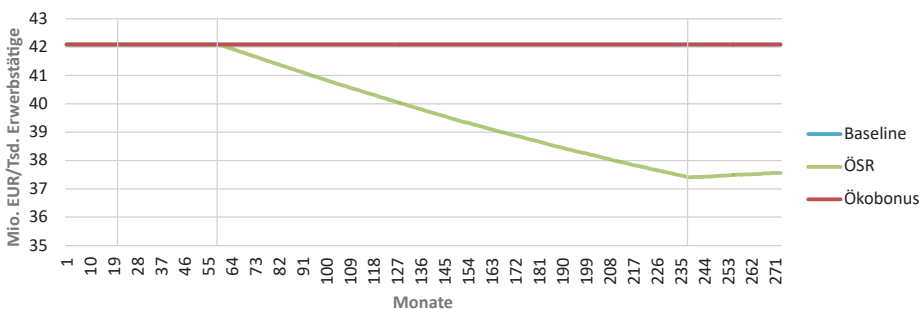
Abbildung 23: Stückzahl y [Baseline]

Die zehn Kurven weisen zwar Unterschiede auf, sind jedoch nicht grundverschieden, sodass das Ergebnis plausibilisiert werden kann. Weitere derartige Aufschlüsselungen der dargestellten Mittelwerte sind im Anhang abgebildet.

Der THG-Steuersatz τ wird in den beiden Szenarien ÖSR und Ökobonus mit Beginn der Reform linear von 60 EUR/t CO₂e auf 400 EUR/t CO₂e erhöht (Abbildung 24). Im Baseline-Szenario verbleibt die Steuerhöhe bei 60 EUR/t CO₂e.

Abbildung 24: THG-Steuersatz τ

Der Arbeitskostensatz w bleibt im Baseline- und Ökobonus-Szenario unangestastet und verbleibt somit beim Ausgangswert von 42,1 Mio. EUR/Tsd. Erwerbstätige im Monat (Abbildung 25). Bei der ÖSR allerdings werden die neu erhobenen Steuern genutzt, um die Arbeitskosten für die Unternehmen zu senken. Dies geschieht über die Reduktion des Arbeitskostensatzes w und ist in der Reformphase der ÖSR zu erkennen.

Abbildung 25: Arbeitskostensatz w ¹⁸⁴

Nach der Durchführung der ökologischen Reform fällt auf, dass sich die Arbeitskosten wieder leicht erhöhen, obwohl die eingeführten THG-Steuern erhalten bleiben. Der Grund dafür ist, dass auch nach der Reform die Emissionen weiter reduziert werden, womit auch weniger Steueraufkommen generiert wird und weniger an die Arbeitskosten umverteilt werden kann.

Das Kapital entwickelt sich in allen Szenarien ähnlich und nimmt keine Schlüsselrolle im Modell ein. Grundsätzlich ist eine Konvergenz zu beobachten

¹⁸⁴ Hinweis: Die blaue Kurve verläuft unter der roten.

(siehe Abbildung 26), was sich auch auf Theorieebene durch einen Zufluss in absoluten Zahlen und einen Abfluss über einen relativen Anteil (Abschreibungsrate) erklären lässt (Konvergenz zu $\bar{K} = \frac{\bar{I}}{\delta}$).

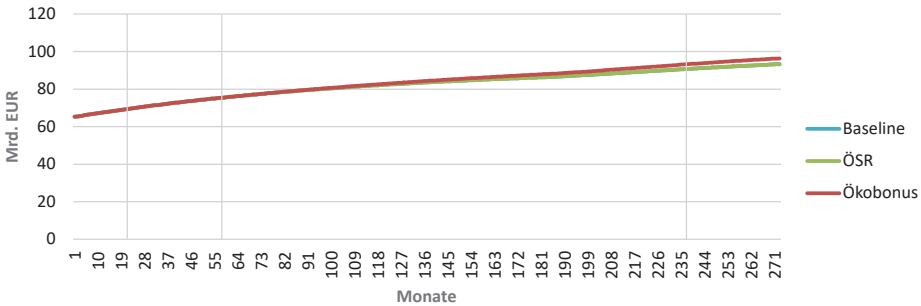


Abbildung 26: Kapital K ¹⁸⁵

Abbildung 27 zeigt die THG-Output-Relation λ_{GHG} im Zeitverlauf. In allen drei Szenarien verbessert sich diese über die Zeit. In den Szenarien mit Reform (grüne und rote Kurve) ist diese Verbesserung gesteigert: Vom Anfangswert von 4,91 erhöht sich die THG-Output-Relation auf 6,28 (keine Reform), 6,84 (ÖSR) und 6,76 (Ökobonus). Die Lenkungswirkung ist demnach bei der ÖSR am größten, wenn auch nur leicht größer als beim Ökobonus.

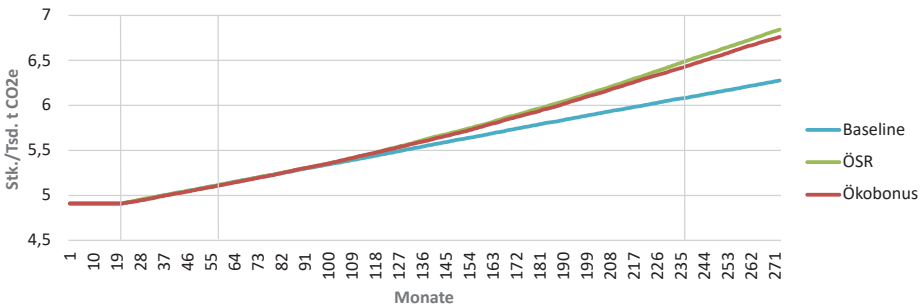


Abbildung 27: THG-Output-Relation λ_{GHG}

Auffällig ist auch, dass die Kurven der Szenarien mit Reform keinen Knick nach Beendigung der Reform aufweisen: Die Steigung der beiden Kurven ist unverändert hoch. Während der Reformphase ist darüber hinaus festzustellen, dass die Kurven der ÖSR und des Ökobonus konvex sind, die Kurve des Baseline-

¹⁸⁵ Hinweis: Die blaue Kurve verläuft unter der grünen.

Szenarios dagegen verläuft linear. Der Grund dafür könnte sein, dass die Steuern sich zwar linear erhöhen, der Lenkungseffekt aber nicht von der Erhöhung abhängt, sondern von der Höhe der THG-Steuer. Die größte Lenkung besteht demnach bei der vollständigen Realisierung der 400 EUR/t CO₂e. Das würde auch erklären, warum die Entwicklungsgeschwindigkeit von λ_{GHG} auch in den drei Jahren nach der Reform erhöht bleibt.

Die Arbeitsproduktivität λ_L (Abbildung 28) entwickelt sich in allen drei Szenarien ähnlich, nur geringe Unterschiede sind zu erkennen. Das Szenario ohne Reform (Baseline) weist die höchsten Werte auf, die anderen beiden Szenarien sind fast identisch.

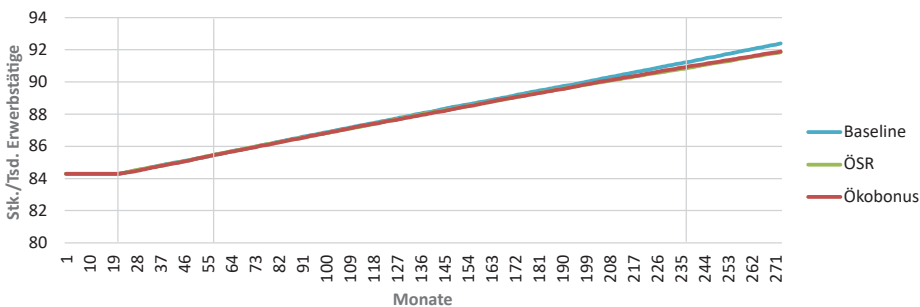


Abbildung 28: Arbeitsproduktivität λ_L ¹⁸⁶

Anders als bei der THG-Output-Relation ist die Bewertung dieser Ergebnisse komplexer. Aus Sicht der Unternehmen ist eine Steigerung von λ_L wünschenswert, weil damit Kosten gespart werden können. Aus gesamtgesellschaftlicher Sicht kann eine Reduktion oder ein stabiles Niveau wünschenswert sein, weil damit eine höhere Beschäftigung korrespondiert. In jedem Fall jedoch sind die Unterschiede gering. Im Baseline-Szenario erhöht sich die Arbeitsproduktivität um 9,6%, im ÖSR- und Ökobonus-Szenario um 9,0%.

Als Folge der bisher beschriebenen Ergebnisse, insbesondere der Entwicklung der technologischen Parameter λ_{GHG} und λ_L , steht die Reduktion der THG-Emissionen in allen drei Szenarien. Bei den emittierten THG-Emissionen gibt es zwei entgegengewirkende Kräfte: Preissenkung und damit eine erhöhte Nachfrage je Produkt und Effizienzsteigerung und damit geringere Emissionen je Produkt. Die Effizienzsteigerung überwiegt allerdings, sodass die absoluten THG-Emissionen sinken (Abbildung 29).

¹⁸⁶ Hinweis: Die grüne Kurve verläuft unter der roten.

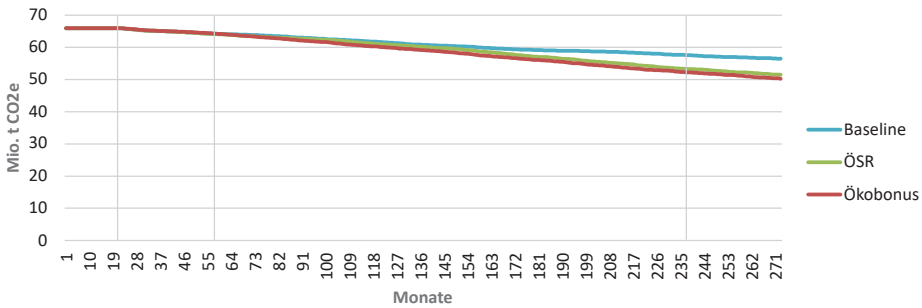


Abbildung 29: THG-Emissionen GHG

Die höchste Reduktion wird durch den Ökobonus erreicht, was über die technologische Entwicklung und die geringere Stückzahl zu erklären ist. Die ÖSR erzielt jedoch ein ähnlich gutes Ergebnis und generiert dazu eine größere Menge. Der Anfangswert von ca. 65.900 Mio. t CO₂e wird im Ökobonus-Szenario auf ca. 50.300 Mio. t CO₂e am Ende der Simulation reduziert.

Im Baseline-Szenario findet eine Reduktion auf ca. 56.500 Mio. t CO₂e statt, was ca. 60% der Reduktion des Ökobonus-Szenarios entspricht. Vor dem Hintergrund einer 15-jährigen Reformphase erscheinen die Reduktionen jedoch auch unzureichend zur Erreichung der Klimaziele. Dieser Frage wird in den Szenarien B weiter nachgegangen.

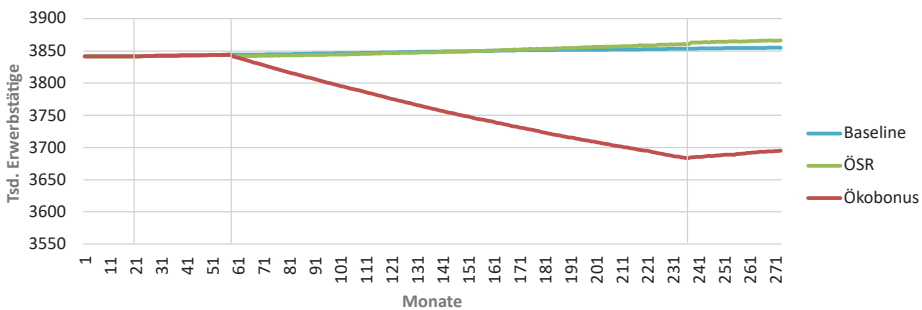


Abbildung 30: Arbeitsnachfrage L

Die Veränderung der Arbeit L in Abbildung 30 ist ein weiteres zentrales Ergebnis. Insgesamt bleibt die Arbeitsnachfrage auf einem ähnlichen Niveau. Hier annullieren sich die beiden Effekte: geringerer Preis und damit höheren Umsatz (nach Stück) einerseits und Effizienzsteigerung durch höhere Arbeitsproduktivität und damit geringere Arbeitsnachfrage seitens der Unternehmen andererseits.

Das Baseline- und das ÖSR-Szenario entwickeln sich sehr ähnlich. Die Arbeitsnachfrage erhöht sich im ÖSR-Szenario geringfügig um 0,7%. Das Ökobonus-Szenario dagegen zeigt im Gegensatz dazu während der Reformphase eine leichte Reduktion der Arbeitsnachfrage (rote Kurve), die durch die Produktion entsteht. Dieses Ergebnis geht grundsätzlich mit einer gesteigerten Arbeitsproduktivität einher, welche im Gegensatz zu den anderen Szenarien nicht nur durch Mehrbeschäftigung kompensiert werden kann: Die Stückzahl steigt zwar, jedoch nicht ausreichend stark. An dieser Stelle ist jedoch auf die Effektstärke hinzuweisen, da auch durch den Ökobonus die Arbeitsnachfrage insgesamt nur um 3,8% zurückgeht.

12.5.8.2 Diskussion der Szenarien A

Rückblickend ist festzuhalten: Durch die Reformen, sowohl durch die ÖSR als auch durch den Ökobonus, kann eine Lenkung der technologischen Entwicklung auf Basis von finanziellen Anreizen eintreten. Unternehmen haben einen Anreiz, die Kosten zu senken, und wenn Arbeit und THG-Emissionen Kostenverursacher sind, liegt es nahe, dass Wege gesucht werden, diese Faktoren zu minimieren.

Abbildung 31 zeigt, dass die Lenkung durch die ÖSR den größten Effekt hat, dicht gefolgt von der Entwicklung des Ökobonus-Szenarios. Beide Reformen erfüllen damit zumindest teilweise das Ziel der Lenkung der technologischen Entwicklung. Mehr Substitution, das heißt ein stärker abflachender oder sogar sinkender Verlauf, wäre denkbar gewesen. Auf dieser Aggregationsebene gilt jedoch für beide Reformen, dass es zu keiner Trendumkehr kommt: Beide Kurven bewegen sich weiterhin von links unten nach rechts oben.

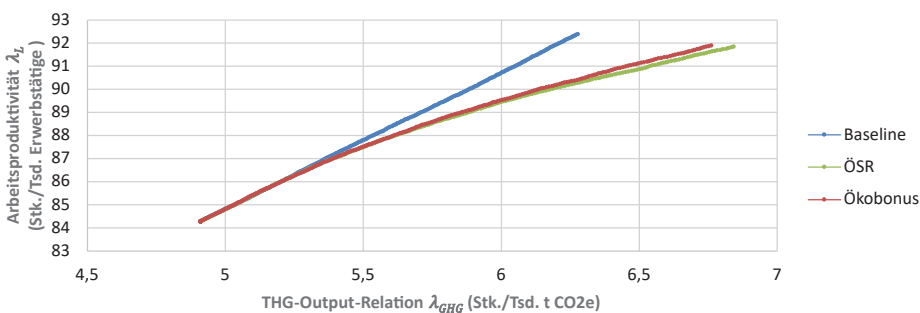


Abbildung 31: Durchschnittliche technologische Entwicklung

Die Werte von Abbildung 31 sind doppelt aggregiert: Zum einen steht jeder Punkt für den Durchschnitt von zehn Simulationsdurchläufen. Zum anderen

handelt es sich bei den einzelnen Simulationsdurchläufen um Mittelwerte der 100 Unternehmen. Individuelle Verläufe können deutlich von diesen Kurven abweichen, auf dieser Aggregationsebene sind jedoch nur strikte Verbesserungen zu verzeichnen, keine Substitution.

Im ÖSR-Szenario verhält sich der Preis bemerkenswerterweise ähnlich wie im Baseline-Szenario. Dahinter steht ein zunehmender THG-Steuersatz τ , aber auch ein abnehmender Arbeitskostensatz w , sodass der Preis konstant bleibt. In der Folge steigt die Stückzahl y ebenfalls in ähnlicher Ausprägung wie im Baseline-Szenario. Die THG-Output-Relation λ_{GHG} erhöht sich im ÖSR-Szenario mehr als ohne Reform. Die Arbeitsproduktivität λ_L erhöht sich dagegen weniger als zuvor. Dies ist auf die Kostenanreize der ÖSR zurückzuführen: Innovationen entwickeln sich verstärkt in Richtung Reduktion der THG-Emissionen und etwas weniger zur Reduktion der Arbeitskosten.

Im Ökobonus-Szenario reduziert sich der Preis weniger als in den anderen beiden Szenarien. Der Grund ist, dass eine Steuer erhöht wird, die Entlastung aber nicht bei den Unternehmen ansetzt, sondern bei den Haushalten. Gegenüber den anderen beiden Szenarien erhöht sich der nominelle Umsatz Y , welcher zuvor konstant war. Dies liegt an der Realisation des Ökobonus, da die zusätzlichen Ausgaben der Unternehmen für die THG-Steuer den Haushalten als zusätzliches Einkommen zukommen und deren Konsum steigern. Die aussagekräftigere Stückzahl y erhöht sich jedoch weniger als in den anderen beiden Szenarien. Die Ökobonus-Reform wirkt demnach real leicht wachstumshemmend, was auch an der leicht reduzierten Arbeitsnachfrage L (gegenüber den beiden anderen Szenarien) abzulesen ist. Das ist auch ein Grund, warum sich die THG-Emissionen durch den Ökobonus am stärksten reduzieren.

Hypothese A.i, dass die ÖSR und der Ökobonus höhere Anreize für die technologische Entwicklung im Sinne der Reduktion der THG-Emissionen setzen, wird von den Ergebnissen gedeckt. Auch Hypothese A.ii, dass die THG-Emissionsreduktion in den Szenarien ÖSR und Ökobonus ähnlich verlaufen, hat sich bestätigt. Das ÖSR-Szenario weist am Ende der Simulation 9% weniger Emissionen als das Baseline-Szenario auf; das Ökobonus-Szenario 11% weniger. Hinter dem besseren Abschneiden des Ökobonus steht die geringere Stückzahl, denn die THG-Output-Relation λ_{GHG} ist bei der ÖSR sogar etwas höher.

Die ähnlichen Größen des Parameters λ_L der beiden Reformszenarien werfen die Frage auf, ob die ÖSR gegenüber dem Ökobonus überhaupt eine zusätzliche Lenkungswirkung erzeugt. Die Vermutung war, dass durch die ÖSR der Faktor

Arbeit entlastet und somit kostengünstiger wird und es für Unternehmen einen Anreiz gibt, eher Technologien mit höherer Arbeitsproduktivität und geringer THG-Output-Relation anzunehmen. Hierauf gibt Abbildung 31 eine Antwort: Durch die ÖSR ist die Verbesserung von λ_{GHG} größer gegenüber des Ökobonus-Falls. Das liegt daran, dass Unternehmen die Technologie insgesamt bewerten und die Vergünstigung von Arbeit zur Folge hat, dass THG-Emissionen relativ dazu teurer werden, was den Effekt verstärkt, THG-Emissionen vermeiden zu wollen.

Hypothese A.iii postulierte, dass mit Blick auf Arbeit im ÖSR-Szenario die günstigsten Effekte erzeugt werden. Abbildung 30 bestätigt diese Vermutung, wenn der Unterschied zum Baseline-Szenario auch sehr gering ist (+0,3%). Das Ökobonus-Szenario dagegen hat eine reduzierte Arbeitsnachfrage. Der Unterschied des Ökobonus-Szenarios zum Baseline-Szenario beträgt 4,1%, was Hypothese A.iii nicht entspricht. Ursächlich ist, dass zwar durch den Ökobonus eine relative Kostenverschiebung zugunsten der Arbeit stattfindet, was die Technologieparameter bestätigen, jedoch eine insgesamt Reduktion der Stückzahl vorliegt (siehe Abbildung 22).

Insgesamt fällt auf, dass das Ausmaß der Reduktion der THG-Emissionen gemessen an der hohen THG-Steuer in Höhe von 400 EUR/t CO_{2e} gering ist. So verdeutlicht Abbildung 30 (siehe oben), dass die THG-Emissionen lediglich um 22% (ÖSR) und 24% (Ökobonus) reduziert werden, was nicht den erforderlichen Reduktionen der Klimaziele der Bundesregierung entspricht. Allerdings hängt die technologische Entwicklung womöglich auch von anderen, nicht preislichen Faktoren ab. Bisher wurde die Annahme getroffen, dass die Potenziale der technologischen Veränderungsgeschwindigkeit bestehen bleiben (Kalibrierung an historischen Werten). Vor dem Hintergrund der unzureichenden technologischen Entwicklung erscheint es jedoch sinnvoll, diese Annahme aufzulösen und den Technologieparameter zu ermitteln, welcher notwendig ist, um die Klimaziele erreichen zu können. Dies erfolgt mit den Szenarien B.

12.5.8.3 Ergebnisse der Szenarien B: Variation der Technologieannahmen

Mit den Szenarien B wird ω_0 variiert. Die technologische Entwicklung findet grundsätzlich kreisförmig um einen Punkt statt (Bedingung 1: Kreis, siehe Kapitel 12.5.4), der jedoch von zwei Parallelen zusätzlich begrenzt wird (Bedingung 2: Schlauch). Für ω_0 wurde bisher ein Wert von 20% angenommen, was bedeutet,

dass das Verhältnis von der Schlauchbreite zum Kreisdurchmesser 1:5 bzw. 20% ist. Nun werden zusätzlich die Szenarien für die Werte $\omega_0 = 10\%$ und $\omega_0 = 30\%$ simuliert. Dafür wird die Anpassung der nachfolgend kalibrierten Parameter ω_L und ω_{GHG} notwendig. Tabelle 16 stellt dar, welche Parameter für ω_L und ω_{GHG} erforderlich werden, um die Verbesserungsgeschwindigkeit von λ_L und λ_{GHG} der vergangenen Jahre zu erreichen.¹⁸⁷

Die Variation des offenen Technologieparameters ω_0 und die deshalb notwendige Neu-Kalibrierung der anderen Parameter ändert an den Ergebnissen wenig, was beispielhaft am Preis p in Abbildung 32 dargestellt ist. Beide Preise (B.1 und B.3) weichen am Ende der Simulation vom Preis von B.2, dem ansonsten verwendeten Szenario, um weniger als 0,3% ab, was innerhalb des Rahmens der Kalibrierungsgenauigkeit (für λ_L und λ_{GHG}) liegt.

Tabelle 16: Annahmen der Technologieparameter (Szenarien B)

Technologieparameter		
$\omega_0 = 10\%$	$\omega_L^{188} = \dots$	$\frac{0,330}{12} \cdot 970$
	$\omega_{GHG}^{189} = \dots$	$\frac{0,063}{12} \cdot 770$
$\omega_0 = 20\%$	$\omega_L = \dots$	$\frac{0,330}{12} \cdot 250$
	$\omega_{GHG} = \dots$	$\frac{0,063}{12} \cdot 195$
$\omega_0 = 30\%$	$\omega_L = \dots$	$\frac{0,330}{12} \cdot 109$
	$\omega_{GHG} = \dots$	$\frac{0,063}{12} \cdot 86$

¹⁸⁷ Die Parameter dieser Tabelle werden so gewählt, dass die technologischen Verbesserungen fortgeschrieben werden – es sind insofern „eindimensionale“ Zahlenwerte. Zur besseren Lesbarkeit wurden hierfür allerdings die monatlichen Verbesserungsraten genommen und um einen Multiplikator ergänzt.

¹⁸⁸ Der Faktor ω_L für die Modellierung ist lediglich als Gesamtzahl entscheidend. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird dieser jedoch als Produkt der monatlichen Rate (0,330 dividiert durch zwölf Monate, siehe Tabelle 13) und dem darauffolgenden Faktor (970) dargestellt.

¹⁸⁹ Der Faktor ω_{GHG} für die Modellierung ist lediglich als Gesamtzahl entscheidend. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird dieser jedoch als Produkt der monatlichen Rate (0,063 dividiert durch zwölf Monate, siehe Tabelle 13) und den darauffolgenden Faktoren (770 bzw. 770 und 3,7) dargestellt.

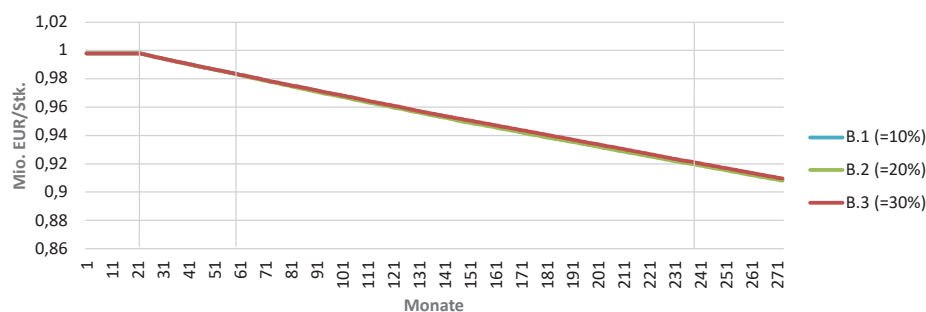


Abbildung 32: Preis p

Auch die Abweichungen der THG-Emissionen GHG und der Arbeitsnachfrage befinden sich in diesem Rahmen, was Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen.

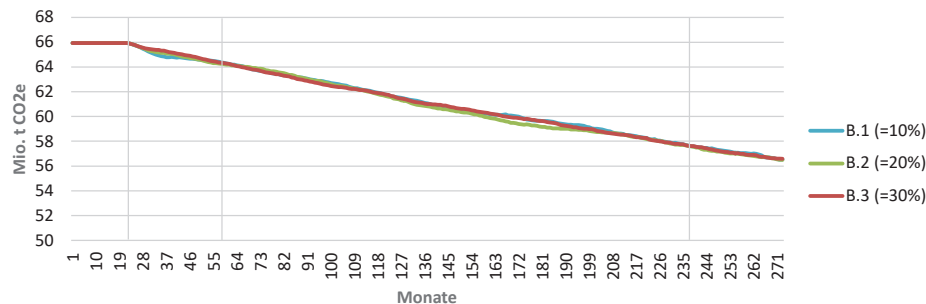


Abbildung 33: THG-Emissionen GHG

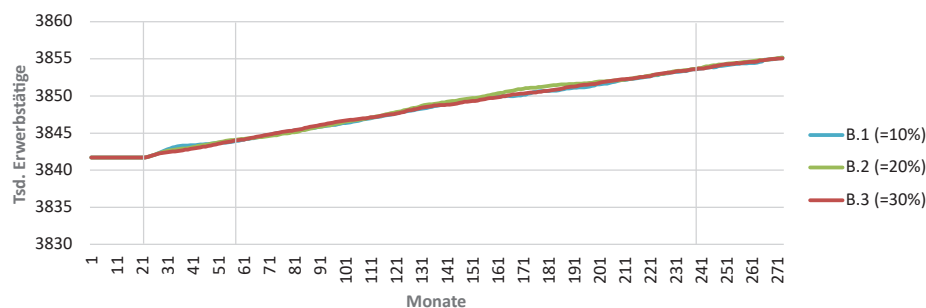


Abbildung 34: Arbeitsnachfrage L

Lediglich die Entwicklung der Stückzahl y der drei Szenarien variiert um bis zu 2% am Ende des Simulationszeitraums (siehe Anhang). Jedoch kann auch dies an Zufallsereignissen liegen, wenn etwa eine abweichende Entwicklung zu Beginn

der Hauptphase der Simulation entsteht, wird dieser relative Unterschied im weiteren Verlauf fortgeschrieben. Als Fazit ist daher festzuhalten, dass die Ergebnisse weitestgehend unabhängig von der Wahl des Parameters ω_0 sind.¹⁹⁰

In den folgenden Szenarien B+ sind die Technologieparameter derart angepasst, dass für das ÖSR-Szenario mit 400 EUR/t CO₂e etwa die Ziele der Bundesregierung erreicht werden. Die Kalibrierung an die vergangenen Werte ist mit dem Argument aufgehoben, dass zum Erreichen der Klimaziele nicht nur die Anpassung von Kostenanreizen erforderlich ist, wie die Ergebnisse der Szenarien A nahelegen, sondern zeitgleich andere Maßnahmen zur Steigerung der Geschwindigkeit des technologischen Wandels zu realisieren sind. Ein realweltliches Pendant dieser Modellmodifikation könnten weitere Maßnahmen sein, wie bspw. die Subventionen und Regulationen zur Steigerung der Energieeffizienz (vgl. Technologiefond der ÖSR in der Schweiz Diekmann & Bruderer Enzler, 2019, S. 272). Das heißt, für die Szenarien B wird in einer strategischen Vorausschau Backcasting angewandt – eine Methode, bei der die Bedingungen ermittelt werden, mit denen ein gesetztes Ziel zu erreichen ist. Angenommen wird, dass das THG-Reduktionsziel mittels der ÖSR erreicht wird. Dafür ist die Technologie-Variable ω_{GHG} so gewählt, dass die Ziele erreicht werden. Für die anderen beiden Szenarien wird der neu gefundene Technologieparameter gleichermaßen angewandt, um so auch diese Szenarien vergleichbar zu machen.

Vor dem Hintergrund dieser neuen Annahme sind zwei Aspekte von Interesse: Einerseits stellt sich die Frage, um welchen Faktor λ_{GHG} gesteigert werden muss, um die Klimaziele zu erreichen. Andererseits werden die Wirkungen der verschiedenen Reformen mit der Annahme dieser gesteigerten Geschwindigkeit des technologischen Wandels neu untersucht und mit den vorherigen Ergebnissen verglichen.

Der Zeithorizont der Reform beträgt 15 Jahre. Das Reduktionsziel der Bundesregierung für 2020 lag bei 60% Restemissionen (gegenüber 1990) und liegt für 2040 bei 12% Restemissionen.¹⁹¹ Die relative Reduktion in diesem 20-jährigen Zeitraum beträgt damit 80%.¹⁹² Für den mit dieser Reform anvisierten 15-jährigen

190 Das gleiche Ergebnis ist für die Reformen ökologische Steuerreform und Ökobonus festzuhalten. Aus Platzgründen wurde auf die Darstellung im Detail verzichtet.

191 Siehe Umweltbundesamt zu den Treibhausgasminderungszielen Deutschlands: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands>

192 Das ist eine Reduktion auf 20%, entspricht 12% dividiert durch 60%.

Zeitraum ist demnach eine Reduktion um 60% erforderlich. Diese Reduktionsgeschwindigkeit wird mit der nachfolgenden Anpassung anvisiert.

Die Werte der Szenarien A wurden kalibriert, um die Werte der vergangenen Jahre zu erreichen. Für die Szenarien B bleibt der mit der Arbeitsproduktivität assoziierte Wert ω_L bestehen, der Wert ω_{GHG} wird für die Kalibrierung der THG-Output-Relation jedoch angepasst. Das Ziel ist, dass die Modellierung des ÖSR-Szenarios die am Ende vollständigen Simulationsphase von 21 Jahren eine Reduktion der THG-Emissionen um 60% erreicht hat. Tabelle 17 fasst die Resultate zusammen.

Tabelle 17: Annahmen der Technologieparameter (erweitert)

Technologieparameter		Szenarien B	Szenarien B+
$\omega_0 = 10\%$	$\omega_L^{193} = \dots$	$\frac{0,330}{12} \cdot 970$	$\frac{0,330}{12} \cdot 970$
	$\omega_{GHG}^{194} = \dots$	$\frac{0,063}{12} \cdot 770$	$\frac{0,063}{12} \cdot 770 \cdot 3,7$
$\omega_0 = 20\%$	$\omega_L = \dots$	$\frac{0,330}{12} \cdot 250$	$\frac{0,330}{12} \cdot 250$
	$\omega_{GHG} = \dots$	$\frac{0,063}{12} \cdot 195$	$\frac{0,063}{12} \cdot 195 \cdot 3,7$
$\omega_0 = 30\%$	$\omega_L = \dots$	$\frac{0,330}{12} \cdot 109$	$\frac{0,330}{12} \cdot 109$
	$\omega_{GHG} = \dots$	$\frac{0,063}{12} \cdot 86$	$\frac{0,063}{12} \cdot 86 \cdot 3,7$

Das Ergebnis ist, dass der Multiplikator für das Verbesserungspotenzial im Bereich der THG-Output-Beziehung ca. um den Faktor 3,7 gesteigert werden muss, um die Reduktion von 60% zu erreichen. Ein Unterschied der Szenarien B.1+, B.2+ und B.3+ liegt nicht vor. Auch hier wird also deutlich: Die Wahl des Parameters ω_0 beeinflusst das Ergebnis, das heißt die Größe des Faktors, nicht wesentlich.

193 Der Faktor ω_L für die Modellierung ist lediglich als Gesamtzahl entscheidend. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird dieser jedoch als Produkt der monatlichen Rate (0,330 dividiert durch zwölf Monate, siehe Tabelle 13) und dem darauffolgenden Faktor (970) dargestellt.

194 Der Faktor ω_{GHG} für die Modellierung ist lediglich als Gesamtzahl entscheidend. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird dieser jedoch als Produkt der monatlichen Rate (0,063 dividiert durch zwölf Monate, siehe Tabelle 13) und den darauffolgenden Faktoren (770 bzw. 770 und 3,7) dargestellt.

Der Vergleich der Szenarien B+ untereinander verhält sich analog zum Vergleich der Szenarien B: Geringe Abweichungen sind lediglich bei der Stückzahl y erkennbar. Die Unterschiede der THG-Output-Relation λ_{GHG} und der Arbeitsproduktivität λ_L sind unerheblich, ebenso wie die Unterschiede der resultierenden THG-Emissionen GHG und Arbeitsnachfrage L (siehe Anhang).

12.5.8.4 Diskussion der Szenarien B

Zunächst analysieren die Szenarien B die Sensibilität des Modells auf Variationen der Technologieparameter. Hierbei ist zu resümieren, dass die Variation von ω_0 keine wesentlichen Unterschiede produziert und sich das Technologiemodul des Modells als robust beweist.

Im Rahmen der Szenarien B+ zeigt sich außerdem, dass eine erhebliche Steigerung des technologischen Potenzials ω_{GHG} erforderlich ist. Hypothese B.i, die eine Steigerung der grundsätzlichen Geschwindigkeit der technologischen Entwicklungsfähigkeit für notwendig hält, wird damit bestätigt. Die Änderung dieses Technologieparameters erzielt größere Effekte als die Variation der Reformen selbst. Im ÖSR-Szenario (A.2) sind am Ende der Simulation die jährlichen THG-Emissionen gegenüber dem Baseline-Szenario (A.1) um 9% reduziert. Im ÖSR-Szenario mit gesteigertem technologischem Potenzial (B.2+) werden dagegen 53% weniger THG-Emissionen ausgestoßen als im Baseline-Szenario (A.1). Daraus lässt sich zweierlei ableiten: Die Steigerung ist wichtig und notwendig zur Erreichung der Klimaziele, aber die Implementierung der Reform selbst hilft bei der Zielerreichung.

Durch das geänderte Verhältnis von ω_0 ändert sich die Anpassungsmöglichkeit für Unternehmen: Das Möglichkeitsfeld ist länglicher (vgl. Abbildung 16). Es stellt sich die Frage, warum trotz großer Veränderungen hier die ausgewählten Technologien in der langen Frist ähnlich bleiben. Ein Grund könnte sein, dass eine strikte Verbesserung einen relevanten Vorteil darstellt und in der Regel beim Innovationsprozess ausgewählt wird. Arbeit L macht an den Gesamtausgaben zu Beginn ca. 50% aus und ist damit hoch relevant; bis zum Ende der Simulation reduziert sich der Anteil, bleibt aber hoch (bspw. 45% im Szenario A.2). Der Anteil der THG-Steuern an den Gesamtausgaben aller Unternehmen nimmt im Simulationsverlauf zu und beträgt am Ende dennoch nur ca. 6% aus (A.2 und A.3).

Das bedeutet, dass die Vergrößerung der Substitutionsmöglichkeiten, was bildlich gesprochen heißt, die Fläche der möglichen Innovationen weiter nach

rechts unten zu verlängern (vgl. Abbildung 16), nicht ausschlaggebend ist. Zwar kann eine Innovation einen großen und finanziell attraktiven Sprung in Richtung Substitution bedeuten (höhere THG-Output-Relation, geringere Arbeitsproduktivität), die Verbesserung der Arbeitsproduktivität spielt jedoch hier immer auch eine Rolle, sodass große Sprünge nicht die Regel sind, was der Blick auf die Entwicklungspfade einzelner Unternehmen belegt. Für Unternehmen ist es immer von großer Bedeutung, Arbeitskosten zu reduzieren. Um über diesen Kosten-Mechanismus THG-Steuern zu reduzieren, müsste der Steuersatz sehr hoch sein.

