

---

# Umweltökonomik

---

Bodo Sturm • Carla Vogt

# Umweltökonomik

Eine anwendungsorientierte Einführung

3. Auflage

 Springer Gabler

Bodo Sturm  
Fakultät Wirtschaftswissenschaft  
und Wirtschaftsingenieurwesen  
HTWK Leipzig  
Leipzig, Deutschland

Carla Vogt  
Fachbereich Wirtschaft  
Hochschule Bochum  
Bochum, Deutschland

ISBN 978-3-662-68517-4      ISBN 978-3-662-68518-1 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-68518-1>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2011, 2018, 2024

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber\*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor\*innen und die Herausgeber\*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor\*innen oder die Herausgeber\*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

---

# Vorwort zur 1. Auflage

## Die Botschaft dieses Buchs

Das Problem der Knappheit ist so alt wie die Menschheit. Trotz eines zunehmenden Wohlstands bleiben viele unserer Wünsche unerfüllt. Knappheit – das ist das Kernthema von Ökonomen, quasi deren Existenzberechtigung. Viele Menschen haben sich daran gewöhnt, dass Ökonomen in Unternehmen versuchen, der Knappheit von Produktionsfaktoren wie Arbeit und Kapital möglichst effizient zu begegnen, d.h., einen gegebenen Output zu möglichst geringen Kosten zu erreichen. Relativ neu ist aber, dass sich Ökonomen auch mit Umweltgütern wie sauberer Luft und Klimaschutz beschäftigen. Außer Frage steht zunächst, dass Umweltgüter den Menschen – regional oder global – erheblichen Nutzen stiften. Offensichtlich sind jedoch viele Umweltgüter in Gefahr. Schwefeldioxid-Emissionen aus Kohlekraftwerken führen zu Gesundheitsschäden und „saurem Regen“. Die Nutzung fossiler Energieträger ist unweigerlich mit Kohlendioxid-Emissionen verbunden, die zur globalen Erwärmung beitragen und damit Klimaschäden verursachen. Warum aber mischen sich Ökonomen ein, wenn es um Umweltgüter geht? Die Antwort ist relativ einfach: Ökonomen können maßgeblich zu einem besseren Umweltschutz, d.h. zu mehr Umweltgütern, beitragen. Um dies zu verstehen, muss man sich zunächst klar machen, dass – auf Grund der allgegenwärtigen Knappheit von Ressourcen – Umweltschutz immer auch Kosten verursacht. Die Mittel, die für den Einsatz eines Schwefeldioxid-Filters in einem Kohlekraftwerk verwendet werden, stehen für einen alternativen Einsatz, z.B. für den Bau einer Schule oder einer Straße, nicht mehr zur Verfügung. Ein verbrauchsärmerer Dieselmotor mit weniger Kohlendioxid-Emissionen kostet mehr Geld, welches an anderer Stelle in unserem Haushaltsbudget fehlt. Das Gleiche gilt für die Nutzung von Solarstrom, der ein Vielfaches von konventionell erzeugtem Strom kostet. Ob wir es nun wollen oder nicht, Umweltschutz kostet uns also knappe Ressourcen. Genau an dieser Stelle wird es nun für Ökonomen interessant, denn deren Job besteht ja gerade darin, ein bestimmtes Ziel – in diesem Fall Umweltschutz – möglichst effizient, d.h. zu

geringstmöglichen Kosten, zu erreichen. Ökonomen entwickeln also Instrumente, durch deren Einsatz Umweltschutz billiger wird oder – anders formuliert – bei gleichen Kosten mehr Umweltschutz erreicht werden kann. Das bedeutet auch: Ökologie und Ökonomik stehen nicht – wie gern behauptet wird – in Widerspruch zueinander. Das Gegenteil ist der Fall! Mit Hilfe der Ökonomik können wir mehr Umweltschutz erreichen, ohne uns weniger von unseren zahlreichen anderen Bedürfnissen erfüllen zu können.

