

UFZ-Bericht 02/2012

Ökonomische Grundfragen der Klimaanpassung Umriss eines neuen Forschungsprogramms

Clemens Heuson, Erik Gawel, Oliver Gebhardt, Bernd Hansjürgens, Paul Lehmann,
Volker Meyer, Reimund Schwarze

Ökonomische Grundfragen der Klimaanpassung

Umriss eines neuen Forschungsprogramms

Clemens Heuson¹, Erik Gawel^{1,2}, Oliver Gebhardt¹, Bernd Hansjürgens^{1,3}, Paul Lehmann¹, Volker Meyer¹, Reimund Schwarze^{1,4,5}

¹ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Department Ökonomie
Permoser Str. 15, 04318 Leipzig

² Universität Leipzig, Professur für Volkswirtschaftslehre,
insb. Institutionenökonomische Umweltforschung
Grimmaische Str. 12, 04109 Leipzig

³ Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre,
insb. Umweltökonomik
Universitätsring 3, 06108 Halle (Saale)

⁴ Climate Service Center Germany (CSC),
Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
Climate Service Center (CSC), Abteilung Ökonomie und Politik
Fischertwiete 1, Chilehaus, Eingang B
20095 Hamburg

⁵ Europa-Universität Viadrina, Professur für Volkswirtschaftslehre,
insb. Internationale Umweltökonomie
Große Scharnstraße 59, 15230 Frankfurt (Oder)

Zusammenfassung. Angesichts erfolgloser internationaler Klimaschutzverhandlungen und einer kaum zu erwartenden Trendumkehr bereits eingetretener klimatischer Veränderungen gewinnt die Option der Anpassung an den Klimawandel immer mehr an klimapolitischer Bedeutung. Zahlreiche Länder haben durch die Konzeption von Strategien oder Maßnahmenkatalogen bereits einen Anpassungsprozess angestoßen. Daher besteht ein großer Bedarf, diesen Prozess von wissenschaftlicher Seite zu begleiten. Der ökonomischen Disziplin kommt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle zu, v. a. im Hinblick auf die Ausgestaltung, Bewertung und Auswahl von Anpassungsmaßnahmen und -instrumenten. Das noch recht junge Feld der ökonomischen Anpassungsforschung wächst mit beträchtlicher Geschwindigkeit und weist bereits eine enorme Bandbreite an methodischen Ansätzen und Forschungsfragen auf. Vor diesem Hintergrund ist der vorliegende Beitrag bestrebt, eine systematische Strukturierung und Synthese der einzelnen Forschungsarbeiten vorzunehmen, um den politischen Akteuren einen Überblick über die wissenschaftlichen Empfehlungen und Erkenntnisse zu verschaffen, die diese bei ihren Entscheidungen berücksichtigen müssen. Ferner sollen offene Forschungsfragen identifiziert und darauf aufbauend Eckpunkte für die zukünftige Ausrichtung der ökonomischen Klimaanpassungsforschung konturiert werden.

Schlagwörter: Klimawandel, Klimapolitik, Anpassung, Adaptation, Barrieren, Governance, Instrumente, Literaturüberblick, ökonomische Forschung, Zielfindung

Die Autoren danken Klaus Eisenack und Anna Pechan für wertvolle Hinweise.

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| 1 Ökonomie der Klimaanpassung – ein neues Forschungsfeld | 5 |
| 2 Anpassung und ökonomische Anpassungsforschung: Abgrenzungen und Herausforderungen | 6 |
| 2.1 Begriff und Dimensionen der Klimaanpassung | 6 |
| 2.2 Struktur und Themenkomplexe des Forschungsfelds | 14 |
| 3 Ziele der Klimaanpassung | 17 |
| 3.1 Optimalität | 17 |
| 3.1.1 Theoretische Fundierung | 19 |
| 3.1.1.1 Isolierte Betrachtung der Anpassung | 19 |
| 3.1.1.2 Integrierte Betrachtung von Anpassung und Vermeidung | 22 |
| 3.1.2 Empirische Ermittlung des Nutzens und der Kosten der Anpassung | 27 |
| 3.2 Ziele ohne Effizienzbezug | 29 |
| 3.3 Beurteilung und Auswahl von Anpassungsmaßnahmen | 31 |
| 4 Barrieren autonomer Anpassung und die Legitimation staatlicher Eingriffe | 38 |
| 4.1 Identifikation grundlegender autonomer Anpassungsbarrieren | 39 |
| 4.2 Ökonomische Legitimation staatlicher Eingriffe | 40 |
| 4.2.1 Klassische Marktversagenstatbestände | 40 |
| 4.2.2 Erweiterte Marktversagenstatbestände | 42 |
| 4.2.3 Regulatorische Hemmnisse | 44 |
| 4.3 Verfolgung von Zielen ohne Effizienzbezug | 44 |
| 5 Governance und Instrumentenwahl | 45 |
| 5.1 Deskriptive Analyse: Governance-Strukturen, Institutionen und Instrumente | 45 |
| 5.1.1 Grundlegende Systematisierung | 45 |
| 5.1.2 Sektor- und regionenspezifische Erfassung | 46 |
| 5.2 Positive Analyse: Barrieren staatlicher Anpassung | 47 |
| 5.2.1 Allgemeine Barrieren | 47 |
| 5.2.2 Sektorale und regionale Barrierenanalyse | 48 |
| 5.3 Normative Analyse: Ausgestaltung der Anpassungspolitik und Instrumentenwahl | 49 |
| 5.3.1 Instrumente und Maßnahmen | 50 |
| 5.3.2 Governance | 50 |
| 6 Bedeutung der Anpassung für internationale Abkommen zur Treibhausgasreduktion | 51 |

| | |
|---|-----------|
| 7 Leitfäden zur Unterstützung politischer Entscheidungsträger | 54 |
| 8 Methodische Zugänge zur ökonomischen Anpassungsforschung | 57 |
| 9 Thematische Schwerpunktsetzungen in Anpassungsforschung und -politik | 60 |
| 10 Die deutsche Forschungslandschaft | 64 |
| 11 Eckpunkte für die zukünftige Ausrichtung der ökonomischen Klimaanpassungsforschung | 66 |
| Anhang: Spieltheoretischer Analyserahmen zur Untersuchung des optimalen Anpassungs-Vermeidungs-Mix | 70 |
| Literaturverzeichnis | 76 |

1 Ökonomie der Klimaanpassung – ein neues Forschungsfeld

1. Gemäß dem vierten Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007a) ist eine Erwärmung des Erdklimas evident. Dies geht aus den Beobachtungen der Anstiege der globalen mittleren Luft- und Meerestemperaturen, des ausgedehnten Abschmelzens von Schnee und Eis sowie des Anstiegs des mittleren globalen Meeresspiegels hervor. Ferner sind auf allen Kontinenten und den meisten Ozeanen viele natürliche Systeme von regionalen klimatischen Änderungen betroffen. Die zu beobachtende Klimaerwärmung ist darüber hinaus mit sehr großer Wahrscheinlichkeit auf den Anstieg der anthropogenen Treibhausgasemissionen zurückzuführen.

2. Sieht man von „Climate Engineering“ einmal ab,¹ so existieren grundsätzlich zwei klimapolitische Optionen, um den mit dem anthropogenen Klimawandel einhergehenden Problemen und Herausforderungen, wie z. B. der Zunahme von Wetterextremen in Intensität und Häufigkeit oder der Bedrohung küstennaher Siedlungsgebiete durch den Anstieg des Meeresspiegels, zu begegnen: Einerseits kann der Klimawandel durch eine Reduktion der Treibhausgasemissionen gebremst bzw. aufgehalten werden (**Mitigation**). Andererseits können Maßnahmen getroffen werden, um Gesellschaft und Ökosysteme an die veränderten klimatischen Bedingungen anzupassen (**Adaptation**).