Zur Verbesserung des Verhältnisses von THG-Steuerausgaben zu Arbeitskosten könnten deshalb Steuersätze über 400 EUR/t CO₂e sinnvoll sein. An dieser Stelle ist an den Spezialbericht des IPCC zu erinnern (Rogelj et al., 2018), der für das Jahr 2050 im Szenario Unter-1,5-Grad-Ziel-Pfad (ohne Abzinsung, in Preisen von 2010) eine Bandbreite von notwendigen THG-Steuersätzen von 245–14.300 USD₂₀₁₀/t CO₂e ermittelt (vgl. Kapitel 6.7). Mit 400 EUR/t CO₂e erscheint daher das Limit einer sinnvollen THG-Steuerhöhe nicht erreicht.

Der Aussage des Modells folgend liegt die Zielerreichung der Reduktionsziele somit weniger an Kostenanreizen (THG-Steuern) als mehr an weiteren Aspekten wie etwa der technischen Seite der Transformation zu einer THG-neutralen Wirtschaft. Wie oben aufgeführt gibt es eine Vielzahl von politischen Klimaschutzmaßnahmen. Die Ergebnisse legen nahe, dass selbst bei einer THG-Steuer von 400 EUR/t CO₂e diesen weiteren Maßnahmen eine hohe Wichtigkeit zukommt. Der Schluss, dass die Kostenanreize keine Bedeutung haben, wäre auf Grundlage der Modellkonstruktion jedoch unzulässig.

Als Fazit ist zweierlei festzuhalten: Zum einen ist die Simulation nicht entscheidend von der Wahl des Parameters ω_0 abhängig und die Technologiekomponente des Modells beweist sich als robust. Zum anderen bietet die Modellierung Orientierung, wie viel Steigerung des technologischen Potenzials λ_{GHG} jenseits der finanziellen Aspekte erforderlich ist. Zwar hat das Modell einen Fokus auf Richtungsvorgaben und qualitative Aussagen, aber vor dem Hintergrund der offenbaren Belastbarkeit des Technologiemoduls bleibt die Aussage der hohen erforderlichen Steigerung (3,7-fach) nicht ohne Gewicht. Eine Politik, die lediglich die Steuerung mittels eines THG-Preises bis zur Höhe von 400 EUR/t CO₂e vornehmen will, ist der Modellierung zufolge unzureichend.

12.5.8.5 Ergebnisse der Szenarien C: Variation der Struktur der THG-Steuererhöhung

Die nachfolgend untersuchten Szenarien gehen alle von der Einführung der ÖSR aus, unterscheiden sich aber, was die Erhöhung der THG-Steuer angeht. Das Szenario C.1 erhöht die Steuern linear (entspricht Szenario A.2). Die Steuerstrukturkurven der Szenarien C.2 und C.3 sind begrenztes und quadratisches Wachstum (siehe Abbildung 35). In der langen Frist beträgt die THG-Steuerhöhe τ in allen Szenarien 400 EUR/t CO₂e.

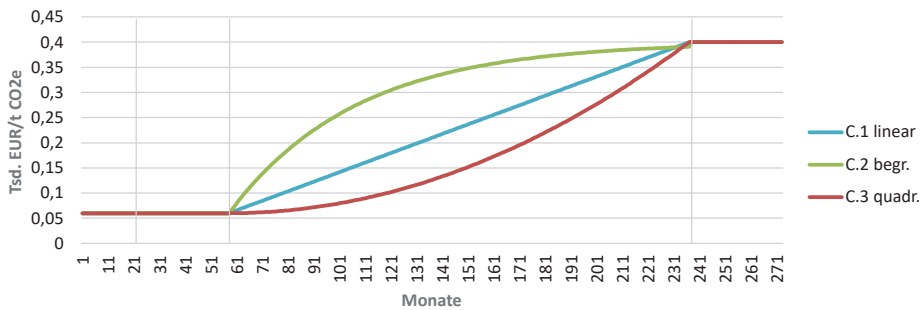


Abbildung 35: THG-Steuersatz τ

Da die Steuern in allen drei Szenarien aufgrund der ÖSR zur Entlastung der Arbeit genutzt werden, reduziert sich der Arbeitskostensatz w , was in Abbildung 36 erkennbar ist. Über das begrenzte Wachstum (C.2) wird in der Anfangsphase das größte Aufkommen generiert, weshalb auch beim Arbeitskostensatz die höchste Entlastung vorliegt.

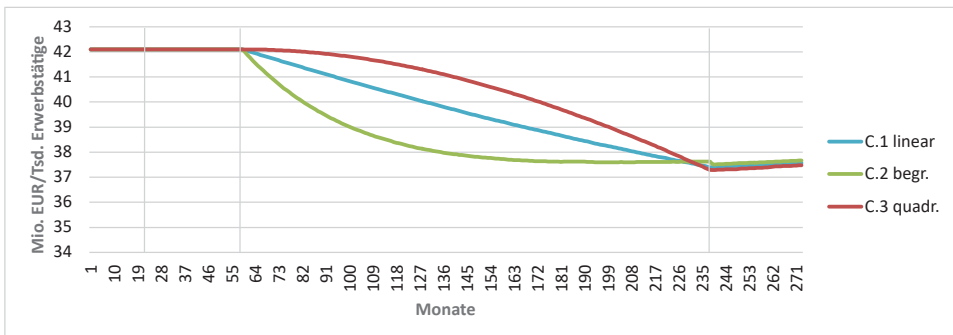


Abbildung 36: Arbeitskostensatz w

Die Effekte sind in Abbildung 37 bei der THG-Output-Relation λ_{GHG} erkennbar: Bei einer frühen starken Erhöhung (C.2) erhöht sich die THG-Output-Relation stärker als bei einer linearen Erhöhung (C.1). Die quadratische Erhöhung der Steuer dagegen führt zu den geringsten Verbesserungen von λ_{GHG} .

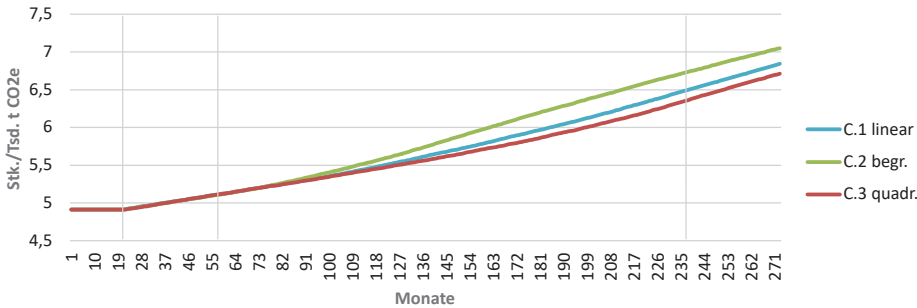


Abbildung 37: THG-Output-Relation λ_{GHG}

Analog sind die Entwicklungen bei der Arbeitsproduktivität λ_L (Abbildung 38). Auch hier lässt sich diese Reihenfolge erkennen: die stärksten Effekte liegen beim Szenario C.3 vor, dicht gefolgt von C.1. Die geringste Steigerung der Arbeitsproduktivität liegt im Szenario C.2 durch das begrenzte Wachstum vor, wobei die Unterschiede aller drei Varianten gering sind. Die Richtung der technologischen Entwicklung wird demnach durch das begrenzte Wachstum am stärksten im Sinne der ÖSR eingeschlagen.

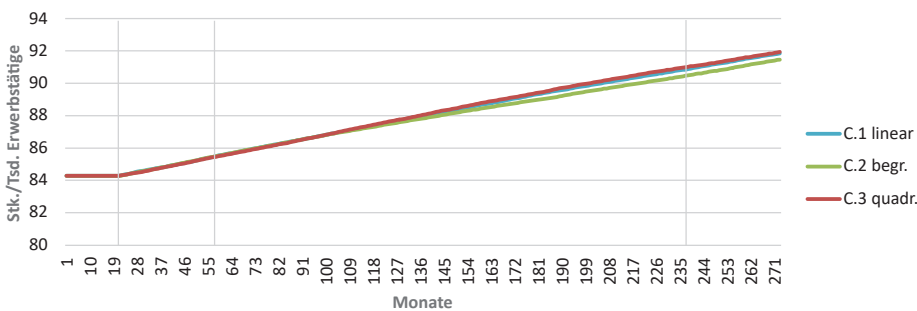


Abbildung 38: Arbeitsproduktivität λ_L ¹⁹⁵

Abbildung 39 zeigt schließlich, dass die größten Emissionsreduktionen am Ende des Simulationszeitraums folgerichtig beim begrenzten Wachstum bestehen

¹⁹⁵ Die blaue Kurve verläuft unter der roten.

(2,3% niedriger als beim linearen Wachstum), die kleinsten beim quadratischen Wachstum (2,1% höher als beim linearen Wachstum). Die Arbeitsnachfrage unterscheidet sich in allen drei Szenarien nicht wesentlich, was unter anderem an den geringen Unterschieden der Arbeitsproduktivität λ_L liegt. Jedoch trifft auch hier die Tendenz zu, dass die höchste Arbeitsnachfrage durch das begrenzte Wachstum (0,1% höher als beim linearen Wachstum) und die niedrigste Arbeitsnachfrage durch das quadratische Wachstum (0,1% niedriger als beim linearen Wachstum) erzeugt wird. Diese Effektstärken sind jedoch zu vernachlässigen.

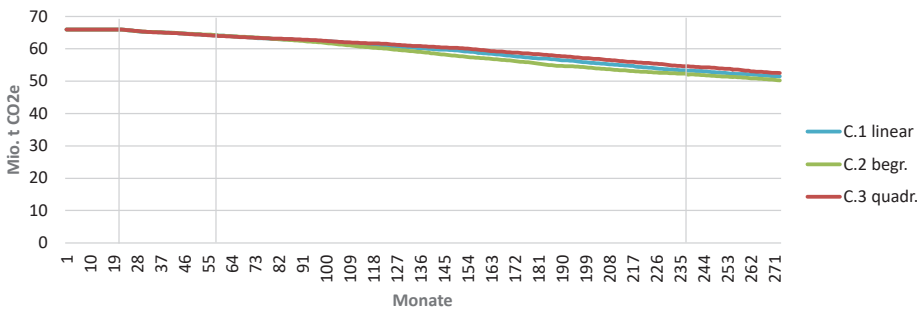


Abbildung 39: THG-Emissionen GHG

12.5.8.6 Diskussion der Szenarien C

Am erfolgreichsten zur Senkung der THG-Emissionen ist die zunächst starke Erhöhung. Eine beträchtliche Lenkung wird auch durch den linearen Anstieg erreicht. Der quadratische zunächst flache Anstieg dagegen führt dazu, dass zu Beginn wenig zusätzliche Entwicklung passiert (siehe Abbildung 37). Die Hypothese C.i wird damit bestätigt.

Bemerkenswert ist, dass in allen drei Szenarien nur ein leichter Knick nach Beendigung der Reform bei der Arbeitsproduktivität und der THG-Output-Relation zu beobachten ist. Die Reform wirkt daher auch nach Beendigung noch nach. Die Anreize durch die erhöhten, wenn auch nicht mehr sich erhöhenden Steuern sind weiterhin gegeben und scheinen auszureichen, um in die eingeschlagene Richtung grob weiterzugehen. Die Entwicklungsgeschwindigkeit der THG-Output-Relation λ_{GHG} scheint daher vor allem von der Höhe der Steuern abzuhängen: Je höher der THG-Steuersatz τ , desto steiler ist die Entwicklungskurve von λ_{GHG} . Dass die Entwicklung nach Beendigung der Reform in der letzten Phase nicht stagniert, bestätigt diesen Verdacht. Der aktuelle

Entwicklungsstand, das heißt die absolute Höhe von λ_{GHG} scheint nicht relevant zu sein, was sich dadurch bestätigt, dass in der letzten Phase ohne Reform, wenn die Steuerhöhe in allen Szenarien 400 EUR/t CO_{2e} beträgt, die Entwicklung annähernd parallel ist.¹⁹⁶

Was die Ergebnisse beeinflussen könnte, ist die Vorausschau der Unternehmen, welche in der vorliegenden Simulation nicht variiert wurde. Die Erhöhung der THG-Steuer könnte als öffentlich angegeben und weit im Voraus bekannt angenommen werden. Die Unternehmen könnten demnach die Preise nicht nur für einen Monat im Voraus berücksichtigen, sondern für mehrere, viele oder alle Monate des Reformzeitraums. Wenn mehrere Jahre berücksichtigt werden (bspw. fünf Jahre), verändert das die Optimierung der Unternehmen und auch das Szenario mit dem zunächst allmählichen Anstieg der Steuern könnte ähnliche Ergebnisse generieren, wie die beiden anderen Szenarien oder zumindest dürften die Unterschiede geringer werden. Für weitere Arbeiten würde sich hierbei die Frage stellen, welche Planungshorizonte der Unternehmen plausibel sind.

12.6 Diskussion und Fazit

12.6.1 Reflexion der Ergebnisse

Insgesamt zeigte sich, dass im gegebenen Setting die technologische Entwicklung über steuerliche Anreize gelenkt werden kann. Die stärkste Lenkung wird durch die ÖSR erreicht, gefolgt vom Ökobonus (siehe Abbildung 31). Im Hinblick auf die Arbeitsproduktivität schneidet das Ökobonus-Szenario ähnlich ab wie das ÖSR-Szenario, im Hinblick auf die THG-Output-Relation scheidet es jedoch schlechter ab. Das geringe Ausmaß beider simulierten Reformen wirft jedoch Fragen auf. Weitere nicht-preisliche Maßnahmen erscheinen erforderlich, insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Steigerung des technologischen Potenzials in Form von ω_{GHG} , welches um den Faktor 3,7 erhöht werden muss, um eine 60%-Reduktion der Emissionen zu ermöglichen. Beim Blick auf die Strukturkurve der Steuererhöhung bestätigen sich schließlich die Vermutungen, dass es besser im Sinne der Lenkung der technologischen Entwicklung ist, wenn frühzeitig hohe Steuern den Weg weisen.

¹⁹⁶ Die Steigungen sind: 0,010 Stück/Tsd. t CO_{2e} je Monat für C.1 und C.3 und 0,009 Stück/Tsd. t CO_{2e} je Monat für C.2. Zumindest tendenziell sind Aufholeffekte abzulesen.

Die Stärke des Modells ist, dass technologischer Fortschritt endogen ist und von verschiedenen Aspekten des Gesamtmodells abhängt. Außerdem besteht mittels der beiden Komponenten Arbeitsproduktivität und THG-Output-Relation eine Richtung der technologischen Entwicklung, die sich durch die finanziellen Anreize im Modell verändern kann, was in den Szenarien ÖSR und Ökobonus auch geschieht.

Technologie über die Parameter der Produktivitäten abzubilden ist eine vereinfachte Darstellung, die nur einen Teil der Komplexität von technologischer Entwicklung treffen kann (vgl. D'Alessandro et al., 2020, S. 6). Technologische Veränderungen können auf unterschiedliche Art im wirtschaftlichen Prozess eine Rolle spielen. Deshalb sind die Interventionen und Einflussnahmen auf die technologische Entwicklung ebenfalls unterschiedlich. Mit der vorliegenden Technologieausgestaltung ist es jedoch möglich, die Größenordnungen über die Kalibrierung im Griff zu halten und diesbezüglich makroökonomisch belastbare Tendenzen abzuleiten.

Dennoch handelt es sich um ein analytisches Modell, das einen Fokus auf Richtungswirkungen hat, da es aufgrund der Simplizität nicht alle ökonomischen Wirkmechanismen abbilden kann, was im Folgenden an verschiedenen Stellen noch zur Sprache kommen wird. Im vorliegenden Modell werden so unter anderem Verteilungseffekte nicht in den Blick genommen. Auf Haushaltsebene bestehen diese nicht, da alle Haushalte jeden Monat das gleiche Einkommen erhalten. Auf Unternehmensebene bestehen zwar Unterschiede, diese haben jedoch zufälligen Charakter und eine nähere Betrachtung erscheint nicht zweckdienlich. In diesem Zuge ist auch darauf hinzuweisen, dass es im Modell keinen Staat als eigenständigen Akteur gibt. Steuern werden zwar erhoben und erhöht, diese jedoch direkt an die Haushalte weitergegeben, was aufgrund der Aufkommensneutralität möglich ist. Eine Erweiterung um den Staat könnte sinnvoll sein, wenn staatliche Reaktionen näher betrachtet werden sollen. Ein Vorteil dieses analytischen Modelltyps liegt jedoch darin, dass aufgrund der weniger zahlreichen Annahmen die Wirkzusammenhänge sichtbarer werden und somit Annahmen variiert werden und transparent diskutiert werden können.

12.6.2 Weitere Aspekte

12.6.2.1 Zur Substituierbarkeit von Arbeit und THG-Emissionen

Vor dem Hintergrund, dass THG-Emissionen für den Klimawandel entscheidend sind (nicht Energieverbräuche), ist zur Beurteilung der technologischen Entwicklung die Substituierbarkeit der Faktoren der Arbeit und THG-Emissionen zu berücksichtigen. In der Fachliteratur werden zwar die Substituierbarkeit von Inputfaktoren wie Arbeit und Energie adressiert (in der Regel über Elastizitäten), aber die Substituierbarkeit von Arbeit und Emissionen ist wenig im Blickfeld. Diese ist trotz der verschiedenen Ebenen, die Arbeit als Inputfaktor und THG-Emissionen als Nebenprodukt aufweisen, von hoher Relevanz.

Eine grobe Annahme wird im vorliegenden Modell implizit über die Wahl der Parameter ω_0 , ω_L und ω_{GHG} getroffen und ist somit für die Entwicklung der vergangenen Jahre validiert. Dennoch liegt die Stärke des Modells weniger in der Prognose der tatsächlichen Werte der Arbeitsproduktivität oder der THG-Output-Relation, sondern mehr in der Richtung der Entwicklung dieser Parameter. Die Richtung wird von den Unternehmen auf Grundlage von Kostenentscheidungen eingeschlagen und kann wertvolle Orientierung bieten, für welche Entwicklung Kostenanreize bestehen.

Insgesamt reagiert die Arbeitsproduktivität wenig auf die veränderten Kostenanreize. Grund dafür ist, dass die Steigerung der Arbeitsproduktivität sehr lohnend ist, da die Arbeitskosten auf Unternehmensebene mit 45–50% einen hohen Anteil der Gesamtkosten ausmachen. Die Anreize zur Steigerung der Arbeitsproduktivität sind insofern immer gegeben – auch dann, wenn THG-Emissionen deutlich teurer werden und bis zu 6% der Ausgaben ausmachen. Dieses Ungleichgewicht gilt es im Blick zu behalten.

Neoklassische Produktionsfunktionen wie zum Beispiel die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion erlauben starke Substitutionen, das heißt, den Ersatz eines Produktionsfaktors durch einen anderen, ohne zeitlichen Einsatz. Folgt man diesem Prinzip, müssten sich die Technologieparameter λ_L und λ_{GHG} gemeinsam stark verändern können, wenn einer der Parameter abnimmt und sich der andere erhöht. Im vorliegenden Modell wird dieses Entweder-oder von Substitution einerseits oder technologische Verbesserung beider Parameter andererseits durch eine Fläche der Möglichkeiten aufgelöst. Mithilfe einer eher schlauchförmigen Fläche werden einerseits Substitutionen die besseren Verbesserungschancen ein-

geräumt und andererseits der Gegebenheit Rechnung getragen, dass auch Substitution ein Umstellungsprozess ist, der in der Regel Zeit benötigt.

Abbildung 40 zeigt die durchschnittliche technologische Entwicklung um das Szenario B.2+: ÖSR inkl. der Steigerung des technologischen Potenzials ω_{GHG} um den Faktor 3,7 (lila Kurve). Der Zufallsprozess ist hierbei unverändert, die Ergebnisse werden jedoch um ein Vielfaches multipliziert und damit Substitutionsvarianten vor der Technologiewahl der Unternehmen attraktiver. Zwei Aspekte sind zu bemerken: Zum einen ist festzustellen, dass trotz dieser Steigerung die Arbeitsproduktivität weiterhin zunimmt, die Kurve also grundsätzlich die gleiche Form hat (von links unten nach rechts oben). Zum anderen ist der am Ende realisierte Wert der Arbeitsproduktivität beachtenswert, da dieser nur wenig geringer ausfällt als die Realisationen der anderen Szenarien: 91,3 Stück/Tsd. Erwerbstätige (Szenario B.2+) gegenüber 91,9–92,4 Stück/Tsd. Erwerbstätige (Szenarien A.1, A.2 und A.3).

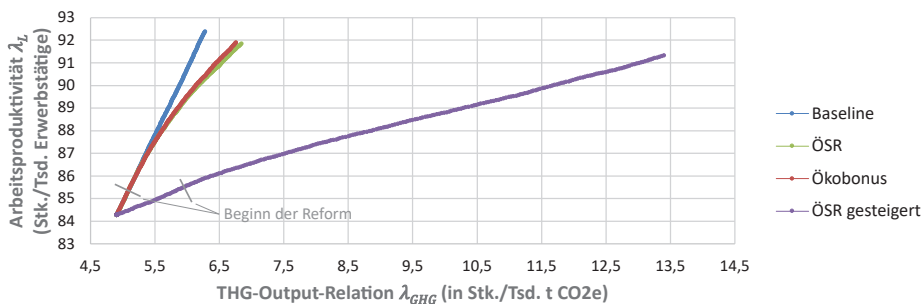


Abbildung 40: Durchschnittliche technologische Entwicklung (inkl. Steigerung)

In Abbildung 40 ist am Knick der lila Kurve visuell erkennbar, dass die Reform trotz des gesteigerten technologischen Potenzials von der ÖSR profitiert. Insgesamt wird das Bemühen der Unternehmen, die Arbeitsproduktivität zu steigern, und die hohe Bedeutung der Arbeitskosten erkennbar.

12.6.2.2 Zur Dominanz der Arbeitskosten

Die anfänglichen beträchtlichen Arbeitskosten in Höhe von ca. 50% des Gesamtumsatzes sind auf Grundlage der Angaben des statistischen Bundesamtes validiert. Auch betriebswirtschaftliche durchschnittliche Angaben liegen in diesen Größenordnungen: Andere Quellen geben ähnlich hohe oder höhere Werte für den

Anteil der Arbeitskosten bzw. der Personalkosten an.¹⁹⁷ Der Blick in die Input-Output-Tabellen des Modells des vorherigen Kapitels zeugt von einer ähnlichen Größenordnung. Der Anteil der Arbeitnehmerentgelte im Inland an der Bruttowertschöpfung beträgt sektorübergreifend 59% (für das Jahr 2019, Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023b), mit Variationen von 29% im Sektor „Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei“ bis 76% im Sektor „Öffentliche und sonstige Dienstleistungen einschließlich Waren privater Haushalte“ und 78% im Sektor „Nahrungs- und Futtermittel, Getränke und Tabakerzeugnisse“. Der Anteil der Arbeitnehmerentgelte im Inland am Produktionswert ist zumindest geringer und liegt sektorübergreifend bei 28%. Die Änderung der Basis, ob Bruttowertschöpfung oder Produktionswert, macht einen deutlichen Unterschied aus. Diese Differenz begründet sich durch die Berücksichtigung bzw. Nicht-Berücksichtigung der Vorleistungen. Mit Blick auf das agentenbasierte Modell stellt sich also die Frage, was die Gesamtproduktion Y im Modell ist. Um keine Redundanzen zu erhalten, die auch im BIP unberücksichtigt sind, ist die Bruttowertschöpfung heranzuziehen und die Arbeitnehmerentgelte in Höhe von 59% wären zutreffend.

Um derartige relative Kostenverschiebungen auf Modellebene greifen zu können, müssten die Sektoren differenziert werden und Vorprodukte implementiert werden. Hierbei könnte es sich um eine gewinnbringende Erweiterung handeln, da Unternehmen dann umfänglicher die neuen Kosten durch eine Reform berücksichtigen könnten. In einem solchen erweiterten Modell könnten die Input-Faktoren der Sektoren ebenfalls durch zufällige Entwicklungen variiert werden und somit weitere variable Technologieparameter etabliert werden. Die Richtung der technologischen Entwicklung könnten bspw. alle Sektoren, Arbeit und THG-Emissionen berücksichtigen und wäre in diesem Fall multidimensional. Aufgrund der zahlreichen Inputfaktoren bzw. Vorprodukte unterschiedlicher Sektoren würde Arbeit eine geringe Rolle erhalten und der starke Fokus der Unternehmen, die Arbeitsproduktivität zu steigern, würde in solch einem Modell abgeschwächt werden. Allerdings liegt auch der Anteil der

¹⁹⁷ Laut dem Clockodo-Lexikon betragen die Personalkosten 30–40% der Gesamtkosten (<https://www.clockodo.com/de/lexikon/personalkosten/>, 09.03.2024). eagle-control.de zufolge liegt der Anteil der Personalkosten bei ca. 40–60% vom Umsatz (<https://www.eagle-control.de/kunden-partner/personalkosten-absolut-und-prozentual/>, 09.03.2024). Laut Personalwissen.de ist der Anteil für Löhne, Gehälter und Lohnnebenkosten in personalintensiven Unternehmen sogar über 50% der Ausgaben (<https://www.personalwissen.de/betriebsausgaben/>, 09.03.2024). Das Statistische Bundesamt gibt Lohnquoten für 2022 von 70,0% (unbereinigt) und 69,6% (bereinigt) an (Statistisches Bundesamt [Hrsg.], 2023a, S. 23).

Arbeitnehmerentgelte im Inland am Produktionswert (= Bruttowertschöpfung + Vorleistungen) bei 28%: Die Steigerung der Arbeitsproduktivität spielt insofern in jedem Fall eine zentrale Rolle für Unternehmen.

12.6.2.3 Zur Insuffizienz der Steuerung über den THG-Preis

Da die simulierten Reformen nicht ausreichen, bietet es sich an, das Modell dahingehend zu erweitern, dass weitere Maßnahmen (neben den preislichen Anreizen) simuliert werden können und somit das Abstraktionsniveau reduziert wird. Zwar werden im Modell keine weiteren Maßnahmen untersucht, dennoch wird deutlich, dass die preislichen Anreize in Höhe von 400 EUR/t CO₂e in keiner der Simulationen der Szenarien A, B und C ausreichend sind – die gezielte Steigerung des technologischen Potenzials in den Szenarien B+ stellt hier die Ausnahme dar.

Die Struktur des agentenbasierten Modells weist ein hohes Abstraktionsniveau auf. Das heißt, dass die konkrete Umsetzungsfrage über dieses Vorgehen zunächst ausgeblendet wird. In der Praxis gibt es jedoch je nach Themenbereich zahlreiche weitere Strategien und Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen (vgl. Energiewende, Verkehrswende, Landwirtschaftswende etc.).

Neben den Kostenanreizen aufgrund von THG-Bepreisungen sind auch andere Strategien zu nennen, die zu technologischen Verbesserungen bzw. zur Reduktion der THG-Emissionen führen. Beispiele dieser Strategien können wie folgt kategorisiert werden:

1. Konsistenz: Zum Beispiel auf Seite der Energieerzeugung, welche einen Großteil der Emissionen ausmacht, gibt es rechtliche Vorgaben zum Ausbau der erneuerbaren Energien, die die Emissionen reduzieren (Ausbauziele, Verpflichtungen von PV-Anlagen auf Neubauten etc.). Auch das Abkommen des Kohleausstiegs bis 2030 ist hier zu nennen.
2. Effizienz: Darüber hinaus gibt es Vorschriften zur Erreichung von Effizienzrichtlinien.¹⁹⁸ Im Bauwesen und im Bereich von Heizungsanlagen etwa über das Gebäudeenergiegesetz¹⁹⁹, auf Produktebene zum Beispiel

¹⁹⁸ Siehe Energieeffizienz-Richtlinie der Europäischen Union: <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2023/07/25/council-adopts-energy-efficiency-directive/> (09.03.2024).

¹⁹⁹ Siehe Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-sanieren/gebaeudeenergiegesetz/gebaeudeenergiegesetz-node.html> (09.03.2024).

über die Kennzeichnung des Energieverbrauchs mittels Energieeffizienzklassen²⁰⁰.

3. Suffizienz: Schließlich gibt es auf individueller Ebene Bemühungen, einen emissionsärmeren Lebensstil zu leben. Dies kann auf verschiedene Wege erreicht werden. Zum Beispiel durch den Verzicht auf besonders energieintensive Güter. Suffizienz ist auch in öffentlichen Institutionen zu finden, wenn es darum geht, die Raumtemperatur zu senken.²⁰¹

Es gibt Anreize, technologiepolitische Maßnahmen umzusetzen und eine hohe, effektive THG-Bepreisung zu vermeiden (Goulder et al., 1999; Austen-Smith et al., 2019; Landis et al., 2019; Rausch & Yonezawa, 2023). Zu dem Schluss, dass rein preisliche Anreize nicht ausreichen, kommen jedoch auch bspw. Amendola et al. (2024). Nach der Untersuchung verschiedener Varianten wird ihrer Modellierung zufolge die Energieeffizienz, was einer der Technologieparameter in ihrem Modell ist, am effektivsten durch die langfristige Förderung eines Forschungszentrums gesteigert.

Festzuhalten ist, dass die Reduktion der THG-Emissionen und der Ausbau der erneuerbaren Energien nicht allein an der Bepreisung von THG-Emissionen, sondern auch an anderen Faktoren liegt, insbesondere der Umsetzung technologiepolitischer Maßnahmen. Es stellt sich die Frage, wie diese Ebene der induzierten Technologieveränderung in die Modellierung aufgenommen werden kann. Das bereits im Modell umgesetzte technologische Potenzial könnte durch die staatlichen Subventionen beeinflusst werden. Die Errichtung eines Forschungszentrums bspw. könnte den Faktor ω_{GHG} erhöhen und darüber staatliche Anreize zur Erreichung der Klimaziele implementieren. Welches Spannungsfeld daraus wiederum für Unternehmen entsteht, wäre Teil einer weiteren Untersuchung.

Generell ist zu überlegen, ob sich technologische Entwicklungen ausschließlich an finanziellen Anreizen orientieren, oder ob es nicht noch weitere relevante Einflussfaktoren gibt. Dosi (1982) prägte bspw. den Begriff des technologischen Paradigmas, das für die Entwicklung entscheidend ist. Eventuell gibt es andere technologische Pfade, die entsprechend auch auf Modellebene

200 Siehe Übersicht des Umweltbundesamts zur Energieverbrauchskennzeichnung: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energieverbrauchskennzeichnung> (09.03.2024).

201 Wie es in der Folge der Energiekrise 2023 durch die Bundesregierung zeitweise praktiziert wurde: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/energiesparmassnahmen-2078224> (09.03.2024).

umgesetzt werden müssten. Die Erwartungshaltung einer nationalen oder bestenfalls europäischen Reform sollte allerdings gerade vor dem Hintergrund internationaler Entwicklungen und Abhängigkeiten nicht sein, dass die Mechanismen des technologischen Fortschritts in ihrem Kern grundlegend verändert werden können. Die Beschränkung auf die monetären Anreize bei gleichzeitiger Berücksichtigung vergangener Verbesserungsgeschwindigkeiten der Technologieparameter erscheint zumindest als ein gangbarer Weg und lässt technologisch keine Fehlentwicklungen befürchten, da die Adressierung des Klimawandels ein globales Anliegen ist.

12.6.2.4 Emissionen durch den Energiesektor oder die Produktion insgesamt

Im Modell werden die THG-Emissionen der Produktion insgesamt zugeschrieben, nicht sektoral aufgegliedert oder getrennt nach Energiegewinnungssektor und verarbeitenden Sektoren. Der Vorteil hierbei ist, dass der Blick auf die Makrogrößen gerichtet wird und hier über die Jahrzehnte der technologischen Entwicklung Kennwerte berechnet werden können, die vor dem Hintergrund der Empirie als plausibel bezeichnet werden können. Auf einen Energiesektor zu verzichten, bringt jedoch das Problem mit sich, dass es die Transformationsprozesse, die bei der Energiegewinnung nötig sind (Stichwort Energiewende und Umstellung auf erneuerbare Energien), nicht einzeln abgebildet werden können. Die Energieerzeugung macht einen großen Teil der gesamten THG-Emissionen aus, sodass mithilfe eines Energiesektors ein Hauptproblem zur THG-Emissionsreduktion adressiert wird. Die Reduktion auf Emissionen im Energiesektor würde jedoch vernachlässigen, dass es sich bei der Reduktion der Emissionen um eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe mit in allen Bereichen erforderlichen Reduktionen handelt, sodass auch diese Variante Nachteile mit sich bringen würde.

12.6.2.5 Zur geringen Stückzahl im Ökobonus-Szenario

Im Modell wirft das schlechte Abschneiden mit Blick auf den Umsatz in Stück im Ökobonus-Szenario Fragen auf. An dieser Stelle lohnt sich ein Blick auf die Modellstruktur, die angebotsorientiert ist. Die Nachfrage, das heißt insbesondere der Konsum, spielt keine gewichtige Rolle, da sie immer als gegeben angenommen wird. Das bedeutet, die unterschiedlichen Reformwirkungen sind besser mit Blick auf die Angebotsseite, die Produktion, zu erklären.

Beim Ökobonus schafft die Steuererhöhung einen Nachteil für die Unternehmen. Die höheren Ausgaben für die Produktion steigern die Stückkosten. Zwar haben die Haushalte ein erhöhtes Einkommen, dieses reicht allerdings nicht aus, um die erhöhten Preise zu kompensieren, sodass unterm Strich reduzierter Umsatz nach Stück steht. Das Modell kommt hier an seine Grenzen. Dass über den Ökobonus das Einkommen gesteigert wird, während es sonst im ganzen Modell keine Möglichkeit gibt, das Einkommen der Haushalte zu erhöhen, kann kritisch gesehen werden. Aufgrund der Simplität wurde das Ökobonus-Szenario auf diese Weise implementiert und ist zu rechtfertigen, in erweiterten Modellierungen könnte hierauf jedoch ein Augenmerk liegen. Der Grundmechanismus, dass durch die ÖSR den Unternehmen ein Vorteil entsteht, der bei guten Marktbedingungen auch an die Haushalte weitergegeben wird, während beim Ökobonus den Unternehmen nur ein Nachteil entsteht, der über den Preis ebenfalls an die Haushalte weitergegeben wird, und teilweise durch die höheren Einkommen kompensiert wird, ist plausibel im Modell abgebildet.

Aus Klimaperspektive kann dieser Effekt bei der Weitergabe des Aufkommens im Fall des Ökobonus als Rebound-Effekt bezeichnet werden, denn der eigentlich verteuerten Produktion widerfährt durch die Einkommen neue Nachfrage. Im Gegensatz zu Zhong und Su (2021) wird dieser Effekt nicht über die höhere Kaufkraft von nicht mehr arbeitslosen Personen erzeugt, die im vorliegenden Modell keine Rolle spielt, sondern über das zusätzliche Einkommen, das den Haushalten zukommt. Dem entgegen stehen Amendola et al. (2024), deren Modellierung zufolge bei sehr unterschiedlichen Politiken (von CO₂-Steuer bis hin zum öffentlichen Forschungszentrum zur Beschleunigung der Energieeffizienz) kaum Rebound-Effekte auftreten und Rebound-Effekte somit überschätzt würden.

12.6.3 Anknüpfende Forschungsfragen und Modellerweiterungen

Verschiedene Erweiterungsmöglichkeiten wurden in der bisherigen Diskussion bereits erwähnt, so etwa die sektorale Erweiterung des Modells, um sektorspezifische Aussagen treffen zu können und um auf Ebene der Abhängigkeiten von Vorprodukten technologische Entwicklung implementieren zu können. Eine Kombination dieses Modells mit dem vorherigen Input-Output-Modell erscheint denkbar, um technologische Anpassungsmöglichkeiten von Anfang an zu berücksichtigen.

Eine andere Frage ergibt sich aus der Diskussion der weiteren begleitenden Maßnahmen, wie bspw. technologiepolitischer Maßnahmen, die im vorliegenden Modell nicht untersucht wurden. Staatliche Subventionen, welche über die THG-Steuer finanziert werden, könnten ein weiteres Szenario bilden (vgl. Rengs et al., 2015). Diese Subventionen könnten zusätzliche Anreize bieten, im Möglichkeitsraum der technologischen Entwicklung eher die Varianten hoher THG-Reduktionen zu wählen oder ggf. den Möglichkeitsraum zu erweitern. Eine solche Erweiterung könnte sich als relevant und praktikabel erweisen, da es in die aktuelle Modellstruktur passt und staatliche direkte Subventionen effektiv sein könnten (vgl. Amendola et al., 2024).