Umweltökonomik bedeutet, nach Mitteln und Wegen zur möglichst effizienten Bereitstellung von Umweltgütern zu suchen. Dieses Buch liefert eine anwendungsorientierte Einführung in die moderne Umweltökonomik. Dabei ist zu betonen, dass praktisch keine Vorkenntnisse in Volkswirtschaftslehre nötig sind, um mit diesem Buch in die Umweltökonomik einzusteigen. Das Buch führt den Leser von den Grundlagen der Mikroökonomik und des umweltrelevanten Marktversagens über die Instrumente der Umweltpolitik – Steuern, Emissionshandel und Auflagen – hin zu aktuellen Forschungsfragen in der Umweltökonomik. Werfen wir einen kurzen Blick auf die Themen der einzelnen Kapitel.

*Kapitel 1* liefert eine kurze Wiederholung der Grundlagen der Mikroökonomik. Die wichtigste Erkenntnis ist dabei, dass auf Wettbewerbsmärkten für private Güter die dezentrale Interaktion von Angebot und Nachfrage zu einem effizienten, wohlfahrtsmaximalen Ergebnis führt. Dieses Ergebnis tritt aber nur dann ein, wenn eine Reihe von Annahmen gültig ist. Eine aus Sicht der Umweltökonomik zentrale Annahme ist dabei, dass ein Akteur, der eine ökonomische Aktivität ausübt, tatsächlich auch mit den gesamten Kosten dieser Aktivität konfrontiert wird. Liegen hingegen die sozialen Kosten über den privaten Kosten der Aktivität – in diesem Fall spricht man von negativen externen Effekten – erreicht der Markt keine Effizienz. *Kapitel 2* ist diesem Marktversagen durch negative externe Effekte gewidmet. In einer Fallstudie in diesem Kapitel betrachten wir die externen Effekte des Straßenverkehrs in Deutschland.

Nachdem das Problem der externen Effekte als das entscheidende umweltrelevante Marktversagen identifiziert wurde, stellt sich natürlich sofort die Frage nach Lösungsmöglichkeiten. Wie lässt sich das Marktversagen heilen? *Kapitel 3* liefert mit dem Coase-Theorem eine ausgesprochen elegante Lösung. Der Staat muss nicht direkt in das Umweltproblem eingreifen, sondern nur für die Existenz und Durchsetzbarkeit von Eigentumsrechten an der betroffenen Ressource wie Luft oder Wasser sorgen. Coase zeigt, dass – unter Annahme vollständiger Information über Kosten und Nutzen der Beteiligten sowie der Abwesenheit von Transaktionskosten – Verhandlungen zwischen physischem Verursacher und Geschädigtem zu Effizienz führen. Bemerkenswerterweise ist dieses Resultat unabhängig davon, wer das Eigentumsrecht an der Ressource zunächst besitzt.

*Kapitel 4* dient der genaueren Charakterisierung von Umweltgütern. Das zentrale Ergebnis ist dabei, dass bei Umweltgütern der Preismechanismus nicht anwendbar ist und somit auch der Markt nicht für ein effizientes Resultat sorgen kann. Unsere besondere Aufmerksamkeit gilt der Diskussion öffentlicher Güter, also von Gütern, für die das Ausschlussprinzip nicht anwendbar ist und die nicht rival in der Nutzung sind.

Märkte versagen bei der Bereitstellung öffentlicher Güter, da es für jeden Akteur individuell rational ist, nichts beizutragen und das Gut trotzdem zu nutzen. Aus Sicht der Gesellschaft ist es hingegen sinnvoll, das Gut bereitzustellen. Die Akteure stecken also in einem „sozialen Dilemma“: Individuell rationales Verhalten führt zu einem aus sozialer Sicht nicht rationalen Resultat.