3. Angesichts erfolgloser internationaler Klimaschutzverhandlungen und einer kaum zu erwartenden kurz- oder mittelfristigen Trendumkehr bereits eingetretener klimatischer Veränderungen **gewinnt die Anpassungsoption immer mehr an klimapolitischer Bedeutung** (siehe z. B. FANKHAUSER, 2009, IPCC, 2001, PIELKE et al., 2007 und HANSJÜRGENS und ANTES, 2008). Die Klimaanpassung ist überdies bereits Gegenstand der (umwelt-) politischen Praxis. Zahlreiche Länder haben durch die Konzeption von Strategien oder Maßnahmenkatalogen einen Anpassungsprozess angestoßen (für die Europäische Union siehe PEER, 2009). Daher besteht ein großer Bedarf, diesen Prozess von wissenschaftlicher Seite zu begleiten und einschlägige Erkenntnisse zu vermitteln sowie Empfehlungen zur Politikberatung abzuleiten.

4. Der **ökonomischen Disziplin** kommt in diesem Zusammenhang eine **Schlüsselrolle** zu, gilt es doch, sowohl geeignete **Anreize und Rahmenbedingungen** für eine erfolgreiche eigenständige Anpassung der betroffenen Akteure zu setzen, als auch, wo dies nicht möglich ist, die **anpassungspolitischen Eingriffe staatlicher Instanzen effizient auszugestalten und umzusetzen**. Das noch recht junge Feld der ökonomischen Anpassungsforschung wächst mit beträchtlicher Geschwindigkeit und weist bereits eine enorme Bandbreite an methodischen Ansätzen und Forschungsfragen auf. Vor diesem Hintergrund ist eine **systematische Strukturierung und Synthese der einzelnen Forschungsarbeiten unabdingbar**, um zum einen den politischen Akteuren einen Überblick über die wissenschaftlichen Empfehlungen und Erkenntnisse zu verschaffen, die diese bei ihren Entscheidungen berücksich-

¹ In neuerer Zeit wird mit dem sog. „Climate Engineering“ verstärkt eine dritte Option diskutiert. Diese sieht (insbesondere technische) Eingriffe in das Klimasystem der Erde zur Abschwächung des Treibhauseffekts als Folge *gegebener* THG-Emissionen vor. Aufgrund massiver Unsicherheiten hinsichtlich der Effektivität, Kosten und Umweltwirkungen dieser Eingriffe wird das Geo-Engineering von wissenschaftlicher Seite allenfalls als mögliche Notfalloption für die Zukunft ausgewiesen, die jedoch gegenwärtig nicht in Betracht zu ziehen ist (SHEPHERD, 2009; zur aktuellen Forschungslandschaft jüngst GAWEL, 2011).

tigen müssen. Zum anderen soll auch den Wissenschaftlern selbst die Einsicht in den Stand der Forschung sowie die Identifikation offener Forschungsfragen erleichtert werden, um so den weiteren Forschungsprozess in geeignete Bahnen zu lenken.

5. Die **vorliegende Arbeit** versucht, diesen Anliegen mit einer strukturierten Überblicksdarstellung gerecht zu werden. Dabei wird folgende **Vorgehensweise** gewählt: Grundsätzlich werden alle Arbeiten erfasst, die sich auf Basis theoretischer oder empirischer Methoden mit der Ökonomie und Politik der Klimaanpassung auseinandersetzen. Darunter fallen auch Arbeiten mit sozial- oder politikwissenschaftlichem Hintergrund, die ökonomische Anknüpfungspunkte aufweisen. Kapitel 2 nimmt zunächst eine grundlegende Abgrenzung des Forschungsbereichs „Ökonomie der Klimaanpassung“ vor und untergliedert diesen in verschiedene Teilbereiche, die sich jeweils mit einem bestimmten Themenkomplex auseinandersetzen. Die wissenschaftlichen Beiträge zu den einzelnen Teilbereichen werden in den Kapiteln 3-6 zusammenfassend dargestellt und in den Gesamtkomplex eingeordnet. Kapitel 7 widmet sich Arbeiten, die es sich gezielt zur Aufgabe gemacht haben, politische Entscheidungsträger im Anpassungsprozess zu unterstützen und einschlägige Empfehlungen, Leitfäden und Orientierungshilfen anbieten. Kapitel 8 gibt einen Überblick über die verschiedenen methodischen Ansätze, die in den einzelnen Teilbereichen zur Anwendung kommen. In Kapitel 9 werden die thematischen Schwerpunktsetzungen in der ökonomischen Anpassungsforschung und in der Anpassungspolitik gegenübergestellt, wodurch gewisse Rückschlüsse hinsichtlich der Ausrichtung der Forschung bzw. der Kommunikation zwischen Wissenschaft und Politik gezogen werden können. Kapitel 10 skizziert die deutsche Forschungslandschaft in Bezug auf die Forschungsschwerpunkte. Schließlich fasst Kapitel 11 die gewonnenen Erkenntnisse zusammen und identifiziert offene Forschungsfragen und Herausforderungen der zukünftigen ökonomischen Anpassungsforschung.

2 Anpassung und ökonomische Anpassungsforschung:

Abgrenzungen und Herausforderungen

6. Der vorliegende Abschnitt nimmt zunächst eine Bestandsaufnahme und Abgrenzung des Feldes der ökonomischen Anpassungsforschung vor. Abschnitt 2.1 bestimmt zu diesem Zweck die für das grundlegende Verständnis der weiteren Ausführungen notwendigen **Begrifflichkeiten** (Ziff. 7) und zeigt die verschiedenen **Dimensionen der Klimaanpassung** auf (Ziff. 8-15). Ferner werden die grundsätzlichen **Eigenschaften** der **Anpassung** und der alternativen klimapolitischen Strategie, der **Vermeidung**, gegenübergestellt (Ziff. 16-18). Abschnitt 2.2 strukturiert das Gebiet der ökonomischen Anpassungsforschung und gibt einen **Überblick über die verschiedenen**, in der Forschung angesprochenen **Themenkomplexe**.

2.1 Begriff und Dimensionen der Klimaanpassung

7. In der Literatur hat sich weitestgehend die **Definition** des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) durchgesetzt, die von vielen Arbeiten direkt (vgl. z. B. FÜSSEL, 2007 oder ADGER et al., 2005) oder mit geringfügigen Modifikationen (vgl. z. B. GTZ, 2007 oder TOL, 2005) übernommen wird: „*Adaptation is adjustment in ecological, social, or eco-*

conomic systems in response to actual or expected climatic stimuli and their effects or impacts. This term refers to changes in processes, practices, or structures to moderate or offset potential damages or to take advantage of opportunities associated with changes in climate. It involves adjustments to reduce the vulnerability of communities, regions, or activities to climatic change and variability.“

8. Aus dieser Definition gehen die drei **Dimensionen** der Anpassung hervor, die von SMIT et al. (1999) mit den Fragen ‚Anpassung an was?‘ (klimabezogene Stimuli), ‚Wer oder was nimmt die Anpassung vor?‘ (Anpassungssystem) und ‚Wie erfolgt die Anpassung?‘ (Anpassungsmaßnahmen) umschrieben werden – dazu Abbildung 1.