Im vorliegenden Modell wurden die Anreize für Investitionen nicht untersucht. Es stellt sich die Frage, ob bzw. inwiefern diese von den veränderten Anreizen durch die Einführung einer ÖSR beeinflusst werden. Auf Modellebene müssten hierfür die Investitionen in F&E zunächst einen Preis bekommen bzw. die Investitionen in Kapital mit dem Ausmaß der möglichen technologischen Entwicklung verknüpft werden. Die Frage nach dem Ausmaß der Investitionen ist der eine Aspekt, mit der Frage nach der Richtung verschiedener Investitionsmöglichkeiten könnte ein weiterer Aspekt hinzugenommen werden. Hiermit könnten die veränderten Anreize durch die ÖSR auf Ebene der Investitionsmöglichkeiten untersucht werden. Konkret könnten zwei Investitionsmöglichkeiten für zwei Technologien implementiert werden: Eine günstigere Variante zum Erhalt der bisherigen Technologie und zur Reduktion der Produktionskosten („braune Technologie“) und eine andere, teurere Investitionsmöglichkeit zur Emissionsreduktionen („grüne Technologie“). Es könnten auf Grundlage der Kostenanreize unterschiedliche Reformen untersucht werden, um günstige Szenarien zur Emissionsreduktion zu eruieren.

Schließlich stellt sich auch die Frage, wie die Erwartungsbildung auf Haushaltsebene die technologische Entwicklung beeinflussen könnte, da die Haushalte im vorliegenden Modell versuchen, ihr vollständiges Einkommen auszugeben. Die Erwartungsbildung könnte adressiert insgesamt werden, denn im Modell werden auch auf Unternehmensebene Erwartungen mit wenig Unsicherheit modelliert, da lediglich die Preisentwicklungen der nächsten Periode berücksichtigt werden. Hier könnte eine Erweiterung ansetzen, um fundamentale Unsicherheit der Agent:innen zu implementieren (vgl. Poledna et al., 2023, S. 6). Diese Erwartungsbildungen spielen bei den Fragen eine wichtige Rolle, wie konjunk-

turelle Aspekte die technologische Entwicklung beeinflussen oder welche Relevanz langfristige Steuerfahrpläne gegenüber kurzfristigeren Reformen mit wenig Vorbereitungsphase haben. Methodisch könnten diese Unsicherheiten mittels Autoregressionen umgesetzt werden (Poledna et al., 2023, S. 2f).

12.6.4 Fazit

Für zukünftige Reformen, ob mit oder ohne Berücksichtigung des Produktionsfaktors Arbeit, erscheint die Lenkung der technologischen Entwicklung möglich und sinnvoll zu sein. Die Vergünstigung des Faktors Arbeit findet sich in den aktuellen Debatten nicht ausdrücklich wieder und die Idee der ÖSR scheint marginalisiert.

Zwar gibt es Bemühungen von arbeitgebernahen Verbänden, die Produktionskosten insgesamt niedrig zu halten.²⁰² Dennoch spielt die Möglichkeit, Unternehmen über die Senkung bzw. staatliche Finanzierung der Sozialversicherungsbeiträge zu entlasten kaum eine Rolle. Doch die Modellierung zeigt, dass diese Möglichkeit lohnend sein kann. Da damit insgesamt Kosten gesenkt werden, wäre auf unternehmerischer Seite grundsätzlich Unterstützung zu erwarten – der Wettbewerbsdruck durch die gestiegenen Energiepreise liefert genug Argumente dafür. Der Nutzen im Sinne der ökologischen Reform wäre allerdings der, dass damit gemäß den Modellierungsergebnissen, zusätzlich THG-Emissionen eingespart werden können. THG-Emissionen werden zwar nicht in absoluten Zahlen teurer, etwa im Vergleich mit dem Ökobonus, aber die relativen Kosten für THG-Emissionen erhöhen sich gegenüber Arbeit und führen zu einer zusätzlichen Lenkung zugunsten der Emissionsreduktionen und des Klimas.

Bei einer Entlastung des Produktionsfaktors Arbeit etwa über den Arbeitgeberanteil der Sozialversicherungsbeiträge reduzieren sich bei Einhaltung der Schuldenbremse die finanziellen Spielräume des Staates. Nicht nur aus diesen Gründen, gilt es die Reform in einen größeren Kontext zu setzen, in dem verschiedene Maßnahmen in Bündeln diskutiert werden, damit neben den ökologischen Zielen auch die Branchen mit ihren jeweiligen Besonderheiten im Einzelnen oder die Einkommensverteilung der Haushalte berücksichtigt werden können. Denn die Modellierung dieses Kapitels gibt Indizien, dass die Erhöhung der THG-Steuer allein nicht ausreichend ist – selbst in Höhe von 400 EUR/t CO₂e.

²⁰² Beispielsweise fordert Siegfried Russwurm, Präsident des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI), Entlastungen für Unternehmen, um wettbewerbsfähig bleiben zu können und um nicht „nach hinten durchgereicht“ zu werden. Siehe Tagesschau: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/bdi-klimakongress-industrie-100.html> (14.03.2024).

TEIL IV

Diskussion und Fazit

13 Diskussion

13.1 Gesamteinordnung (Leitfragen 1–4)

Mit der vorliegenden Arbeit wurde die ÖSR aus verschiedenen Perspektiven betrachtet und analysiert. Die Grundidee der Steuerverschiebung zur Belastung von unerwünschten THG-Emissionen und zur gleichzeitigen Entlastung des Produktionsfaktors Arbeit wurde evaluiert, um die möglichen Potenziale und Risiken zu prüfen.

Bei der Betrachtung der Ausgangslage (Leitfrage 1) konnten vier Trends identifiziert werden, die im Zusammenhang mit der ÖSR stehen. Der fortschreitende Klimawandel bei gleichzeitig zunehmendem Umweltbewusstsein in Deutschland spricht als Erstes grundsätzlich für die Wichtigkeit des Themas insgesamt. Durch die Digitalisierung und andere neue Technologien, aktuell etwa künstliche-Intelligenz-basierte Chatbots, entstehen außerdem neue Dynamiken auf den Arbeitsmärkten. Um die Nachfrage nach menschlicher Arbeit für Unternehmen weiterhin attraktiv zu halten, ist die Politik gefordert, einen Rechtsrahmen zum Erhalt entsprechender Anreize zu schaffen. Die ÖSR könnte diesbezüglich eine unterstützende Maßnahme sein. Durch abnehmende BIP-Wachstumsraten können ebenfalls Schwierigkeiten auf den Arbeitsmärkten entstehen. In der Vergangenheit waren BIP-Wachstum und Beschäftigungsniveau gekoppelt, was bedeutet, dass Wachstum für gleichbleibende Beschäftigung erforderlich war. Mit der Input-Output-Modellierung konnte diese Thematik adressiert werden. Zu guter Letzt könnte die ÖSR einen Beitrag zur Finanzierung der Sozialversicherungssysteme leisten, die durch den Trend der demografischen Entwicklung unter Druck geraten.

Bei der Frage der Varianten und Konzeptionen der ÖSR (Leitfrage 2) zeigt sich, dass es diverse relevante Formen der Aufkommensverwendung gibt und in Reformkonzepten in der Regel ein Mix mehrerer Zwecke anvisiert wird. Allgemein empfiehlt sich eine diversifizierte Mittelverwendung, um verschiedenen Absichten nachkommen zu können. Auf Seiten der Einsatzmöglichkeiten der Mittel wurden drei Leitideen herausgearbeitet: 1) Ökonomie, 2) Soziales und 3) Umwelt und gesellschaftliche Transformation.

Die vorliegende Arbeit hat den Fokus auf die Aspekte der Leitideen Ökonomie sowie Umwelt und gesellschaftliche Transformation, auf welche auch die Verwendungszwecke der aktuellen Emissionshandelssysteme in Deutschland

(nEHS und EU ETS) einen Schwerpunkt haben, denn die Mittel des nEHS werden zu einem Großteil für den Klima- und Transformationsfond eingesetzt²⁰³, die Mittel des EU ETS vollständig²⁰⁴.

Bei der Art der Mittelherhebung kommt sowohl die Steuer als auch der Emissionshandel in Betracht. Beide Varianten sind marktwirtschaftliche Instrumente mit ähnlichen Wirkungen, denn theoretisch können Preis- und Mengensteuerung zum gleichen Ergebnis führen. Durch die Maßgabe der Aufkommensneutralität ist die Ausgabenseite allerdings indirekt auch betroffen. Der Emissionshandel am Beispiel des EU ETS hat eine hohe Volatilität und erschwert somit unter Umständen die Planbarkeit der Ausgaben, was insbesondere dann ein Problem darstellt, wenn mit der sozialen, der ökonomischen und der ökologischen Sphäre unterschiedliche Bereiche verknüpft werden. Vor diesem Hintergrund könnten Steuern, wie sie in den Modellen der vorliegenden Arbeit auch implementiert wurde, vorteilhafter sein.

Zum Ausmaß der einzuführenden Steuer legen die Resultate der Klimaforschung nahe, wesentlich höhere THG-Preise anzusetzen, als die bisher in Deutschland realisierten. Die für die Modellierungen verwendeten 200 und 400 EUR/t CO₂e stellen zwar deutlich höhere Steuern dar als die momentan in Deutschland vorherrschenden, einem Spezialbericht des IPCC (Rogelj et al., 2018) zufolge könnten allerdings noch höhere THG-Preise erforderlich sein, sodass die im Modell simulierten Beträge einen pragmatischen Mittelweg darstellen. In Deutschland sind die maßgeblichen Mechanismen zur Bepreisung der THG-Emissionen die Emissionshandelssysteme EU ETS und der nEHS bzw. ab dem Jahr 2027 der EU ETS 2. Bei diesen Emissionshandelssystemen dienen Preise zwar als Signal, die Steuerung findet allerdings über die maximal ausstoßbare Menge an THG-Emissionen statt. Die daraus resultierenden Preise haben sich im EU ETS als volatil herausgestellt (von über 100 EUR/t CO₂e im Februar 2023 bis zu unter 60 EUR/t CO₂e im März 2024) und erschweren die Planbarkeit für Unternehmen.²⁰⁵ Wann oder ob die THG-Preise in die simulierte Größenordnung von 400 EUR/t CO₂e gelangen werden, bleibt unklar.

203 Siehe UBA: https://www.dehst.de/DE/Nationaler-Emissionshandel/nEHS-verstehen/nehs-verstehen_node.html (27.03.2024).

204 Siehe UBA: https://www.dehst.de/DE/Europaeischer-Emissionshandel/EU-Emissionshandel-verstehen/eu-emissionshandel-verstehen_node.html (27.03.2024).

205 Vgl. Nachrichtenportal Euractiv (<https://www.euractiv.de/section/energie/news/co%E2%82%82-preis-rueckgang-gefahr-det-eu-ziele-zur-dekarbonisierung/>, 27.03.2024) und für aktuelle Werte die Kursentwicklung des EEX-EUA-Spot-Markts an der European Energy Exchange (EEX), der in Leipzig ansässigen Energiebörse (<https://www.eex.com/de/marktdaten/umweltprodukte>, 24.03.2024).

Die Bemessungsgrundlage dieser Steuern sind dabei aus Klimaperspektive idealerweise THG-Emissionen (in CO₂e), weil es bei der Wirkung auf das Klima nicht auf Energieverbrauch ankommt und auch die ausschließliche Berücksichtigung von CO₂-Emissionen unvollständig ist. Allerdings gibt es auch Argumente für eine alleinige Berücksichtigung der CO₂-Emissionen. So stammen andere Treibhausgase wie Lachgas und Methan zu einem beträchtlichen Anteil aus dem landwirtschaftlichen Sektor, der seinerseits zu einem Großteil von Nicht-CO₂-Treibhausgasen geprägt ist.²⁰⁶ Wie eine weitreichende Transformation dieser Treibhausgase in diesem speziellen Bereich angestoßen werden kann, sollte deshalb separat und in Zusammenarbeit mit den betreffenden Fachdisziplinen gelöst werden.

Die Literaturübersicht zeigt (Leitfrage 3), dass positive Umwelteffekte unstrittig sind (erste Dividende) und der Blick auf andere Effekte zu richten ist, wie bspw. Beschäftigungseffekte (zweite Dividende) oder Auswirkungen auf das BIP, dessen langfristiges Wachstum und die technologische Entwicklung (dritte Dividende). Auswirkungen auf die Beschäftigung werden überwiegend nachgewiesen, hier kommt es jedoch auf die Konzeption und die Bedingungen an, so werden die Effekte bspw. stärker in Nord- als in Südeuropa und stärker in europäischen als in nicht-europäischen Ländern nachgewiesen. Darüber hinaus gilt: je mehr Mittel für den Faktor Arbeit eingesetzt werden, desto wahrscheinlicher bzw. höher sind die Beschäftigungseffekte (Patuelli et al., 2005). Die Effekte auf das BIP sind dagegen uneinheitlich und mehrheitlich von geringem Ausmaß. Gleiches gilt für Wettbewerbseffekte, die insgesamt als gering eingeschätzt werden. Für die langfristige ökonomische Entwicklung sind die Ergebnisse ebenfalls nicht eindeutig (Maxim & Zander, 2019), jedoch wurden teilweise verstärkte Innovationen und langfristiges Wachstum nachgewiesen (Karydas & Zhang, 2019). Langfristige technologische Effekte sind in der Fachliteratur zur ÖSR allerdings insgesamt wenig untersucht.

Bei der Reflexion der Forschungsbeiträge zum Thema ÖSR fallen diverse methodologische Aspekte auf, welche auch mit Blick auf die Modellierungen dieser Arbeit zu berücksichtigen sind. Beispielsweise wird das BIP-Wachstum üblicherweise ohne weitere Reflexion als positiv bewertet, obwohl es Kritik am Zusammenhang von Wohlfahrt bzw. Wohlbefinden einerseits und dem BIP pro Person andererseits gibt. Im Umfang der vorliegenden Arbeit wurden alternative Wohlfahrtsindikatoren nicht in die Modellierung integriert. Zur Beurtei-

206 Siehe UBA: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft> (27.03.2024).

lung ist dennoch mitzunehmen, die Reformen nicht ausschließlich anhand des BIP zu bewerten.

Zudem strebt die vorliegende Arbeit nicht danach, eine optimale Besteuerung im Sinne der Wohlfahrtsökonomik zu ermitteln. Stattdessen werden die genannten THG-Steuersätze herangezogen, um zu prüfen, inwieweit anhand dieser die von der Politik ausgesprochenen Reduktionsziele für THG-Emissionen erreicht werden können.

Insgesamt zeigt sich, dass wenige Forschungsbeiträge zur ÖSR weitreichende Reformen, wie die in dieser Arbeit modellierte Besteuerung von bis zu 400 EUR/t CO₂e, untersuchen und somit Forschungsbedarf besteht. Aus jüngerer Fachliteratur wird ersichtlich, dass die Effekte einer solchen Reform in der langen Frist zu bewerten sind, da auch kleine Veränderungen technologische Entwicklungen mit weitreichenden Folgeeffekten anstoßen können.

Ähnlich wie in der politischen Debatte in Deutschland fällt bei der Quantität der wissenschaftlichen Beiträge zur ÖSR und DD auf, dass der Höhepunkt dieser Debatte in Europa und den USA überschritten ist, sich die Forschungsaktivitäten zu dieser Thematik in China jedoch verstärkt haben. Unter Umständen werden aufgrund von politischen Unwägbarkeiten die Chancen der ÖSR in Europa und den USA unterschätzt.

Aus bisherigen Reformen können verschiedene Aspekte zur Ausgestaltung gefolgert werden (Leitfrage 4). Auffällig ist, dass die Effektivität der zur Lenkung gedachten Mechanismen häufig durch Ausnahmeregelungen abgeschwächt werden, unter anderem unter Verwendung des Arguments, dem internationalen Wettbewerb standhalten zu müssen. Hier stellt sich die Frage, was Wettbewerb ausmacht und inwieweit die ÖSR Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der nationalen Ökonomie hat. Da es große Unterschiede in den Be- und Entlastungen der unterschiedlichen Sektoren gibt, eignet sich die sektorale Vorgehensweise des angewandten Input-Output-Modells. Die Tendenz zur Schaffung von Ausnahmeregelungen unterstreicht die Wichtigkeit der Untersuchung von disaggregierten Effekten, um bereits im Vorfeld besonders betroffene Sektoren, Unternehmen und Bereiche identifizieren zu können.

Die bisher umgesetzten Reformen und die Potenzialabschätzung belegen, dass das Ausmaß der möglichen Reduktionen im Bereich der Sozialversicherungen keine Limitierung darstellt: Das Volumen der möglichen Reduktionen bei den Sozialversicherungsbeiträgen ist auch bei Steuerhöhen von 400 EUR/t CO₂e ausreichend groß.

13.2 Politische Debatte und gesellschaftliche Standpunkte (Leitfrage 5)

Die Untersuchung der politischen Debatte wurde anhand der qualitativen Inhaltsanalyse der Wahlprogramme der Jahre 1980–2021 vorgenommen (Leitfrage 5). Es zeigte sich, dass die Debatte um die ÖSR von den damaligen Ereignissen belastet ist und dem Konzept im heutigen Diskurs keine Bedeutung mehr zukommt. Stattdessen sind andere Konzepte in den Vordergrund gerückt, wie etwa der Ökobonus. Die gewichtigsten Einwände sind, dass die ÖSR zum einen unsozial und ungerecht und zum anderen wettbewerbsschädlich sei. Die vorliegende Arbeit greift diese Bedenken auf und skizziert Möglichkeiten, wie beide Aspekte mit der richtigen Ausgestaltung der Reform adressierbar sind.

Die Analyse des Diskurses in Deutschland zeigt, dass das Thema ÖSR emotional konnotiert ist. Die in Deutschland umgesetzte Reform wird von wissenschaftlicher Seite vorwiegend positiv bewertet. Positive Beschäftigungseffekte werden von verschiedenen Arbeiten neben den positiven Umweltauswirkungen nachgewiesen. Lediglich im Bereich der sozialen Verteilungswirkungen sind geringe negative Effekte zu verzeichnen, da niedrige Einkommen prozentual zum individuellen Einkommen stärker von der Reform betroffen sind. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass bei einer solchen Reform klare Kommunikation unerlässlich ist und dass bei derartigen Umweltreformen von Beginn an soziale und ökonomische Aspekte thematisiert werden sollten. Eine Folgerung ist, dass es nicht nur auf die Reform selbst, sondern auch auf das politische Umfeld ankommt. Im Sinne der Transparenz bei politischen Entscheidungen grenzt diese Problematik an die Thematik der Good Governance an, welche von Praetorius et al. für zentral gehalten und als eines von vier Kriterien für Reformvorschläge vorgeschlagen wird (Agora Energiewende [Hrsg.], 2017). Um den beobachteten Emotionalisierungstendenzen der Debatte begegnen zu können, gilt es, die Reformvarianten wissenschaftlich weiter auszuarbeiten und zu untersuchen.

Eine Umfrage des ifo Instituts für Wirtschaftsforschung in München zeigt, dass es Reformvarianten mit hoher Akzeptanz in der Bevölkerung gibt (Blesse et al., 2024), was von Bedeutung ist, wie die Schlussfolgerungen zur Relevanz des politischen Umfelds belegen. Diese gilt es bei zukünftigen Designs zu beachten bzw. es ist zu eruieren, von welchen Faktoren die Zustimmung in der Bevölkerung abhängt. Die ÖSR im Sinne der Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge wird in der Umfrage nicht abgeprüft, was als Zeichen zu werten ist, dass diese

Variante außerhalb der derzeitigen Debatten liegt. Allerdings ist die „Senkung der Einkommenssteuer“, eine Variante im weiteren Sinne der ÖSR der vorliegenden Arbeit, die Antwortmöglichkeit mit den zweithöchsten Zustimmungswerten dieser Umfrage. Dies deutet darauf hin, dass die ÖSR im Sinne der Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge ebenfalls Befürworter:innen haben könnte. Um die Zustimmungswerte und die möglicherweise bestehenden Emotionalisierungen der Variante der ÖSR, die vor allem in der vorliegenden Arbeit untersucht wird, einschätzen zu können, sind jedoch weitere Umfragen nötig.

Der Ökobonus ist dagegen im politischen und gesellschaftlichen Diskurs vertreten, scheint weniger vorbelastet und stellt eine relevante Alternative dar. Allerdings ist der Umfrage des ifo-Instituts zufolge die Mittelverwendung im Sinne der „Auszahlung eines Pauschalbetrags an alle Einwohner (»Klimageld«)“, was dem Ökobonus entspricht, die unbeliebteste der fünf Varianten (Blesse et al., 2024, S. 42). Die am meisten favorisierte Mittelverwendung ist die „Förderung von Investitionen in klimafreundliche Maßnahmen“, wobei diese Popularitäten Indizien zur Akzeptanz bei der Umsetzung geben, für die Wahl des geeignetsten Instruments die sachliche Beurteilung jedoch von mindestens ebenso hoher Relevanz ist. Dennoch scheint weniger Polarisierung vorhanden. Darüber hinaus nahm sich die derzeitige Bundesregierung im Koalitionsvertrag den Ökobonus als „Klimageld“ vor (SPD, Grüne, FDP [Hrsg.], 2021, S. 63), wobei die Einführung laut Finanzminister Christian Lindner frühestens ab 2025 – nach der nächsten Bundestagswahl – erfolgen soll.²⁰⁷ Das Konzept des Ökobonus erweist sich zwar keiner hohen Beliebtheit, bislang ist aber dennoch keine Emotionalisierung beobachtbar, wie sie in Kapitel 9 für die ÖSR nachgezeichnet wurde, sodass sich die Ökobonus-Variante mit Blick auf die gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen als geeigneter erweisen könnte.

Grundsätzlich scheint es gesellschaftlich ein Bewusstsein dafür zu geben, soziale Aspekte bei der THG-Bepreisung zu berücksichtigen. Hierfür spricht die Umfrage von Blesse et al. (2024, S. 42), in bei der „Auszahlung eines Pauschalbetrags an alle Einwohner (»Klimageld«)“, die weniger als 4000 Euro brutto pro Monat verdienen“ der Antwortmöglichkeit „Auszahlung eines Pauschalbetrags an alle Einwohner (»Klimageld«)“ vorgezogen wird. Institutionen wie das UBA

²⁰⁷ Siehe Spiegel-Online (<https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/klimageld-christian-lindner-stellt-auszahlung-ab-2025-in-aussicht-a-3f40b521-16ad-41ff-b98f-f4b6faf99a67>, 27.03.2024) und Tagesschau (<https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/klimageld-106.html>, 27.03.2024).

(„CO₂-Bepreisung sollte und kann soziale Ungleichheit vermeiden“)²⁰⁸ oder die Europäische Kommission („Einrichtung eines Klimasozialfonds“ im Zuge des Green Deals)²⁰⁹ positionieren sich ebenfalls derart. Aufgrund der bereits bestehenden Mittelverwendungen stellt sich für die praktische Umsetzung durch die Politik in jedem Fall die Frage, ob ÖSR oder Ökobonus, auf welche Mittel verzichtet werden sollen, wenn ein neuer Verwendungszweck hinzukommt.

13.3 Sektorale Effekte und Wettbewerbsfähigkeit (Leitfrage 6)

Beim Aspekt der Wettbewerbsfähigkeit war zunächst zu klären, was unter Wettbewerbsfähigkeit zu verstehen ist. Da dieser Begriff schwierig zu fassen ist, gibt es unterschiedliche Ansätze. Klar ist, dass sowohl preisliche als auch nichtpreisliche Aspekte eine Rolle spielen und eine Vielzahl von Faktoren von Relevanz sind (Deutsche Bundesbank [Hrsg.], 2022a; Fischer et al., 2018; vgl. Fischer & Hossfeld, 2014; IMD [Hrsg.], 2022a; Schwab et al., 2020). Da die Input-Output-Modellierung nur die preislichen Aspekte abbilden kann und nicht-preisliche Gesichtspunkte durch angepasste und verbesserte Technologien begünstigt werden, werden hierbei die positiven sowie negativen Effekte der ÖSR tendenziell überschätzt. Für offene Volkswirtschaften ist das Thema Wettbewerbsfähigkeit von hoher Relevanz, insofern ist die Befassung von Regierungen und Unternehmen mit der Thematik ohnehin zu empfehlen. Es erscheint sinnvoll, einen Teil der eingenommenen finanziellen Mittel der Reform zur Förderung der Aspekte der Wettbewerbsfähigkeit vorzuhalten. Hierbei sind auch andere staatliche Unterstützungsleistungen zur effizienten Förderung der Wettbewerbsfähigkeit vorstellbar. Nicht nur deshalb empfiehlt sich ein Mix der Mittelverwendung.

Verschiedene Szenarien der Input-Output-Modellierung zeigen zudem auf, dass durch die Reform auch gesamtwirtschaftliche Wachstumseffekte denkbar sind. Dass die Reform nicht grundsätzlich wachstumshemmend wirkt, ist positiv zu beurteilen; Wirtschaftswachstum ist jedoch nicht zwangsläufig ein Indikator für Fortschritt. Deshalb ist auf ein weiteres Szenario hinzuweisen: Mithilfe der Input-Output-Modellierung wurde ein Postwachstumsszenario konstruiert, das zwar ein rückläufiges BIP auslöst, aber gleichzeitig ein stabiles Beschäftigungs-

208 Siehe UBA: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-bepreisung-sollte-kann-soziale-ungleichheit> (27.03.2024).

209 Siehe Europäische Kommission: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_22_7796 (27.03.2024).

niveau ermöglicht. Je nachdem, welche Effekte erzielt werden sollen, sind verschiedene Variationen im Rahmen des Konzepts der ÖSR möglich.

Die Sektoren sind durch die ÖSR sehr unterschiedlich betroffen, das bestärkt die Input-Output-Modellierung. Tendenziell zeigen sich in den arbeitsintensiven Sektoren hohe Netto-Entlastungen, so bspw. in den Sektoren 11 („Informations-, Kommunikations-, Finanz-, Versicherungs-, Unternehmensdienstg.; Dienstg. des Grundstücks- und Wohnungswesens“) und 12 („Öff. u. sonst. Dienstleistg. einschl. Waren priv. Haushalte“) des Modells, da diese von einer Senkung der Sozialversicherungsbeiträge am stärksten profitieren. Daran ist vorteilhaft, dass diese beiden Sektoren über die Hälfte (53% im Jahr 2019) der Gesamtbeschäftigung ausmachen und somit zu den positiven Beschäftigungseffekten maßgeblich beitragen. Die hiermit einhergehende geringe Arbeitslosenquote dürfte sich auch auf die nicht untersuchten sozialen Verteilungsaspekte positiv auswirken. Da aber gleichzeitig eine Standortverlagerung kapitalintensiver Unternehmen, welche weniger arbeitsintensiv sind, und eine Deindustrialisierung verhindert werden sollen, ist die Zahl der Beschäftigten nicht der einzige Erfolgsindikator. Deutschland weist im OECD-Vergleich einen großen sekundären Sektor und einen geringen tertiären Sektor auf – wobei der tertiäre Sektor anteilig nichtsdestotrotz größer ist. In der Reform ist zu berücksichtigen, dass der Erhalt der Industrie und des verarbeitenden Gewerbes und damit der Erhalt des sekundären Sektors aus mehreren Gründen wünschenswert ist – nicht zuletzt aufgrund des Klimas, weil die bloße Verlagerung THG-intensiver Produktion die globalen THG-Emissionen nicht senkt.

Gemäß dem Input-Output-Modell sind positive Entwicklungen bei der Beschäftigung möglich: Sie werden dann erreicht, wenn das vollständige Aufkommen zur Reduktion des Arbeitgeberanteils der Sozialversicherungsbeiträge genutzt wird. Werden nur 50% des Aufkommens dafür eingesetzt, um weitere 50% für andere Maßnahmen zu verwenden, entstehen negative Beschäftigungseffekte. In weiteren Untersuchungen sollten Werte zwischen 50–100% der Mittelverwendung für die Reduktion des Arbeitgeberanteils simuliert werden, um Szenarien aufzuzeigen, die etwa neutral in Bezug auf die Beschäftigung sind. Aufgrund der Stetigkeit der Input-Output-Modellierung steht fest, dass es solche Szenarien gibt, in denen Mittel für weitere Einsatzzwecke übrigbleiben, ohne negative Beschäftigungseffekte zu bewirken. In jedem Fall sind die Effektstärken der untersuchten neun Szenarien von –4,0% bis zu +2,5% in einem handhabbaren Rahmen, da es sich um Einmaleffekte

handelt und zu erwarten ist, dass sich diese Auswirkungen auf die Gesamtlaufzeit der Reform, bspw. 15 Jahre, verteilt.

Diese Effekte werden in der Input-Output-Modellierung bei gleichbleibender Technologie erwartet, doch auch gemäß dem agentenbasierten Modell sind aufgrund der technologischen Entwicklung positive Beschäftigungseffekte gegenüber dem Baseline-Szenario ohne Reform zu erwarten. Diese sind gering, aber positiv zu beurteilen, da sie im Gegensatz zum Input-Output-Modell nicht in sektoralen Verschiebungen begründet liegen.

Insgesamt negativ betroffen sind die Sektoren Landwirtschaft (Sektor 1) und Energieerzeugung (Sektor 8). In der Debatte um die Erreichung der THG-Neutralität handelt es sich hier um Spezialfälle: Der landwirtschaftliche Sektor hat besondere Herausforderungen, THG-Neutralität zu erreichen, unter anderem, weil es sich hierbei in erster Linie nicht um CO₂-Emissionen, sondern um andere Treibhausgase handelt. Bei den durch den landwirtschaftlichen Anbau bedingten Emissionen erscheint eine Reduktion nicht gleichermaßen möglich und angebracht. Daher ist hier zu erwägen, die Nicht-CO₂-Emissionen von der Steuer auszunehmen. Dann wären für andere Aspekte des Sektors – wie etwa die Mobilität – weiterhin Anreize gegeben. Gleichzeitig würde die Landwirtschaft nicht übermäßig finanziell belastet werden. Da es hohe Subventionen (insbesondere durch die EU durch die GAP) gibt und der Erhalt der Landwirtschaft aufgrund der Versorgungssicherheit ein ausgewiesenes politisches Ziel ist, steht der landwirtschaftliche Sektor vor speziellen Vorzeichen. Veränderungsprozesse sind daher mit expliziten Landwirtschaftsreformen separat zu unternehmen.

Der zweite Sektor, der durch die ÖSR deutlich negative Effekte erfährt, ist der Energiesektor. Die erforderliche Umstellung der Energieerzeugung steht außer Frage. Hier gibt es jedoch bereits Bewegung ohne einen THG-Preis in Höhe von 200–400 EUR/t CO₂e, was aktuelle Berechnungen des UBA belegen (UBA [Hrsg.], 2024). Dieser Sektor ist bereits mit vielen Maßnahmen bedacht, jenseits des CO₂- bzw. THG-Preises (Ausbau von PV- und Windkraft-Anlagen, Netzausbau, Kohleausstieg etc.). Folglich ist auch für den Energiesektor separat zu erarbeiten, welche zusätzlichen Maßnahmen erforderlich und sinnvoll sind. Die Wettbewerbsfähigkeit des energieerzeugenden Sektors ist zusätzlich anders zu beurteilen als in den anderen Sektoren, da es vorrangig um die Deckung des deutschen Bedarfs geht. So war Deutschland 2022 noch Nettostromexporteur (mit 27 TWh), 2023 dagegen Nettostromimporteur (mit 12 TWh), bei einer Gesamtstromlast von

457 TWh (2023).²¹⁰ In diesem Bereich scheint es mehr um die Vermeidung großer Energiepreissteigerungen als um Nettoexportmengen zu gehen. Auch das spricht für separate Untersuchungen des energieerzeugenden Sektors.

Zur Begrenzung der Strompreise gibt es Bemühungen und eine politische Debatte. Hierbei stellt sich neben der Versorgungssicherheit die Frage, wie der Strom nach der Umstellung der Produktion aus erneuerbaren Energien günstig erzeugt werden kann bzw. wie das Stromsystem zu gestalten ist, um niedrigere Preise sicherzustellen. Im vom BMWK herausgegebenen Jahreswirtschaftsbericht mit der Unterüberschrift „Wettbewerb nachhaltig stärken“ werden Überlegungen unternommen, den Strompreis niedrig zu halten (BMWK [Hrsg.], 2024). Festzustellen ist, dass sich der Strompreis nach dem Preisschock aus dem Jahr 2022 stabilisiert hat (siehe Future-Notierungen in Schaubild 3, BMWK [Hrsg.], 2024, S. 24). Im Bereich Stromproduktion strebt die Bundesregierung neben der Versorgungssicherheit auch sinkende Strompreise an (BMWK [Hrsg.], 2024, S. 17). Als konkrete Maßnahme wurde im Jahr 2023 die Einführung eines Industriestrompreises erwogen, um die energieintensiven Unternehmen zu entlasten und die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Diese Unterstützung energieintensiver Unternehmen hatte im wissenschaftlichen wie im politischen Diskurs sowohl Befürworter:innen als auch Gegner:innen.²¹¹ Die deutsche Bundesregierung einigte sich schließlich im November 2023 anstelle des Industriestrompreises auf eine Stromsteuersenkung.²¹²

Grundsätzlich erscheinen sektorenweise Überlegungen sinnvoll. Zusätzliche Kompensationen oder Regelungen für bestimmte Sektoren sollten nicht ausgeschlossen werden, genauso wie die Frage zu stellen ist, ob die vollen Kompensationen in allen Sektoren überhaupt benötigt werden, so etwa in den arbeitsintensiven Sektoren 10–12 der Input-Output-Modellierung, oder ob diese Mittel nicht besser bspw. für soziale Zwecke zu verwenden sind. Hierbei ist zu berücksichtigen, wie eine solche sektorale Diskriminierung juristisch gelingen kann.

210 Siehe Energy-Charts des Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme: <https://www.energy-charts.info/index.html> (27.03.2024).

211 Siehe für den wissenschaftlichen Diskurs Beiträge des Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin, https://www.diw.de/de/diw_01.c.881006.de/publikationen/wochenberichte/2023_38_1/breiter_industriestrompreis_ist_kein_geeignetes_entlastungsinstrument.html, 27.03.2024) und des Instituts für Makroökonomie und Konjunkturforschung (IMK, <https://www.boeckler.de/de/newsletter-hans-34382-industriestandort-ein-brueckenstrompreis-ist-richtig-wichtig-und-draengend-51988.htm>, 27.03.2024).

212 Siehe Euractiv: <https://www.euractiv.de/section/energie/news/ampel-einigt-sich-stromsteuersenkung-statt-industriestrompreis/> (27.03.2024).

Die Belastungen im Sinne der THG-Preise sind einheitlich sinnvoll, da hierbei mit den THG-Emissionen das teurer wird, was vermieden werden soll, und Uneinheitlichkeit hier zu Verzerrungen führen würde. Solche Verzerrungen gilt es auch auf Seite der Entlastungen bzw. Subventionen zu vermeiden, weshalb die Möglichkeiten im Einzelnen zu prüfen sind. Hier empfiehlt es sich, ein Grundmaß des Aufkommens für die Arbeitgeberanteile der Sozialversicherungen zu verwenden, um dann darüber hinaus die besonders betroffenen Sektoren mit weiteren Maßnahmen zu adressieren.

Allgemein ist anzumerken, dass die im Input-Output-Modell eingesetzte Unterteilung der Wirtschaft in zwölf Sektoren individuelle Betroffenheiten nicht sichtbar machen kann. Auch eine feinere Gliederung der Sektoren löst das Problem nicht, dass es Unternehmen geben kann, die besonders stark betroffen sind, genauso wie Unternehmen besonders profitieren können. Die Input-Output-Analyse liefert jedoch richtungsweisende Züge.

Insgesamt sind die Effektstärken der Input-Output-Modellierung durch die ÖSR als gering zu bewerten, da davon auszugehen ist, dass die Gesamteffekte an der Gesamtlaufzeit von bspw. 15 Jahren zu bemessen sind. Große negative Wettbewerbseffekte sind daher dem Input-Output-Modell zufolge nicht zu erwarten.

Im agentenbasierten Modell fand zwar keine Modellierung des internationalen Handels statt, in der langen Frist könnte in diesem Modell jedoch die angestoßene technologische Entwicklung aufgrund von innovativer Technologie einen Wettbewerbsvorteil darstellen. Denn durch die neuen Bedingungen könnten neue Technologien rentabel werden, die wiederum einen technologischen Vorsprung der deutschen Ökonomie implizieren könnten. Technologische Entwicklung kann nach dem Verständnis von Technologie des agentenbasierten Modells potenziell diverse Gesichtspunkte der Wettbewerbsfähigkeit verändern und verbessern. Das heißt, es ist beides zu erwarten: die Verschiebung der sektoralen Produktionen mit sektoralen Vor- und Nachteilen und die tendenziell vorteilhafte Lenkung der technologischen Entwicklung in der langen Frist.

Zur Sicherung dieser langfristigen Planung ist ein stabiler Preis förderlich. Steuern gewährleisten diese Stabilität, beim Emissionshandel könnten durch Modifikationen wie einem Minimal- und einem Maximalpreis die Schwankungen limitiert werden – wie es bspw. für das EU ETS 2 diskutiert wurde (Agora Energiewende [Hrsg.], 2023).