*Kapitel 5* geht einen Schritt weiter als das Coase-Theorem, denn in der Praxis der Umweltpolitik kann man insbesondere auf Grund von Transaktionskosten nicht erwarten, dass Verhandlungen zu effizienten Ergebnissen führen. Die Politik muss also direkt in die Beziehung zwischen physischem Verursacher und Geschädigten eingreifen. In der umweltpolitischen Praxis haben sich drei Instrumente – Steuern, Emissionshandel und Auflagen – etabliert, die in diesem Kapitel ausführlich besprochen werden. Dabei betrachten wir sowohl die statische als auch die dynamische Perspektive. Für jedes Instrument wird mit einer Fallstudie gezeigt, mit welchen Problemen, aber auch Erfolgen die Anwendung in der Praxis verbunden ist. Kriterium zur Beurteilung von Staatseingriffen zur Bereitstellung von Umweltgütern ist dabei immer die Effizienz, d.h. die Minimierung der Gesamtkosten des Staatseingriffs.

Auf Grund der offensichtlichen Bedeutung in der wissenschaftlichen und politischen Diskussion stellt der Klimawandel einen Themenschwerpunkt unseres Buchs dar. Bei der Vorstellung des Stern-Review über die Ökonomik des Klimawandels, der 2006 von der britischen Regierung in Auftrag gegeben wurde, heisst es dazu *“The science tells us that GHG [greenhouse gas] emissions are an externality; in other words, our emissions affect the lives of others. When people do not pay for the consequences of their actions we have market failure. ... [climate change] is the greatest market failure the world has seen.”*. In *Kapitel 6* werden sowohl die grundlegenden naturwissenschaftlichen Zusammenhänge als auch die verfügbaren Lösungsstrategien – Anpassung und Vermeidung – betrachtet. Im Anschluss daran stellen wir das Konzept der Kosten-Nutzen-Analyse in der Klimapolitik dar und präsentieren zentrale Resultate. Schließlich analysieren wir die Anreize in der internationalen Klimapolitik. Klimaschutz ist ein globales öffentliches Gut, d.h., die Akteure in der Klimapolitik stecken in einem sozialen Dilemma. Der Beitrag zum öffentlichen Gut, also das Inkaufnehmen von Kosten durch die Vermeidung von Treibhausgasemissionen, stellt die Akteure schlechter als die Alternative, nämlich nichts zu tun und von den Beiträgen anderer Akteure zu profitieren. Auf Grund dieser Freifahreranreize wird aus globaler Sicht zu wenig Klimaschutz betrieben. Die ökonomische Standardtheorie ist daher äußerst skeptisch, was die Erfolgchancen einer bindenden internationalen Vereinbarung in der Klimapolitik anbetrifft.

In *Kapitel 7* wird schließlich die empirische Evidenz zur Bereitstellung öffentlicher Güter – sowohl für Laborexperimente als auch für die reale Klimapolitik – dargestellt. Insbesondere in Laborexperimenten zu öffentlichen Gütern gibt es deutliche Hinweise darauf, dass Akteure bei der Bereitstellung öffentlicher Güter kooperieren und höhere Beiträge leisten als von der ökonomischen Standardtheorie prognostiziert. Es gibt also einen Widerspruch zwischen Theorie und Empirie. Abschließend präsentieren wir daher mit

Ungleichheitsaversion eine Erweiterung der ökonomischen Standardtheorie zur Erklärung von Kooperation und diskutieren die Bedeutung solcher Präferenzen für die Klimapolitik. Damit ist die Vorgehensweise oder – wenn man so will – die Botschaft dieses Buchs skizziert. Die Autoren möchten dieses Vorwort mit einer Danksagung schließen.