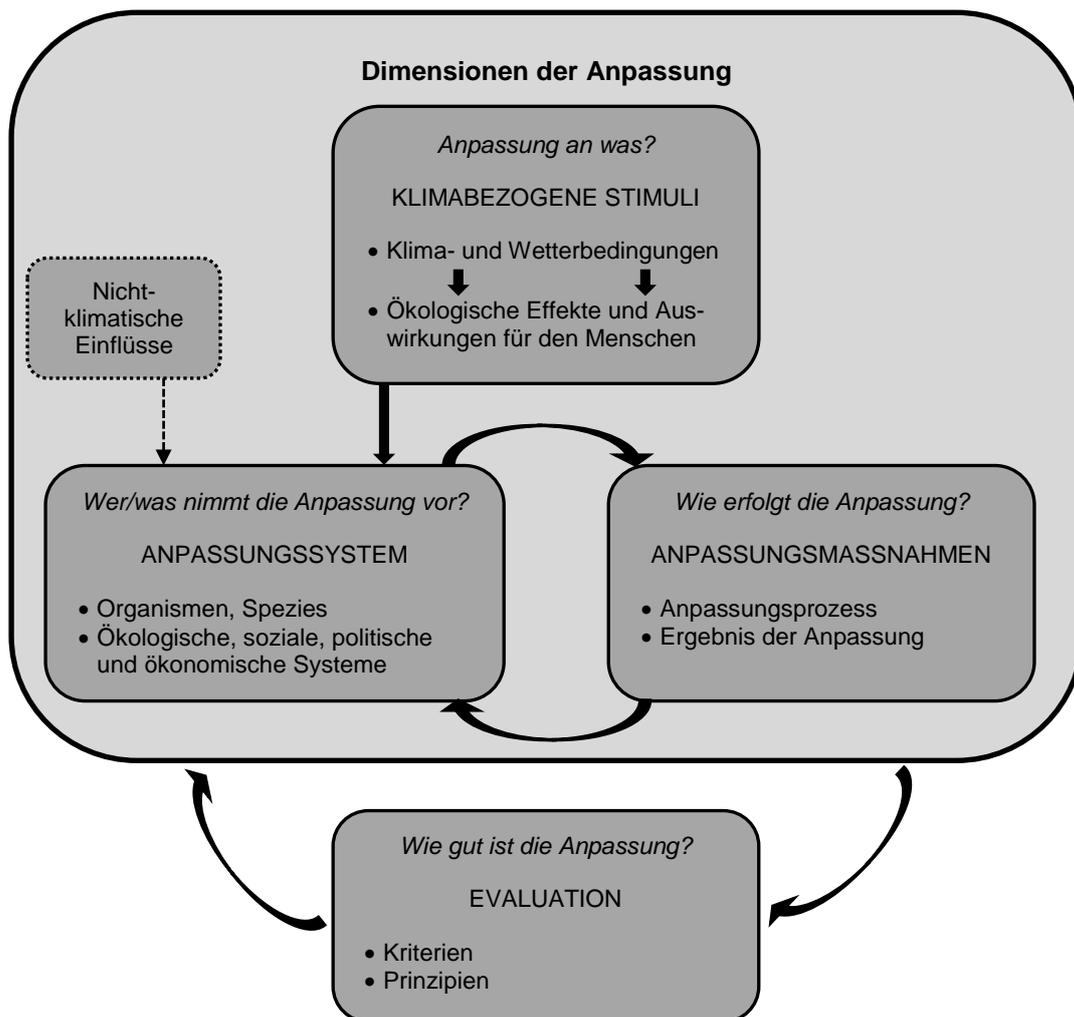


Abbildung 1: Dimensionen der Anpassung (SMIT et al., 1999)

9. Den Anlass zur Anpassung geben **klimabezogene Stimuli**, d. h. veränderte Wetter- oder Klimabedingungen (z. B. Niederschlag oder Temperatur) und daraus resultierende ökologische oder ökonomische Auswirkungen (z. B. Dürren, Ernte- oder Einkommensausfälle), die in klarem Zusammenhang zur Sensitivität des betrachteten (Anpassungs-) Systems stehen (siehe Ziff. 10). Hinsichtlich der **zeitlichen Dimension** sind im Wesentlichen drei Typen von

Stimuli zu unterscheiden: langfristige Veränderungen von Mittelwerten und Normen, Variabilität innerhalb eines Jahres oder Jahrzehnts sowie vereinzelte Extremereignisse oder katastrophale Wetterbedingungen wie Hochwasser, Hagel oder Stürme. Diese Typen sind nicht unabhängig voneinander, sondern bedingen und beeinflussen sich gegenseitig: Extremereignisse sind Teil der Variabilität bestimmter Wetter- und Klimaparameter. Die Variabilität wird wiederum maßgeblich von der langfristigen Entwicklung der Parameter beeinflusst. Darüber hinaus weisen die Stimuli unterschiedliche **räumliche Eigenschaften** auf, d. h. sie treten lokal begrenzt oder über ein weites Gebiet verbreitet auf. Schließlich ist zu bedenken, dass das Anpassungssystem neben den klimabezogenen Stimuli auch Gegenstand diverser **nicht-klimatischer Einflüsse** ist, wie z. B. Bevölkerungswachstum- oder -schrumpfung, welche die Auswirkungen originär klimatischer Stimuli verstärken oder schwächen können und mithin bei der Anpassung zu berücksichtigen sind.

10. Die Anpassung findet im **Anpassungssystem** statt. Dessen Definition ist zunächst an der Ebene festzumachen, auf der die Anpassung erfolgt (SMIT et al., 1999). Beispielsweise umfasst die Anpassung auf der Ebene eines landwirtschaftlichen Betriebs die Diversifikation im Anbau, wogegen sie sich auf globaler Ebene in einer Verschiebung der Struktur des internationalen Nahrungsmittelhandels manifestieren kann. Ferner bezieht sich die Definition auf die Natur des Anpassungssystems, die ökologischer, politischer, sozialer oder ökonomischer Art sein oder Kombinationen dieser Komponenten umfassen kann. Schließlich ist das System dahingehend zu unterscheiden, wer die Anpassung vornimmt (z. B. Küstenschutz-Manager) und was sich modifiziert bzw. modifiziert wird (z. B. küstennahe Wohngebiete).

11. Aufbauend auf der Definition des Systems kann dieses anhand diverser Kriterien **charakterisiert** werden. SMIT et al. (2000) fassen die in der Literatur gängigen, sich teilweise überlappenden Kriterien zusammen – vgl. Tabelle 1. Diese Kriterien charakterisieren das System im Wesentlichen dahingehend, wie groß dessen **Anpassungsbedarf** ist, mit welcher **Wahrscheinlichkeit** die Anpassung erfolgt und wie es um dessen **Anpassungsvermögen** bestellt ist. Die Determinanten der Anpassungswahrscheinlichkeit, z. B. Resistenz oder Flexibilität, verkörpern gewissermaßen notwendige Voraussetzungen für ein hinreichendes Anpassungsvermögen des Systems und charakterisieren dieses somit nur mittelbar. Folglich ist eine umfassende Beschreibung des Systems allein auf Basis der Kriterien der Anpassungsnotwendigkeit und des Anpassungsvermögens möglich (SMIT et al., 2000). Die in der Literatur in diesem Zusammenhang vorgebrachten zentralen Konzepte sind die **Sensitivität**, **Vulnerabilität** und **Anpassungsfähigkeit** bzw. **-kapazität**, deren Zusammenhang an folgendem Beispiel veranschaulicht werden soll: Ein küstennahes Siedlungsgebiet (Anpassungssystem) ist sensitiv gegenüber Stürmen (sich wiederholender klimabezogener Stimulus, Teil der Variabilität), da diese signifikante Änderungen im lokalen Umfeld hervorrufen, was sich in den Lebensbedingungen und der Infrastruktur niederschlägt. Die Vulnerabilität des Siedlungsgebiets meint in diesem Zusammenhang dessen Anfälligkeit für nachteilige, aus besagten Änderungen hervorgehende Auswirkungen, wie z. B. Trinkwasserverschmutzung oder Beschädigung von Eigentum. Die Anpassungsfähigkeit bzw. -kapazität des Systems wird im Beispiel u. a. durch das Wissen und Bewusstsein bzgl. der Sturmgefahr, Notfallpläne, Frühwarnsysteme und die Planung und Umsetzung sturmresistenter Bauvorhaben bestimmt.²

² Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001b) und GOKLANY (2007) benennen technologische Optionen, Ressourcenverfügbarkeit, Information und Fähigkeiten, Infrastruktur und Institutionen sowie Human- und Sachkapital als allgemeingültige Determinanten der Anpassungskapazität. KELLY und ADGER (1999) fassen die Anpassungskapazität und Vulnerabilität als spiegelbildliche Konzepte auf, wie anhand deren Definition des

| | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| Anpassungs- bedarf | Sensitivität | Beeinflussbarkeit und Zugänglichkeit eines Systems durch bzw. für klimabezogene Stimuli |
| | Empfänglichkeit | Offenheit oder Sensitivität eines Systems für klimabezogene Stimuli (ähnlich wie Sensitivität, aber stärkerer Schadensbezug) |
| | Vulnerabilität | Empfänglichkeit eines Systems für Verletzungen, Beeinträchtigungen oder Schäden (auf nachteilige Einflüsse bezogener Teil der Sensitivität) |
| Wahrscheinlichkeit der Anpassung | Robustheit | Stärke; Maß, in dem ein System nicht beeinflussbar ist |
| | Resilienz | Maß, in dem ein System Stimuli abprallen lässt, sich schadlos hält bzw. erholt |
| | Resistenz | Maß, in dem sich ein System den Auswirkungen eines Stimulus entgegensetzt oder diese verhindert |
| | Flexibilität | Modifizierbarkeit bzw. Nachgiebigkeit eines Systems (ähnlich zu Anpassungsfähigkeit, aber mehr im absoluten denn im relativen Sinn) |
| Anpassungs- vermögen | Fähigkeit zur Bewältigung | Maß, in dem ein System mit einem Stimulus zurechtkommt bzw. sich mit diesem auseinandersetzt |
| | Reaktionsfähigkeit | Maß, in dem ein System auf einen Stimulus reagiert (breiter als die Fähigkeit zur Bewältigung, da die Reaktionen nicht erfolgreich sein müssen) |
| | Anpassungskapazität | Potential eines Systems, sich an klimabezogene Stimuli anzupassen |
| | Anpassungsfähigkeit | Fähigkeit oder Kompetenz eines Systems, sich an klimabezogene Stimuli anzupassen |

Tabelle 1: Charakterisierung des Anpassungssystems (in Anlehnung an SMIT et al.,2000)

12. Eine **alternative Charakterisierung des Anpassungssystems** wird von REILLY und SCHIMMELPFENNIG (2000) dargelegt, die sich auf Aspekte der kurz- und langfristigen autonomen bzw. nicht-autonomen Flexibilität des Systems sowie das Vorhandensein des zur Durchführung der Anpassung notwendigen Wissens konzentriert. ADGER et al. (2005) vertiefen die Frage, welche **Akteure** die Anpassungsentscheidungen treffen. Sie unterscheiden diesbezüglich zwischen Individuen, Unternehmen, der Zivilgesellschaft, öffentlichen Behörden, Regierungen auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene sowie internationalen Organisationen.

13. Die verbleibende Dimension der Anpassung zielt auf die Frage ab, wie, d. h. mit welchen Maßnahmen, das Anpassungssystem den klimabezogenen Stimuli begegnet. Tabelle 2 zeigt die **Charakterisierung der Anpassungsmaßnahmen** nach SMIT et al. (1999), die sich als gängiger Standard in der Literatur etabliert hat (siehe FÜSSEL, 2007, FÜSSEL und KLEIN, 2004 und IPCC, 2001). Die Maßnahmen werden dabei anhand der folgenden Kriterien bzw. Attribute beschrieben: Die **Absicht** bzw. das **Zielbewusstsein** der Maßnahme stellt u. a. darauf

Vulnerabilitätsbegriffs ersichtlich wird: „...we define vulnerability in terms of the capacity of individuals and social groups to respond to, that is, to cope with, recover from and adapt to, any external stress placed on their livelihoods and well-being.“

ab, ob diese **autonom**³ bzw. **spontan** erfolgt oder zweckgerichtet **geplant** wurde und ob sie Teil eines natürlichen oder politischen Prozesses ist. Autonome Anpassung wird häufig mit privater Anpassung gleichgesetzt, die das Gegenstück zur politisch veranlassten bzw. staatlichen Anpassung bildet. Hinsichtlich des **Timings** ist dahingehend zu unterscheiden, ob die Maßnahme als Reaktion auf einen klimabezogenen Stimulus oder voraushandelnd, d. h. proaktiv ergriffen wird – vgl. SMITH (1997).⁴ FANKHAUSER et al. (1999) weisen darauf hin, dass antizipatorische/geplante und reagierende/autonome Maßnahmen sowohl in einer **komplementären** als auch **substitutiven Beziehung** stehen, d. h. sich gegenseitig begünstigen oder beeinträchtigen können. Beispielsweise schlagen sich nach Streichung von Getreidesubventionen Angebots- und Nachfrageänderungen schneller im Getreidepreis nieder, wodurch eine schnellere Reaktion der Landwirte auf klimatische Veränderungen begünstigt wird. Hier erhöht also die antizipatorische/geplante Maßnahme den Grenznutzen der reagierenden/autonomen Maßnahme (komplementäre Beziehung). Demgegenüber liegt beispielsweise eine substitutive Beziehung vor, wenn antizipatorische/geplante Küstenschutzmaßnahmen, wie der Bau von Deichanlagen, den Bedarf reagierender/autonomer Anpassungsmaßnahmen der betroffenen Bevölkerung reduzieren. Der **zeitliche Horizont** beschreibt u. a., ob die Maßnahme kurz- oder langfristig angelegt ist und taktisch zur Bewältigung einer unmittelbar bevorstehenden Situation oder strategisch zur Anpassung an längerfristige Folgen des Klimawandels erfolgt. Was die **räumliche Dimension** anbelangt, so kann die Maßnahme lokal oder großflächig angelegt sein. Als mögliche **Funktionen** und **Wirkungen** kommen z. B. das Verhindern des Schadens oder dessen Beseitigung in Betracht. Schließlich sind unterschiedliche **Formen** der Maßnahmen, wie z. B. rechtliche, finanzielle oder technologische, zu unterscheiden. Die Ausprägung aller genannten Attribute hängt von den beiden anderen Dimensionen der Anpassung ab: Beispielsweise erfolgt die Anpassung natürlicher Systeme, die frei von menschlichen Eingriffen sind, zwangsläufig autonom und reagierend, wogegen Anpassungsmaßnahmen die von öffentlichen Behörden veranlasst werden üblicherweise geplant und womöglich antizipativ sind (SMIT et al., 1999). Ferner verlangen langfristig wirkende klimabezogene Stimuli wie der Anstieg der Durchschnittstemperatur zwangsläufig antizipatorische bzw. strategische Maßnahmen, wogegen schwer vorhersehbare Extremereignisse wie z. B. Hochwasser reagierende bzw. taktische Maßnahmen erfordern.

³ AAHEIM und AASEN (2008) unterteilen die autonome Anpassung in direkte (Änderung der Technologien/Präferenzen als Reaktion auf Klimawandel) und indirekte Komponenten (Marktreaktion auf veränderte Technologien/Präferenzen).