13.4 Technologische Entwicklung (Leitfrage 7)

Die technologische Entwicklung in der langen Frist wurde mit dem agentenbasierten Modell untersucht. Im Rahmen dieser Modellierung wurden auf Unternehmensebene Anreize für die technologische Entwicklung simuliert, um die Wirkungen der Varianten keine Reform, ÖSR und Ökobonus zu überprüfen. Das Resultat ist, dass die stärkste Lenkung der technologischen Entwicklung durch die ÖSR erreicht wird, der Ökobonus allerdings ähnlich gute Ergebnisse erzielt.

Zu den Ausgangsbedingungen ist zu sagen, dass die technologische Veränderungsgeschwindigkeit im Sinne der Verbesserung des Verhältnisses BIP zu THG-Emissionen (THG-Output-Relation) in den letzten drei Jahrzehnten deutlich zu langsam war. Hier stellen sich deshalb grundsätzliche Fragen, wie Klimaneutralität bis 2045 erreicht werden kann.

Zusammenfassend zeigt das agentenbasierte Modell, dass die Steuerung der Richtung der technologischen Entwicklung über steigende THG-Preise und sinkende Arbeitskosten gelingen kann. Der Mechanismus der Entlastung der Arbeit und Belastung der THG-Emissionen zeigt Wirkung, was als Ursache für die stärkste technologische Lenkung im ÖSR-Szenario zu sehen ist. Bemerkenswert ist, dass im ÖSR-Szenario auch die höchsten Werte der THG-Output-Relation erreicht werden, obwohl der Ökobonus die gleiche Erhöhung der THG-Steuer simuliert.

Im ÖSR-Szenario sinken über die Reduktion des Arbeitskostensatzes die Arbeitskosten. Dennoch gibt es weiterhin große Anreize für arbeitsproduktivitätssteigernde Technologien. Die Ursache liegt in den Kostenanteilen der Unternehmen: Die aggregierten Kosten der Unternehmen liegen nach der Reform so verteilt, dass Arbeit weiterhin bei weitem den Großteil ausmacht (45% im Szenario A.2), während die Ausgaben für THG-Emissionen trotz Zunahme einstellig sind (6% in den Szenarien A.2 und A.3). Es zeigt sich: Selbst wenn Substitution von THG-Emissionen durch Arbeit grundsätzlich und potenziell jeden Monat stattfinden kann, besteht aus unternehmerischer Sicht kein großes Interesse daran. Die Arbeitsproduktivität zu reduzieren, um die THG-Output-Relation zu steigern, ist nicht attraktiv, da die Arbeitskosten die Kosten durch die THG-Emissionen in Summe weit überschreiten. Auf der Makroebene werden im Modell ausschließlich Verbesserungen beider Parameter beobachtet. Auf Mikroebene wird Substitution durch Unternehmen teilweise genutzt, das heißt konkret, dass es vorkommt, dass neue Technologien bevorzugt werden, welche eine niedrigere Arbeitsproduktivität und eine höhere THG-Output-Relation aufweisen. Dass

eine substanzielle Senkung der Arbeitsproduktivität profitabel ist, hat dabei jedoch eine geringe Wahrscheinlichkeit.

Das Ausmaß der Steigerung der THG-Output-Relation ist im Modell zu gering, um die THG-Emissionen hinreichend zu reduzieren und es kommen Zweifel daran auf, dass durch die Bepreisung der THG-Emissionen die Klimaziele erreicht werden können. Selbst bei einer Höhe von 400 EUR/t CO₂e kann im Modell der Pfad zur Klimaneutralität bis 2045 über den Preis allein nicht eingehalten werden. Zwar ist das Modell auf qualitative Entwicklungen zur Bewertung der Richtung der technologischen Entwicklung fokussiert, jedoch offenbart sich das Technologiemodul des Modells als robust. Die Variation der Annahme über die Entwicklungspotenziale der Technologie hat sich mit Berücksichtigung der darauffolgenden Kalibrierung als nicht entscheidend erwiesen. Die Konsequenz daraus ist, dass weitere Maßnahmen neben der simulierten Erhöhung der THG-Preise notwendig sind. Zu diesem Schluss kommt bspw. auch die Analyse der Agora-Energiewende (2023) für die Bereiche Verkehr und Gebäude:

Ein CO₂-Preis für Verkehr und Gebäude setzt wichtige Anreize zur Dekarbonisierung, reicht für sich aber nicht aus, um Klimaschutzmaßnahmen effektiv umzusetzen. Denn die Möglichkeiten der Verbraucher:innen, auf einen höheren CO₂-Preis zu reagieren – etwa durch den Wechsel auf klimafreundlichere Verkehrsmittel –, werden weitgehend durch die existierende Infrastruktur sowie Kaufkraft und Ersparnisse bestimmt. Um das Risiko sehr hoher Preise zu mindern, sollte daher der Emissionshandel als Teil eines Instrumentenmix eingesetzt werden. (Agora Energiewende [Hrsg.], 2023, S. 3)

Neben den zusätzlichen Maßnahmen könnte auch versucht werden, mit höheren als den verwendeten THG-Preisen in Höhe von 400 EUR/t CO₂e zu agieren. Dies erscheint aber kein gangbarer Weg, da die Höhe von 400 EUR/t CO₂e bereits deutlich über den aktuellen Preisen liegt.

13.5 Weitere Aspekte

Die untergeordnete Forschungsfrage im Kontext des Forschungsfelds Postwachstum ist schließlich zu adressieren. Hinter dem Stichwort Postwachstum stehen verschiedene umfassende Konzepte, aus denen im Rahmen dieser Arbeit nur folgender Gesichtspunkt aufgegriffen wird: die Frage der Entkopplung von Beschäftigung und BIP. Bei diesem Sachverhalt soll der Befürchtung entgegen-

gewirkt werden, dass aufgrund von stagnierendem BIP, welches zu verzeichnen ist, die Arbeitslosenquote zunimmt (vgl. Okunsches Gesetz). Die konkrete Frage ist daher, ob Szenarien denkbar sind, in denen das BIP sinkt, während das Beschäftigungsniveau konstant bleibt. Diese Entkopplung kann vor allem vor dem Hintergrund des stagnierenden BIP (säkulare Stagnation) gesamtgesellschaftlich gewinnbringend sein. Die Betrachtung der aktuellen Trends haben darüber hinaus gezeigt, dass zusätzlich andere Trends existieren, die die Arbeitsmärkte unter Druck setzen können, wie etwa der demografische Wandel und technologische Entwicklungen.

Die Modellierungen der vorliegenden Arbeit zeigen dazu zweierlei: Gemäß der agentenbasierten Modellierung entsteht durch die ÖSR in der langen Frist eine Lenkungswirkung der technologischen Entwicklung, die diese Entkopplung unterstützt. Trotz des geringen Ausmaßes sollte diese Möglichkeit nicht außer Acht gelassen werden. Die Verschiebung der Ausgabenlast der Sektoren im Input-Output-Modell hat darüber hinaus für die kurze Frist, das heißt ohne Änderung der Technologie, gezeigt, dass es zu einer höheren Beschäftigung bei gleichzeitig schrumpfendem BIP kommen kann.

Vor allem das dafür konstruierte Postwachstums-Szenario der Input-Output-Modellierung (400-80-0.5) ist an dieser Stelle zu nennen. Hier wurde unter realistischen Elastizitätsbedingungen eine Steuer von 400 EUR/t CO₂e eingeführt und 80% des Aufkommens zur Entlastung der Arbeitgeberbeiträge der Sozialversicherungen eingesetzt. Damit verbleiben zwar nur 20% der Mittel für andere Ziele, so etwa für soziale Aspekte oder technologische Transformation, aber es entsteht ein Szenario, in dem genau diese Entkopplung stattfindet: das reale BIP sinkt um 0,6% leicht und Arbeit bleibt mit einem Plus von 0,1% annähernd konstant.

Hinter dieser Entwicklung stehen die ungleichen Arbeitsintensitäten der Sektoren: Die arbeitsintensiven Sektoren profitieren verstärkt von der Reform. Die Beschäftigung steigt folglich in diesen Sektoren und kann den Rückgang der Beschäftigung in anderen Sektoren kompensieren. Der Zusammenhang ist insgesamt dennoch kritisch zu reflektieren, da zugleich die weniger arbeitsintensiven Sektoren Rückgänge in Umsatz und Beschäftigung aufweisen. Das heißt, diese Entkopplung könnte vor allem durch eine Deindustrialisierung Deutschlands zustande kommen. Als weitere Limitierung ist an dieser Stelle zu nennen, dass im Sinne der Beschäftigungseffekte keine strukturellen Probleme gelöst würden, sondern lediglich während der Reform dieser Effekt der zusätzlichen

Beschäftigungsverhältnisse eintritt. Davon abgesehen gilt auch hier, dass die Effekte über einen Reformzeitraum von 15 Jahren als gering einzuordnen sind. Dennoch kann dies eine nicht unrelevante Entlastung beim Erhalt eines hohen Beschäftigungsniveaus darstellen. Alles in allem sind die Effekte einer ÖSR mit Blick auf Postwachstum zwar nachzuweisen, die größeren Effekte aber aufgrund von sektoralen Verschiebungen als kritisch zu bewerten.

Grundsätzlich wurde im Rahmen dieser Arbeit dem Konzept der Aufkommensneutralität gefolgt. In Kapitel 6.3 wurde bereits diskutiert, dass dieser Begriff Schwachstellen hat, da nicht präzise geklärt ist, wo die Grenze auf der Ausgabenseite zu ziehen ist. In den Modellierungen wurde das vollständige Aufkommen unmittelbar und für einen einzigen Zweck eingesetzt. Lediglich bei den Szenarien mit 50% Rückzahlung der Input-Output-Modellierung wurde davon abgesehen und dieser Teil der entnommenen Mittel nicht in den Kreislauf zurückgeführt, um andere Rückzahlungen zu ermöglichen, wie bspw. die Finanzierung der Arbeitnehmeranteile der Sozialversicherungsbeiträge. Hierbei handelt es sich um einen Graubereich. Relevant wird das Thema Aufkommensneutralität vor allem bei der Kommunikation, da die Glaubwürdigkeit des Konzepts davon abhängt (Görres et al., 1995, S. 38). Spätestens aber bei der Finanzierung von diversen Zwecken könnten kommunikative Schwierigkeiten entstehen. Denn es ist unausweichlich, dass die eingenommenen Mittel in irgendeiner Form verwendet werden – wenn auch nur zur Zurückzahlung von Staatsschulden. Das Prinzip der Aufkommensneutralität erscheint folglich nur dann sinnvoll, wenn mit der Verabschiedung der Reform auch gleichzeitig der Mitteleinsatz festgelegt wird. Diversifizierte Mittelverwendungen könnten diese Kommunikation erschweren.

Während der aktuellen Legislaturperiode wurden seitens der von Olaf Scholz geführten Bundesregierung diverse Aktivitäten im Bereich des Klimaschutzes zur Reduktion der THG-Emissionen unternommen, unter anderem sind die Novelle des EEGs, die *Carbon Contracts for Difference* im Bereich energieintensiver Unternehmen, die Einführung des Energieeffizienzgesetzes, das Gebäudeenergiegesetz für neue gesetzliche Regelungen im Bereich Wärme und der Kohleausstieg bis 2030 zu nennen. Das heißt, dass die im Rahmen dieser Arbeit für notwendig erachteten weiteren Maßnahmen insbesondere im Energiesektor bereits verfolgt werden. Bei den beiden zentralen marktwirtschaftlichen Preissystemen (EU ETS und nEHS bzw. EU ETS 2) erscheinen jedoch THG-Preise von 400 EUR/t CO₂e in den nächsten Jahren. Damit bleibt mit der Einführung hoher

THG-Preise ein zentrales Instrument möglicherweise hinter seinen Möglichkeiten zurück. Welche Reputation die preisliche Steuerung innerhalb der Volkswirtschaftslehre hat, wird bspw. durch das *Economists' Statement on Carbon Dividends* belegt, bei dem unter anderem 27 Träger des Alfred-Nobel-Gedächtnispreises für Wirtschaftswissenschaften unterschrieben (The Wall Street Journal [Hrsg.], 2019). Der Vorzug technologiepolitischer Maßnahmen gegenüber der THG-Bepreisung wird in der wissenschaftlichen Literatur thematisiert und kann mit verschiedenen Gründen und Anreizen nachvollzogen werden (Goulder et al., 1999; Austen-Smith et al., 2019; Landis et al., 2019; Rausch & Yonezawa, 2023). Die ggf. zusätzliche THG-Bepreisung ist trotz dieser technologiepolitischen Maßnahmen dennoch eine sinnvolle Maßnahme, da sie komplementär wirken und die bestehenden Maßnahmen unterstützen kann.

Grundsätzlich ist der Pfad einer weitreichenden ÖSR empfehlenswert, um den Steuerungsmechanismus über Preise – für Arbeit und THG-Emissionen – auszunutzen. Wenn soziale Verteilungswirkungen ebenfalls in den Blick genommen werden sollen, wäre es sinnvoll, die ÖSR in eine umfassendere Steuerreform zu integrieren, bspw. um die Einkommenssteuer anzupassen. Dennoch könnte es im gegebenen politischen Umfeld, im Gegenteil, sinnvoll sein, eine weniger weitreichende ÖSR anzustreben, um zumindest eine teilweise Lenkung durch die Bepreisung der THG-Emissionen bei gleichzeitiger Entlastung des Produktionsfaktors Arbeit zu erzielen. Die Analyse anderer umgesetzter Reformen hat die Bedeutung der Bedingungen des Umfelds aufgezeigt, so bspw. bei der Reform in British Columbia, Kanada. Um das geeignete Ausmaß für Deutschland herauszufinden, ist in jedem Fall zunächst die momentane Akzeptanz des Konzepts der ÖSR in Politik und Gesellschaft herauszufinden.

In Kapitel 6.6.3 wurden die Schwierigkeiten der Einführung von Grenzausgleichsmechanismen thematisiert. Zwar läuft der Prozess der Einführung eines CBAM, dennoch fallen zum einen nicht alle Sektoren unter den Mechanismus und zum anderen können weiterhin Schwierigkeiten auftreten (bspw. Konflikte mit Handelspartnern). Auch aus diesen Gründen könnte die ÖSR unterstützend wirken, Wettbewerbsnachteile durch THG-Preise im Inland zu verhindern. Die ÖSR betrifft nicht die Importe und birgt daher keine Risiken in Form von Handelskonflikten, sodass weniger Schwierigkeiten bei der Umsetzung zu erwarten sind.

13.6 Anknüpfende Forschungsfragen

Mit der vorliegenden Arbeit ist die Frage der sozialen Verteilungswirkungen der konkreten simulierten ÖSR offengeblieben. Für die Belastungen auf der Erhebungsseite gibt es Arbeiten (vgl. Held, 2019, 2022). Entscheidend sind aber die Netto-Effekte, die die Erhebung und die Verwendung der Mittel insgesamt beurteilen. Diese sind für den Fall der ÖSR zu bestimmen. Neben den hier modellierten Ausgestaltungsformen wäre der Blick auch auf Reformen mit einem Mix der Mittelverwendung interessant, wie sie in der vorliegenden Arbeit resümiert werden.

Die ÖSR ist aus dem öffentlichen Diskurs nahezu verschwunden und die Akzeptanz in Bevölkerung und Politik daher ungeklärt. Zwar war die Debatte um die ÖSR emotional konnotiert und ihre weitere Verfolgung schien in den 2000er Jahren nicht fruchtbar, doch ob dies weiterhin der Fall ist oder ob sich die Stimmungslage entspannt hat, gilt es zu klären. Aktuelle Umfragen decken diese Frage nur teilweise ab (Blesse et al., 2024).

Die Input-Output-Modellierung belegte die Notwendigkeit der sektoralen Betrachtung. Doch die zwölf Sektoren sind weiterhin heterogen zusammengesetzt – bei Arbeitskosten und Ausgaben für THG-Steuern gleichermaßen –, sodass eine höhere Disaggregation der Sektoren lohnend ist. Damit würde den unterschiedlichen Kostenstrukturen von Unternehmen mehr entsprochen werden können.

Daran knüpft die Fragestellung für eine disaggregierte Anwendung der Reformidee an, bei der das Prinzip der Aufkommensneutralität zur Vermeidung von negativen Wettbewerbseffekten auf Ebene der Sektoren ansetzt, anstatt einen gesamtwirtschaftlichen Ausgleich herzustellen, der bei dieser Variante automatisch erzielt wird. Der Effekt wäre, dass die Mittel im Sektor bleiben und die Reform sektorenbezogen wettbewerbsneutral zu erwarten wäre. Die Höhe der THG-Preise könnte für alle Sektoren weiterhin die gleiche sein, die Höhe der Entlastungen der Arbeitskosten würde jedoch stark variieren. Ein Sektor mit hoher THG-Intensität hätte folglich eine hohe Entlastung der Arbeitskosten. Der Frage, ob die Lenkung einer solchen sektorenspezifischen Lösung effektiver ist, wäre nachzugehen. Allgemein wären in Bezug auf Wettbewerbseffekte und technologische Entwicklung die Chancen und Risiken dieser Aufkommensneutralität auf Sektorenebene zu ergründen.

14 Fazit

Die Auswirkungen der ÖSR werden in der wissenschaftlichen Literatur nicht einheitlich beurteilt, was vor allem in verschiedenen Ausgestaltungen, aber auch unterschiedlichen Methoden und Bewertungsmaßstäben begründet liegt. Die Auswirkungen der ÖSR in Deutschland von 1999–2003 werden überwiegend positiv bewertet. Zwar gibt es Defizite bei sozialen Verteilungsaspekten, aber es wurden positive Umwelteffekte festgestellt sowie eine Zunahme der Beschäftigung. Die Reform hat durch ihre Umsetzung in Deutschland eine Vorgeschichte, weshalb die Kommunikation eine Schwierigkeit darstellen kann, da eine negative Emotionalisierung mit der ÖSR bestand und unter Umständen weiterbesteht. Da die ÖSR in der öffentlichen Debatte nicht mehr vertreten ist, ist eine Einschätzung der heutigen Akzeptanz nicht möglich. Es ist denkbar, dass alternative Reformen, bspw. der Ökobonus, eine größere gesellschaftliche Akzeptanz erfahren und daher vorteilhafter sein könnten.

Die vorliegende Arbeit untersuchte die ökonomischen Potenziale und Risiken einer Variante der ÖSR in Deutschland unter Entwicklung zweier Modelle. In den Modellierungen wurde eine weitreichende THG-Bepreisung simuliert, deren Aufkommen je nach Szenario teilweise oder vollständig zur Entlastung der Arbeitgeberanteile der Sozialversicherungen eingesetzt wurde. Es zeigten sich insgesamt eher geringe Effekte auf die Preise und das BIP der Ökonomie, sektoral wurden mithilfe des Input-Output-Modell große Unterschiede sichtbar. Die beiden stark betroffenen Sektoren, Landwirtschaft und Energieerzeugung, erweisen sich allerdings als Spezialfälle, die es lohnt, separat zu betrachten. Grundsätzlich werden arbeitsintensive Sektoren eher bevorteilt, während THG-intensiven Sektoren eher Nachteile zuteilwerden. Mit den Vorzügen der arbeitsintensiven Sektoren gehen deshalb positive Beschäftigungseffekte der Volkswirtschaft insgesamt einher. In der Ad-hoc-Einführung der vollständigen ÖSR bei der Input-Output-Modellierung sind jedoch technologische Anpassungen, das heißt, eine Reaktion der Unternehmen in Form der Änderung der Zusammensetzung der benötigten Vorleistungen und primären Inputs, nicht berücksichtigt, weshalb diese Simulation als Worst-Case-Szenario zu interpretieren ist. Die Gefahren eines Carbon Leakage und der Deindustrialisierung können in ihrer Richtung (Belastung THG-intensiver Sektoren) auf Grundlage des Modells nicht negiert werden, dürften aber insgesamt von geringem Ausmaß sein.

Technologische Anpassungen, wie sie gesamtwirtschaftlich im agentenbasierten Modell simuliert wurden, stellen insbesondere für die industrielle Produktion Chancen dar, denn technologische Entwicklungen könnten sowohl für die preisliche als auch die nicht-preisliche Wettbewerbsfähigkeit vorteilhaft sein. In der langen Frist sind die Effekte der ÖSR für den Wettbewerb daher möglicherweise positiv, in jedem Fall jedoch nicht in hohem Ausmaß negativ (vgl. Porter-Hypothese, 12.2.5).

Die agentenbasierte Modellierung legt jedoch auch nahe, dass eine alleinige Erhöhung der THG-Preise nicht ausreichend ist, auch wenn diese quantitative Bewertung nicht der Schwerpunkt des Modelldesigns ist. Abgesehen von der später erprobten deutlichen Steigerung des technologischen Potenzials sind in Szenarien dieser Modellierung die Steuerungsmöglichkeiten durch den THG-Preis (400 EUR/t CO₂e) ungenügend zur Erreichung der Klimaziele. Das heißt, neben der Erhöhung des THG-Preises sind weitere Maßnahmen erforderlich.

Die vielfältigen Anforderungen an die ÖSR legen nahe, bei der Mittelverwendung – anders als in den modellierten Varianten – einen Mix der Einsatzzwecke zu anzuwenden. Deshalb sollten zusätzliche Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Wirtschaft getroffen werden und Mittel zur technologischen Transformation einkalkuliert werden. Folgende vier Aspekte sind für den Mix der Mittelverwendung zu empfehlen:

1. Um die größten negativen Effekte in Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit der Sektoren zu kompensieren, sollte ein Grundmaß zur Entlastung der Arbeitgeberanteile der Sozialversicherungen eingesetzt werden.
2. Zur Unterstützung besonders betroffener Sektoren sind zusätzliche Maßnahmen bzw. Leistungen zu erwägen. Die Sektoren Landwirtschaft und Energieerzeugung sind hier vorrangig zu nennen.
3. Zur Transformation der Wirtschaft hin zur THG-Neutralität sollten weitere emissionsreduzierende Maßnahmen erwogen werden. Das heißt, es ist für zu überlegen, wie Transformationsprozesse effizient angestoßen werden und zur Lenkung der technologischen Entwicklung dienen können. Eine Maßnahme können bspw. Förderprogramme für F&E sowie den praktischen Umbau der Wirtschaft sein.
4. Auch die sozialen Auswirkungen der Reform sind von großer Bedeutung. Aufgrund der Fokussierung dieser Arbeit auf ökonomische Aspekte wurden diese nicht weitergehend adressiert. Zur Gewährleistung

sozialer Gerechtigkeit sowie gesellschaftlicher Akzeptanz der Maßnahmen sollten für dieses Anliegen ebenfalls Mittel vorgesehen werden.

Damit würden über die Ausgabenseite die Leitideen Ökonomie (Punkt 1, 2 und 3), Umwelt und gesellschaftliche Transformation (Punkt 1 und 3) und Soziales (Punkt 4) berücksichtigt. Umwelt wird darüber hinaus bereits über die Einnahmenseite, das heißt die THG-Steuer selbst, adressiert. Der Mix ist so abzustimmen, dass möglichst alle drei Leitideen profitieren, in jedem Fall aber keiner dieser Bereiche deutliche Nachteile hat.

Zur weiteren Stärkung der sozialen Verteilungswirkungen könnte die ÖSR in eine umfassendere Steuerreform gebettet sein. Beispielsweise durch eine Umgestaltung der Einkommenssteuer könnten soziale Härten ebenfalls aufkommensneutral ausgeglichen werden. Vor dem Hintergrund der in Deutschland eingeschlagenen Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität und der politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen könnte allerdings auch das Gegenteil sinnvoll sein: eine weniger weitreichende Reform zur ergänzenden Unterstützung. Das marktwirtschaftliche Instrument der ÖSR könnte zur Senkung der THG-Emissionen und zur Lenkung der technologischen Entwicklung komplementär wirken.

Abschließend birgt der Mechanismus einer gleichzeitigen Verteuerung von THG-Emissionen und Vergünstigung von Arbeit als marktwirtschaftliches Instrument ein Potenzial, welches durch die derzeitigen öffentlichen Debatten nicht repräsentiert wird.

TEIL V

Anhang

15 Literaturverzeichnis

- Abdallah, S., Thompson, S., Michaelson, J., Marks, N., & Steuer, N. (2009). *The Happy Planet Index 2.0: Why good lives don't have to cost the Earth*.
- Acemoglu, D. (1998a). Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality. *The quarterly journal of economics*, 113(4), 1055–1089.
- Acemoglu, D. (1998b). Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality. *The quarterly journal of economics*, 113(4), 1055–1089.
- Acemoglu, D. (2002a). Directed technical change. *The review of economic studies*, 69(4), 781–809.
- Acemoglu, D. (2002b). Technical change, inequality, and the labor market. *Journal of economic literature*, 40(1), 7–72.
- Acemoglu, D. (2003). Labor-and capital-augmenting technical change. *Journal of the European Economic Association*, 1(1), 1–37.
- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hémous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American economic review*, 102(1), 131–166.
- Ackerman, F., & Stanton, E. A. (2012). Climate risks and carbon prices: Revising the social cost of carbon. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 6(1), 1–25.
- Adler, F., & Schachtschneider, U. (Hrsg.). (2010). *Green New Deal, Suffizienz oder Ökosozialismus?: Konzepte für gesellschaftliche Wege aus der Ökokrise*. Oekom München.
- AfD [Hrsg.]. (2017). *Programm für Deutschland: Wahlprogramm der Alternative für Deutschland für die Wahl zum Deutschen Bundestag am 24. September 2017*. Alternative für Deutschland (AfD); Köln.
- AfD [Hrsg.]. (2021). *Deutschland. Aber normal. Programm der Alternative für Deutschland für die Wahl zum 20. Deutschen Bundestag*. Alternative für Deutschland (AfD); Berlin.
- Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, 60, 323–351.
- Agora Energiewende [Hrsg.]. (2017). *Neue Preismodelle für Energie. Grundlagen einer Reform der Entgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen auf Strom und fossile Energieträger. Hintergrund*. Agora Energiewende; Berlin.

- Agora Energiewende [Hrsg.]. (2018). *Eine Neuordnung der Abgaben und Umlagen auf Strom, Wärme, Verkehr – Optionen für eine aufkommensneutrale CO₂-Bepreisung von Energieerzeugung und Energieverbrauch*. Agora Energiewende; Berlin. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2017/Abgaben_Umlagen/147_Reformvorschlag_Umlagen-Steuern_WEB.pdf (01.06.22)
- Agora Energiewende [Hrsg.]. (2023). *Der CO₂-Preis für Gebäude und Verkehr. Ein Konzept für den Übergang vom nationalen zum EU-Emissionshandel*. Agora Energiewende in Kooperation mit Agora Verkehrswende; Berlin.
- Ahrens, P., Kiener, W., Meßner, G., Schimm, M., Stadler, G., Strobel, V., Weiß, J., & Willer, E. (2023). *Stehen die Globalisierung und das Geschäftsmodell Deutschlands vor dem Aus? Warum Politik und Unternehmen konsequent handeln müssen – und wie ihnen das gelingt* (S. 33). Studie von BayernLB Research und Prognos AG; München.
- Aichele, R., & Felbermayr, G. (2015). Kyoto and carbon leakage: An empirical analysis of the carbon content of bilateral trade. *Review of Economics and Statistics*, 97(1), 104–115.
- Alberini, A., & Filippini, M. (2011). Response of residential electricity demand to price: The effect of measurement error. *Energy economics*, 33(5), 889–895.
- Alvarez-Cuadrado, F., Van Long, N., & Poschke, M. (2017). Capital–labor substitution, structural change, and growth. *Theoretical Economics*, 12(3), 1229–1266.
- Amendola, M., Lamperti, F., Roventini, A., & Sapio, A. (2024). Energy efficiency policies in an agent-based macroeconomic model. *Structural Change and Economic Dynamics*, 68, 116–132.
- Andersen, M. S. (2009). Carbon-Energy Taxation, Revenue Recycling, and Competitiveness. in *Carbon-Energy Taxation: Lessons from Europe*, Mikael Skou Andersen, Paul Ekins [Hrsg.], 3–23.
- Andersen, M. S., & Speck, S. (2009). Energy-Intensive Industries: Approaches to Mitigation and Compensation. in *Carbon-Energy Taxation: Lessons from Europe*, Mikael Skou Andersen, Paul Ekins [Hrsg.], 120–143.
- Anderson, K. (2015). Duality in climate science. *Nature Geoscience*, 8(12), 898–900.
- Anger, N., Böhringer, C., & Löschel, A. (2010). Paying the piper and calling the tune?: A meta-regression analysis of the double-dividend hypothesis. *Ecological Economics*, 69(7), 1495–1502.
- Antal, M., & van den Bergh, J. C. J. M. (2014). Macroeconomics, Financial Crisis and the Environment: Strategies for a Sustainability Transition. *WIFO Studies, WWWforEurope Policy Paper No. 10*.

- Anthoff, D. (2007). Report on marginal external damage costs inventory of greenhouse gas emissions. *NEEDS – New Energy Externalities Developments for Sustainability, Delivery*, 5.4-RS.
- Anthoff, D., Tol, R. S., & Yohe, G. W. (2009). Risk aversion, time preference, and the social cost of carbon. *Environmental Research Letters*, 4(2), 024002.
- Apt, W., & Wischmann, S. (2017). Neue Gestaltungsmöglichkeiten für die Arbeitswelt. In *Volker Wittpahl [Hrsg.]: Digitalisierung* (S. 109–117). Springer Vieweg.
- Arthur, W. B. (1988). *Urban systems and historical path-dependence*. Stanford Institute for Population and Resource Studies.
- Arthur, W. B., Holland, J. H., LeBaron, B., Palmer, R., & Tayler, P. (1996). Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market. *The economy as an evolving complex system II*, 27.
- Atteslander, P. (1995). *Methoden der empirischen Sozialforschung* (8., bearb. Aufl.). De Gruyter; Berlin [u.a.].
- Austen-Smith, D., Dziuda, W., Harstad, B., & Loeper, A. (2019). Gridlock and inefficient policy instruments. *Theoretical Economics*, 14(4), 1483–1534.
- Axtell, R. L., & Farmer, J. D. (2022). Agent-based modeling in economics and finance: Past, present, and future. *INET Oxford Working Paper (Institute for New Economic Thinking)*, No. 2022-10, 1–92.
- Bach, S. (2009). Zehn Jahre ökologische Steuerreform: Finanzpolitisch erfolgreich, klimapolitisch halbherzig. *DIW Wochenbericht*, 76(14), 218–227.
- Bach, S., Bork, C., Kohlhaas, M., Lutz, C., Meyer, B., Praetorius, B., & Welsch, H. (2001). *Die ökologische Steuerreform in Deutschland: Eine modellgestützte Analyse ihrer Wirkungen auf Wirtschaft und Umwelt*. Physica-Verlag; Heidelberg.
- Bach, S., Isaak, N., Kampfmann, L., Kemfert, C., & Wäger, N. (2020). Nachbesserungen beim Klimapaket richtig, aber immer noch unzureichend – CO₂-Preise stärker erhöhen und Klimaprämie einführen. *DIW aktuell*, 27.
- Bach, S., Isaak, N., Kemfert, C., Kunert, U., Schill, W.-P., Schmalz, S., Wäger, N., & Zaklan, A. (2019). *CO₂-Bepreisung im Wärme- und Verkehrssektor: Diskussion von Wirkungen und alternativen Entlastungsoptionen* (Politikberatung kompakt 140; S. 141). Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin); Berlin.
- Bach, S., & Kohlhaas, M. (1999). Nur zaghafter Einstieg in die ökologische Steuerreform. *DIW Wochenbericht*, 66(36), 652–658.

- Bach, S., Kohlhaas, M., Meinhardt, V., Praetorius, B., Wessels, H., & Zwiener, R. (1995). *Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform. DIW-Gutachten im Auftrag von Greenpeace* (Sonderhefte Nr. 153; S. 234). Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW); Berlin.
- Bach, S., Kohlhaas, M., Meyer, B., Praetorius, B., & Welsch, H. (2002). The effects of environmental fiscal reform in Germany: a simulation study. *Energy policy*, 30(9), 803–811.
- Bach, S., Kohlhaas, M., Praetorius, B., & others. (1994). Ökologische Steuerreform auch im nationalen Alleingang! *DIW Wochenbericht*, 61(24), 395–404.
- Bach, S., Kunert, U., Radke, S., & Isaak, N. (2019). *CO₂-Bepreisung für den Verkehrssektor? Bedeutung und Entwicklung der Kosten räumlicher Mobilität der privaten Haushalte bei ausgewählten verkehrspolitischen Instrumenten* (S. 79). Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin); Berlin.
- BAFU [Hrsg.]. (2018). *Faktenblatt Wirkungsabschätzung und Evaluation der CO₂-Abgabe auf Brennstoffe*. Bundesamt für Umwelt (Schweiz); Bern.
- BAFU [Hrsg.]. (2021). *CO₂-Emissionen aus Brennstoffen 2020 wenig gesunken: Abgabe steigt per 2022 automatisch* (Medienmitteilung vom 07.07.2021). Bundesamt für Umwelt (Schweiz); Bern.
- Baldwin, J., Gellatly, G., Tanguay, M., & Patry, A. (2005). Estimating depreciation rates for the productivity accounts. *OECD Workshop on Productivity Measurement, Madrid Spain, October*, 17–19.
- Ball, L. M., Leigh, D., & Loungani, P. (2013). *Okun's law: fit at fifty?* (Working Paper 18668). National Bureau of Economic Research; Cambridge (MA, USA).
- Bär, H., Leisinger, C., & Runkel, M. (2022). *Finanzpolitik für die Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft – Warum Umweltsteuern sinken und wie wir sie auf Klimaschutz programmieren* (Hintergrundpapier). Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FÖS).
- Baranzini, A., Goldemberg, J., & Speck, S. (2000). A future for carbon taxes. *Ecological economics*, 32(3), 395–412.
- Barker, T., Junankar, S., Pollitt, H., & Summerton, P. (2009). The effects of environmental tax reform on international competitiveness in the European Union: Modelling with E3ME. *Carbon-Energy Taxation: Lessons from Europe*, Mikael Skou Andersen, Paul Ekins [Hrsg.], 147–214.
- Barro, R. J., & Sala-i-Martin, X. (1995). *Economic Growth* (2. Aufl.). The MIT Press; Cambridge (MA, USA).

- Bashir, M. F., Ma, B., Komal, B., Bashir, M. A., & others. (2021). Analysis of environmental taxes publications: a bibliometric and systematic literature review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 20700–20716.
- Baumgärtner, S., Dyckhoff, H., Faber, M., Proops, J., & Schiller, J. (2001). The concept of joint production and ecological economics. *Ecological economics*, 36(3), 365–372.
- Baumgärtner, S., Faber, M., Schiller, J., & others. (2006). Joint production and responsibility in ecological economics. *Books*.
- Baumol, W. J. (1972). On taxation and the control of externalities. *The American Economic Review*, 62(3), 307–322.
- Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1971). The use of standards and prices for protection of the environment. *The Swedish Journal of Economics*, 73(1), 42–54.
- Beck, M., Rivers, N., Wigle, R., & Yonezawa, H. (2015). Carbon tax and revenue recycling: Impacts on households in British Columbia. *Resource and Energy Economics*, 41, 40–69.
- BEE [Hrsg.]. (2019). *BEE-Konzeptpapier zur CO₂-Bepreisung*. Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.
- Benkovskis, K., & Wörz, J. (2013). Non-price competitiveness of exports from emerging countries. *ECB Working Paper, No. 1612*(November 2013).
- Berg, M., Hartley, B., & Richters, O. (2015). A stock-flow consistent input–output model with applications to energy price shocks, interest rates, and heat emissions. *New journal of physics*, 17(1), 015011.
- Bernstein, M. A., & Griffin, J. (2006). *Regional differences in the price-elasticity of demand for energy*. National Renewable Energy Lab.(NREL); Golden, Colorado (United States).
- Berthold, M., Hämmerle, M., & Pokorni, B. (2018). Wie Digitalisierung und Industrie 4.0 die Arbeit der Zukunft verändert. In *Simon Werther und Laura Bruckner (Hg.): Arbeit 4.0 aktiv gestalten. Die Zukunft der Arbeit Zwischen Agilität, People Analytics und Digitalisierung* (S. 5–15). Springer.
- Bhawsar, P., & Chattopadhyay, U. (2015). Competitiveness: Review, reflections and directions. *Global Business Review*, 16(4), 665–679.
- Biermann, F., & Kim, R. E. (2020). The boundaries of the planetary boundary framework: a critical appraisal of approaches to define a “safe operating space” for humanity. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 497–521.
- Biesecker, A., Jochimsen, M., & Knobloch, U. (1997). Vorsorgendes Wirtschaften. *Ökologisches Wirtschaften-Fachzeitschrift*, 12(3–4).