Viele Freunde und Kollegen haben uns beim Schreiben dieses Buchs unterstützt – sei es durch das kritische Lesen früherer Fassungen des Manuskripts oder durch Diskussionen über umweltökonomische Probleme. Ihnen sei an dieser Stelle ganz herzlich gedankt. Auch die Diskussionen über die Anwendung von umweltökonomischem Wissen in der Praxis während unserer Tätigkeit am Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) in Mannheim und der damit verbundene Lernprozess haben erheblich zum Zustandekommen dieses Buchs beigetragen. Unser Dank gilt daher auch den ehemaligen Kollegen am ZEW. Besonders möchten wir uns bei unserem gemeinsamen Doktorvater Joachim Weimann (Magdeburg) bedanken: Jochen, wir haben viel von Dir gelernt, Danke! Schließlich möchten wir Gudrun Hoppe (Speyer), Christiane Schroth (Mannheim) und Martin Sturm (Rostock) für das sorgfältige Korrekturlesen und ihre hilfreichen Kommentare zum Manuskript danken. Um die Domestizierung des Fehlerteufels haben sich außerdem Barbara Bölte und Katarzyna Knabe (beide Bochum) verdient gemacht. Alle verbleibenden Mängel und Fehler gehen natürlich auf unsere Rechnung.

Bodo Sturm  
Carla Vogt

September 2010

---

## Vorwort zur 3. Auflage

Seit der 1. Auflage unserer Einführung in die Umweltökonomik sind 14 Jahre vergangen. Das ist eine lange Zeit. Dennoch sind wir überzeugt, dass die Grundidee unseres Buchs aktueller denn je ist. Die Knappheitsprobleme in der Umwelt- und Klimapolitik treten immer deutlicher zu Tage, sei es durch spürbar höhere CO<sub>2</sub>-Preise, die Diskussionen um das Verbot von Gas- und Ölheizungen oder die zunehmenden Kosten der Anpassung an den Klimawandel. Im Vergleich zur 1. Auflage ist das Grundgerüst unseres Buchs mit sieben Kapiteln daher unverändert, jedoch wurde der gesamte Text gründlich überarbeitet. Insbesondere sind zwei neue Fallstudien zu Dieselfahrverboten und Ratcheting in der internationalen Klimapolitik hinzugekommen und die verbliebenen Fallstudien wurden umfassend aktualisiert. Die Darstellung des DICE-Modells wurde leserfreundlicher gestaltet und gestattet es nun, dieses wichtige Klima-Ökonomie-Modell besser zu verstehen. Die Übungsaufgaben wurden erweitert und ermöglichen es nun, zu praktisch jedem Kapitel des Buchs das Erlernte direkt anzuwenden.

Der Klimawandel bleibt ein Themenschwerpunkt. Leider hat sich unsere Hypothese, dass man aus ökonomischer Sicht skeptisch sein muss, was den Erfolg internationaler Klimaverhandlungen anbetrifft, bestätigt. Im Jahr 2011, als dieses Buch in seiner 1. Auflage erschien und der Klimawandel schon lange ganz oben auf der Agenda der internationalen Politik stand, lag die globale CO<sub>2</sub>-Konzentration noch bei 392 ppm. Heute, im Februar 2024, liegt diese Konzentration bei 425 ppm.<sup>1</sup>

Dennoch bleiben wir optimistisch und hoffen, dass wir mit unserem Buch einen kleinen Beitrag leisten können, mehr ökonomischen Sachverstand in die umweltpolitische Diskussion zu bringen.