⁴ FÜSSEL und KLEIN (2004) verfeinern die Kategorie der proaktiven Anpassung hinsichtlich unterschiedlicher *Stufen der Prävention*: ursprünglich (setzt direkt an der Ursache des möglichen Schadensereignisses an, somit fließender Übergang zur Mitigation) – primär (Verhinderung des Ereignisses indem die Anfälligkeit des Systems hinsichtlich mit dem Klimawandel einhergehender Gefahren reduziert wird) – sekundär (Aufdeckung klimabedingter systemrelevanter Änderungen und Einleitung darauf ausgerichteter Maßnahmen) – tertiär (Reaktion auf bereits eingetretene Änderungen bzw. Schäden um weitreichendere Folgen zu verhindern).

| Allgemeines Unterscheidungsmerkmal bzw. Attribut | Beispiele für verwendete Begriffe | |
|--|---|---|
| Intention/Entschlossenheit/ Zielgerichtetheit | autonom spontan automatisch natürlich passiv | geplant zielgerichtet gewollt politisch veranlasst aktiv strategisch |
| Timing | antizipatorisch initiativ ex ante | reagierend rückwirkend ex post |
| Zeitlicher Horizont | kurzfristig taktisch unverzögerlich | langfristig strategisch kumulativ |
| Räumliche Reichweite | lokal | verbreitet |
| Funktion/Wirkung | zurückweichen – anpassen – schützen verhindern – tolerieren Risiko streuen – verändern – wiederherstellen | |
| Form | strukturell – rechtlich – institutionell – regulatorisch – finanziell – technologisch | |
| Performance | Optimalität – Kosteneffizienz – Implementierbarkeit – Verteilungsgerechtigkeit | |

Tabelle 2: Kategorisierung der Anpassungsmaßnahmen (SMIT et al., 1999, S. 208)

14. Im Gegensatz zu diesen rein deskriptiven Attributen der Anpassungsmaßnahmen sind die Attribute bzgl. deren **Performance** gleichermaßen beschreibend und bewertend. Die Beurteilung der Maßnahmen wird dabei an Kriterien wie der Effektivität, Kosteneffizienz, Effizienz bzw. Optimalität, Implementierbarkeit oder Verteilungsgerechtigkeit festgemacht (siehe dazu ausführlich Abschnitt 3.3). Eine ganzheitliche Bewertung der Performance einer Maßnahme muss im Kontext der auslösenden Stimuli sowie des betroffenen Anpassungssystems erfolgen (vgl. SMIT et al., 1999, und Abbildung 1). Die aus der Bewertung gewonnenen Erkenntnisse sind dann bei der zukünftigen Auswahl und Implementierung der Maßnahmen zu berücksichtigen.

15. Die folgenden Arbeiten **heben sich etwas von dem durch SMIT et al. (1999) gesetzten Standard** (Ziff. 11) ab: CIMATO und MULLAN (2010) differenzieren die Anpassungsmaßnahmen dahingehend, wie sie drohenden, klimawandelbedingten Verlusten begegnen (Verhindern, Tolerieren oder Aufteilen der Verluste). ADGER et al. (2005) und IPCC (2001b) unterscheiden zwischen dem Aufbau von Anpassungskapazität und der Implementierung von Anpassungsmaßnahmen. Eine Klassifizierung nach dem relativen Gewicht von klima- und nicht klimabezogenen Einflussfaktoren der Anpassungsmaßnahmen wird von FÜSSEL und KLEIN (2004) vorgeschlagen. Daran anknüpfend weisen diverse Autoren darauf hin, dass Anpassungsmaßnahmen nicht immer ohne Weiteres abzugrenzen sind, da oft Überlappungen mit anderen politischen Handlungsfeldern, wie z. B. der Bildungs- und Entwicklungspolitik oder dem Katastrophenschutz vorliegen (FÜSSEL, 2007, MERCER, 2010, und OECD, 2008).

16. In der klimapolitischen Diskussion wird die **Adaptation** regelmäßig als notwendige, komplementäre Strategie zur **Mitigation** motiviert (z. B. BUCHHOLZ und RÜBBELKE, 2011). Somit

empfiehlt es sich abschließend, die **grundlegenden Eigenschaften** dieser beiden Strategien einander gegenüberzustellen, um eine trennscharfe Abgrenzung des Anpassungsbegriffs zu gewährleisten. Eine derartige Gegenüberstellung wird von FÜSSEL (2007) sowie FÜSSEL und KLEIN (2006) vorgenommen – siehe Tabelle 3. Traditionell kommt der Mitigation von wissenschaftlicher wie politischer Seite eine größere Aufmerksamkeit zu als der Adaptation, was vor allem auf die folgenden Eigenschaften der beiden Optionen zurückzuführen ist: Die Vermeidung von Treibhausgasemissionen kann negative **Auswirkungen des Klimawandels von allen klimasensitiven Systemen abwenden**, wogegen der Anpassungsspielraum in vielen Systemen begrenzt ist – man denke z. B. an kleine (und zudem meist arme) Inselstaaten, die einem Meeresspiegelanstieg nahezu schutzlos ausgesetzt sind. Ferner ist die **Wirksamkeit** bzw. der **Nutzen** der Vermeidung (in der langfristigen Perspektive) sicher, da diese direkt die Ursache der klimawandelbezogenen Probleme bekämpft. Demgegenüber hängt die Effektivität der (proaktiven) Anpassung oft von Prognosen der regionalen Vulnerabilitätssituation und Folgen des Klimawandels ab, die mit massiven Unsicherheiten behaftet sind. Auch wird die Vermeidung naturgemäß dem **Verursacherprinzip** zugerechnet. Anders verhält es sich bei der Anpassung: Entwicklungsländer weisen zumeist den größten Anpassungsbedarf auf, obgleich sie im Hinblick auf ihre historische Emissionen deutlich weniger zum Klimawandel beigetragen haben als die Industrienationen. Schließlich sind Treibhausgasemissionen relativ problemlos quantitativ zu erfassen, was gleichermaßen die **Erfolgskontrolle** der Vermeidungsanstrengungen erleichtert. Es ist weitaus schwieriger, die Effektivität von Anpassungsmaßnahmen zu messen. Aufgrund ihrer Heterogenität und Vielseitigkeit existiert für diese im Gegensatz zur Vermeidungsoption (eingesparte Emissionsmenge) kein universeller Erfolgsmaßstab (CIMATO und MULLAN, 2010).

17. Allerdings sprechen auch einige Eigenschaften der beiden klimapolitischen Optionen für eine verstärkte Berücksichtigung der Anpassung. Anpassungsmaßnahmen können im Hinblick auf die **Reichweite** ihres Effekts auf lokaler oder regionaler Ebene implementiert werden. Anders verhält es sich bei der Vermeidung, deren Effektivität bekanntlich von der Gesamtheit aller globalen Beiträge abhängig ist. In der Konsequenz profitiert also der **Träger der Kosten** einer Anpassungsmaßnahme weitgehend vollständig von dieser, der Nutzen aus einer einzelnen Vermeidungsmaßnahme ist dagegen geringfügig. Kurzum handelt es sich also bei der Anpassung typischerweise um ein privates,⁵ bei der Vermeidung um ein öffentliches Gut, das Gegenstand der Freifahrer-Problematik ist.

Ferner sind Anpassungsmaßnahmen im Vergleich zur Vermeidung häufiger mit einem **Zusatznutzen** verbunden, insbesondere was die Reduktion von Risiken der gegenwärtigen Klimavariabilität betrifft. Im Hinblick auf die **Vorlaufzeit** ist zu konstatieren, dass der Nutzen von (reagierenden) Anpassungsmaßnahmen häufig sofort wirksam wird, wogegen der Effekt der Emissionsvermeidung aufgrund der Trägheit des Klimasystems erst mit einer Verzögerung von mehreren Jahrzehnten eintritt.