- Binswanger, H. C., Frisch, H., & Nutzinger, H. (1983). *Arbeit ohne Umweltzerstörung: Strategien einer neuen Wirtschaftspolitik*. S. Fischer; Frankfurt am Main.
- Binswanger, H. C., Geissberger, W., & Ginsburg, T. (Hrsg.). (1978). *Der NAWU-Report: Wege aus der Wohlstandsfalle*. Fischer-Verlag; Frankfurt am Main.
- Blesse, S., Dietrich, H., Necker, S., & Zürn, M. K. (2024). Wollen die Deutschen beim Klimaschutz Vorreiter sein und wenn ja, wie? Maßnahmen aus Bevölkerungsperspektive. *ifo Schnelldienst*, 77(01), 39–43.
- BMAS [Hrsg.]. (2021a). Aktualisierte BMAS-Prognose „Digitalisierte Arbeitswelt“. *Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Forschungsbericht* 526/3.
- BMAS [Hrsg.]. (2021b). *Sozialbericht 2021*. Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Referat Information, Monitoring, Bürgerservice, Bibliothek; Bonn.
- BMF [Hrsg.]. (2015). *Der Effekt der kalten Progression bei der Einkommensteuer* (Monatsbericht). Bundesministerium der Finanzen; Berlin.
- BMWi [Hrsg.]. (2016). *Die essenzielle Rolle des CO₂-Preises für eine effektive Klimapolitik: Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Berlin.
- BMWK [Hrsg.]. (2023). *Wohlstand klimaneutral erneuern (Werkstattbericht des BMWK vom 9. März 2023)*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Berlin.
- BMWK [Hrsg.]. (2024). *Jahreswirtschaftsbericht 2024*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Berlin.
- Boogen, N., Datta, S., & Filippini, M. (2014). Going beyond tradition: Estimating residential electricity demand using an appliance index and energy services. *CER-ETH–Center of Economic Research at ETH Zurich Working Paper*, 14, 200.
- Bork, C. (2000). *Steuern, Transfers und private Haushalte: eine mikroanalytische Simulationsstudie der Aufkommens- und Verteilungswirkungen*. Peter Lang International Academic Publishers; Frankfurt am Main, Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien.
- Bosquet, B. (2000). Environmental tax reform: Does it work? A survey of the empirical evidence. *Ecological Economics*, 34(1), 19–32.
- Bovari, E., Giraud, G., & Mc Isaac, F. (2018). Coping with collapse: a stock-flow consistent monetary macrodynamics of global warming. *Ecological Economics*, 147, 383–398.
- Bovenberg, A. L. (1999). Green tax reforms and the double dividend: an updated reader's guide. *International tax and public finance*, 6(3), 421–443.

- Bovenberg, A. L., & De Mooij, R. A. (1994). Environmental levies and distortionary taxation. *The American Economic Review*, 84(4), 1085–1089.
- Bovenberg, A. L., & Goulder, L. H. (1994). *Optimal environmental taxation in the presence of other taxes: general equilibrium analyses*. National Bureau of Economic Research Cambridge (MA, USA).
- Bovenberg, A. L., & van der Ploeg, F. (1994). Green policies and public finance in a small open economy. *The Scandinavian Journal of Economics*, 343–363.
- Brandstedt, E., & Emmelin, M. (2016). The concept of sustainable welfare. *Sustainability and the Political Economy of Welfare*, 15–28.
- Bretschger, L., & Ramer, R. (2012). Sectoral Growth Effects of Energy Policies in an Increasing-Varieties Model of the Swiss Economy. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 148(2), 137–166.
- Bretschger, L., & Smulders, S. (2012). Sustainability and substitution of exhaustible natural resources: How structural change affects long-term R&D-investments. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 36(4), 536–549.
- Briens, F., & Maïzi, N. (2014). Investigating the Degrowth Paradigm through prospective Modelling. *Ökologisch Wirtschaften-Fachzeitschrift*, 29(3), 42–45.
- Brümmerhoff, D., & Grömling, M. (2011). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen* (9.Auflage). Oldenbourg Verlag; München.
- Buchholz, B., & Wangler, L. (2017). Neue Wege der Wertschöpfung und Kooperation – Digitalisierung und neue Geschäftsmodelle. In Volker Wittpahl [Hrsg.]: *Digitalisierung* (S. 177–183). Springer Vieweg.
- Büchs, M., & Koch, M. (2017). *Postgrowth and wellbeing: Challenges to sustainable welfare*. Springer.
- BUND [Hrsg.]. (2004). *BUND legt Plan zur Weiterführung der ökologischen Finanzreform vor: Pressemitteilung: Erschienen am 04.11.2004*. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.; Berlin.
- Bundesregierung Deutschland [Hrsg.]. (2019). *Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050, Beschluss vom 09.10.2019*. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland; Berlin.
- Caiani, A., Catullo, E., & Gallegati, M. (2019). The effects of alternative wage regimes in a monetary union: A multi-country agent based-stock flow consistent model. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 162, 389–416.
- Caiani, A., Godin, A., Caverzasi, E., Gallegati, M., Kinsella, S., & Stiglitz, J. E. (2016). Agent based-stock flow consistent macroeconomics: Towards a benchmark model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 69, 375–408.

- Calmbach, M., Stockmann, F., Behrens, A., & Schröder, K. (2019). *25 Next – Ein Studie zur „Future Readiness“ Jugendlicher – Summary*. SINUS-Institut und Deutsche Kinder- und Jugendstiftung; Heidelberg.
- Campbell, N. (2003). Does trade liberalization make the Porter Hypothesis less relevant? *International journal of business and economics*, 2(2), 129.
- Carattini, S., Baranzini, A., Thalmann, P., Varone, F., & Vöhringer, F. (2017). Green taxes in a post-Paris world: are millions of nays inevitable? *Environmental and Resource Economics*, 68(1), 97–128.
- Carnevali, E., Deleidi, M., Pariboni, R., & Passarella, M. V. (2019). Stock-Flow Consistent Dynamic Models: Features, Limitations and Developments. In *Frontiers of heterodox macroeconomics* (S. 223–276). Springer.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (1980). *Das Wahlprogramm der CDU/CSU: Für Frieden und Freiheit*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Bonn and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (1983). *Das Wahlprogramm der CDU/CSU: Arbeit, Frieden, Zukunft. Miteinander schaffen wir's*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Bonn and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (1987). *Das Wahlprogramm von CDU und CSU für die Bundestagswahl 1987*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Bonn and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (1990). *Wahlprogramm der Christlich Demokratischen Union Deutschlands zur gesamtdeutschen Bundestagswahl am 2. Dezember 1990: Ja zu Deutschland – Ja zur Zukunft*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Bonn and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (1994). *Regierungsprogramm: Wir sichern Deutschlands Zukunft*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Bonn and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (1998). *Wahlplattform von CDU und CSU*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Bonn and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (2002). *Regierungsprogramm: Leistung und Sicherheit. Zeit für Taten*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Berlin and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (2005). *Regierungsprogramm 2005-2009: Deutschlands Chancen nutzen*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Berlin and München.

- CDU/CSU [Hrsg.]. (2009). *Regierungsprogramm 2009-2013: Wir haben die Kraft – Gemeinsam für unser Land*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Berlin and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (2013). *Regierungsprogramm 2013-2017: Gemeinsam erfolgreich für Deutschland*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Berlin and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (2017). *Regierungsprogramm 2017-2021: Für ein Deutschland, in dem wir gut und gerne leben*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Berlin and München.
- CDU/CSU [Hrsg.]. (2021). *Das Programm für Stabilität und Erneuerung. Gemeinsam für ein modernes Deutschland*. Christlich Demokratische Union Deutschlands and Christlich-Soziale Union in Bayern; Berlin and München.
- Charles D Kolstad. (2011). *Intermediate Environmental Economics* (international second edition). Oxford University Press; New York.
- Choi, J.-K., Bakshi, B. R., & Haab, T. (2010). Effects of a carbon price in the US on economic sectors, resource use, and emissions: An input–output approach. *Energy Policy*, 38(7), 3527–3536.
- Choi, J.-K., Bakshi, B. R., Hubacek, K., & Nader, J. (2016). A sequential input–output framework to analyze the economic and environmental implications of energy policies: Gas taxes and fuel subsidies. *Applied energy*, 184, 830–839.
- Ciarli, T., Lorentz, A., Valente, M., & Savona, M. (2018). Structural changes and growth regimes. *Journal of Evolutionary Economics*, 29, 119–176.
- Citaristi, I. (2022). International Chamber Of Commerce. In *The Europa Directory of International Organizations 2022* (S. 629–632). Routledge.
- Clausing, K. A., Saez, E., & Zucman, G. (2021). Ending corporate tax avoidance and tax competition: a plan to collect the tax deficit of multinationals. *UCLA School of Law, Law-Econ Research Paper*, 20–12.
- Clò, S., Battles, S., & Zoppoli, P. (2013). Policy options to improve the effectiveness of the EU emissions trading system: A multi-criteria analysis. *Energy Policy*, 57, 477–490.
- CO2 Abgabe e.V. [Hrsg.]. (2019). *Grundlegende Varianten einer CO₂-Bepreisung im Vergleich*. CO2 Abgabe e.V.
- Cobb, C. W., & Cobb, J. B. (1994). *The green national product: a proposed index of sustainable economic welfare*. University Press of America; Lanham/New York/London.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative science quarterly*, 128–152.

- Comin, D., & Hobijn, B. (2010). An exploration of technology diffusion. *American economic review*, 100(5), 2031–2059.
- Cordier, M., Uehara, T., Weih, J., & Hamaide, B. (2017). An input-output economic model integrated within a system dynamics ecological model: Feedback loop methodology applied to fish nursery restoration. *Ecological economics*, 140, 46–57.
- Credit Suisse Research Institute [Hrsg.]. (2020). *Rethinking retirement* (Davos edition 2020). Credit Suisse Research Institute.
- Cropper, M. L., & Oates, W. E. (1992). Environmental economics: a survey. *Journal of economic literature*, 30(2), 675–740.
- Dafermos, Y., Nikolaidi, M., & Galanis, G. (2018). Climate change, financial stability and monetary policy. *Ecological Economics*, 152, 219–234.
- D'Alessandro, S., Cieplinski, A., Distefano, T., & Dittmer, K. (2020). Feasible alternatives to green growth. *Nature Sustainability*, 1–7.
- Dasgupta, P. (1986). The theory of technological competition. *New Developments in the Analysis of market Structure: Proceedings of a Conference Held by the International Economic Association in Ottawa, Canada*, 519–549. Springer.
- Dawid, H. (2019). Potential, Erfolge und Herausforderungen der Agenten-basierten Modellierung in den Wirtschaftswissenschaften. *List Forum für Wirtschafts-und Finanzpolitik*, 44, 767–782. Springer.
- Dawid, H., & Gatti, D. D. (2018). Agent-based macroeconomics. *Handbook of computational economics*, 4, 63–156.
- Dawid, H., Harting, P., Van der Hoog, S., & Neugart, M. (2019). Macroeconomics with heterogeneous agent models: fostering transparency, reproducibility and replication. *Journal of Evolutionary Economics*, 29, 467–538.
- Deutsche Bundesbank [Hrsg.]. (2022a). Energiepreisanstieg, Wechselkurs des Euro und preisliche Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. In *Monatsbericht Dezember 2022* (S. 47–56).
- Deutsche Bundesbank [Hrsg.]. (2022b). Zum jüngsten Energiepreisanstieg im historischen Vergleich, Monatsbericht. In *Monatsbericht November 2022* (S. 15–16).
- Deutscher Bundestag [Hrsg.]. (2018). *Kurzinformation: CO₂-Bepreisung*. Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestag; Berlin.
- Deutscher Bundestag [Hrsg.]. (2019). *Drucksache des Deutschen Bundestages 19/13400 vom 19.09.2019: Umweltbericht 2019. Umwelt und Natur als Fundament des sozialen Zusammenhaltes*. Deutscher Bundestag; Berlin.
- Die Linke [Hrsg.]. (2005). *Wahlprogramm zu den Bundestagswahlen 2005: Für eine neue soziale Idee*. Die Linkspartei.PDS; Berlin.

- Die Linke [Hrsg.]. (2013). *Wahlprogramm zur Bundestagswahl 2013: 100% sozial*. Die Linke; Berlin.
- Die Linke [Hrsg.]. (2017). *Wahlprogramm der Partei DIE LINKE zur Bundestagswahl 2017: Sozial. Gerecht. Frieden. Für alle: Die Zukunft, für die wir kämpfen!* Die Linke; Berlin.
- Die Linke [Hrsg.]. (2021). *Zeit zu handeln! Für soziale Sicherheit, Frieden und Klimagerechtigkeit. Wahlprogramm zur Bundestagswahl 2021*. Die Linke; Berlin.
- Diefenbacher, H., Gechert, S., Rietzler, K., Gran, C., Neumann, K., Linsenmeier, M., Oehlmann, M., & Zieschank, R. (2020). Analyse einer Integration von Umweltindikatoren und alternativen Wohlfahrtsmaßen in ökonomische Modelle. *Studie des Umweltbundesamtes (UBA), Texte 189/2020*.
- Diefenbacher, H., Held, B., Rodenhäuser, D., & Zieschank, R. (2013). *NWI 2.0 – Weiterentwicklung und Aktualisierung des Nationalen Wohlfahrtsindex*. FEST/FFU; Heidelberg/Berlin.
- Diefenbacher, H., & Zieschank, R. (2009). *Der Nationale Wohlfahrtsindex als Beitrag zur Debatte um Wachstum und Wohlfahrtsmaße* (89 (12); S. 787–792). Wirtschaftsdienst – Zeitschrift für Wirtschaftspolitik.
- Diekmann, A., & Bruderer Enzler, H. (2019). Eine CO₂-Abgabe mit Rückerstattung hilft dem Klimaschutz und ist sozial gerecht. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 28(3), 271–274.
- Döring, R., & Ott, K. (2001). Nachhaltigkeitskonzepte. *Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik*, 2(3), 315–342.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3), 147–162.
- Dosi, G. (1988). Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of economic literature*, 1120–1171.
- Dosi, G., Fagiolo, G., Napoletano, M., & Roventini, A. (2013). Income distribution, credit and fiscal policies in an agent-based Keynesian model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 37(8), 1598–1625.
- Dosi, G., Fagiolo, G., & Roventini, A. (2010). Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles. *Journal of economic dynamics and control*, 34(9), 1748–1767.
- Dosi, G., Napoletano, M., Roventini, A., & Treibich, T. (2017). Micro and macro policies in the Keynes+Schumpeter evolutionary models. *Journal of Evolutionary Economics*, 27, 63–90.
- Dosi, G., & Nelson, R. R. (2010). Technical change and industrial dynamics as evolutionary processes. *Handbook of the Economics of Innovation*, 1, 51–127.

- Dosi, G., Pereira, M. C., Roventini, A., & Virgillito, M. E. (2017). When more flexibility yields more fragility: the microfoundations of Keynesian aggregate unemployment. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 81, 162–186.
- Dosi, G., Pereira, M. C., Roventini, A., & Virgillito, M. E. (2018). The effects of labour market reforms upon unemployment and income inequalities: an agent-based model. *Socio-Economic Review*, 16(4), 687–720.
- Dosi, G., Pereira, M. C., Roventini, A., & Virgillito, M. E. (2022). Technological paradigms, labour creation and destruction in a multi-sector agent-based model. *Research Policy*, 51(10), 104565.
- Dosi, G., & Roventini, A. (2019). More is different... and complex! the case for agent-based macroeconomics. *Journal of Evolutionary Economics*, 29, 1–37.
- Dosi, G., Roventini, A., & Russo, E. (2019). Endogenous growth and global divergence in a multi-country agent-based model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 101, 101–129.
- Dotter, C., & Klasen, S. (2017). The multidimensional poverty index: Achievements, conceptual and empirical issues. *Georg-August-Universität Göttingen, Courant Research Centre – Poverty, Equity and Growth (CRCPEG), Göttingen, Discussion Papers*(No. 233).
- Dresner, S., Dunne, L., Clinch, P., & Beuermann, C. (2006). Social and political responses to ecological tax reform in Europe: an introduction to the special issue. *Energy policy*, 34(8), 895–904.
- Dugan, J. (2016). An introduction to system dynamics. In *System Dynamics Modeling with R* (S. 1–24). Springer.
- Durand, M. (2015). The OECD better life initiative: How's life? and the measurement of well-being. *Review of Income and Wealth*, 61(1), 4–17.
- Edenhofer, O., Flachsland, C., Arlinghaus, J., Haywood, L., Kalkuhl, M., Knopf, B., Koch, N., Kornek, U., Pahle, M., Pietzcker, R., & others. (2018). *Eckpunkte einer CO₂-Preisreform für Deutschland*. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Mercator Institute on Global Commons and Climate Change; Berlin.
- Edenhofer, O., & Jakob, M. (2017). *Klimapolitik: Ziele, Konflikte, Lösungen*. Verlag C.H. Beck; München.
- Elgie, S., & McClay, J. (2013). Policy Commentary/Commentaire BC's carbon tax shift is working well after four years. *Canadian Public Policy*, 39(2), 1–10.
- Ellis, E. C., Klein Goldewijk, K., Siebert, S., Lightman, D., & Ramankutty, N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global ecology and biogeography*, 19(5), 589–606.

- Enevoldsen, M. K., Ryelund, A., & Andersen, M. S. (2009). The impact of energy taxes on competitiveness: a panel regression study of 56 European industry sectors. *Carbon-Energy Taxation: Lessons from Europe*, Mikael Skou Andersen, Paul Ekins [Hrsg.], 100–119.
- Epstein, J. M. (1999). Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, 4(5), 41–60.
- Erhard, L. (1957). *Wohlstand für alle*. Econ-Verlag; Düsseldorf.
- Europäische Kommission [Hrsg.]. (2024). *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Questions and Answers. Last updated on 28 February 2024*. Europäische Kommission; Brüssel.
- European Commission [Hrsg.]. (2012). *Tax reforms in EU Member States 2012 – Tax policy challenges for economic growth and fiscal sustainability. European Economy* 6/12.
- European Commission [Hrsg.]. (2021). *Joint Employment Report 2021*. European Commission – Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion; Brussels, Belgium.
- EWI Energy & Research Scenarios. (2017). *Analyse eines EU-weiten Mindestpreises für CO₂: Auswirkungen auf Emissionen, Kosten und Renten*. Köln.
- Fagerberg, J. (1996). Technology and competitiveness. *Oxford review of economic policy*, 12(3), 39–51.
- Fagiolo, G., & Roventini, A. (2016). Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead. *Available at SSRN* 2763735.
- Fan, X., Li, X., & Yin, J. (2019). Impact of environmental tax on green development: A nonlinear dynamical system analysis. *PLoS ONE*, 14(9), e0221264. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221264>
- Farmer, J. D., Hepburn, C., Mealy, P., & Teytelboym, A. (2015). A third wave in the economics of climate change. *Environmental and Resource Economics*, 62(2), 329–357.
- FDP [Hrsg.]. (1990). *Wahlprogramm zur Bundestagswahl 1990: Das liberale Deutschland*. Freie Demokratische Partei; Bonn.
- FDP [Hrsg.]. (1994). *Wahlprogramm zur Bundestagswahl 1994: Liberal denken. Leistung wählen*. Freie Demokratische Partei; Bonn.
- FDP [Hrsg.]. (1998). *Wahlprogramm zur Bundestagswahl 1998: Es ist Ihre Wahl*. Freie Demokratische Partei; Bonn.
- FDP [Hrsg.]. (2002). *Wahlprogramm zur Bundestagswahl 2002: Bürgerprogramm 2002*. Freie Demokratische Partei; Berlin.
- FDP [Hrsg.]. (2005). *Wahlprogramm zur Bundestagswahl 2005: Arbeit hat Vorfahrt. Deutschlandprogramm 2005*. Freie Demokratische Partei; Berlin.

- FDP [Hrsg.]. (2009). *Wahlprogramm zur Bundestagswahl 2009: Die Mitte stärken. Deutschlandprogramm der Freien Demokratischen Partei*. Freie Demokratische Partei; Berlin.
- FDP [Hrsg.]. (2013). *Programm der Freien Demokratischen Partei zur Bundestagswahl 2013: Bürgerprogramm 2013*. Freie Demokratische Partei; Berlin.
- FDP [Hrsg.]. (2017). *Das Programm der Freien Demokraten zur Bundestagswahl 2017: Wir denken neu*. Freie Demokratische Partei; Berlin.
- FDP [Hrsg.]. (2021). *Nie gab es mehr zu tun. Wahlprogramm der Freien Demokraten*. Freie Demokratische Partei; Berlin.
- Fiedler, S., Runkel, M., Jacob, K., Bär, H., & Keimeyer, F. (2020). Reform rechtlicher und institutioneller Rahmenbedingungen für eine Umwelterorientierung der öffentlichen Finanzen. *Studie des Umweltbundesamtes (UBA), Texte 76/2020*.
- Fioramonti, L. (2013). *Gross domestic problem: The politics behind the world's most powerful number*. Zed Books Ltd.
- Fischer, C. (2010). An assessment of the trends in international price competitiveness among EMU countries. In *Dimensions of Competitiveness* (S. 149–180). MIT Press.
- Fischer, C., & Hossfeld, O. (2014). A consistent set of multilateral productivity approach-based indicators of price competitiveness—Results for Pacific Rim economies. *Journal of International Money and Finance*, 49, 152–169.
- Fischer, C., Hossfeld, O., & Radeck, K. (2018). On the suitability of alternative competitiveness indicators for explaining real exports of advanced economies. *Open Economies Review*, 29, 119–139.
- Flaute, M., Reuschel, S., & Stöver, B. (2022). *Volkswirtschaftliche Folgekosten durch Klimawandel: Szenarioanalyse bis 2050. Studie im Rahmen des Projektes Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland* (GWS Research Report 2022/02). Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS); Osnabrück.
- Freire-González, J. (2018). Environmental taxation and the double dividend hypothesis in CGE modelling literature: A critical review. *Journal of Policy Modeling*, 40(1), 194–223.
- Frenkel, M., John, K. D., & Fendel, R. (2016). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung* (8.Auflage). Vahlen.
- Fullerton, D., & Metcalf, G. E. (1998). Environmental taxes and the double-dividend hypothesis: did you really expect something for nothing? *Chicago-Kent Law Review*, 73, 221–256.

- Gabrisch, H., & Staehr, K. (2015). The Euro Plus Pact: Competitiveness and External Capital Flows in the EU Countries. *JCMS: Journal of Common Market Studies*, 53(3), 558–576.
- Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research policy*, 36(3), 399–417.
- Genschel, P., & Schwarz, P. (2011). Tax competition: a literature review. *Socio-economic review*, 9(2), 339–370.
- George, A. (1959). Quantitative and qualitative approaches to content analysis. In Ithiel de Sola Pool (Hrsg.), *Trends in content analysis* (S. 7–32). Univ. of Illinois Pr.
- Gerhart, P. M., & Baron, M. S. (2003). Understanding National Treatment: The Participatory Vision of the WTO. *Ind. Int'l & Comp. L. Rev.*, 14(505).
- Germeshausen, R., & Löschel, A. (2015). Energiestückkosten als Indikator für Wettbewerbsfähigkeit. *Wirtschaftsdienst*, 95(1), 46–50.
- Gerst, M. D., Wang, P., Roventini, A., Fagiolo, G., Dosi, G., Howarth, R. B., & Borsuk, M. E. (2013). Agent-based modeling of climate policy: An introduction to the ENGAGE multi-level model framework. *Environmental modelling & software*, 44, 62–75.
- Giljum, S., & Hubacek, K. (2004). Alternative approaches of physical input–output analysis to estimate primary material inputs of production and consumption activities. *Economic Systems Research*, 16(3), 301–310.
- Glomm, G., Kawaguchi, D., & Sepulveda, F. (2008). Green taxes and double dividends in a dynamic economy. *Journal of policy modeling*, 30(1), 19–32.
- Godley, W., & Lavoie, M. (2007). *Monetary economics: an integrated approach to credit, money, income, production and wealth*. Palgrave Macmillan; New York.
- Goers, S. R., Wagner, A. F., & Wegmayr, J. (2010). New and old market-based instruments for climate change policy. *Environmental Economics and Policy Studies*, 12(1), 1–30.
- Goodstein, E. (2003). The death of the Pigovian tax? Policy implications from the double-dividend debate. *Land Economics*, 79(3), 402–414.
- Goodwin, P., Dargay, J., & Hanly, M. (2004). Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: a review. *Transport reviews*, 24(3), 275–292.
- Görres, A., Ehringhaus, H., & Weizsäcker, E. U. (1995). *Der Weg zur ökologischen Steuerreform*. Olzog Verlag; München.
- Gough, I. (2017). *Heat, Greed and Human Need: Climate Change, Capitalism and Sustainable Wellbeing*. Edward Elgar; Cheltenham.

- Goulder, L. H. (1995). Environmental taxation and the double dividend: a reader's guide. *International tax and public finance*, 2(2), 157–183.
- Goulder, L. H., Parry, I. W., Williams Iii, R. C., & Burtraw, D. (1999). The cost-effectiveness of alternative instruments for environmental protection in a second-best setting. *Journal of public Economics*, 72(3), 329–360.
- Government of Canada [Hrsg.]. (2016). *Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change – Canada's Plan to Address Climate Change and Grow the Economy*. Ottawa (Canada).
- Gräbner, C. (2018). How to relate models to reality? An epistemological framework for the validation and verification of computational models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(3).
- Gräbner, C., Aistleitner, M., & Hornykewycz, A. (2021). Theory and empirics of capability accumulation: Implications for macroeconomic modeling. *Research Policy*, 50(6), 104258.
- Gran, C. (2017). *Perspektiven einer Wirtschaft ohne Wachstum: Adaption des kanadischen Modells LowGrow an die deutsche Wirtschaft*. Metropolis-Verlag; Marburg.
- Gray, W. B., & Shadbegian, R. (1995). *Pollution abatement costs, regulation, and plant-level productivity*. National Bureau of Economic Research Cambridge (MA, USA).
- Greiner, A., Grüne, L., & Semmler, W. (2014). Economic growth and the transition from non-renewable to renewable energy. *Environment and development economics*, 19(4), 417–439.
- Gretschmann, K., & Voelzkow, H. (1986). Öko-soziale Steuerreform: Ein Ausweg aus der Beschäftigungs-und Umweltkrise? *Wirtschaftsdienst*, 66(11), 560–565.
- Grimm, V., Malmendier, U. M., Schnitzer, M., Truger, A., & Werding, M. (2022). *Energiekrise solidarisch bewältigen, neue Realität gestalten. Jahresgutachten 2022/23*. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung; Wiesbaden.
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991a). *Innovation and growth in the global economy*. MIT press; Cambridge (MA, USA).
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991b). Quality ladders in the theory of growth. *The review of economic studies*, 58(1), 43–61.
- Grüne [Hrsg.]. (1980). *Wahlplattform zur Bundestagswahl 1980*. Die Grünen; Bonn.
- Grüne [Hrsg.]. (1983). *Diesmal die Grünen – Warum? Ein Aufruf zur Bundestagswahl 1983*. Die Grünen; Bonn.

- Grüne [Hrsg.]. (1987). *Farbe bekennen: Bundestagswahlprogramm 1987*. Die Grünen; Bonn.
- Grüne [Hrsg.]. (1990). *Das Programm zur 1. gesamtdeutschen Wahl 1990*. Die Grünen; Bonn.
- Grüne [Hrsg.]. (1994). *Nur mit uns: Programm zur Bundestagswahl 1994*. Bündnis 90/Die Grünen; Bonn.
- Grüne [Hrsg.]. (1998). *Grün ist der Wechsel: Programm zur Bundestagswahl 98*. Bündnis 90/Die Grünen; Bonn.
- Grüne [Hrsg.]. (2002). *Unser Wahlprogramm 2002-2006: Grün wirkt!* Bündnis 90/Die Grünen; Berlin.
- Grüne [Hrsg.]. (2005). *Eines für alle: Das Grüne Wahlprogramm 2005*. Bündnis 90/Die Grünen; Berlin.
- Grüne [Hrsg.]. (2009). *Der Grüne neue Gesellschaftsvertrag: Wahlprogramm 2009*. Bündnis 90/Die Grünen; Berlin.
- Grüne [Hrsg.]. (2013). *Bundestagswahlprogramm 2013: Zeit für den Grünen Wandel*. Bündnis 90/Die Grünen; Berlin.
- Grüne [Hrsg.]. (2017). *Bundestagswahlprogramm 2017: Zukunft wird aus Mut gemacht*. Bündnis 90/Die Grünen; Berlin.
- Grüne [Hrsg.]. (2021). *Bundestagswahlprogramm 2017: Deutschland. Alles ist drin*. Bündnis 90/Die Grünen; Berlin.
- Hardt, L., & O'Neill, D. W. (2017). Ecological macroeconomic models: assessing current developments. *Ecological economics*, 134, 198–211.
- Harrison, K. (2012). A tale of two taxes: The fate of environmental tax reform in Canada. *Review of Policy Research*, 29(3), 383–407.
- Harrison, K. (2013). The political economy of British Columbia's carbon tax. *OECD Environment Working Papers*, 63.
- Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Chung, S., Jimenez, J., Simoes, A., & Yildirim, M. A. (2011). The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity. Cambridge, MA, Harvard University. *Center for International Development, Harvard Kennedy School and Macro Connections*, 362.
- He, P., Ning, J., Yu, Z., Xiong, H., Shen, H., & Jin, H. (2019). Can environmental tax policy really help to reduce pollutant emissions? An empirical study of a panel ARDL model based on OECD countries and China. *Sustainability*, 11(16), 4384.
- Heady, C. J., Markandya, A., Blyth, W., Collingwood, J., & Taylor, P. G. (2000). *Study on the relationship between environmental/energy taxation and employment creation* (S. 1–45). European Commission: Directorate General XI; Bath.

- Heikkinen, T. (2018). An equilibrium framework for the analysis of a degrowth society with asymmetric agents, sharing and basic income. *Ecological Economics*, 148, 43–53.
- Heinemann, F., Kraus, M., Fischer, L., Gundert, H., & Weck, S. (2023). *Länderindex Familienunternehmen, Studie erstellt vom ZEW (Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung) und Calculus Consult* (9. Auflage). Stiftung Familienunternehmen; München.
- Held, B. (2019). Der Ökobonus—Instrument für eine sozial gerechte Umwelt- und Klimapolitik? *Wirtschaftsdienst*, 99(1), 53–60.
- Held, B. (2022). Verteilungswirkungen einer CO₂-Bepreisung in Gegenwart und Zukunft. *Ökologisches Wirtschaften-Fachzeitschrift*, 37(1), 35–40.
- Held, B., Rodenhäuser, D., & Diefenbacher, H. (2022). *NWI 3.0. – Methodenbericht Nationaler Wohlfahrtsindex 3.0.* (IMK Study 78). Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung (IMK); Düsseldorf.
- Held, B., Rodenhäuser, D., Diefenbacher, H., & Zieschank, R. (2018). The national and regional welfare index (NWI/RWI): Redefining progress in Germany. *Ecological Economics*, 145, 391–400.
- Hertle, H., Dünnebeil, F., Gugel, B., Rechsteiner, E., & Reinhard, C. (2019). *BISKO – Bilanzierungs-Systematik Kommunal, Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland Kurzfassung (Aktualisierung 11/2019)*. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH; Heidelberg.
- Herzog-Stein, A., & Stein, U. (2023). *Arbeits- und Lohnstückkostenentwicklung 2022: Energiepreisschocks führen zu steigenden Arbeitskosten bei fallenden Reallöhnen*. IMK Report; Düsseldorf.
- Heyen, D. A. (2021). *Soziale Wirkungen von Umweltpolitik (Teilbericht)* (Texte 158/2021). Öko-Institut e.V.; Berlin.
- Hickel, J., & Kallis, G. (2019). Is green growth possible? *New political economy*, 1–18.
- Hicks, D. A. (1997). The inequality-adjusted human development index: a constructive proposal. *World development*, 25(8), 1283–1298.
- Hicks, J. R. (1932). *The Theory of Wages* Macmillan and Co. Macmillan; London.
- Hidalgo, C. A. (2021). Economic complexity theory and applications. *Nature Reviews Physics*, 3(2), 92–113.
- High-Level Commission on Carbon Prices [Hrsg.]. (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. World Bank; Washington, DC.
- Hindriks, J., & Myles, G. D. (2013). *Intermediate Public Economics* (second edition). MIT Press; Cambridge (MA, USA).

- Holmlund, B., & Kolm, A.-S. (2000). *Environmental Tax Reform in a Small Open Economy With Structural Unemployment* (Nr. 3). 7(3), Article 3.
- Holt, R. P., Pressman, S., & Spash, C. L. (2009). *Post Keynesian and Ecological Economics: Confronting Environmental Issues*. Edward Elgar Publishing.
- Honegger, M., Schäfer, S., Poralla, M., & Michaelowa, A. (2020). *dena-Analyse: Klimaneutralität – ein Konzept mit weitreichenden Implikationen*. Deutsche Energie-Agentur [dena]; Berlin.
- Hötte, K. (2020). How to accelerate green technology diffusion? Directed technological change in the presence of coevolving absorptive capacity. *Energy Economics*, 85, 104565 (1-25).
- IMD [Hrsg.]. (2022a). *IMD World Competitiveness Booklet 2022*. International Institute for Management Development; Lausanne. <https://worldcompetitiveness.imd.org/>
- IMD [Hrsg.]. (2022b). *IMD World Competitiveness Yearbook 2022*. International Institute for Management Development; Lausanne. <https://worldcompetitiveness.imd.org/>
- IMD [Hrsg.]. (2023). *IMD World Competitiveness Yearbook 2023*. International Institute for Management Development; Lausanne. <https://worldcompetitiveness.imd.org/>
- IPCC [Hrsg.]. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC [Hrsg.]. (2022a). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, the Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report, Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC [Hrsg.]. (2022b). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, the Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report, Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Iversen, T., Soskice, D., & Hope, D. (2016). The Eurozone and political economic institutions. *Annual review of political science*, 19, 163–185.
- Jackson, T. (2009). *Prosperity without growth?: The transition to a sustainable economy*. The Sustainable Development Commission [Hrsg.].
- Jackson, T., & Victor, P. A. (2015). Does credit create a ‘growth imperative’? A quasi-stationary economy with interest-bearing debt. *Ecological Economics*, 120, 32–48.
- Jackson, T., & Victor, P. A. (2020). The transition to a sustainable prosperity-a stock-flow-consistent ecological macroeconomic model for Canada. *Ecological Economics*, 177, 106787.

- Jacobsson, S., & Bergek, A. (2011). Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 41–57.
- Jaffe, A. B., & Palmer, K. (1997). Environmental regulation and innovation: a panel data study. *Review of economics and statistics*, 79(4), 610–619.
- Jaffe, A. B., & Stavins, R. N. (1995). Dynamic incentives of environmental regulations: The effects of alternative policy instruments on technology diffusion. *Journal of environmental economics and management*, 29(3), S43–S63.
- Jarass, L., & Obermair, G. M. (1996). *Manual: Statistics on Environmental Taxes*.
- Jenkins, J. D. (2014). Political economy constraints on carbon pricing policies: What are the implications for economic efficiency, environmental efficacy, and climate policy design? *Energy Policy*, 69, 467–477.
- Jin, C., Tsai, F.-S., Gu, Q., & Wu, B. (2022). Does the porter hypothesis work well in the emission trading schema pilot? Exploring moderating effects of institutional settings. *Research in International Business and Finance*, 62, 101732.
- Kallis, G. (2011). In defence of degrowth. *Ecological economics*, 70(5), 873–880.
- Kallis, G., Kalush, M., O'Flynn, H., Rossiter, J., & Ashford, N. (2013). “Friday off”: reducing working hours in Europe. *Sustainability*, 5(4), 1545–1567.
- Kaltenegger, O., Löschel, A., Baikowski, M., & Lingens, J. (2017). Energy costs in Germany and Europe: An assessment based on a (total real unit) energy cost accounting framework. *Energy policy*, 104, 419–430.
- Karydas, C., & Zhang, L. (2019). Green tax reform, endogenous innovation and the growth dividend. *Journal of Environmental Economics and Management*, 97, 158–181.
- Keen, M., & Konrad, K. A. (2013). The theory of international tax competition and coordination. *Handbook of public economics, Volume 5*, 257–328.
- Kemfert, C., Schmalz, S., & Wäagner, N. (2019). CO₂-Steuer oder Ausweitung des Emissionshandels: Wie sich die Klimaziele besser erreichen lassen. *DIW aktuell*, 20.
- Kemfert, C., & Welsch, H. (2000). Energy-capital-labor substitution and the economic effects of CO₂ abatement: Evidence for Germany. *Journal of Policy Modeling*, 22(6), 641–660.
- Keynes, J. M. (1972). Economic possibilities for our grandchildren. In *Essays in Persuasion* (S. 321–334). Palgrave Macmillan.
- Keyßer, L. T., & Lenzen, M. (2021). 1.5 C degrowth scenarios suggest the need for new mitigation pathways. *Nature communications*, 12(1), 1–16.