Bodo Sturm  
Carla Vogt

Februar 2024

---

<sup>1</sup> <https://keelingcurve.ucsd.edu/>

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Die ökonomische Sicht der Dinge .....</b>	<b>1</b>
1.1	Ein kurzes Repetitorium der Mikroökonomik .....	1
1.1.1	Selbstregulierung von Märkten.....	1
1.1.2	Effizienz von Wettbewerbsmärkten.....	8
1.2	Literatur.....	18
<b>2.</b>	<b>Marktversagen durch externe Effekte.....</b>	<b>19</b>
2.1	Externe Effekte: Eine erste Betrachtung.....	20
2.1.1	Arten von externen Effekten .....	20
2.1.2	Eine genauere Charakterisierung .....	21
2.2	Warum externe Effekte die Effizienz schädigen.....	22
2.3	Externe Effekte: Eine vertiefte Betrachtung.....	26
2.4	Fallstudie: Die externen Kosten des Straßenverkehrs .....	29
2.5	Literatur.....	43
<b>3.</b>	<b>Das Coase-Theorem .....</b>	<b>45</b>
3.1	Wann das Coase-Theorem funktioniert ... ..	46
3.2	... und wann nicht: Die Grenzen des Coase-Theorems.....	50
3.3	Literatur.....	54
<b>4.</b>	<b>Die Charakteristika von Umweltgütern .....</b>	<b>55</b>
4.1	Eigenschaften von Gütern.....	55
4.1.1	Private Güter.....	56
4.1.2	Club-Güter.....	57
4.1.3	Öffentliche Güter .....	57
4.1.4	Common Pool Resources .....	63
4.2	Optimale Bereitstellung von Gütern .....	68
4.3	Literatur.....	70

<b>5.</b>	<b>Instrumente der Umweltpolitik.....</b>	<b>71</b>
5.1	Einführung.....	71
5.2	Pigou-Steuer .....	72
5.3	Fallstudie: Die Ökologische Steuerreform in der BRD .....	82
5.4	Emissionshandel.....	95
5.5	Fallstudie: Der EU-Emissionshandel.....	102
5.6	Auflagen .....	119
5.7	Fallstudie: Dieselfahrverbote.....	121
5.8	Vergleich der Instrumente in der statischen Analyse .....	126
5.9	Dynamische Anreizwirkung.....	126
5.9.1	Sozialer Nutzen im Optimum .....	128
5.9.2	Steuerlösung .....	133
5.9.3	Emissionshandel .....	136
5.9.4	Auflagen und Anreize zur Investition .....	139
5.9.5	Fazit zur dynamischen Anreizwirkung.....	140
5.9.6	Weitere Aspekte in der dynamischen Perspektive.....	140
5.10	Literatur.....	141
<b>6.</b>	<b>Der Klimawandel als globales Umweltproblem.....</b>	<b>143</b>
6.1	Charakteristika globaler Umweltprobleme.....	143
6.2	Einige Fakten zu Treibhauseffekt und Klimawandel.....	144
6.2.1	Naturwissenschaftlicher Hintergrund .....	144
6.2.2	Risiken durch den Klimawandel.....	151
6.2.3	Chancen durch den Klimawandel .....	160
6.2.4	Fazit .....	162
6.3	Strategien gegen den Klimawandel.....	162
6.3.1	Vermeidung.....	162
6.3.2	Anpassung .....	170
6.4	Klimawandel und Gerechtigkeit .....	175
6.5	Ökonomische Dimension I: Kosten und Nutzen von Klimaschutz aus der globalen Perspektive.....	177
6.5.1	Optimaler Klimaschutz – Eine qualitative Analyse .....	177
6.5.2	Optimaler Klimaschutz – Eine quantitative Analyse.....	181
6.6	Ökonomische Dimension II: Anreizprobleme der Klimapolitik.....	192
6.6.1	Soziale Dilemmata .....	193
6.6.2	Koalitionsmodelle.....	197
6.7	Literatur.....	199
6.8	Appendix: DICE – eine mathematische Darstellung .....	204

---

<b>7.</b>	<b>Empirische Evidenz zur Bereitstellung öffentlicher Güter</b> .....	<b>211</b>
7.1	Feldevidenz: Das Kyoto-Protokoll – nur symbolische Politik?.....	212
7.1.1	Das Kyoto-Protokoll: Bedeutung und wesentliche Inhalte .....	212
7.1.2	Die Aufweichung des Kyoto-Protokolls.....	214
7.1.3	Die politische Ökonomik des Klimaschutzes .....	219
7.1.4	Das Paris-Abkommen .....	221
7.1.5	Die Idee eines Klimaclubs.....	223
7.2	Experimentelle Evidenz: Öffentliche Güter und Kooperation.....	225
7.2.1	Warum Ökonominnen Laborexperimente durchführen .....	225
7.2.2	Laborexperimente zur Bereitstellung öffentlicher Güter.....	227
7.3	Fallstudie: Ratcheting in der internationalen Klimapolitik.....	233
7.4	Ein Erklärungsansatz für Kooperation: Die Theorie von Fehr und Schmidt .....	239
7.5	Kooperationsversagen: Eine alternative Deutung .....	244
7.6	Literatur.....	249
<b>8.</b>	<b>Übungsaufgaben</b> .....	<b>253</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>263</b>