⁵ Für Ausnahmen und Barrieren bei der privaten Bereitstellung von Anpassungsmaßnahmen siehe Abschnitt 4.2.1.

| | Mitigation | Adaptation | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| begünstigtes System | alle Systeme | ausgewählte Systeme | } Vorteil } Mitigation |
| Wirksamkeit/Nutzen | sicher | im Allgemeinen unsicher | |
| Verursacherprinzip greift | typischerweise ja | nicht notwendigerweise | |
| Erfolgskontrolle | relativ leicht | schwieriger | |
| Reichweite des Effekts | global | lokal bis regional | } Vorteil } Adaptation |
| Träger der Kosten profitiert | nur geringfügig | fast vollständig | |
| Zusatznutzen | manchmal | häufig | |
| Vorlaufzeit | Jahrzehnte | keine bis Jahrzehnte | |

*Tabelle 3: Grundlegende Charakteristika von Mitigation und Adaptation
(in Anlehnung an FÜSSEL und KLEIN, 2006)*

18. TOL (2005) fasst die unterschiedlichen Charakteristika von Anpassung und Vermeidung in den folgenden drei Kategorien zusammen. Zunächst besteht eine **Diskrepanz in dem grundlegenden Handlungsrahmen** der beiden Optionen. Während Vermeidungsanstrengungen Teil des Kompetenzbereichs nationaler Regierungen vor dem Hintergrund internationaler Klimaschutzverhandlungen sind, werden Anpassungsmaßnahmen primär von lokalen Managern natürlicher Ressourcen, Haushalten und Unternehmen im Kontext des regionalen sozio-ökonomischen Umfelds durchgeführt. Selbst wenn die Emissionsvermeidung letzten Endes von Individuen umgesetzt wird, so werden doch die entsprechenden Anreize von der Regierung gesetzt. Weiterhin weist TOL (2005) darauf hin, dass sich von Seiten der Wissenschaften bereitgestellte **Tools zur Entscheidungsunterstützung** bzgl. der Planung und Durchsetzung von Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen, wie z. B. Nutzen-Kosten-Analysen (siehe Ziff. 62), an **unterschiedliche Adressaten** richten. Im Falle der Vermeidung sind besagte Tools an erster Stelle für das Energie- und Finanzministerium, an zweiter Stelle für das Transport-, Land- und Forstwirtschafts- sowie das Umweltministerium von Interesse. Hingegen zählen bei der Anpassung lokale Wasser- oder Küstenschutzmanagement-Einrichtungen, Landwirte, Gesundheitsbeauftragte, touristische Einrichtungen, Architekten oder Energieerzeuger zur relevanten Klientel. Entscheidungsträger auf nationaler Ebene werden dabei nur am Rande tangiert. Schließlich liegt auch eine Diskrepanz hinsichtlich des **zeitlichen Horizonts der Entscheidungsunterstützung** vor. Im Hinblick auf die Vermeidungsoption stehen kurzfristige Maßnahmen im Fokus, welche langfristig wirkende nachteilige Effekte verhindern sollen, bei der Anpassungsoption sind es zumeist kurzfristige Maßnahmen, die auf kurz- bis mittelfristige Entwicklungen abzielen. In Anbetracht dieser Diskrepanzen kommen TOL (2005) und, darauf aufbauend, FANKHAUSER (2009) zu dem Schluss, dass die beiden Optionen generell getrennt voneinander zu untersuchen sind, da die Grundlagen für einen gemeinsamen Analyserahmen nicht gegeben seien. TOL (2005) sieht allerdings in der sog. „**erleichternden oder fördernden Anpassung**“ eine **Ausnahme**. Diese ist im Wesentlichen der geplanten, antizipatorischen Anpassung zuzuordnen und umfasst Maßnahmen, die zum Aufbau der Anpassungskapazität beitragen und so im Sinne des Subsidiaritätsprinzips die Voraussetzungen für eine erfolgreiche autonome Anpassung der betroffenen Akteure schaffen. Dazu zählen beispielsweise die Grundlagenforschung, der Aufbau von Infrastruktur, die Schaffung von Institutionen oder die Vermittlung anpassungsrelevanter Informationen. Derartige Maßnahmen bewegen sich gemäß TOL (2005) in ähnlichen Skalen

und Dimensionen wie die Mitigation und könnten daher gemeinsam mit dieser untersucht werden.

2.2 Struktur und Themenkomplexe des Forschungsfelds

19. Wie eingangs erwähnt wächst das Gebiet der ökonomischen Anpassungsforschung mit beträchtlicher Geschwindigkeit und hat bereits eine beachtliche Bandbreite an Themenkomplexen ausgebildet. Um dem Anliegen dieses Beitrags, der Schaffung eines (Literatur-) Überblicks für Wissenschaftler und Entscheidungsträger sowie der Identifizierung offener Forschungsfragen, gerecht zu werden, ist eine **klare Strukturierung des Forschungsfelds** unerlässlich. In der Literatur werden diesbezüglich **unterschiedliche Ansatzpunkte** vorgeschlagen. AAHEIM und AASEN (2008) skizzieren die grundsätzliche Logik, die der ökonomischen Anpassungsforschung zugrunde liegt: Grundlegend gelte es zu eruieren, wie der Klimawandel ökonomische Rahmenbedingungen beeinflusst, um darauf aufbauend mittels ökonomischer Modelle das Anpassungsverhalten und die damit verbundenen Konsequenzen zu prognostizieren und evaluieren. SMIT et al. (1999) schlagen vor, die Forschung an den von ihnen dargelegten **Dimensionen der Anpassung** (klimabezogene Stimuli, Anpassungssystem und Anpassungsmaßnahmen, siehe Ziff. 8) auszurichten. Als weitere Strukturierungsmöglichkeit sind die beiden grundlegenden Aufgaben der Anpassungsforschung, die von SMIT et al. (1999) und IPCC (2001b) gesehen werden, in Betracht zu ziehen: Zum einen die **positive Analyse**, d. h. die Prognose des Umfangs, in welchem Anpassungen vorgenommen werden, mit dem Finalziel, die Auswirkungen des Klimawandels besser abschätzen zu können. Zum anderen die **normative Analyse**, d. h. die Ableitungen von Empfehlungen für die Anpassungspolitik sowie die Evaluation von Politikmaßnahmen. Ergänzend zu nennen wäre in diesem Zusammenhang die Aufgabe der **deskriptiven Analyse**, die schlicht eine Beschreibung der drei genannten Anpassungs-Dimensionen beinhaltet. Schließlich erwägen REILLY und SCHIMMELPFENNIG (2000) die Anpassungsforschung dahingehend zu strukturieren, welchen **Typ des Anpassungssystems** diese zum Gegenstand hat. Dabei legen sie die von ihnen konzipierte Typologisierung hinsichtlich der kurz- und langfristigen autonomen bzw. nicht-autonomen Flexibilität des Systems sowie des im System vorhandenen anpassungsrelevanten Wissens zugrunde (siehe Ziff. 12).