- Kim, R. E., & Kotze, L. J. (2021). Planetary boundaries at the intersection of Earth system law, science and governance: A state-of-the-art review. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 30(1), 3–15.
- King, C. W. (2022). Interdependence of growth, structure, size and resource consumption during an economic growth cycle. *Biophysical Economics and Sustainability*, 7(1), 1.
- Klingbeil-Döring, W. (2020). Technischer Fortschritt und Industrie 4.0 [Bundeszentrale für politische Bildung]. *Wandel der Arbeitswelt*. Blogeintrag: <https://www.bpb.de/themen/arbeit/arbeitsmarktpolitik/315869/technischer-fortschritt-und-industrie-4-0/>
- Knotek II, E. S. (2007). How useful is Okun's law? *Economic Review-Federal Reserve Bank of Kansas City*, 92(4), 73.
- Kohlhaas, M. (2005). *Gesamtwirtschaftliche Effekte der ökologischen Steuerreform*. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.; Berlin.
- Krippendorff, K. (1980). *Content analysis: An introd. to its methodology*. Sage; Beverly Hills [u.a.].
- Krishnamurthy, C. K., & Kriström, B. (2013). Energy demand and income elasticity: a cross-country analysis (CERE Working Paper). *Centre for Environmental and Resource Economics (CERE)*, 5, 1–29.
- Kronenberg, T. (2010). Finding common ground between ecological economics and post-Keynesian economics. *Ecological economics*, 69(7), 1488–1494.
- Krugman, P. (1994). Competitiveness: a dangerous obsession. *Foreign Affairs*, 73, 28–44.
- Kruse-Andersen, P. K. (2016). Directed Technical Change and Economic Growth Effects of Environmental Policy. *Discussion papers, University of Copenhagen. Department of Economics*.
- Kubiszewski, I., Costanza, R., Franco, C., Lawn, P., Talberth, J., Jackson, T., & Aylmer, C. (2013). Beyond GDP: Measuring and achieving global genuine progress. *Ecological economics*, 93, 57–68.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3., überarbeitete Auflage). Beltz Juventa; Weinheim and Basel.
- Kuhn, A. (2010). *Input-Output-Rechnung im Überblick*. Statistisches Bundesamt; Wiesbaden.
- Kuhnhenh, K. (2018). *Wachstum in der Klimawissenschaft: Ein blinder Fleck Globale Szenarien aus wachstumskritischer Perspektive*. E-PAPER der Heinrich-Böll-Stiftung; Berlin.
- Kuper, G. H. (1996). The effects of energy taxes on productivity and employment: The case of the Netherlands. *Resource and Energy Economics*, 18(2), 137–159.

- Kurz, H. D. (1986). Classical and early neoclassical economists on joint production. *Metroeconomica*, 38(1), 1–37.
- Laaser, C.-F., & Rosenschon, A. (2018). *Kieler Subventionsbericht und die Kieler Subventionsampel: Finanzhilfen des Bundes und Steuervergünstigungen bis 2017 – eine Aktualisierung* (Nr. 14; Kieler Beiträge zur Wirtschaftspolitik). Institut für Weltwirtschaft; Kiel.
- Laaser, C.-F., Rosenschon, A., & Schrader, K. (2021). *Kieler Subventionsbericht: Die Finanzhilfen des Bundes in Zeiten der Coronakrise* (Nr. 37; Kieler Beiträge zur Wirtschaftspolitik). Institut für Weltwirtschaft; Kiel.
- Laaser, C.-F., Rosenschon, A., & Schrader, K. (2023). *Kieler Subventionsbericht 2023: Subventionen des Bundes in Zeiten von Ukrainekrieg und Energiekrise* (Nr. 44; Kieler Beiträge zur Wirtschaftspolitik). Institut für Weltwirtschaft; Kiel.
- Laffer, A. B. (2004). The Laffer curve: Past, present, and future. *Backgrounders*, 1765(1), 1–16.
- Lam, K. L., Kenway, S. J., Lane, J. L., Islam, K. N., & de Berc, R. B. (2019). Energy intensity and embodied energy flow in Australia: An input-output analysis. *Journal of Cleaner Production*, 226, 357–368.
- Lamboll, R. D., Nicholls, Z. R., Smith, C. J., Kikstra, J. S., Byers, E., & Rogelj, J. (2023). Assessing the size and uncertainty of remaining carbon budgets. *Nature Climate Change*, 13(12), 1360–1367.
- Lamperti, F., Dosi, G., Napoletano, M., Roventini, A., & Sapio, A. (2018). Faraway, so close: coupled climate and economic dynamics in an agent-based integrated assessment model. *Ecological Economics*, 150, 315–339.
- Lamperti, F., Dosi, G., Napoletano, M., Roventini, A., & Sapio, A. (2020). Climate change and green transitions in an agent-based integrated assessment model. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119806.
- Landis, F., Rausch, S., Kosch, M., & Böhringer, C. (2019). Efficient and equitable policy design: taxing energy use or promoting energy savings? *The Energy Journal*, 40(1), 73–104.
- Lanoie, P., Patry, M., & Lajeunesse, R. (2008). Environmental regulation and productivity: Testing the porter hypothesis. *Journal of productivity analysis*, 30, 121–128.
- Lee, J.-S., Filatova, T., Ligmann-Zielinska, A., Hassani-Mahmoei, B., Stonedahl, F., Lorscheid, I., Voinov, A., Polhill, J. G., Sun, Z., & Parker, D. C. (2015). The complexities of agent-based modeling output analysis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(4).

- Lee, M., & Sanger, T. (2008). *Is BC's carbon tax fair? An Impact Analysis for Different Income Levels*. Canadian Centre for Policy Alternatives (CCPA); Vancouver.
- Lehr, U., Lutz, C., & Ulrich, P. (2012). Gesamtwirtschaftliche Effekte energie- und klimapolitischer Maßnahmen der Jahre 1995 bis 2011. *Studie des Umweltbundesamtes (UBA)*.
- Lehr, U., Mönnig, A., Wolter, M. I., Lutz, C., Schade, W., & Krail, M. (2011). *Die Modelle ASTRA und PANTA RHEI zur Abschätzung gesamtwirtschaftlicher Wirkungen umweltpolitischer Instrumente – ein Vergleich*. gws Discussion Paper.
- Lengnick, M. (2013). Agent-based macroeconomics: A baseline model. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 86, 102–120.
- Leontief, W. (1986). *Input-Output Economics (second edition)*. Oxford University Press; New York.
- Leontief, W. W. (1936). Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. *The review of economic statistics*, 18, 105–125.
- LeRoy Miller, R. (1982). *Intermediate Microeconomics: Theory, Issues, Applications* (third edition). McGraw-Hill; New York.
- Liu, K., Bai, H., Yin, S., & Lin, B. (2018). Factor substitution and decomposition of carbon intensity in China's heavy industry. *Energy*, 145, 582–591.
- Loschky, A., & Ritter, L. (2007). Konjunkturmotor Export. *Wirtschaft und Statistik*, 5, 478–488.
- Lucas, R. E. (1976). Econometric policy evaluation: A critique. *Carnegie-Rochester conference series on public policy*, 1, 19–46. North-Holland.
- Ludewig, D., Mahler, A., & Meyer, B. (2014). *Zuordnung der Steuern und Abgaben auf die Faktoren Arbeit, Kapital, Umwelt (Hintergrundpapier)*. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FÖS).
- Ludewig, D., Meyer, B., & Schlegelmilch, K. (2010). *Nachhaltig aus der Krise – Ökologische Finanzreform als Beitrag zur Gegenfinanzierung des Krisendefizits*. Heinrich-Böll-Stiftung.
- Ludwig, U. (2010). Die Input-Output-Rechnung in der ehemaligen DDR. In *Input-Output-Rechnung im Überblick* (S. 12). Statistisches Bundesamt.
- Lund, S., Madgavkar, A., Manyika, J., Smit, S., Ellingrud, K., Meaney, M., & Robinson, O. (2021). *The future of work after COVID-19 – Executive Summary*. McKinsey Global Institute (MGI).
- Lütkepohl, H. (2013). Vector autoregressive models. In *Handbook of Research Methods and Applications in Empirical Macroeconomics* (S. 139–164). Edward Elgar Publishing.

- Lux, T., & Marchesi, M. (1999). Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market. *Nature*, 397(6719), 498–500.
- Mahler, A., Runkel, M., Ludewig, D., Klusmann, B., & Zerzawy, F. (2017). *Die Finanzierung Deutschlands über Steuern auf Arbeit, Kapital und Umweltverschmutzung*. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FÖS); Berlin.
- Maier, T., Wolter, M. I., & Zika, G. (2020). *Indikatoren zur Abschätzung der Fachkräftesituation im Beruf, Version 1.1*. Bundesinstitut für Berufsbildung; Bonn. www.QuBe-Projekt.de
- Marshall, A. (1890). *Principles of Economics*. Macmillan; London.
- Mason, R. S. (1989). *Robert Giffen and the Giffen paradox*. Barnes & Noble Books; Totowa (New Jersey).
- Mastini, R., Kallis, G., & Hickel, J. (2021). A green new deal without growth? *Ecological Economics*, 179(106832), 1–9.
- Mauch, S. P., Iten, R., von Weizsäcker, E. U., & Jesinghaus, J. (1992). *Ökologische Steuerreform*. Rüegger; Chur and Zürich.
- Maxim, M. R. (2020). Environmental fiscal reform and the possibility of triple dividend in European and non-European countries: evidence from a meta-regression analysis. *Environmental Economics and Policy Studies*, 22(4), 633–656.
- Maxim, M. R., & Zander, K. (2019). Can a green tax reform entail employment double dividend in European and non-European countries? A survey of the empirical evidence. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 218–228.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (11., aktualisierte und überarb. Aufl.). Beltz; Weinheim [u.a.].
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Potomac Associates Books; New York.
- Meinert, S. (2014). *Field manual – Scenario building* (S. 32). European Trade Union Institute (etui); Berlin.
- Meyer, B. (2008). Wirkung eines Anstiegs der Öl- und Gaspreise auf die deutsche Wirtschaft. *Wirtschaft und Statistik*, 2, 173–176.
- Meyer, T., Schicha, C., & Brosda, C. (2001). *Diskurs-Inszenierungen: Zur Struktur politischer Vermittlungsprozesse am Beispiel der Ökologischen Steuerreform*. Westdt. Verlag; Wiesbaden.
- Miller, M., & Alberini, A. (2016). Sensitivity of price elasticity of demand to aggregation, unobserved heterogeneity, price trends, and price endogeneity: Evidence from US Data. *Energy Policy*, 97, 235–249.

- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: Foundations and extensions (second edition)*. Cambridge University Press.
- Mishra, S. K. (2007). A brief history of production functions. *Available at SSRN 1020577*.
- Montoya, J. M., Donohue, I., & Pimm, S. L. (2018). Why a Planetary Boundary, If It Is Not Planetary, and the Boundary Is Undefined? A Reply to Rockström et al. *Trends in ecology & evolution*, 33(4), 234.
- Moore, F. C., & Diaz, D. B. (2015). Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*, 5(2), 127–131.
- Müller, A., Schoch, T., Mattmann, M., Thalmann, P., Vielle, M., & Hulliger, B. (2015). *Wirkungsabschätzung CO₂-Abgabe (Synthese)*. Bundesamtes für Umwelt (Schweiz); Bern.
- Murray, B., & Rivers, N. (2015). British Columbia's revenue-neutral carbon tax: A review of the latest "grand experiment" in environmental policy. *Energy Policy*, 86, 674–683.
- Naqvi, A., & Stockhammer, E. (2018). Directed technological change in a post-Keynesian ecological macromodel. *Ecological Economics*, 154, 168–188.
- Naqvi, S. A. A. (2015). Modeling Growth, Distribution, and the Environment in a Stock-Flow Consistent Framework: Working Paper Series. *Wirtschaftsuniversität Wien*, 2.
- Nieto, J., Carpintero, Ó., Miguel, L. J., & de Blas, I. (2020). Macroeconomic modelling under energy constraints: Global low carbon transition scenarios. *Energy Policy*, 137, 111090.
- Nordhaus, W. D. (1994). *Managing the global commons: the economics of climate change* (Bd. 31). MIT press; Cambridge (MA, USA).
- Nordhaus, W. D. (2014). Estimates of the social cost of carbon: concepts and results from the DICE-2013R model and alternative approaches. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 1(1/2), 273–312.
- Nordhaus, W. D. (2018). Evolution of modeling of the economics of global warming: Changes in the DICE model, 1992–2017. *Climatic change*, 148(4), 623–640.
- Nordhaus, W. D., & Boyer, J. (1999). Roll the DICE again: the economics of global warming. *Draft Version*, 28, 1999.
- Nordhaus, W. D., & Sztorc, P. (2013). DICE 2013R: Introduction and user's manual. *retrieved November*.

- Nordhaus, W. D., & Yang, Z. (1996). A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies. *The American Economic Review*, 741–765.
- OECD [Hrsg.]. (2006). *The Social Dimension of Environmental Policy (Policy Brief)*. Organisation for Economic Co-operation and Development; Paris.
- Ohlendorf, N., Jakob, M., Minx, J. C., Schröder, C., & Steckel, J. C. (2021). Distributional impacts of carbon pricing: A meta-analysis. *Environmental and Resource Economics*, 78(1), 1–42.
- Okajima, S., & Okajima, H. (2013). Estimation of Japanese price elasticities of residential electricity demand, 1990–2007. *Energy Economics*, 40, 433–440.
- Okun, A. M. (1963). *Potential GNP: its measurement and significance*. Cowles Foundation for Research in Economics at Yale University.
- O'Neill, D. W., Fanning, A. L., Lamb, W. F., & Steinberger, J. K. (2018). A good life for all within planetary boundaries. *Nature sustainability*, 1(2), 88–95.
- Oueslati, W. (2015). Growth and welfare effects of environmental tax reform and public spending policy. *Economic Modelling*, 45, 1–13.
- Paech, N. (2012). *Befreiung vom Überfluss: Auf dem Weg in die Postwachstumsökonomie*. oekom Verlag; München. <http://d-nb.info/1017504555/04>
- Pagoulatos, E., & Sorensen, R. (1986). What determines the elasticity of industry demand? *International Journal of Industrial Organization*, 4(3), 237–250.
- Paltsev, S. V. (2001). The Kyoto Protocol: regional and sectoral contributions to the carbon leakage. *The Energy Journal*, 22(4).
- Parrique, T., Barth, J., Briens, F., Kerschner, C., Kraus-Polk, A., Kuokkanen, A., & Spangenberg, J. H. (2019). *Decoupling debunked: Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability*. European Environmental Bureau.
- Parry, I. W., & Bento, A. M. (1999). *Tax Deductible Spending, Environmental Policy, and the "Double Dividend" Hypothesis*. Washington, DC.
- Patuelli, R., Nijkamp, P., & Pels, E. (2005). Environmental tax reform and the double dividend: A meta-analytical performance assessment. *Ecological economics*, 55(4), 564–583.
- Pearce, D. (2002). An intellectual history of environmental economics. *Annual review of energy and the environment*, 27(1), 57–81.
- Petschow, U., Lange, S., Hofmann, D., Pissarskoi, E., Moore, N. aus dem, Korfhage, T., & Schoofs, A. (2018). *Gesellschaftliches Wohlergehen innerhalb planetarer Grenzen: Der Ansatz einer vorsorgeorientierten Postwachstumsposition, Zusammenfassung* (Nr. 89/2019). Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau.

- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*. Macmillan and Co.; London.
- Pindyck, R. S. (2013). Climate change policy: what do the models tell us? *Journal of Economic Literature*, 51(3), 860–872.
- Pissarskoi, E. (2012). *Wohlfahrt und Klimawandel* [Dissertation]. Freie Universität; Berlin.
- Pissarskoi, E. (2016). Kompass in einem magnetisierten Umfeld? *Ökologisches Wirtschaften-Fachzeitschrift*, 31(4), 39–44.
- Poledna, S., Miess, M. G., Hommes, C., & Rabitsch, K. (2023). Economic forecasting with an agent-based model. *European Economic Review*, 151, 104306.
- Pollitt, H. (2014). *E3ME Technical Manual, Version 6.0 April 2014*. Cambridge Econometrics; Cambridge (UK).
- Porter, M. E. (1990). The competitive advantage of nations. *Harvard business review*, March-April, 73–93.
- Prognos, Öko-Institut, & Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. (2020). *Klimaneutrales Deutschland*. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität; Berlin.
- Quesnay, F. (1888). Tableau économique avec son explication. In *Ders.: Oeuvres économiques et philosophiques, éd. par Auguste Oncken*. Herausgeber: Joseph Baer, Jules Peelman (S. 305–328).
- Railsback, S. F., & Grimm, V. (2019). *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction (second edition)*. Princeton University Press; New Jersey.
- Ramsey, F. P. (1927). A Contribution to the Theory of Taxation. *The economic journal*, 37(145), 47–61.
- Ramsey, F. P. (1928). A mathematical theory of saving. *The economic journal*, 38(152), 543–559.
- Rausch, S., & Yonezawa, H. (2023). Green technology policies versus carbon pricing: An intergenerational perspective. *European Economic Review*, 154, 104435.
- Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing; White River Junction, Vermont (US).
- Reiche, D., & Krebs, C. (1999). *Der Einstieg in die Ökologische Steuerreform: Aufstieg, Restriktionen und Durchsetzung eines umweltpolitischen Themas*. Lang Taschenbuch; Frankfurt am Main.
- Rengs, B., Scholz-Wäckerle, M., Gazheli, A., Antal, M., & van den Bergh, J. (2015). *Testing innovation, employment and distributional impacts of climate policy packages in a macro-evolutionary systems setting*. WWWforEurope Working Paper.

- Rengs, B., Scholz-Wäckerle, M., & van den Bergh, J. (2020). Evolutionary macro-economic assessment of employment and innovation impacts of climate policy packages. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 169, 332–368.
- Reuster, L., Runkel, M., Zerzawy, F., Fiedler, S., & Mahler, A. (2017). *Energiesteuerreform für Klimaschutz und Energiewende: Konzept für eine sozial- und wettbewerbsverträgliche Reform der Energiesteuern und ein flächendeckendes Preissignal*. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FÖS); Berlin.
- Reuter, N. (2010). Der Arbeitsmarkt im Spannungsfeld von Wachstum, Ökologie und Verteilung. In *Seidl, Irmi/Zahrnt, Angelika: Postwachstumsgesellschaft. Konzepte für die Zukunft* (S. 85–102). Metropolis.
- Revesz, R. L., Howard, P. H., Arrow, K., Goulder, L. H., Kopp, R. E., Livermore, M. A., Oppenheimer, M., & Sterner, T. (2014). Global warming: Improve economic models of climate change. *Nature*, 508(7495), 173–175.
- Richters, O., & Siemoneit, A. (2019). Growth imperatives: Substantiating a contested concept. *Structural Change and Economic Dynamics*, 51, 126–137.
- Rifkin, J. (2014). *The zero marginal cost society: The internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism*. St. Martin's Press.
- Rivera-Batiz, L. A., & Romer, P. M. (1991). Economic integration and endogenous growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 106(2), 531–555.
- Rockström, J., Richardson, K., Steffen, W., & Mace, G. (2018). Planetary boundaries: Separating fact from fiction. A response to Montoya et al. *Trends in ecology & evolution*, 33(4), 233–234.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., & others. (2009). A safe operating space for humanity. *nature*, 461(7263), 472–475.
- Rodenhäuser, D., Vetter, H., Foltin, O., Stadtherr, L., Diefenbacher, H., Teichert, V., & Held, B. (2021). *Treibhausgas- und Klimaneutralität der Kirchen – Positionspapier zur Definition von Klimaschutzzielen und Reduktionspfaden im kirchlichen Kontext – 1. Auflage, November 2021*. Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft e.V. (FEST); Heidelberg.
- Rodenhäuser, D., Vetter, H., Schlaudt, O., Held, B., & Foltin, O. (2022). Wachstum und Wohlstand. In *Umwelt interdisziplinär. Grundlagen – Konzepte – Handlungsfelder* (S. 1–35). Universitätsbibliothek Heidelberg. <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/31083/>

- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C., Kheshgi, H., Kobayashi, S., Kriegler, E., & others. (2018). Mitigation pathways compatible with 1.5 C in the context of sustainable development. In *Global warming of 1.5 C. An IPCC Special Report*. (S. 93–174). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Romer, P. M. (1987). Growth based on increasing returns due to specialization. *The American Economic Review*, 77(2), 56–62.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political Economy*, 98(5, Part 2), S71–S102.
- Romer, P. M. (1994). The origins of endogenous growth. *Journal of Economic perspectives*, 8(1), 3–22.
- Rössler, P. (2017). *Inhaltsanalyse* (3., völlig überarbeitete Auflage). UVK Verlagsgesellschaft mbH; Konstanz.
- Runkel, M. (2019). *Die Finanzierung Deutschlands über Steuern auf Arbeit, Kapital und Umwelt (Hintergrundpapier)*. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FÖS).
- Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung [Hrsg.]. (2000). *Jahresgutachten, Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen: Chancen auf einen höheren Wachstumspfad. Jahresgutachten 2000/01*. Bundestag; Bonn.
- Sagar, A. D., & Najam, A. (1998). The human development index: a critical review. *Ecological economics*, 25(3), 249–264.
- Samadi, S., Lechtenböhrer, S., & Merten, F. (2013). Standpunkt: Das EEG ist eine Erfolgsgeschichte. *Bundeszentrale für Politische Bildung*.
- Schleer, C., Reusswig, F., & Wisniewski, N. (2020). *Naturbewusstsein 2019 – Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt* (Förderkennzeichen 3518850100). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Bundesamt für Naturschutz; Berlin.
- Schlegelmilch, K. (2014). Die Relevanz der ökologischen Steuer- und Finanzreform für die Energiewende. *Die Finanzierung der Energiewende in der Schweiz. Bestandsaufnahme, Massnahmen, Investitionsmöglichkeiten, Tobias Reichmuth [Hrsg.](NZZ Libro)*, 207–232.
- Schmelzer, M., & Vetter, A. (2019). *Degrowth/Postwachstum zur Einführung*. Junius; Hamburg.
- Schmelzer, M., Vetter, A., & Vansintjan, A. (2022). *The future is degrowth: A guide to a world beyond capitalism*. Verso; London & New York.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2020). *Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten* (acatech STUDIE). Herbert Utz Verlag; München.

- Schulze, J., Müller, B., Groeneveld, J., & Grimm, V. (2017). Agent-based modelling of social-ecological systems: achievements, challenges, and a way forward. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20(2).
- Schumpeter, J. A. (1954). *History of Economic Analysis*. Allen & Unwin; London.
- Schwab, K., Zahidi, S., Baller, S., Crotti, R., Hingel, G., Brown, S., Di Battista, A., Pal, K. K., & Ratcheva, V. S. (2020). *The Global Competitiveness Report: Special Edition 2020*. World Economic Forum.
- Schwab, K., Zahidi, S., Geiger, T., Crotti, R., Brown, S., & Hingel, G. (2019). *The Global Competitiveness Report 2019*. World Economic Forum.
- Scrieciu, S., Rezai, A., & Mechler, R. (2013). On the economic foundations of green growth discourses: the case of climate change mitigation and macroeconomic dynamics in economic modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 2(3), 251–268.
- Simmons-Süer, B., Atukeren, E., & Busch, C. (2011). Elastizitäten und Substitutionsmöglichkeiten der Elektrizitätsnachfrage: Literaturübersicht mit besonderem Fokus auf den Schweizer Strommarkt-Studie im Auftrag der Economiesuisse. *KOF Studies*, 26.
- Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The review of Economics and Statistics*, 312–320.
- Spash, C. L. (2007). The economics of climate change impacts à la Stern: Novel and nuanced or rhetorically restricted? *Ecological Economics*, 63(4), 706–713.
- SPD, Grüne, FDP [Hrsg.]. (2021). *Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP)*.
- SPD [Hrsg.]. (1987). *Regierungsprogramm 1987–1990: Zukunft für alle – arbeiten für soziale Gerechtigkeit und Frieden*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Bonn.
- SPD [Hrsg.]. (1990). *Regierungsprogramm 1990–1994: Der neue Weg*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Bonn.
- SPD [Hrsg.]. (1994). *Das Regierungsprogramm der SPD: Reformen für Deutschland*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Bonn.
- SPD [Hrsg.]. (1998). *Wahlprogramm*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Bonn.
- SPD [Hrsg.]. (2002). *Regierungsprogramm 2002–2006: Erneuerung und Zusammenhalt*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Berlin.
- SPD [Hrsg.]. (2005). *Das Wahlmanifest der SPD: Vertrauen in Deutschland*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Berlin.

- SPD [Hrsg.]. (2009). *Das Regierungsprogramm der SPD: Sozial und demokratisch*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Berlin.
- SPD [Hrsg.]. (2013). *Das Regierungsprogramm 2013–2017: Das Wir entscheidet*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Berlin.
- SPD [Hrsg.]. (2017). *Unser Regierungsprogramm für Deutschland: Zeit für mehr Gerechtigkeit*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Berlin.
- SPD [Hrsg.]. (2021). *Das Zukunftsprogramm der SPD. Wofür wir stehen. Was uns antreibt. Wonach wir streben*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands; Berlin.
- SPD und Grüne [Hrsg.]. (1998). *Aufbruch und Erneuerung – Deutschlands Weg ins 21. Jahrhundert: Koalitionsvereinbarung zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und Bündnis 90/Die Grünen*. Sozialdemokratische Partei Deutschlands, Bündnis 90/Die Grünen; Berlin.
- Speck, S., & Jilkova, J. (2009). Design of environmental tax reforms in Europe. *Carbon-energy taxation: Lessons from Europe*, Mikael Skou Andersen, Paul Ekins [Hrsg.], 24–54.
- Springmann, F. (1986). *Steuerreform zum Abbau von Arbeitslosigkeit und Umweltbelastung: ein Szenario*. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung; Berlin.
- Starr, R. M. (2011). *General equilibrium theory: An introduction (second edition)*. Cambridge University Press; New York.
- Statistisches Bundesamt [Hrsg.]. (2021a). *Ausblick auf die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland und den Bundesländern nach dem Corona-Jahr 2020 – Erste mittelfristige Bevölkerungsvorausberechnung 2021 bis 2035*. Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt [Hrsg.]. (2021b). *Sterbetafel 2018/2020. Ergebnisse aus der laufenden Berechnung von Periodensterbetafeln für Deutschland und die Bundesländer*. Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt [Hrsg.]. (2023a). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Wichtige Zusammenhänge im Überblick*. Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt [Hrsg.]. (2023b). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen: Input-Output-Rechnung nach 12 Gütergruppen / Wirtschafts- und Produktionsbereichen (2019 (Revision 2019, Stand: August 2022))*. Statistisches Bundesamt.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., & others. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.

- Steiner, V., & Cludius, J. (2010). Ökosteuer hat zu geringerer Umweltbelastung des Verkehrs beigetragen. *DIW Wochenbericht*, 77(13/14), 2–7.
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University Press.
- Stern, N. (2016). Current climate models are grossly misleading. *Nature*, 530(7591), 407–409.
- Stocker, A., Großmann, A., Wolter, M. I., Pirgmaier, E., & Hinterberger, F. (2011). *Auswirkungen einer anhaltenden Wachstumsschwäche – Eine Szenarienanalyse (Endbericht)*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz; Wien.
- Su, X., Zhou, W., Nakagami, K., Ren, H., & Mu, H. (2012). Capital stock-labor-energy substitution and production efficiency study for China. *Energy Economics*, 34(4), 1208–1213.
- Tan, Z., Wu, Y., Gu, Y., Liu, T., Wang, W., & Liu, X. (2022). An overview on implementation of environmental tax and related economic instruments in typical countries. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129688.
- Ten Broeke, G., Van Voorn, G., & Ligtenberg, A. (2016). Which sensitivity analysis method should I use for my agent-based model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 19(1), 5.
- Tesfatsion, L. (2017). Modeling economic systems as locally-constructive sequential games. *Journal of Economic Methodology*, 24(4), 384–409.
- Thalmann, P., & Baranzini, A. (2008). Gradual introduction of coercive instruments in climate policy. In *Critical Issues in Environmental Taxation* (Bd. 5, S. 53–74). Oxford University Press.
- The Wall Street Journal [Hrsg.]. (2019, Januar 17). *Economists' Statement on Carbon Dividends*. <https://www.wsj.com/articles/economists-statement-on-carbon-dividends-11547682910>
- Tietenberg, T. H. (1990). Economic Instrument for Environmental Regulation. *Oxford Review of Economic Policy*, 6, 17–33.
- Tullock, G. (1967). Excess benefit. *Water Resources Research*, 3(2), 643–644.
- UBA [Hrsg.]. (2007). *Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten*. Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau.
- UBA [Hrsg.]. (2012). *Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten*, Umweltbundesamt. Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau.
- UBA [Hrsg.]. (2018). *Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Methodische Grundlagen*. Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau.

- UBA [Hrsg.]. (2020). *Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze* (S. 69). Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau.
- UBA [Hrsg.]. (2024). *Treibhausgas-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt*. Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/thg-projektionen_2024_ergebnisse_kompakt.pdf
- Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy policy*, 28(12), 817–830.
- van Den Bergh, J. C., & Button, K. J. (1997). Meta-analysis of environmental issues in regional, urban and transport economics. *Urban Studies*, 34(5–6), 927–944.
- van der Ploeg, F., Rezai, A., & Reanos, M. T. (2022). Gathering support for green tax reform: Evidence from German household surveys. *European Economic Review*, 141, 27.
- Van Parijs, P. (2017). Basic income. In *Basic Income*. Harvard University Press.
- Van Parijs, P. (2021). Climate change and the COVID-19 pandemic: crucial pushes or deadly blows for basic income? In *Soziale Sicherungssysteme im Umbruch* (S. 199–2017). Metropolis-Verlag.
- Vanberg, V. J. (2019). *Individual choice and social welfare – theoretical foundations of political economy: a research literature review*. Edward Elgar Publishing; Cheltenham (UK), Northampton (MA, USA).
- Varian, H. R. (2016). *Grundzüge der Mikroökonomik* (9. Auflage). De Gruyter Oldenbourg; Berlin/Boston.
- Vetter, H. (2016). *Technological Change in Growth and Degrowth Theory* [Master Thesis]. Universität Heidelberg; Heidelberg.
- Victor, P. A. (2008). *Managing without growth: Slower by design, not disaster*. Edward Elgar; Cheltenham.
- Victor, P. A. (2012). Growth, degrowth and climate change: A scenario analysis. *Ecological economics*, 84, 206–212.
- von Weizsäcker, E. U., & Jesinghaus, J. (1992). *Ecological Tax Reform*. Zed Books Ltd.; London & New Jersey. https://www.jj2007.eu/Ecological_Tax_Reform.htm
- Walras, M.-E.-L. (1874). *Elements of pure economics or the theory of social wealth*. Published for the American Economic Association and the Royal Economic Society by Richard D. Irwin, Inc; Homewood, Illinois. <https://archive.org/details/elementsofpureec0000walr/page/6/mode/2up>
- WBGU [Hrsg.]. (1994). *Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Hauptgutachten 1994 (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen)*. Economica; Bonn.

- WBGU [Hrsg.]. (2005). *Welt im Wandel: Armutsbekämpfung durch Umweltpolitik. Hauptgutachten 2004 (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen)*. Springer; Berlin, Heidelberg, New York.
- WBGU [Hrsg.]. (2006). *Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten 2006. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen*; Berlin.
- WBGU [Hrsg.]. (2011). *Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation: Hauptgutachten. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen*; Berlin.
- Weisz, H., & Duchin, F. (2006). Physical and monetary input–output analysis: what makes the difference? *Ecological Economics*, 57(3), 534–541.
- Weizsäcker, E. U. (1989). *Erdpolitik: Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt*. Wiss. Buchges; Darmstadt.
- Weizsäcker, E. U., Lovins, A. B., & Lovins, L. H. (1995). *Faktor vier: Doppelter Wohlstand – halbiertes Naturverbrauch; der neue Bericht an den Club of Rome*. Droemer Knaur; München.
- Wesseh, P. K., Lin, B., & Appiah, M. O. (2013). Delving into Liberia's energy economy: technical change, inter-factor and inter-fuel substitution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 122–130.
- Weyant, J. (2020). Some contributions of integrated assessment models of global climate change. *Review of Environmental Economics and Policy*.
- Wolde-Rufael, Y., & Mulat-Weldemeskel, E. (2021). Do environmental taxes and environmental stringency policies reduce CO₂ emissions? Evidence from 7 emerging economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 22392–22408.
- Wolf, S., Fürst, S., Mandel, A., Lass, W., Lincke, D., Pablo-Marti, F., & Jaeger, C. (2013). A multi-agent model of several economic regions. *Environmental modelling & software*, 44, 25–43.
- Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory econometrics: A modern approach (sixth edition)*. Cengage Learning; Boston.
- World Bank [Hrsg.]. (2021). *State and Trends of Carbon Pricing 2021*. World Bank; Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620>
- World Commission on Environment and Development [Hrsg.]. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press; Oxford.
- Wu, H., Hao, Y., & Ren, S. (2020). How do environmental regulation and environmental decentralization affect green total factor energy efficiency: Evidence from China. *Energy Economics*, 91, 104880.

- Wu, R., & Lin, B. (2022). Environmental regulation and its influence on energy-environmental performance: evidence on the Porter Hypothesis from China's iron and steel industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105954.
- Yu, B., Zhao, Q., & Wei, Y.-M. (2021). Review of carbon leakage under regionally differentiated climate policies. *Science of The Total Environment*, 146765.
- Zerzawy, F., & Fiedler, S. (2019). *Ein Preis für CO₂: Vergleich verschiedener Konzepte zur CO₂-Bepreisung im Rahmen der Energiesteuer*. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FÖS); Berlin.
- Zerzawy, F., & Fiedler, S. (2020). *Die Lücke schließen: Auswirkungen eines CO₂-Preises von 180 Euro/t im Jahr 2020*. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) & Energy Brainpool.
- Zhai, M., Huang, G., Liu, L., Guo, Z., & Su, S. (2021). Segmented carbon tax may significantly affect the regional and national economy and environment – a CGE-based analysis for Guangdong Province. *Energy*, 231, 120958.
- Zhang, B., & DeAngelis, D. L. (2020). An overview of agent-based models in plant biology and ecology. *Annals of Botany*, 126(4), 539–557.
- Zhao, S., Cao, Y., Feng, C., Guo, K., & Zhang, J. (2022). How do heterogeneous R&D investments affect China's green productivity: Revisiting the Porter hypothesis. *Science of the Total Environment*, 825, 154090.
- Zhong, S., & Su, B. (2021). Assessing the effects of labor market dynamics on CO₂ emissions in global value chains. *Science of the Total Environment*, 768, 144486.

16 Abbildungsnachweis

- Abbildung 1 Quelle: Statistisches Bundesamt (2021b, S. 14), siehe <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Sterbefaelle-Lebenserwartung/Publikationen/Downloads-Sterbefaelle/periodensterbetafel-erlaeuterung-5126203207004.pdf> (18.01.2024).
- Abbildung 2–4 Eigene Darstellungen.
- Abbildung 5 Eigene Darstellung, Quellen: Gesundheitsberichterstattung des Bundes zur Entwicklung der Beitragssätze in der Sozialversicherung: <https://www.gbe-bund.de/gbe/> (27.03.2024) und Lohn-Info zur Entwicklung der Beitragssätze in der Sozialversicherung: <https://www.lohn-info.de/beitragsberechnung.html> (27.03.2024).
- Abbildung 6 Eigene Darstellung.
- Abbildung 7 Eigene Darstellung, Quelle: Bär et al. (2022, S. 8).
- Abbildung 8 Quelle: Deutsche Bundesbank [Hrsg.] (2022a, S. 52): „Basierend auf den Deflatoren des Gesamtabsatzes. Länderkreis: Belgien, Dänemark, Estland (ab 2011), Finnland, Frankreich, Griechenland (ab 2001), Vereinigtes Königreich, Irland, Italien, Lettland (ab 2014), Litauen (ab 2015), Luxemburg, Malta (ab 2008), Niederlande, Österreich, Portugal, Schweden, Slowakei (ab 2009), Slowenien (ab 2007), Spanien, Zypern (ab 2008), Norwegen, Schweiz, Japan, Kanada und USA. 1 Anstieg der Kurve (Rückgang der Werte) kennzeichnet Zunahme der Wettbewerbsfähigkeit. • = Letzter Stand: 9. Dezember 2022.“, siehe <https://www.bundesbank.de/resource/blob/859932/7db7d7359b3d7eb2d0f719fd7fe1b728/mL/2022-12-energiepreisanstieg-data.pdf> (18.01.2024).
- Abbildung 9–10 Eigene Darstellungen.
- Abbildung 11 Eigene Darstellung auf Basis der Weltbankdaten. Siehe <https://data.worldbank.org/> (18.01.2024).
- Abbildung 12 Eigene Darstellung auf Basis der Weltbankdaten. Länderauswahl: alle G20-Staaten und europäische Länder mit mehr als 10 Mio. Einwohner:innen.