---

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Externe Unfallkosten für die EU-28 .....	32
Tab. 2.2	Externe Unfallgrenzkosten.....	33
Tab. 2.3	Luftverschmutzungskosten .....	35
Tab. 2.4	Totale Kosten der Luftverschmutzung für die EU-28 .....	35
Tab. 2.5	Klimakosten des Verkehrs für die EU-28.....	36
Tab. 2.6	Lärmkosten des Verkehrs für die EU-28.....	38
Tab. 2.7	Externe Lärmgrenzkosten .....	39
Tab. 2.8	Kosten aus Zeitverlust im Verkehr für die EU-28.....	41
Tab. 2.9	Kosten der Zusatzlast im Verkehr für die EU-28 .....	42
Tab. 2.10	Externe Grenzkosten von Staus.....	42
Tab. 4.1	Eigenschaften von Gütern.....	56
Tab. 5.1	Erhöhungssätze im Rahmen der Ökologischen Steuerreform.....	83
Tab. 5.2	Gesamtsteuerbelastung auf Energieträger .....	84
Tab. 5.3	Determinanten für den Preis im EU-Emissionshandel .....	111
Tab. 5.4	Fallunterscheidungen für die Investition in Vermeidungstechnologie.....	134
Tab. 6.1	DICE – Output, Klimaschäden und Vermeidungskosten in 2120 .....	186
Tab. 7.1	Emissionsziele für 2008-2012 unter dem Kyoto-Protokoll.....	213
Tab. 7.2	Burden Sharing Agreement für die EU-15 .....	214
Tab. 7.3	Effekte der Nachverhandlung des Kyoto-Protokolls.....	217
Tab. 7.4	Tatsächliche Emissionsentwicklung ausgewählter Länder .....	218
Tab. 7.5	Anordnungen im Experiment von Isaac und Walker (1988).....	228
Tab. 7.6	Auszahlungsmatrix im symmetrischen öffentlichen-Gut-Spiel für $N = 2$ .....	241

---

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Grundmodell von Angebot und Nachfrage .....	6
Abb. 1.2	Überschussangebot und Überschussnachfrage .....	7
Abb. 1.3	Konsumentenrente .....	10
Abb. 1.4	Produzentenrente .....	11
Abb. 1.5	Gesellschaftliche Wohlfahrt im Marktgleichgewicht.....	12
Abb. 1.6	Gesellschaftliche Wohlfahrt bei Überschussangebot.....	13
Abb. 1.7	Effekte einer Mengensteuer .....	16
Abb. 2.1	Gewinnmaximale Outputmenge .....	23
Abb. 2.2	Gesellschaftlich optimale Outputmenge für das Stahlunternehmen.....	24
Abb. 2.3	Gesellschaftlich optimale Lösung in der Stahlbranche.....	25
Abb. 2.4	Zeitverlust und Wohlfahrtsverlust durch Stau.....	40
Abb. 3.1	Grenzvermeidungskosten und Grenzscha-den.....	48
Abb. 4.1	Gewinn von Akteurin 1 im öffentlichen-Gut-Spiel .....	62
Abb. 4.2	CPR-Produktionsfunktion .....	64
Abb. 4.3	CPR-Nutzung.....	67
Abb. 4.4	Optimale Bereitstellung rivaler und nicht rivaler Güter .....	69
Abb. 5.1	Soziales Optimum .....	74
Abb. 5.2	Individuelle Anpassung an die Pigou-Steuer .....	75
Abb. 5.3	Horizontale Aggregation von Grenzvermeidungskosten.....	76
Abb. 5.4	Wohlfahrtsverlust durch suboptimalen Steuersatz .....	79
Abb. 5.5	Gesellschaftlich optimale Lösung mit der Pigou-Steuer in der Stahlbranche .....	80
Abb. 5.6	Wohlfahrtseffekte der Pigou-Steuer .....	86
Abb. 5.7	Reduzierte Zusatzlasten auf dem Arbeitsmarkt.....	88
Abb. 5.8	Der effektive Verlauf des Stromsteuertarifs 2002 .....	94
Abb. 5.9	Emissionshandel für zwei Unternehmen.....	99
Abb. 5.10	Preis- und Mengensteuerung bei unvollständiger Information .....	101
Abb. 5.11	Preise für Zertifikate im EU-Emissionshandel .....	113