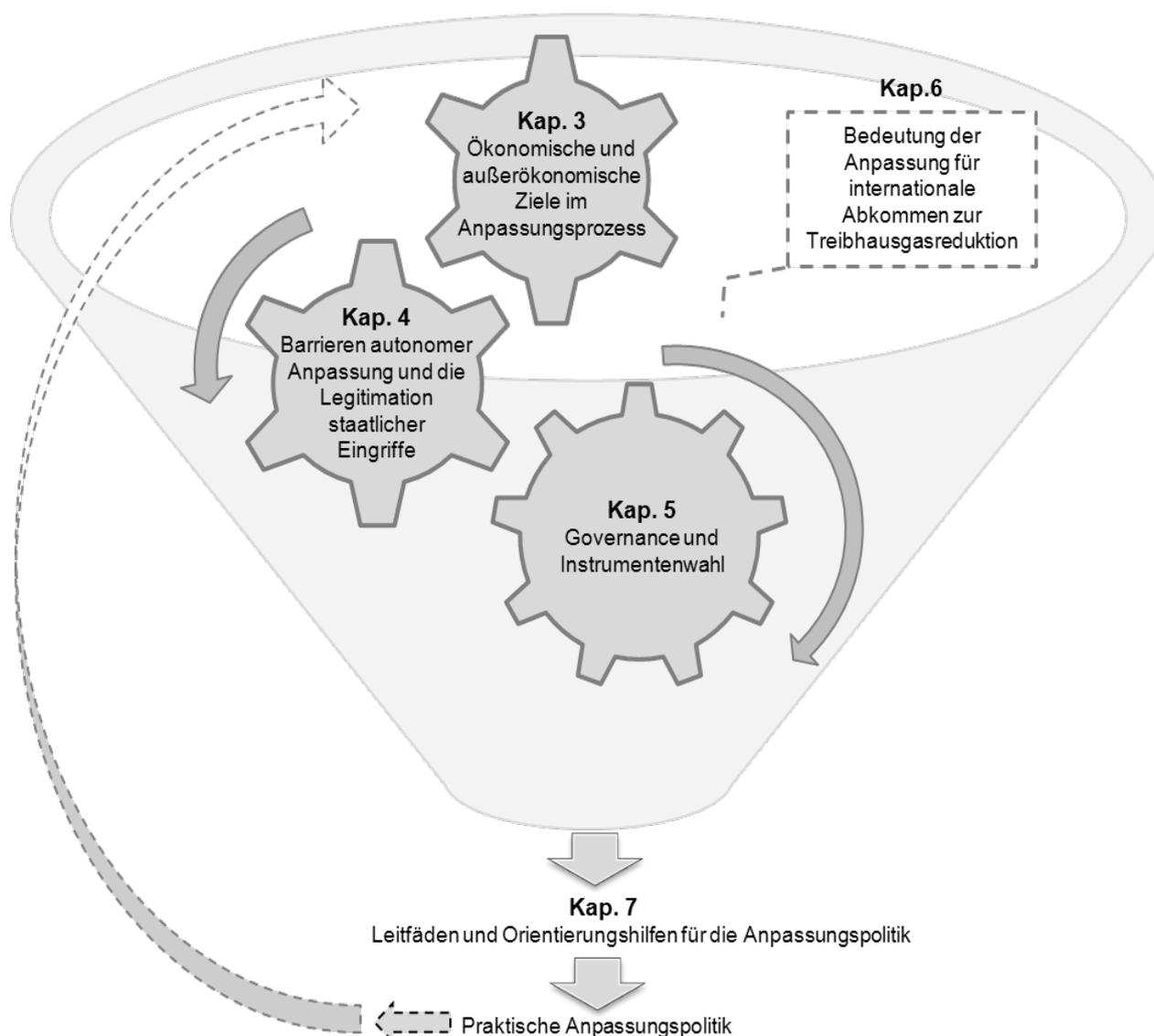


Abbildung 2: Themenkomplexe des Forschungsbereichs „Ökonomie der Klimaanpassung“ und Struktur des Literaturüberblicks

20. Der vorliegende Beitrag greift für die Strukturierung einerseits die Vorschläge von SMIT et al. (1999) und IPCC (2001b) auf, d. h. er orientiert sich an den Anpassungs-Dimensionen, die Gegenstand der Forschung sind, und daran, ob die Analyse deskriptiver, positiver oder normativer Natur ist. Andererseits wird der Versuch unternommen, die logische Abfolge der Forschungsfragen in inhaltlicher Hinsicht abzubilden. Abbildung 2 illustriert die hieraus resultierenden **Themenkomplexe** bzw. den **Aufbau des Literaturüberblicks**. Zu Beginn des Anpassungsprozesses steht die normative Frage, welche **Zielsetzungen** der Ausgestaltung einzelner Anpassungsmaßnahmen, deren Auswahl und Allokation sowie der Bestimmung des Anpassungsgrades eines Systems zugrunde zu legen sind (Kapitel 3). Aus ökonomischer Sicht steht in diesem Zusammenhang das Konzept der Optimalität bzw. Effizienz im Vordergrund. Als Ziele ohne Effizienzbezug werden u. a. die (Verteilungs-) Gerechtigkeit, ökologische Kriterien oder die Versorgungssicherheit angeführt. Der zweite zentrale Themenkomplex erschließt sich durch die Notwendigkeit zu überprüfen, ob die autonome, durch

den Marktmechanismus koordinierte Anpassung privater Akteure den genannten Zielsetzungen gerecht wird, oder diese aufgrund bestimmter **Barrieren** verfehlt (positive Analyse). Denn nur im letztgenannten Fall sind **staatliche Eingriffe in den Anpassungsprozess** aus ökonomischer Sicht **notwendig und legitim** (Kapitel 4). Derartige Barrieren können sich zum einen in den klassischen Marktversagenstatbeständen oder institutionell-organisatorischen, regulatorischen oder verhaltensbezogenen Hemmnissen manifestieren, die ein suboptimales Marktergebnis implizieren. Zum anderen ist zu bedenken, dass die Ziele ohne Effizienzbezug, wie z. B. Gerechtigkeit, generell nicht durch den Marktmechanismus transportiert und daher allenfalls zufällig von diesem herbeigeführt werden können. Der nächste logische Schritt besteht darin, zu ermitteln, mittels welcher staatlichen **Instrumente** und **Institutionen** die Barrieren autonomer Anpassung überwunden werden können und welche **Governance-Strukturen** hierzu nötig sind (Kapitel 5). Die Analyse ist dabei dreigeteilt. Zunächst werden die Eingriffsmöglichkeiten und Strukturen deskriptiv erfasst. In einem zweiten Schritt gilt es auf Basis einer positiven Analyse potenzielle Barrieren zu identifizieren, die den gewünschten Effekt der staatlichen Intervention verhindern. Unter Berücksichtigung der daraus resultierenden Erkenntnisse können schließlich normative Empfehlungen hinsichtlich der Ausgestaltung der Anpassungspolitik und der Instrumentenwahl abgeleitet werden. Neben den drei bisher beschriebenen, unmittelbar ineinander greifenden Themenkomplexen (Ziele des Anpassungsprozesses – Legitimation staatlicher Eingriffe – Governance und Instrumentenwahl) hat sich mit der (positiven) Analyse der **Bedeutung der Anpassung für internationale Abkommen zur Treibhausgasreduktion** ein weiterer Bereich herauskristallisiert, der gewissermaßen eine Sonderstellung in der ökonomischen Anpassungsforschung innehat (Kapitel 6). Hier steht nicht die Anpassungs-, sondern vielmehr die Vermeidungsoption im Fokus. Erstere ist nur mittelbar, hinsichtlich ihrer Wirkung auf Stabilität und Erfolg der Abkommen von Interesse. Die Erkenntnisse aller bisher angeführten Bereiche fließen schließlich in Arbeiten ein, die es sich zur Aufgabe machen, den Akteuren der Anpassungspolitik konkrete **Leitfäden und Entscheidungsbzw. Orientierungshilfen** für die Umsetzung staatlicher Anpassungsmaßnahmen bzw. Interventionen an die Hand zu geben (Kapitel 7). Aus der praktischen Anpassungspolitik gehen Erfahrungen und Einsichten hervor, die neuen Input und neue Initiale für die Wissenschaft liefern. Der Prozess der ökonomischen Anpassungsforschung ist folglich dynamischer Natur und im Hinblick auf seine Weiterentwicklung geradezu auf das besagte politische Feedback angewiesen.