- Abbildung 13 Eigene Darstellung auf Basis der Weltbankdaten. Siehe <https://data.worldbank.org/> (18.01.2024).
- Abbildung 14 Eigene Darstellung auf Basis der Weltbankdaten. In aktuellen Preisen (2021), kaufkraftbereinigt (PPP). Siehe <https://data.worldbank.org/> (18.01.2024).
- Abbildung 15–64 Eigene Darstellungen.

17 Tabellennachweis

Tabelle 1	Eigene Darstellung, Quelle: Schlegelmilch (2014, S. 214).
Tabelle 2	Eigene Darstellung.
Tabelle 3	Eigene Darstellung, Daten aggregiert von Eurostat [ENV_AC_AINAH_R2], Daten am 20.12.2022 abgerufen: https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database (27.03.2024).
Tabelle 4	Eigene Darstellung, Quelle: Bach et al. (2019, S. 8).
Tabelle 5–12	Eigene Darstellung.
Tabelle 13	Eigene Darstellung auf Basis der Weltbankdaten. In aktuellen Preisen (2021), kaufkraftbereinigt (PPP). Siehe https://data.worldbank.org/ (18.01.2024).
Tabelle 14	Eigene Darstellung auf Basis der Weltbankdaten. In aktuellen Preisen (2021), kaufkraftbereinigt (PPP). Siehe https://data.worldbank.org/ (18.01.2024).
Tabelle 15	Eigene Darstellung, BIP in Preisen von 2019, Quelle der BIP-Daten: Statistisches Bundesamt [Hrsg.] (2023), Quelle der Einwohnerzahlen und THG-Emissionen (wie im Kapitel 12.3 „Deskriptive Statistiken zum technologischen Potenzial“): Weltbank, siehe https://data.worldbank.org/ (18.01.2024).
Tabelle 16+17	Eigene Darstellung.
Tabelle 18	Eigene Darstellung der Daten des Statistischen Bundesamts (2023), siehe „Inländische Produktion und Importe“.
Tabelle 19	Eigene Darstellung, Quelle: Eurostat [ENV_AC_AINAH_R2], Daten am 20.12.2022 abgerufen: https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database (27.03.2024).
Tabelle 20	Eigene Darstellung.

18 Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei meinem Betreuer Hans Diefenbacher bedanken. Die Gespräche und Rückmeldungen habe ich immer als durchdacht und konstruktiv empfunden. Ohne ihn würde ich heute nicht hier stehen. Bei Claudius Gräbner-Radkowsch möchte ich mich für den fruchtbaren Austausch und die punktgenauen Hinweise bei der Betreuung der Modellierung des agentenbasierten Modells sowie für die Bereitschaft zur Erstellung des Gutachtens bedanken. In dieser besonderen Situation möchte ich mich auch ausdrücklich bei Zeno Enders und Sebastian Rausch für die Übernahme der Begutachtung bedanken.

Von den vielen Personen, denen ich für die Unterstützung auf dem Weg der Doktorarbeitsstellung dankbar bin, will ich stellvertretend zwei nennen: zum einen Anja Janischewski, weil sie mir klar machte, dass es sich lohnt, an den Themen dranzubleiben, für die man Begeisterung hat. Zum anderen möchte ich mich bei Kate Jürgens für den klugen und kontinuierlichen Support bedanken.

Zu guter Letzt gilt Sarah großer Dank für ihren Rückhalt. Da es nicht möglich ist, dieser Unterstützung adäquat mit Worten zu begegnen, sage ich zumindest, was ich sagen kann: von ganzem Herzen Danke!

19 Appendix

19.1 Technischer Anhang von Kapitel 11 (Input-Output-Modell)

19.1.1 Nomenklatur

Hinweise zur Nomenklatur:

1. Großbuchstaben stehen in der Regel für Matrizen: bspw. Matrix Z
2. Kleinbuchstaben stehen in der Regel für Vektoren: bspw. Vektor v
3. Vektoren mit „Dach“ repräsentieren eine Diagonalmatrix des zugehörigen Vektors: bspw. ist $\hat{v}$ die Diagonalmatrix von Vektor v
4. Vektoren mit Strich sind Zeilenvektoren (bspw. v'), Vektoren ohne Strich Spaltenvektoren (bspw. v)

Variablen:

f	Physische letzte Verwendung (Vektor)
y	Monetäre letzte Verwendung (Vektor) (entspricht BIP)
x	Monetäre Gesamtproduktion (gesamte Verwendung bzw. Gesamtoutput nach Sektoren) (Vektor)
Z	intersektorale Vorprodukte (nach Sektoren, monetär) (Matrix), $Z = A \cdot \hat{x}$
V	primäre Inputs (nach Sektoren, monetär) (auch Wertschöpfung, engl. „Value Added“) (Matrix)
v	primäre Inputs (nach Sektoren, monetär) (Spaltensummen von V) (Vektor)
$\Delta v\%$	prozentuale Veränderung der primären Inputs, $\Delta v\% = \frac{(v_{neu} - v_{alt})}{v_{alt}}$
ε	Preiselastizität der Nachfrage (nach Sektoren) (Vektor), $\varepsilon = -\frac{(f_1 - f_0)/f_0}{\Delta p\%}$
p	Preisvektor
$\Delta p\%$	Prozentuale Preisänderung (Vektor)
I	Identitätsmatrix (die Diagonale besteht aus Einsen, alle Außendiagonalen aus Nullen)
A	Inputkoeffizientenmatrix (Technologiematrix aller Sektoren)
k'	normalisierte primäre Inputs (Vektor)
T_{THG}	THG-Zusatz der Gütersteuern (nach Sektoren) (Vektor)
t_{THG}	THG-Preis (Skalar)

φ_L Arbeitsintensität (nach Sektoren) (Vektor), $\varphi_{L,i} = \frac{L}{x_i}$ (für Sektor i)

L Zahl der Beschäftigten (nach Sektoren) (Vektor), $L = \varphi_L x$

Indices:

0: ursprüngliche Periode (Startwerte) (ohne Index ebenfalls Periode 0)

0.1: Zwischenschritt

1: Periode nach Anpassungen (Ergebniswerte)

19.1.2 Validierung

19.1.2.1 Input-Output-Tabelle

Tabelle 18: Input-Output-Tabelle für Deutschland 2019 (in Mill. EUR)

Produktionsbereiche* (1-12)	Input der Produktionsbereiche									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gütergruppen (1 bis 12)										
1	9.812	42	42.927	23	0	0	2.676	7	0	1.008
2	126	2.491	696	6.419	1.043	195	42.963	13.306	2.735	901
3	2.303	6	36.612	1.804	0	0	50	7	0	14.386
4	2.536	376	1.085	81.288	2.621	3.259	31.862	518	3.597	1.184
5	963	208	922	401	98.928	18.003	14.040	4.424	15.141	4.001
6	332	3	0	0	5.570	145.603	3.280	123	0	7.699
7	2.700	1.827	8.735	13.389	57.219	69.215	232.299	6.793	69.382	39.649
8	1.940	1.196	5.691	5.654	3.715	2.610	35.151	43.106	1.414	19.866
9	996	302	1.129	928	1.607	961	4.360	8.685	31.970	11.380
10	6.070	1.341	28.347	11.830	40.023	54.115	54.874	7.915	28.831	259.116
11	9.339	2.230	23.715	19.416	48.146	34.167	59.736	26.499	53.178	170.115
12	557	516	2.309	1.702	3.150	3.222	4.936	12.109	5.678	8.264
Vorleistungen der Produktionsbereiche	37.674	10.538	152.168	142.854	262.022	331.350	486.227	123.492	211.926	537.569
Gütersteuern abzüglich Gütersubventionen	1.414	235	1.255	989	1.951	1.198	2.087	2.364	2.152	12.239
Vorleistungen der Produktionsbereiche zu Anschaffungspreisen	39.088	10.773	153.423	143.843	263.973	332.548	488.314	125.856	214.078	549.808
Arbeitnehmerentgelt im Inland	7.570	5.026	33.421	23.571	108.864	61.343	143.506	31.561	90.965	348.646
darunter: Bruttolöhne und -gehälter	6.346	3.762	28.126	18.701	90.261	49.623	120.868	25.044	76.282	293.054
Sonstige Produktionsabgaben	-5.426	-1.129	-25	315	174	121	291	-1.837	208	1.161
Abschreibungen	11.086	1.996	5.623	11.382	25.245	35.675	23.024	28.172	6.845	62.979
Nettobetriebsüberschuss	12.573	1.140	3.933	13.240	24.530	17.464	29.121	28.580	63.243	123.363
Bruttowertschöpfung	25.803	7.033	42.952	48.508	158.813	114.603	195.942	86.476	161.261	536.149
Produktionswert	64.891	17.806	196.375	192.351	422.786	447.151	684.256	212.332	375.339	1.085.957
darunter: Firmeninterne Lieferungen und Leistungen	6.025	8.135	6.073	34.025	490	31.269	62.002	4.067	0	0
Importe gleichartiger Güter zu cif-Preisen	34.947	79.616	62.330	155.345	288.357	165.317	317.290	13.168	1.829	77.412
darunter aus der Europäischen Union	21.267	25.185	49.334	96.516	130.190	124.589	184.114	10.858	1.499	45.616
Gesamtes Aufkommen an Gütern	99.838	97.422	258.705	347.696	711.143	612.468	1.001.546	225.500	377.168	1.163.369

* Die Abgrenzung der Produktionsbereiche entspricht derjenigen für Gütergruppen.

[illegible]

19.1.2.2 THG-Emissionen

Tabelle 19: THG-Emissionen nach NACE Rev. 2 für Deutschland 2019 (t CO_{2e})

Code	NACE Rev. 2-Labels	NACE Rev. 2	Zwischen- summe	12- Sektoren- Zuteilung	12- Sektoren- Emissionen
	Total - all NACE activities		664.510.073		664.510.073
A	Agriculture, forestry and fishing		63.243.917	1	63.243.917
A01	Crop and animal production, hunting and related service activities	62.753.996			0
A02	Forestry and logging	461.993			0
A03	Fishing and aquaculture	27.929			0
B	Mining and quarrying	4.450.634	4.450.634	2	4.450.634
C	Manufacturing		199.551.165	Detail- Zuteilung	
C10-C12	Manufacture of food products; beverages and tobacco products	12.292.106		3	12.292.106
C13-C15	Manufacture of textiles, wearing apparel, leather and related products	877.806		7	877.806
C16	Manufacture of wood and of products of wood and cork, except furniture; manufacture of articles of straw and plaiting materials	631.544		7	631.544
C17	Manufacture of paper and paper products	9.361.032		7	9.361.032
C18	Printing and reproduction of recorded media	847.647		7	847.647
C19	Manufacture of coke and refined petroleum products	31.986.290		7	31.986.290
C20	Manufacture of chemicals and chemical products	27.555.033		4	27.555.033
C21	Manufacture of basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations	1.185.342		4	1.185.342
C22	Manufacture of rubber and plastic products	2.674.760		7	2.674.760
C23	Manufacture of other non-metallic mineral products	36.349.137		7	36.349.137
C24	Manufacture of basic metals	59.125.307		7	59.125.307
C25	Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment	2.912.888		7	2.912.888
C26	Manufacture of computer, electronic and optical products	1.098.651		5	1.098.651
C27	Manufacture of electrical equipment	948.555		5	948.555
C28	Manufacture of machinery and equipment n.e.c.	2.699.728		5	2.699.728
C29	Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	7.220.157		6	7.220.157
C30	Manufacture of other transport equipment	559.990		6	559.990
C31-C32	Manufacture of furniture; other manufacturing	869.864		7	869.864
C33	Repair and installation of machinery and equipment	355.328		7	355.328
D	Electricity, gas, steam and air conditioning supply	222.321.554	222.321.554	8	222.321.554
E	Water supply; sewerage, waste management and remediation activities		17.935.394	8	17.935.394
E36	Water collection, treatment and supply	75.746			0
E37-E39	Sewerage, waste management, remediation activities	17.859.648			0
F	Construction	9.648.158	9.648.158	9	9.648.158
G	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles		17.652.035	10	17.652.035
G45	Wholesale and retail trade and repair of motor vehicles and motorcycles	1.826.730			0
G46	Wholesale trade, except of motor vehicles and motorcycles	7.654.921			0
G47	Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles	8.170.384			0
H	Transportation and storage		96.072.667	10	96.072.667
H49	Land transport and transport via pipelines	16.928.542			0
H50	Water transport	34.935.878			0
H51	Air transport	29.490.826			0
H52	Warehousing and support activities for transportation	10.119.628			0
H53	Postal and courier activities	4.597.792			0

Tabelle 19: THG-Emissionen nach NACE Rev. 2 für Deutschland 2019 (t CO₂e) (Fortsetzung)

Code	NACE Rev. 2-Labels	NACE Rev. 2	Zwischen- summe	12- Sektoren- Zuteilung	12- Sektoren- Emissionen
I	Accommodation and food service activities	2.919.983	2.919.983	10	2.919.983
J	Information and communication		1.567.003	11	1.567.003
J58	Publishing activities	369.393			0
J59_J60	Motion picture, video, television programme production; programming and broadcasting activities	296.336			0
J61	Telecommunications	264.530			0
J62_J63	Computer programming, consultancy, and information service activities	636.744			0
K	Financial and insurance activities		1.523.133	11	1.523.133
K64	Financial service activities, except insurance and pension funding	815.986			0
K65	Insurance, reinsurance and pension funding, except compulsory social security	481.643			0
K66	Activities auxiliary to financial services and insurance activities	225.505			0
L	Real estate activities	572.694	572.694	11	572.694
	Imputed rents of owner-occupied dwellings				0
M	Professional, scientific and technical activities		4.394.108	11	4.394.108
M69_M70	Legal and accounting activities; activities of head offices; management consultancy activities	2.226.457			0
M71	Architectural and engineering activities; technical testing and analysis	1.084.063			0
M72	Scientific research and development	239.554			0
M73	Advertising and market research	390.824			0
M74_M75	Other professional, scientific and technical activities; veterinary activities	453.209			0
N	Administrative and support service activities		1.190.705	11	1.190.705
N77	Rental and leasing activities	360.346			0
N78	Employment activities	149.352			0
N79	Travel agency, tour operator and other reservation service and related activities	146.702			0
N80-N82	Security and investigation, service and landscape, office administrative and support activities	534.306			0
O	Public administration and defence; compulsory social security	5.292.793	5.292.793	12	5.292.793
P	Education	3.276.641	3.276.641	12	3.276.641
Q	Human health and social work activities		6.495.974	12	6.495.974
Q86	Human health activities	3.623.284			0
Q87_Q88	Residential care activities and social work activities without accommodation	2.872.690			0
R	Arts, entertainment and recreation		964.351	12	964.351
R90-R92	Creative, arts and entertainment activities; libraries, archives, museums and other cultural activities; gambling and betting activities	507.549			0
R93	Sports activities and amusement and recreation activities	456.802			0
S	Other service activities		5.437.137	12	5.437.137
S94	Activities of membership organisations	2.337.477			0
S95	Repair of computers and personal and household goods	234.842			0
S96	Other personal service activities	2.864.818			0
T	Activities of households as employers; undifferentiated goods- and services-producing activities of households for own use	27	27	12	27
U	Activities of extraterritorial organisations and bodies	0	0	12	0
TOTAL_HH	All NACE activities plus households		861.148.723		
HH	Total activities by households		196.638.650		
HH_HEAT	Heating/cooling activities by households	88.015.372			
HH_TRA	Transport activities by households	106.795.887			
HH_OTH	Other activities by households	1.827.391			

In Tabelle 19 sind die bereits angesprochenen Emissionen der Haushalte ersichtlich. Diese ca. 197 Mio. t CO₂e sind 22,8% aller THG-Emissionen in Deutschland eines Jahres. Das heißt für die ÖSR werden die 77,2% der Emissionen modelliert, welche den Sektoren zugeordnet werden können.

19.2 Technischer Anhang von Kapitel 12 (agentenbasiertes Modell)

19.2.1 Variablen und Validierung

Nachfolgend ist eine Liste aller Modellvariablen, auch jener, die bisher nicht in Erscheinung getreten sind und eher technische Funktionen erfüllen. Hierbei wurden Werte und Begründungen angegeben, sofern es Startwerte gibt. Manche Variablen berechnen sich allerdings vollständig endogen, in diesen Fällen ist kein Wert angegeben, sondern stattdessen steht *endogen* in dieser Spalte.²¹³ Wenn Monatswerte benötigt werden, sind diese in Klammern ergänzt.

²¹³ Beim Begriff der Endogenität ist zu ergänzen: Von den Variablen mit Startwert könnten weitere Variablen als endogen bezeichnet werden, da sie sich im Laufe der Simulation abhängig von anderen Variablen modellinhärent entwickeln.

Tabelle 20: Modellvariablen und -parameter

Symbol	Beschreibung	Wert (Monat)	Begründung/Quelle
Allgemein			
n_{sim}	Anzahl Durchläufe des vollständigen Modells	10	Es werden mehrere Durchläufe für alle Szenarien durchgeführt, um mögliche Pfadabhängigkeiten zu identifizieren und Zufallsereignisse zu mitteln.
n_T	Anzahl Monate insgesamt	273	Die Simulation besteht aus der Burn-in-Phase (21 Perioden), aus einer Phase ohne Reform (3 Jahre), aus der Reformphase (15 Jahre) und schließt ab mit einer Phase ohne Reform (3 Jahre). Mit einem Startjahr 2024, ergäbe sich das Zieljahr 2045. Hinweis: Die meisten Angaben sind für 2022 gemacht, da es keine aktuelleren Werte gab. Das gilt es bei der Interpretation zu beachten.
n_{reform}	Anzahl Monate der Reformphase	180	15 Jahre (davor und danach drei Jahre ohne Reform).
n_{burn}	Anzahl Monate der Burn-in-Phase	21	
n_{firm}	Anzahl Unternehmen	100	
n_{hh}	Anzahl Haushalte	1000	
Y	Gesamtumsatz, entspricht nominalem BIP [in Mio. EUR]	3.876.800 (323.100)	Bei der Szenarioanalyse geht es um die Unterschiede verschiedener Szenarien. Eine allgemeine Steigerung des BIP in der langen Frist wird daher nicht angenommen, da sie in allen Szenarien gleichermaßen anzunehmen wäre und somit keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn verspricht. Durch Prozessinnovationen können im Modell jedoch höhere Stückzahlen an Gütern erreicht werden. Siehe Statistisches Bundesamt (2023) für das Jahr 2022.

Tabelle 20: Modellvariablen und -parameter (Fortsetzung)

Symbol	Beschreibung	Wert (Monat)	Begründung/Quelle
<i>SHORTLIST</i>	Short List (Auswahlliste)	enthält Unternehmen	Funktion eines Containers, in dem die aktuell präferierten Unternehmen stehen.
Haushalte			
<i>AB</i>	Kontostand der Haushalte (Account Balance)	endogen	
<i>C</i>	verfügbares Einkommen C je Haushalt (Verwendung für Konsum) [in Mio. EUR]	3.876,8 (323,1)	Startwert: Zu Beginn wird das gesamte Einkommen den Haushalten zugeschrieben. Im Verlauf der ersten Periode wird ein Teil davon für Investitionen verwendet, sodass sich für das verfügbare Einkommen der anvisierte Wert von ca. 75% des BIP einstellt. Siehe Statistisches Bundesamt (2023) für den Startwert.
<i>w_{start}</i>	Arbeitskostensatz (Startwert) [in Mio. EUR/Tsd. Erwerbstätige]	42,1	Der Startwert der Lohnkosten pro Erwerbstätigen ergibt sich aus der Division der Arbeitskosten und der Anzahl der Erwerbstätigen ($= L_{cost}/L$).
ξ	Lohnquote (Anteil der Gesamtarbeitskosten am Umsatz)	50%	Die Lohnquote ergibt sich aus den Arbeitnehmerentgelt der VGR anteilig zum BIP gesamt. Die daraus resultierenden 52,2% werden auf 50% gerundet. Siehe Statistisches Bundesamt (2023) für das Jahr 2022.
<i>L_{cost}</i>	Gesamtarbeitskosten [in Mio. EUR]	1.938.400	Berechnet sich aus der Multiplikation der Lohnquote (bzw. Arbeitskostenquote) und dem Gesamtumsatz ($= \xi \cdot Y$). Siehe Statistisches Bundesamt (2023) für das Jahr 2022.

Tabelle 20: Modellvariablen und -parameter (Fortsetzung)

Symbol	Beschreibung	Wert (Monat)	Begründung/Quelle
L	Anzahl Erwerbstätige [in Tsd.]	46.000	Startwert: Die Anzahl der Erwerbstätigen ist im Modell endogen, da sie über die Arbeitsnachfrage ermittelt wird. Dennoch ist ein Startwert erforderlich. Die 45.596 Tsd. Erwerbstätige werden auf 46.000 Tsd. gerundet. Siehe Statistisches Bundesamt (2023) für das Jahr 2022.
Unternehmen			
CA	Kontostand der Unternehmen (Current Account)	endogen	
τ_{start}	THG-Steuersatz (Startwert) [in Mio. EUR/Tsd. t CO ₂ e]	0,060	Preise für THG-Emissionen werden durch den EU ETS (74,1 EUR/t CO ₂ e für 2022) und den nEHS (27,2 EUR/t CO ₂ e für 2022) bestimmt. Die Werte insgesamt liegen dazwischen. Ein solcher mittlerer Wert wird als Startwert aufgerundet auf 60 EUR/t CO ₂ e. Quelle: Rahmendaten für den Projektionsbericht 2023 (Datentabelle), siehe https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rahmendaten-fuer-den-projektionsbericht-2023 (14.02.2024).
τ_{end}	THG-Steuersatz (Endwert) [in Mio. EUR/Tsd. t CO ₂ e]	0,400	Die höheren Zielwerte von 400 EUR/t CO ₂ e werden herangezogen, um sichtbare Effekte zu erzielen.
GHG_{cost}	Gesamtkosten THG-Emissionen	47.340	Die Gesamtkosten für THG-Emissionen berechnen sich als Produkt von Preis und Menge ($= \tau_{start} \cdot GHG$).

Tabelle 20: Modellvariablen und -parameter (Fortsetzung)

Symbol	Beschreibung	Wert (Monat)	Begründung/Quelle
GHG	THG-Emissionen [in Tsd. t CO ₂ e]	789.000 (65.750)	Der Startwert der THG-Emissionen ist exogen, die THG-Emissionen im Modell werden jedoch modellinhärent ermittelt. Die THG-Steuern bzw. Preise durch Emissionshandel werden von den Betriebskosten (d.h. anderen Kosten, Steuern und Abgaben) her ausgelöst, weil sonst eine THG-Vermeidung auch die Vermeidung der anderen Kosten, Steuern oder Abgaben bedeuten würde, diese Komponenten aber unabhängig bleiben sollen. Quelle: Emissionsdaten (env_ac_ainah_r2) von Eurostat (2023) für das Jahr 2022.
μ	Betriebskostenanteil des Umsatzes	25%	Fester Anteil des Umsatzes, der für die Betriebskosten ausgegeben wird. Dieser Anteil ergibt sich als Restgröße und liegt bei 25%, da 50% für Arbeitskosten und 25% für Investitionen abgehen.
B	Betriebskosten [in Mio. EUR]	969.200	Ausgaben für Betriebskosten (inkl. Steuern, Abgaben und anderen Produktionskosten, lediglich exkl. Arbeitskosten, THG-Ausgaben, Investitionen und Gewinn). Residuum des Umsatzes (Umsatz ohne Arbeitskosten und Investitionen). Wird als Produkt aus Betriebskostenanteil und Umsatz ermittelt ($= \mu \cdot Y$).
ψ	Anteil des Umsatzes für Investitionen bzw. Investitionsquote	25%	Wird durch die Division der Investitionen und den Umsatz gebildet. Da der Außenbeitrag unberücksichtigt bleibt, wird statt des BIP aus der VGR die Summe von Konsum und Investitionen herangezogen, welche ca. ein Viertel ist. Siehe Statistisches Bundesamt (2023) für das Jahr 2022.
I_{ATI}	Zu investierender Betrag (Amount to be invested)	endogen	

Tabelle 20: Modellvariablen und -parameter (Fortsetzung)

Symbol	Beschreibung	Wert (Monat)	Begründung/Quelle
I	Gesamtinvestitionen	969.200 (80.767)	Produkt aus der Investitionsquote und dem Umsatz ($= \psi \cdot Y$).
p	Stückpreis zu Beginn [in Mio. EUR/Stück]	1,00	Brutto-Preis für ein Gut. Berechnet sich aus dem Produkt aus dem Preisaufschlagsfaktor und den marginalen Kosten ($= \alpha \cdot MC$).
y	Gesamtstückzahl (Output) [in Stück]	3.876.800	Berechnet sich als Quotient aus Umsatz und Preis ($= Y/p$).
y_{capa}	Produktionskapazität [in Stück]	endogen	Wird über die Leontief-Produktionsfunktion berechnet: $y = F(K, L) = \min\{\lambda_L L; \lambda_K K\}$.
MC	Grenzkosten (marginal cost) [in Mio. EUR/Stück]	0,51	$= w/\lambda_L + \tau/\lambda_{GHG}$
α	Preisaufschlag (price markup) auf die marginalen Kosten	1,95	Fester Preisaufschlag (price markup) auf die marginalen Kosten. Der Startwert berechnet sich aus dem Preis und den marginalen Kosten ($= p/MC$). Über dieses Markup müssen die Abschreibungen ausgeglichen werden, damit keine Verluste entstehen.
δ	Abschreibungsrate p.a.	10% (0,83%)	Laut Baldwin et al. (2005, S. 71) eignet sich ein Mittelwert von 10% p.a. (0,83% pro Monat).
$\bar{K}$	Konvergenzwert des Gesamtkapitals	9.692.000	Bei gegebenen Parametern (unter anderem Investitionsquote) konvergiert der Kapitalstock in der langen Frist gegen diesen Wert. Als Startwert wird für das Kapital daher ein geringerer Wert verwendet.
K_0	Startwert Kapital (eines Unternehmens)	65.000	Entspricht dem Quotienten des Gesamtkapitals und der Anzahl der Unternehmen zum Zeitpunkt 0 ($= K_{total}/n_{firm}$).

Tabelle 20: Modellvariablen und -parameter (Fortsetzung)

Symbol	Beschreibung	Wert (Monat)	Begründung/Quelle
λ_K	Kapitalproduktivität [in Stück/Mio. EUR]	0,40	Quotient aus Output und Kapital ($= y/K$). Gibt an, wie viele Güter bei gegebenem Kapital maximal produziert werden können. Dabei ist sicherzustellen, dass es mehr Angebot als Nachfrage gibt, weil nur so in dem gegebenen Modellrahmen Konkurrenz bestehen. Gibt es mehr Nachfrage als Angebot, werden auch teure Unternehmen alle Produkte los.
λ_L	Arbeitsproduktivität [in Stück/Tsd. Erwerbstätige]	84,28	Startwert, der sich durch technologische Entwicklung verändert. Quotient aus Output und Anzahl Erwerbstätige ($= y/L$). Kehrwert der Arbeitsintensität, d.h. Anzahl Erwerbstätige je Stück.
λ_{GHG}	THG-Output-Relation [in Stück/Tsd. t CO ₂ e]	4,91	Startwert, der sich durch technologische Entwicklung verändert. Quotient aus Output und THG-Emissionen ($= y/GHG$). Kehrwert der THG-Intensität, d.h. THG-Emissionen je Stück.
Π_{brutto}	Bruttogewinn [in EUR]	endogen	Die Erlöse Y abzüglich der Betriebskosten B und den variablen Kosten (Stückzahl multipliziert mit den marginalen Kosten)
Π_{netto}	Nettogewinn [in EUR]	endogen	Bruttogewinn abzgl. Investitionsausgaben
Δ_{dl}	zusätzliches verfügbares Einkommen durch Ökobonus	endogen	

Tabelle 20: Modellvariablen und -parameter (Fortsetzung)

Symbol	Beschreibung	Wert (Monat)	Begründung/Quelle
Technologie			
ω_0	Technologieparameter: Verhältnis von Schlauch- breite zur Kreisgröße	20%	Bestimmt das Verhältnis der Schlauchbreite zur Kreisgröße. Bei einem Wert von 100% ist der Schlauch so groß wie der Kreis, so dass alle Werte innerhalb des Kreises berücksichtigt werden. Bei einem Wert von 1% wird der Kreis so weit beschnitten, dass nur eine schmale Linie übrigbleibt. Das heißt, bei einem Wert von 10% ist die Fläche der möglichen Entwicklungswerte neuer Technologien eher schlauchförmig, bei einem Wert von 50% eher kreisförmig.
		10% (Szen. B.1 und B.1+)	
		30% (Szen. B.3 und B.3+)	
ω_L	Technologisches Poten- zial Arbeit: Verbesserung der Arbeitsproduktivität	0,330/12*250	Multiplikator für die Verbesserungsgröße $\delta_{L,\%}$. Der Parameter gibt die Dehnung des zufällig ermittelten neuen Wertes $\delta_{L,\%}$ an.
		0,330/12*970 (Szen. B.1 und B.1+)	
		0,330/12*109 (Szen. B.3 und B.3+)	
ω_{GHG}	Technologisches Poten- zial THG: Verbesserung der THG-Output-Relation	0,063/12*195	Multiplikator für die Verbesserungsgröße $\delta_{GHG,\%}$. Der Parameter gibt die Dehnung des zufällig ermittelten neuen Wertes $\delta_{GHG,\%}$ an.
		0,063/12 * 770 (Szen. B.1 und B.1+)	
		0,063/12*86 (Szen. B.3 und B.3+)	

19.2.2 Nähere Beschreibung der Methoden

19.2.2.1 Zentrale Methoden der Haushalte

Methoden sind in der objektorientierten Programmierung Prozeduren, die von übergeordneten Objekten ausgeführt werden können. Haushalte und Unternehmen sind im vorliegenden Fall die Objekte bzw. Klassen, von denen die Methoden ausgeführt werden können.

1. Ersetze das teuerste Unternehmen der Auftragsliste:

Das teuerste Unternehmen wird durch ein zufälliges Unternehmen der Liste der vorhandenen Unternehmen mit Kapazität ersetzt. Das Ersetzen eines Unternehmens auf der Shortlist ist nur so lange möglich, wie es Unternehmen im Pool der vorhandenen Unternehmen mit Kapazität gibt. Ist dieser Pool leer, wird die Suche abgebrochen.

2. Prüfe die Kapazität der Unternehmen der Auftragsliste, ersetze sie ggf. und kaufe Güter als Konsumgüter:

Die Kapazität der Unternehmen der Auftragsliste wird einzeln geprüft. Gegebenenfalls wird das geprüfte Unternehmen auf der Auftragsliste durch ein anderes der Unternehmen mit potenziell ausreichenden Kapazitäten ersetzt. Dieser Schritt wird so oft wie notwendig durchgeführt, um ein Unternehmen mit Kapazitäten zu finden. Gibt es keine Unternehmen mit Kapazitäten mehr bzw. auf Modellebene, dass die Liste der Unternehmen mit Kapazitäten leer ist, dann wird das zuletzt ausgewählte Unternehmen verwendet.

Anschließend kauft der jeweilige Haushalt beim bestätigten Unternehmen: Wenn die Produktionskapazität des Unternehmens nur teilweise reicht, wird die vorhandene Kapazität abgeschöpft. Wenn sie vollständig reicht, wird der ganze abgefragte Betrag eingesetzt, um Güter zu kaufen. Dabei wird dokumentiert, wie häufig es vorkommt, dass kein Unternehmen mit ausreichend Kapazitäten gefunden werden konnte.

Beim Kauf entstehen für die Unternehmen Kosten durch den Produktionsfaktor Arbeit L und durch die Besteuerung der THG-Emissionen GHG . Die Einnahmen überschreiten jedoch diese Kosten, da bei der Ermittlung des Preises ein Aufschlag (*markup*) hinzukommt. Daher entstehen beim Kauf durch die Haushalte Bruttogewinne. Unter Bruttogewinn wird der Gewinn durch den Verkauf ohne Abzug der Investitionen in Kapital verstanden. Nettoge-

winn ist entsprechend der Gewinn nach Abzug der Investitionen. Dokumentiert werden die resultierende Arbeitsnachfrage L_{sum} und die resultierenden THG-Emissionen GHG_{sum} .

19.2.2.2 Zentrale Methoden der Unternehmen

1. Ersetze das teuerste Unternehmen der Auftragsliste:

Analog zur Methode bei den Haushalten wird hierbei das teuerste Unternehmen durch ein zufälliges Unternehmen der Liste der vorhandenen Unternehmen mit Kapazität ersetzt.

2. Prüfe die Kapazität der Unternehmen der Auftragsliste, ersetze sie ggf. und kaufe Güter als Investitionsgüter:

Diese Methode funktioniert analog zu der oben beschriebenen Methode der Haushalte. Statt des verfügbaren Einkommens stellen die Unternehmen die für die Kapitalinvestition vorgesehenen Beträge zur Verfügung. Dieser Betrag wird gleichmäßig für die fünf Unternehmen auf der Auftragsliste eingesetzt. Kann eine Nachfrage nicht bedient werden, wird der Betrag aufgespart und in der nächsten Periode zum Kauf von Investitionsgütern eingesetzt.

3. Erneuerung des Kapitalstocks:

Abschreibungen finden statt und Investitionen werden durchgeführt. Darüber hinaus wird in dieser Methode der Bruttogewinn berechnet.

Die Investitionen sind ein exogener Anteil ψ des Umsatzes $Y_{sales,t-1}$ der letzten Periode: $I_t = \min\{\psi Y_{t-1}, CA_t\}$. Kann diese Investitionshöhe nichterreicht werden, werden zumindest alle übrigen verfügbaren Mittel (CA) eingesetzt.

Der Bruttogewinn Π_{brutto} berechnet sich aus den Erlösen Y_{sales} abzüglich der Betriebskosten B und den variablen Kosten (die Stückzahl y_{sales} multipliziert mit den marginalen Kosten MC). Der Nettogewinn Π_{netto} ist der Bruttogewinn abzüglich der Investitionskosten I :

$$\Pi_{brutto} = Y_{sales} - B - y_{sales} \cdot MC,$$

$$\Pi_{netto} = \Pi_{brutto} - I.$$

4. Entwicklung der neuen Technologie anhand von Zufallseignissen:

Es wird angenommen, dass sich das Technologie-Tupel $(\lambda_L, \lambda_{GHG})$ ohne Entstehung von zusätzlichen Kosten zufällig verändern kann. Zunächst wird ein neues Tupel $(\lambda_L, \lambda_{GHG})$ erzeugt. In der Folge wird geprüft, ob damit eine kostengünstigere Produktion in der nächsten Periode ermöglicht wird. Nur im zutreffenden Fall wird die neue Technologie angenommen, im anderen Fall wird die bereits bekannte Technologie weitergenutzt.

Um auch Substitution eine Rolle zukommen zu lassen, wird angenommen, dass die Entwicklung der beiden Parameter λ_L und λ_{GHG} voneinander abhängig ist. Die beiden Dimensionen spannen zusammen ein Möglichkeitsfeld auf, das durch drei Beschränkungen limitiert wird und dadurch eine Fläche um die momentane Technologie $(\lambda_L, \lambda_{GHG})$ bildet, in der die neue Technologie entstehen kann:

$$\sqrt{\delta_{GHG,\%}^2 + \delta_{L,\%}^2} < 1 \text{ (Bedingung 1: Kreis),}$$

$$|\delta_{GHG,\%} + \delta_{L,\%}| < \omega_0 \text{ (Bedingung 2: Schlauch),}$$

$$\delta_{GHG,\%} \geq 0 \text{ (Bedingung 3: Positivität),}$$

wobei $\delta_{GHG,\%}$ und $\delta_{L,\%}$ sich durch die Zufallsvariablen bestimmen

$$\delta_{GHG,\%} = (2 \cdot random - 1),$$

$$\delta_{L,\%} = (2 \cdot random - 1)$$

und *random* eine auf $[0, 1]$ gleichverteilte Zufallsvariable ist.