Abb. 5.12	First- und second-best-Allokationen.....	127
Abb. 5.13	Sozialer Nutzen aus der Investition bei einem Unternehmen und linearen Schadenskosten.....	128
Abb. 5.14	Sozialer Nutzen aus der Investition bei einem Unternehmen und konvexen Schadenskosten.....	129
Abb. 5.15	Sozialer Nutzen aus der Investition bei zwei Unternehmen und linearen Schadenskosten.....	130
Abb. 5.16	Sozialer Nutzen aus der Investition bei zwei Unternehmen und konvexen Schadenskosten .....	131
Abb. 5.17	Sozialer Nutzen aus der Investition bei zwei Unternehmen und konvexen Schadenskosten .....	132
Abb. 5.18	Privater Nutzen aus der Investition bei einem Unternehmen und konvexen Schadenskosten sowie Steuersatzabsenkung .....	133
Abb. 5.19	Privater Nutzen aus der Investition bei einem Unternehmen im Emissionshandel und Angebotsreduzierung.....	137
Abb. 6.1	Globale CO <sub>2</sub> -Emissionen seit 1850 .....	146
Abb. 6.2	Keeling-Kurve .....	147
Abb. 6.3	Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Konzentration in den letzten zwei Jahrtausenden ....	147
Abb. 6.4	Globale Temperaturentwicklung seit 1850.....	148
Abb. 6.5	Verschiebung der Temperaturverteilung.....	156
Abb. 6.6	Rebound-Effekt – Zerlegung in Substitutions- und Einkommenseffekt.....	167
Abb. 6.7	Anteile an den gesamten CO <sub>2</sub> -Emissionen von 1850 bis 2013 .....	176
Abb. 6.8	Verletzlichkeit durch den Klimawandel und Anpassungsfähigkeit .....	177
Abb. 6.9	Vermeidung, Anpassung und Residualkosten.....	179
Abb. 6.10	Komparative Statik für Anpassung und Vermeidung.....	181
Abb. 6.11	Ökonomiemodul in DICE.....	184
Abb. 6.12	Klimamodul in DICE .....	185
Abb. 6.13	DICE – Schäden in Prozent des Outputs .....	186
Abb. 6.14	DICE – Emissionsvermeidungsrate .....	188
Abb. 6.15	DICE – CO <sub>2</sub> -Preis.....	188
Abb. 6.16	DICE – CO <sub>2</sub> -Konzentration .....	189
Abb. 6.17	DICE – Temperaturveränderung ggü. vorindustriellem Niveau .....	190
Abb. 6.18	Beitrag zum Klimaschutz im Beispiel mit $N = 10$ und $\gamma = 10$ .....	196
Abb. 6.19	Gewinne einer Koalitionärin im Beispiel mit $N = 10$ und $\gamma = 10$ .....	199
Abb. 7.1	Beiträge zum öffentlichen Gut in Isaac und Walker (1988).....	229
Abb. 7.2	Mittlere Kooperationsrate pro Versuchsanordnung .....	238