Die erste Bedingung stellt einen Kreis um die momentane Technologie dar, in dem die neue Technologie aufgrund dieser Beschränkung liegen muss. Sie stellt sicher, dass keine großen Sprünge von einer Periode zur nächsten entstehen können. Die zweite Bedingung hat die Form eines Schlauches und beschneidet dieses Möglichkeitsfeld weiter.²¹⁴ Der offene Parameter ω_0 bestimmt dabei das Verhältnis vom

²¹⁴ Eine alternative Variante wäre hier denkbar: Wie in der obigen Gleichung (Bedingung 2: Schlauch) zu sehen ist, sind in der gewählten Variante die anteiligen Entwicklungsmöglichkeiten von λ_L und λ_{GHG} gleich gewählt: beide Parameter haben die gleiche Chance sich in diesem Schritt prozentual zu erhöhen. Hier ist auch eine andere Wahl denkbar: eine flachere Neigung dieses Schlauches, anstelle der hier angewandten Steigung von -1 wurde unter anderem auch die Steigung von $-1/3$ untersucht. In diesem Fall gibt es im ersten Schritt einen anderen Wahrscheinlichkeitsraum und andere Zufallseignisse. Bei der Kalibrierung, dem zweiten Schritt,

Kreis zum Schlauch (siehe Abbildung unten): Je kleiner ω_0 ist, desto mehr entspricht die Fläche einem diagonalen Schlauch. Je größer ω_0 , desto mehr entspricht die Fläche einem Kreis. Ab $\omega_0 = 1$ enthält der Schlauch den Kreis vollständig und stellt keine zusätzliche Limitierung dar. Technologische Entwicklung kann in diesem Modell damit sowohl *echte technologische Entwicklung* im Sinne der Verbesserung beider Parameter als auch Substitution im Sinne einer Vergrößerung des einen und einer Verkleinerung des anderen Parameters bedeuten. Zweck der Einschränkung durch den Schlauch ist, die Substitution wahrscheinlicher zu machen als eine Verbesserung beider Parameter.²¹⁵ Damit werden starke absolute Verbesserungen unterbunden und Kombinationen gleichzeitig zugelassen, die eine Querverschiebung bedeuten, das heißt, eine Erhöhung des einen und eine Senkung des anderen Faktors.

Die dritte Bedingung stellt sicher, dass sich die THG-Output-Relation nicht verringern kann. Eine Verringerung würde eine Verschlechterung des Verhältnisses von BIP und THG-Emissionen darstellen, was im Angesicht der aktuellen Diskussionen und der vorhandenen Reglementierungen im Klimaschutzbereich unrealistisch erscheint.

Das Tupel $(\delta_{L,\%}, \delta_{GHG,\%})$ gibt die Veränderung der Technologie an. Das Ausmaß der Veränderung der Parameter λ_L und λ_{GHG} wird mittels der beiden Parameter ω_L und ω_{GHG} so kalibriert, dass in der langen Frist im Baseline-Szenario (keine Reform) die technologische Verbesserung der vergangenen Jahre eintreten (Prozessvalidierung, siehe Validierung). Das heißt:

$$\lambda_{L,new} = \lambda_{L,old} + \delta_{L,\%} \cdot \omega_L,$$

$$\lambda_{GHG,new} = \lambda_{GHG,old} + \delta_{GHG,\%} \cdot \omega_{GHG}.$$

Für die neue Technologie müssen alle drei Bedingungen erfüllt sein. Ist dies durch die Zufallsereignisse nicht der Fall, wird so lange weitergesucht, bis alle Beschränkungen eingehalten werden. Die dadurch entstehende Fläche der möglichen Tupel $(\lambda_L, \lambda_{GHG})$ ist in der nachfolgenden Abbildung durch die orange

wird dieser Effekt dann jedoch wieder annulliert. Das Ergebnis dieser alternativen Variante unterscheidet sich deshalb qualitativ und im Wesentlichen auch quantitativ nicht (abhängig von der konkreten Wahl der Steigung). Aus diesem Grund wurde auf eine solche Variante verzichtet. In diesem Zusammenhang erweist sich die Wahl der Technologieannahmen als nicht sensitiv.

215 Die untere Abgrenzungslinie des Schlauches ist nicht unbedingt erforderlich, da hier nur Technologiekombinationen abgeschnitten werden, die zu höheren Kosten führen und deshalb im Vergleich mit der vorhandenen Technologie nicht ausgewählt werden. Diese untere Abgrenzungslinie ist dennoch hilfreich, um weniger Durchläufe zur Entwicklung neuer Technologien zu benötigen. Modelltheoretisch ist der Unterschied nicht relevant, da er durch die Kalibrierung ausgeglichen wird.

Linie (rechts davon), durch die blauen Parallelen und durch den grünen Kreis abgegrenzt. Ein neues zufälliges Tupel $(\lambda_{L,neu}, \lambda_{GHG,neu})$ innerhalb dieser Fläche ist demnach möglich. Tupel außerhalb des Kreises, des Schlauchs oder der horizontalen Geraden sind nicht zulässig (graue Punkte).

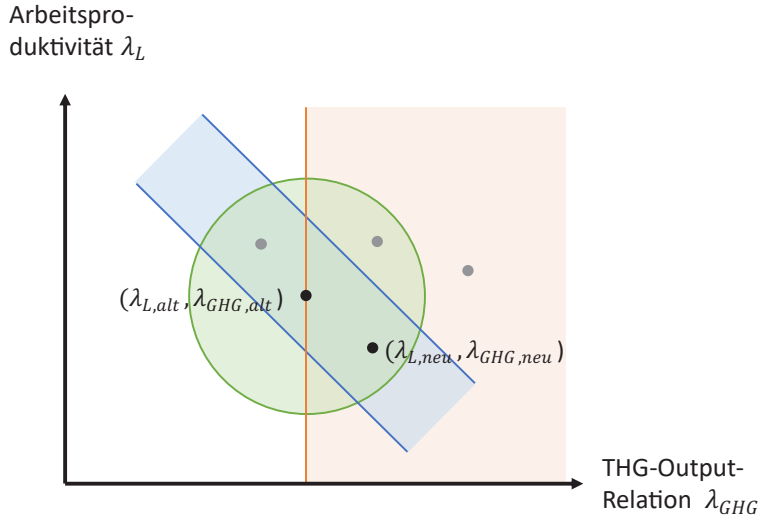


Abbildung 41: Möglichkeitsfeld für technologische Entwicklungen ²¹⁶

Der Prozess der technologischen Entwicklung wird folglich durch die drei Bedingungen, den Parameter ω und die Kalibrierung bestimmt.

5. Prüfung und Wahl der günstigeren Technologie:

Es wird ermittelt, welche Technologie in der unmittelbar nächsten Periode die kostengünstigere Variante darstellt. Dafür ist die Berechnung beider marginalen Kosten notwendig. Es werden die Steuern τ bzw. die Arbeitskosten w jeweils der unmittelbar nächsten Periode herangezogen:

$$MC_{old} = \frac{w_{t+1}}{\lambda_{L,old}} + \frac{\tau_{t+1}}{\lambda_{GHG,old}},$$

$$MC_{new} = \frac{w_{t+1}}{\lambda_{L,new}} + \frac{\tau_{t+1}}{\lambda_{GHG,new}}.$$

Die Kombination, die zu den niedrigeren marginalen Kosten führt, wird ausgewählt.

²¹⁶ Diese Abbildung ist identisch zur Abbildung 16.

19.2.2.3 Übergeordnete Methoden zur Anwendung der Reformen

Weitere Methoden sind die übergeordneten Methoden zur Anwendung der Reformen. Diese sind:

- Berechnung des Gesamtaufkommens der Steuereinnahmen durch die THG-Steuer τ .
- Zusätzlich die optionale Anwendung der Reform des jeweiligen Szenarios (ÖSR oder Ökobonus):
 - ÖSR: Berechnet auf Basis des Gesamtsteueraufkommens den neuen reduzierten Arbeitskostensatz w für die nächste Periode
 - Ökobonus: Berechnet auf Basis des Gesamtsteueraufkommens den Ökobonus pro Haushalt (Gesamtaufkommen wird durch die Anzahl der Haushalte dividiert und dieser Betrag dann den Haushalten als zusätzliches verfügbares Einkommen zur Verfügung gestellt)

19.2.2.4 Ablauf des Modells

In der Klasse *Model*, der Hauptklasse des Modells, werden die zentralen Variablen und Methoden zusammengeführt und die Ergebnisse gespeichert. Die Methode *run* führt die Simulation des Modells in mehreren Schritten aus:

1. Initialisierung
 - Erstellung der Liste der Haushalte
 - Erstellung der Liste der Unternehmen
 - Belegung der Auftragsliste der Haushalte und Unternehmen mit jeweils fünf Unternehmen
2. Zeitschritte der Burn-in-Phase
 - Durchführung der geplanten Anzahl der Zeitschritte (Perioden des Modells)
3. Zeitschritte der Hauptphase
 - Durchführung der geplanten Anzahl der Zeitschritte (Perioden des Modells)
4. Finalisierung
 - Löschung des letzten und überflüssigen Eintrags
 - Speicherung aller relevanten Ergebnisse des Modelldurchlaufs

In der Burn-in-Phase wird das Modell eingeführt, sodass mögliche Anfangsverzerrungen nicht die Ergebnisse der Hauptphase verzerren. In dieser Zeit entwickelt sich auch die Technologie nicht weiter.

19.2.2.5 Aufbau eines Zeitschrittes

Die chronologische Umsetzung eines Zeitschritts bzw. einer Periode des Modells wird ebenfalls über eine Methode umgesetzt. Sie hat die folgende Struktur:

1. Kauf- und Produktionsphase
 - Unternehmen aktualisieren die momentan gültigen Steuern. Dabei ist zu bemerken, dass die Steuerhöhe τ exogen vorgegeben wird und die Arbeitskostenhöhe w in der letzten Runde berechnet wurde und somit immer eine Periode hinterher ist.
 - Unternehmen aktualisieren ihre Shortlist dahingehend, dass sie Unternehmen mit verfügbaren Kapazitäten finden. Unternehmen kaufen bei Unternehmen Güter als Investitionsgüter. In diesem Schritt werden die Güter produziert und gehandelt. In der Folge reduzieren sich die Produktionskapazitäten der Unternehmen, THG-Emissionen entstehen und Arbeitsnachfrage entsteht.
 - Haushalte aktualisieren ihre Shortlist dahingehend, dass sie Unternehmen mit verfügbaren Kapazitäten finden. Haushalte kaufen bei Unternehmen Güter als Konsumgüter. In der Folge reduzieren sich die Produktionskapazitäten der Unternehmen, THG-Emissionen entstehen und Arbeitsnachfrage entsteht.
2. Durchführung der Reform (bzw. ggf. keine Reform)
 - Berechnung des Gesamtaufkommens der THG-Steuereinnahmen
 - Es gibt drei Optionen:
 - Mittelverwendung im Sinne der ÖSR
 - Mittelverwendung im Sinne des Ökobonus
 - Keine Steuer und somit keine Mittelverwendung
 - Unternehmen aktualisieren die Steuersätze für die nächste Periode.

3. Berechnungen für den nächsten Zeitschritt
 - Unternehmen erneuern ihr Kapital durch Investitionen und durch automatisch stattfindende Abschreibungen
 - Unternehmen innovieren und erhalten eine neue Produktionstechnologie
 - Unternehmen vergleichen die marginalen Kosten der alten und neuen Technologie und wählen die kostengünstigere Variante
 - Unternehmen berechnen die neuen Produktionskapazitäten
 - Mittelwerte und Summen ausgewählter Modellvariablen werden gebildet
 - Berechnung des neuen Preises für die nächste Periode
 - Erweiterung der Variablen-Listen um einen Eintrag für die neue Periode

19.2.3 Weitere Ergebnisse der Szenarien

19.2.3.1 Ergänzende Abbildungen der Szenarien A

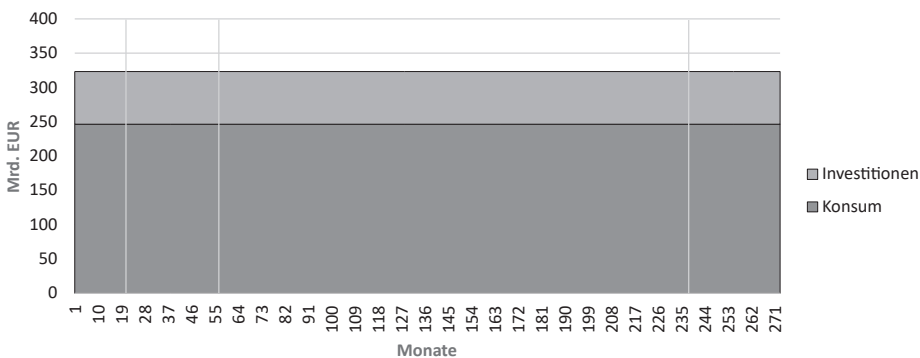


Abbildung 42: Umsatz Y nach Verwendung (nominales BIP) [Baseline]

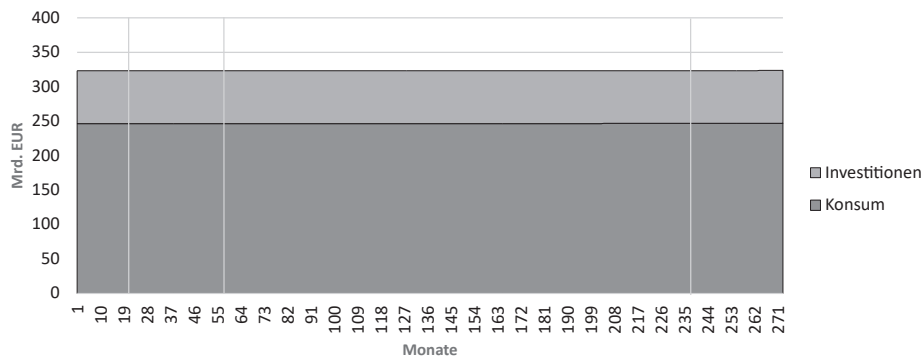


Abbildung 43: Umsatz Y nach Verwendung (nominales BIP) [ÖSR]

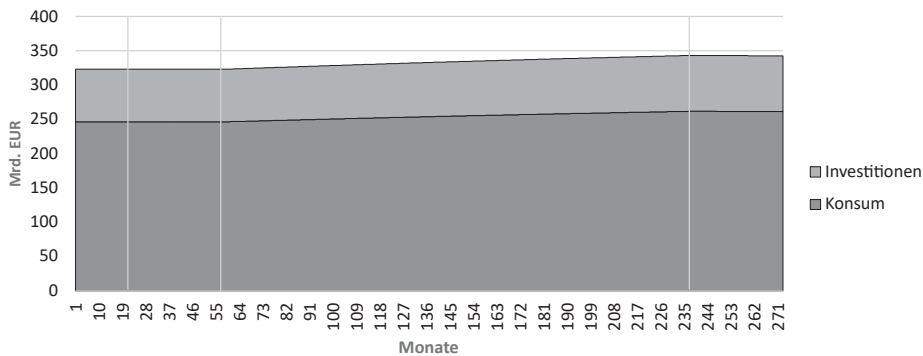


Abbildung 44: Umsatz Y nach Verwendung (nominales BIP) [Ökobonus]

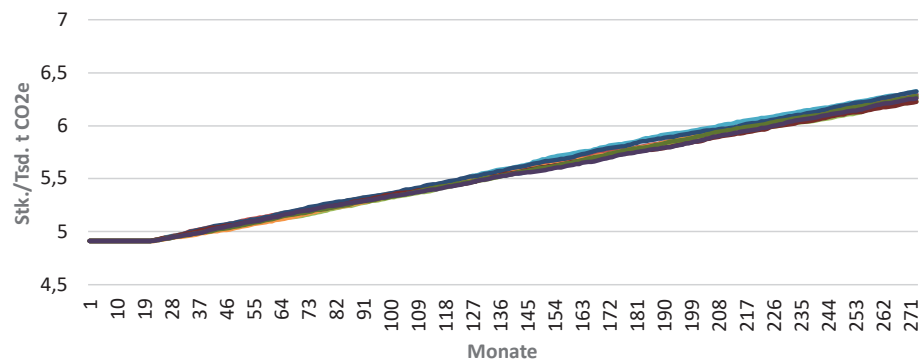


Abbildung 45: THG-Output-Relation λ_{GHG} : 10 Durchläufe im Vergleich [Baseline]

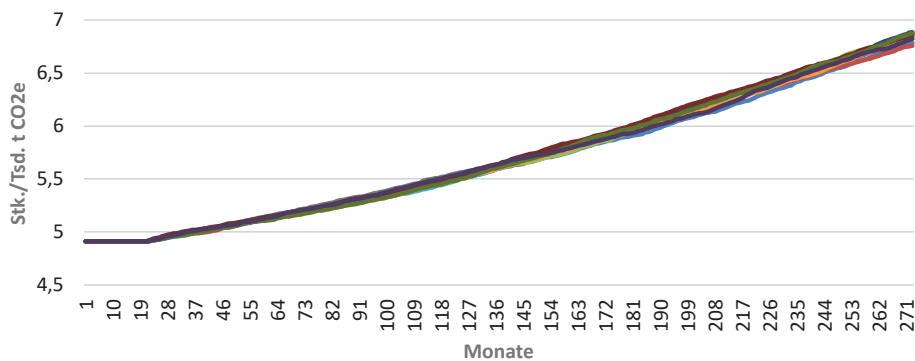


Abbildung 46: THG-Output-Relation λ_{GHG} : 10 Durchläufe im Vergleich [ÖSR]

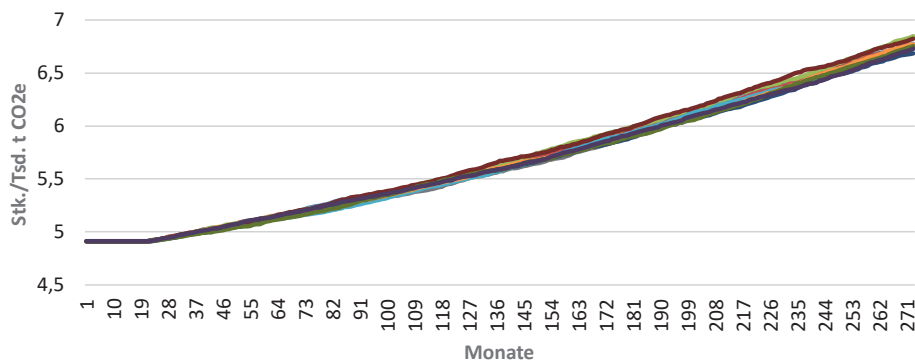


Abbildung 47: THG-Output-Relation λ_{GHG} : 10 Durchläufe im Vergleich [Ökobonus]

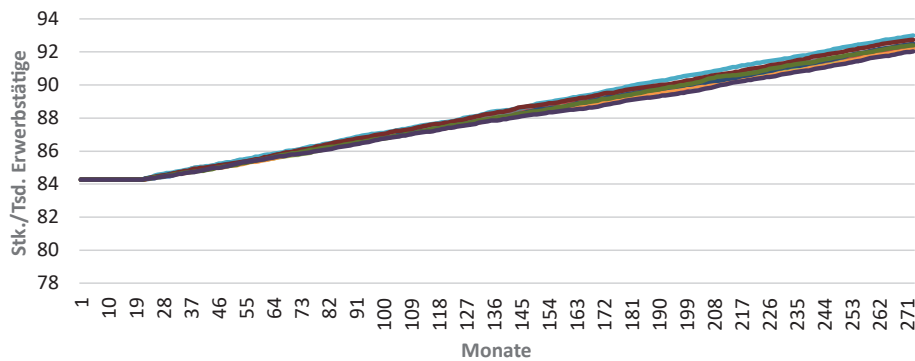


Abbildung 48: Arbeitsproduktivität λ_L : 10 Durchläufe im Vergleich [Baseline]

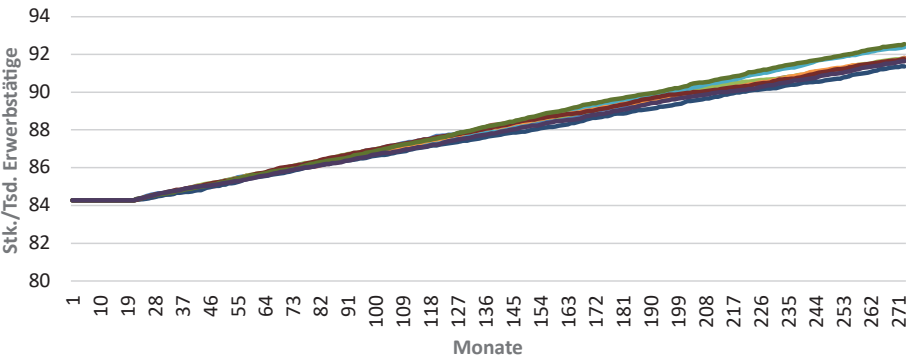


Abbildung 49: Arbeitsproduktivität λ_L : 10 Durchläufe im Vergleich [ÖSR]

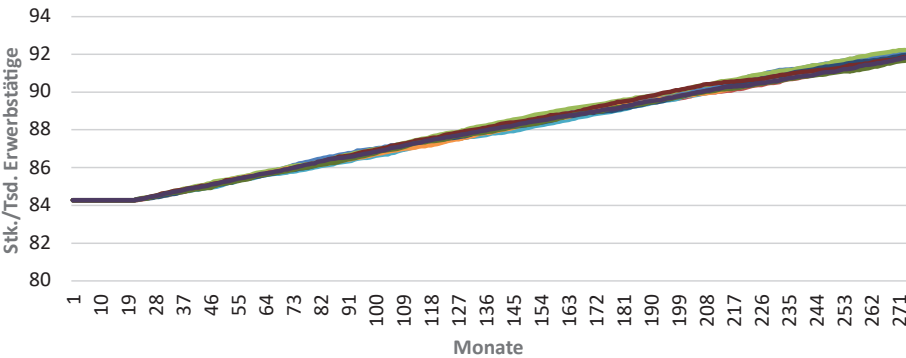


Abbildung 50: Arbeitsproduktivität λ_L : 10 Durchläufe im Vergleich [Ökobonus]

19.2.3.2 Ergänzende Abbildungen der Szenarien B

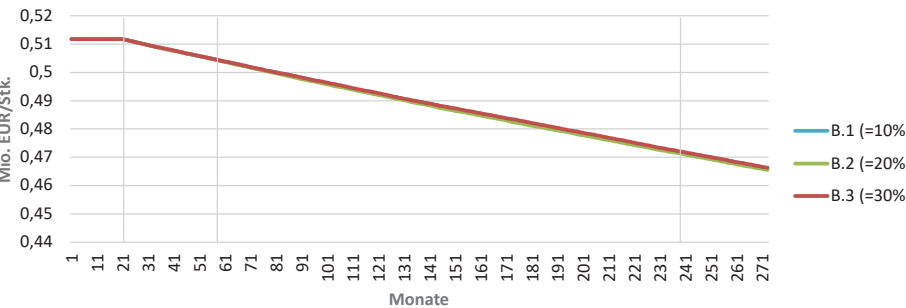


Abbildung 51: Marginale Kosten MC

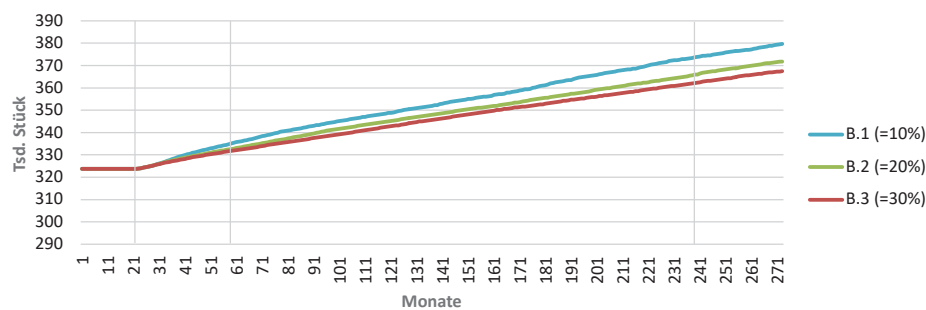


Abbildung 52: Stückzahl y

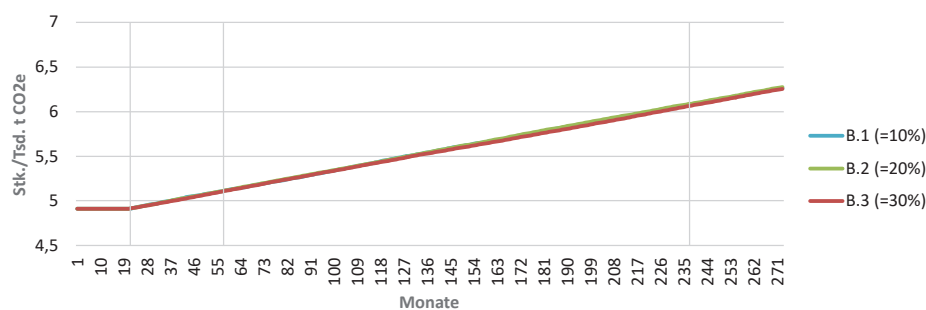


Abbildung 53: THG-Output-Relation λ_{GHG}

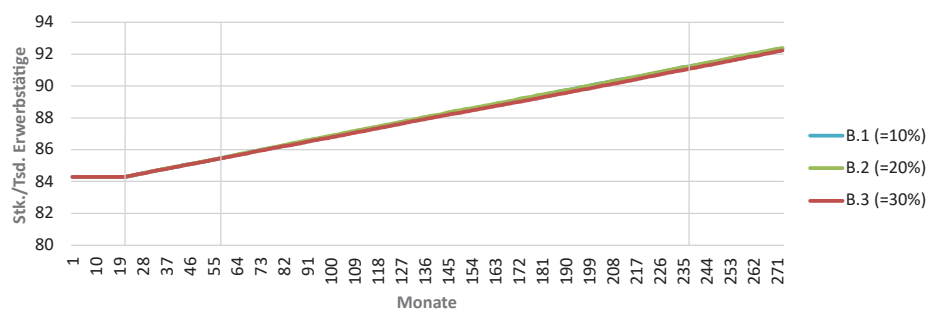


Abbildung 54: Arbeitsproduktivität λ_L

19.2.3.3 Ergänzende Abbildungen der Szenarien B+

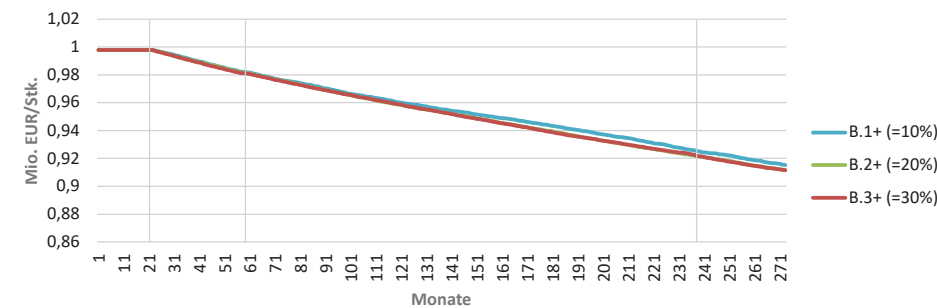


Abbildung 55: Preis p

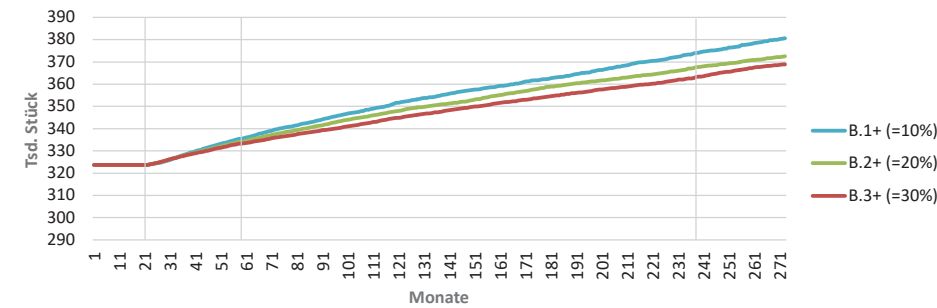


Abbildung 56: Stückzahl y

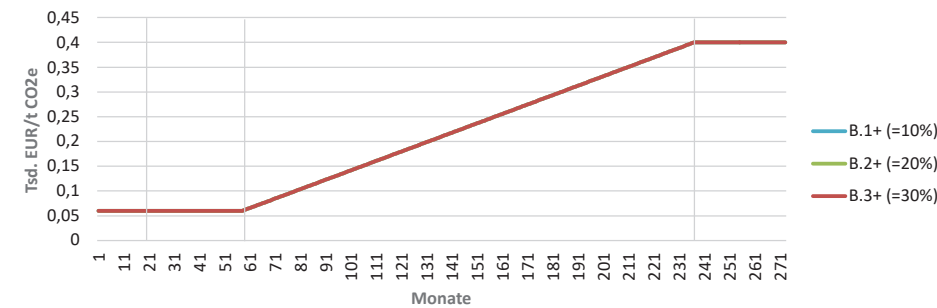


Abbildung 57: THG-Steuersatz τ

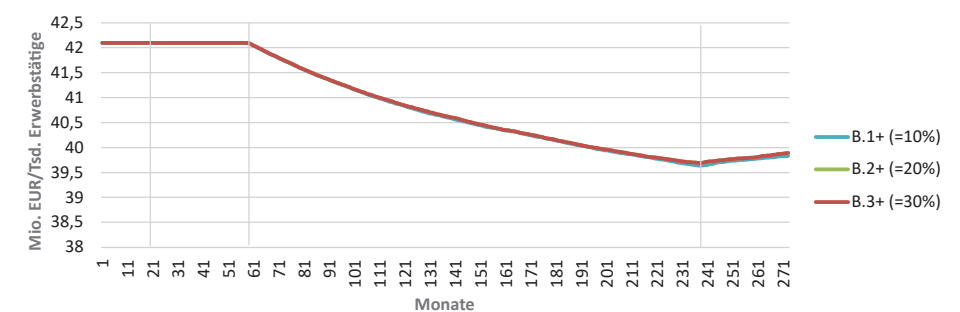


Abbildung 58: Arbeitskostensatz w

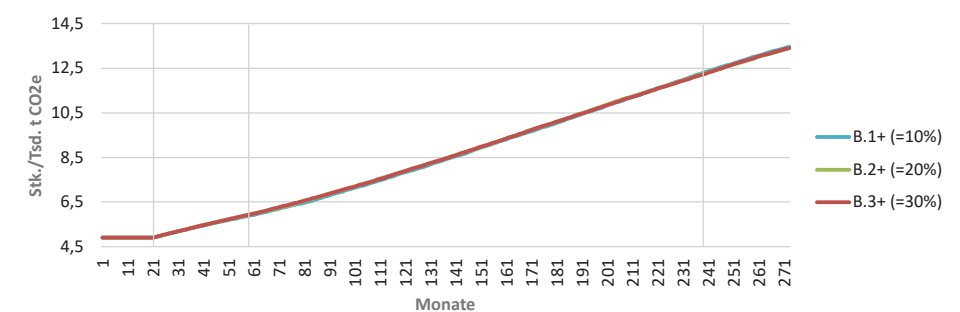


Abbildung 59: THG-Output-Relation λ_{GHG}

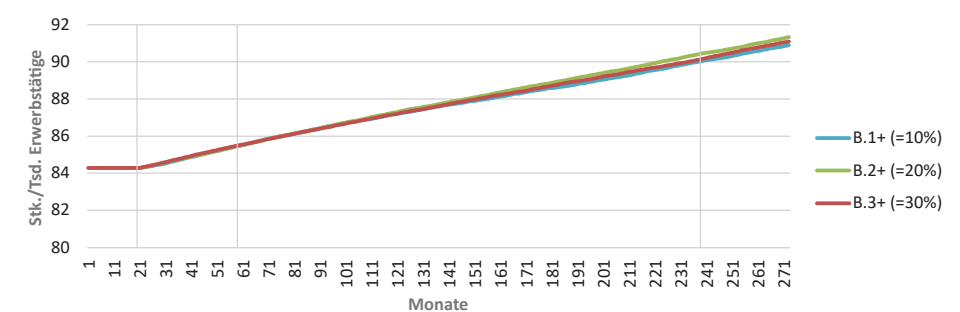


Abbildung 60: Arbeitsproduktivität λ_L

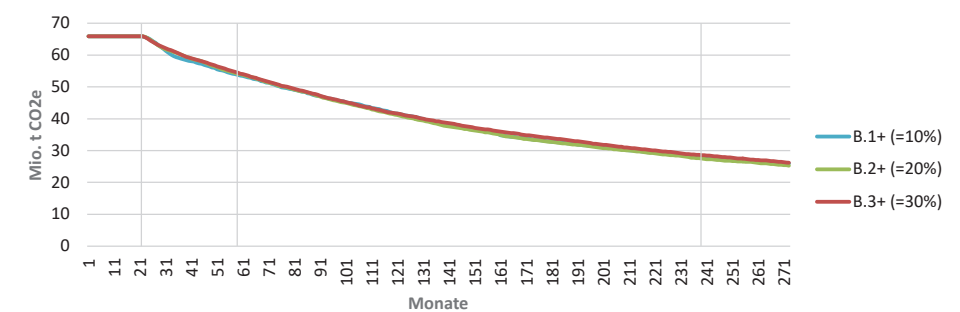


Abbildung 61: THG-Emissionen GHG

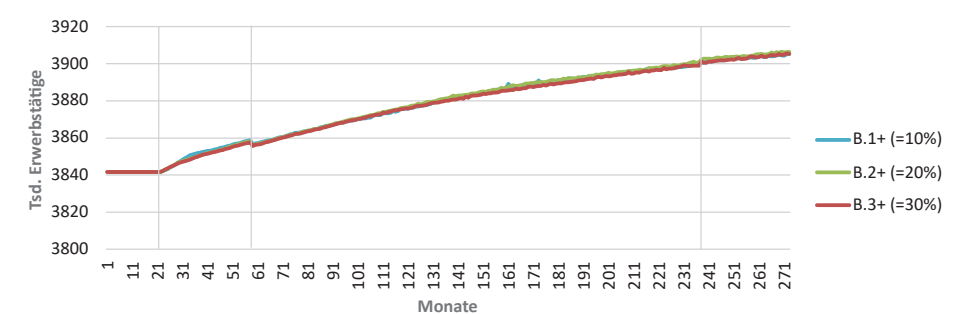


Abbildung 62: Arbeitsnachfrage L

19.2.3.4 Ergänzende Abbildungen der Szenarien C

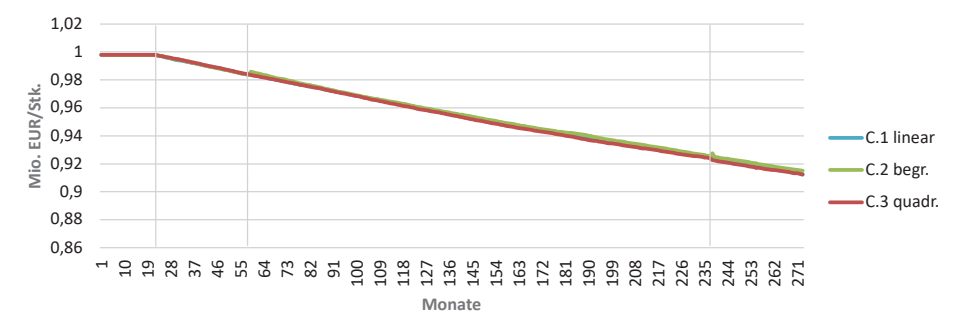


Abbildung 63: Preis p^{217}

²¹⁷ Hinweis: Die blaue Kurve verläuft zwischen der roten.

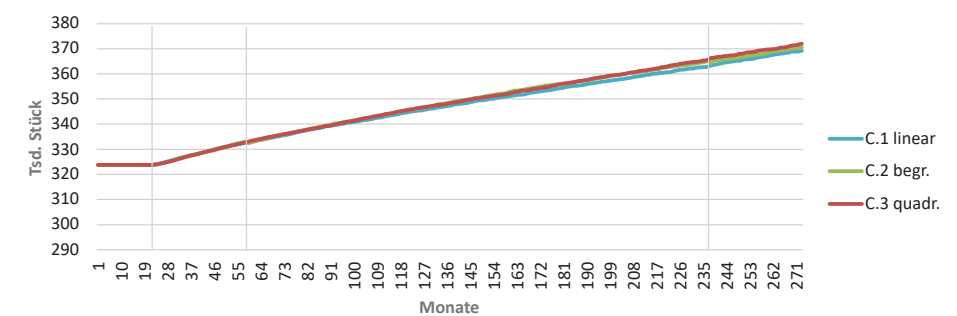


Abbildung 64: Stückzahl y

Die vorliegende Analyse widmet sich dem Konzept einer ökologischen Steuerreform, bei der Treibhausgasemissionen stärker bepreist und Arbeit im Gegenzug entlastet wird. Zwei Modellierungen zeigen: Eine solche Reform kann Beschäftigung fördern, Emissionen wirksam senken und internationale Wettbewerbsnachteile begrenzen. Die agentenbasierte Analyse legt zudem nahe, dass hohe CO₂-Preise zwar wichtige Impulse setzen, für eine zielgerichtete technologische Transformation jedoch nicht ausreichen. Die Studie liefert einen fundierten Beitrag zur Debatte über eine sozial ausgewogene und ökonomisch tragfähige Klimapolitik – jenseits kurzfristiger politischer Engführungen.



**UNIVERSITÄT
HEIDELBERG**
ZUKUNFT
SEIT 1386