3 Ziele der Klimaanpassung

21. Den Ausgangspunkt der ökonomischen Anpassungsforschung bildet die Frage der **Zielfindung**: In welchem Ausmaß, in welchen Bereichen und zu welchem Zeitpunkt sollte eine Gesellschaft Anpassung an den Klimawandel betreiben? Die **grundlegenden Zwecksetzungen** der Klimaanpassung, die Minderung der Vulnerabilität klimasensitiver Systeme sowie die Abwehr und Nutzung klimawandel-bedingter Risiken bzw. Chancen, gehen unmittelbar aus der Definition des Anpassungsbegriffs hervor (siehe Ziff. 7). In einem nächsten Schritt gilt es, diese Zielsetzungen unter Berücksichtigung der grundlegenden technischen bzw. naturwissenschaftlichen Prämissen zu operationalisieren, d. h. in konkrete (möglichst quantifizierbare) Vorgaben hinsichtlich der Ausgestaltung einzelner Anpassungsmaßnahmen, deren Auswahl und Allokation sowie der Bestimmung des Anpassungsgrades eines Systems zu überführen. Hinsichtlich des Problems einer „bestmöglichen“ Ausgestaltung der Anpassung stehen unterschiedliche Normgeber zur Verfügung: Dabei ist zwischen dem **ökonomischen Ziel** der Optimalität bzw. der Effizienz einerseits (Abschnitt 3.1) und den **Zielen ohne Effizienzbezug**, wie z. B. Versorgungssicherheit oder ökologischen Zielen andererseits (Abschnitt 3.2) zu unterscheiden. Da die Anpassung ein komplexes, heterogenes und problemspezifisches Phänomen mit vielfältigen Auswirkungen auf die betreffenden sozialen und natürlichen Systeme ist (siehe Kapitel 2), sieht sich die praktische Anpassungspolitik häufig mit multiplen Zielsetzungen konfrontiert, die es möglichst simultan zu erreichen gilt. Die Realisierung eines oder mehrerer der genannten Ziele setzt die Bewertung und Auswahl der Anpassungsmaßnahmen bzw. -maßnahmenbündel anhand bestimmter Kriterien und Verfahren voraus, die in Abschnitt 3.3. vorgestellt werden.

3.1 Optimalität

22. In der Literatur zur ökonomischen Zielfindung dominiert der **Optimalitäts- bzw. Effizienzanspruch**, d. h. die jeweils gewählte Anpassung (bzw. die ergriffenen Anpassungsmaßnahmen) sollte(n) grundsätzlich den Nettonutzen aus gesellschaftlicher Sicht maximieren. Die einschlägige Literatur umfasst zum einen Ansätze, die das Optimalitätsziel **theoretisch unterfüttern** (Abschnitt 3.1.1), zum anderen werden Anstrengungen unternommen, den Nutzen und die Kosten von Anpassungsmaßnahmen **empirisch zu erfassen** (Abschnitt 3.1.2), was grundlegende Voraussetzung für die tatsächliche Implementierung optimaler Anpassungsmaßnahmen ist. An dieser Stelle ist auf die **Überblicksarbeit** von AGRAWALA et al. (2011) zu verweisen, die eine detaillierte Zusammenfassung ökonomischer Beiträge und Modellierungsansätze vorhält, die sich auf theoretischer und empirischer Ebene mit der optimalen Ausgestaltung, dem Nutzen und den Kosten der Anpassung auseinandersetzen. Dieser Überblick unterscheidet sich in zweierlei Hinsicht von dem vorliegenden Kapitel. Zum einen wählt er mit der Unterteilung der Beiträge in Bottom-up- und Top-down-Ansätze (siehe Ziff. 46) eine andere Systematisierung der Literatur. Zum anderen kann er, da ausschließlich die Optimalität bzw. Nutzen-Kosten-Relation der Anpassung thematisiert wird, die betreffenden Beiträge ausführlicher darstellen.

23. Die Anpassungsoption ist im Gegensatz zur Vermeidung sehr facettenreich und heterogen, d. h. sie umfasst viele unterschiedliche Maßnahmen und ist an den lokalen/regionalen

Kontext gebunden (vgl. Ziff. 18). Zum besseren Verständnis der weiteren Ausführungen wird deshalb an dieser Stelle kurz darauf eingegangen, was sich hinter **dem Begriff der „optimalen Anpassung“**, der mitunter relativ abstrakt verwendet wird (vgl. z. B. BOSELLO et al., 2010 oder MENDELSON, 2000), konkret verbirgt und welche Dimensionen dieser aufweist (siehe dazu auch Abbildung 3). Auf der Mikroebene steht zunächst die **einzelne Anpassungsmaßnahme** im Blickpunkt. Der Optimalitätsanspruch verlangt hier, dass die Maßnahme nur dann ergriffen wird, wenn ihr Nutzen ihre Kosten übersteigt, sprich ein positiver Nettonutzen resultiert. Gleichmaßen sollte, sofern bei der Ausgestaltung der Maßnahme Spielraum gegeben ist, dieser genutzt werden, um den maximalen Nettonutzen der Maßnahme herbeizuführen. Erhöht man den Aggregationsgrad der Analyse, so gelangt man zu einer Konstellation, in der zur Lösung **eines bestimmten Problems**, wie z. B. die drohende Überflutung eines Gebiets, **mehrere alternative Maßnahmen** zur Verfügung stehen (z. B. die Errichtung von Dämmen oder die Evakuierung des Gebiets). Hier gilt es, die Maßnahme mit dem größten Nettonutzen zu identifizieren und diese schließlich zu implementieren. Natürlich besteht auch die Möglichkeit, dass eine Kombination mehrerer Maßnahmen in der Summe einen größeren Nettonutzen verspricht als die Einzelmaßnahmen. Bei der Implementierung mehrerer Maßnahmen sind mögliche Wechselwirkungen zu berücksichtigen, was eine entsprechende Koordinationsleistung erfordert (vgl. Ziff. 13 und HALLEGATTE, 2009). Bei weiterer Aggregation nähert man sich der Problemstellung, wie sie sich z. B. der regionalen Anpassungspolitik präsentiert. Hier sind **simultan Anpassungen in mehreren Handlungsfeldern**, wie z. B. Hochwasserschutz, Landwirtschaft und Gesundheit vorzunehmen, wozu jeweils ein Bündel an Maßnahmen zur Verfügung steht. Die Optimalität verlangt in diesem Zusammenhang die Wahl der Maßnahmenkombination, die in der Summe den größten Nettonutzen verspricht. Dabei sind wiederum mögliche Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen – auch unterschiedlicher Handlungsfelder – in Betracht zu ziehen. Durch eine abermalige Erhöhung des Aggregationsgrades nähert man sich schließlich der Makroebene, bei der das gesamte gesellschaftliche System Gegenstand der Untersuchung ist. Folgt man der Argumentation von TOL (2005) und FANKHAUSER (2009), die eine gemeinsame Untersuchung von Anpassung und Vermeidung ablehnen (vgl. Ziff. 18), so bezieht sich die Optimalität ausschließlich auf die **Anpassungsintensität des gesellschaftlichen Systems**. Es gilt also unter Nutzen-Kosten-Gesichtspunkten zu erwägen, wie viele Ressourcen in die Anpassung der Gesellschaft gelenkt werden sollen. Folgt man hingegen der von TOL (2005) begründeten Ausnahme und fokussiert die sog. „erleichternde Anpassung“, die als Aufbau von Anpassungskapazität zu verstehen ist (Ziff. 18), so geht es um die Ermittlung der **optimalen Kombination aus Anpassungs- und Vermeidungsintensität** und die damit einhergehende Ressourcenallokation. Im Zuge der folgenden Abhandlungen wird versucht, die wissenschaftlichen Beiträge soweit möglich in dieses Raster einzuordnen.

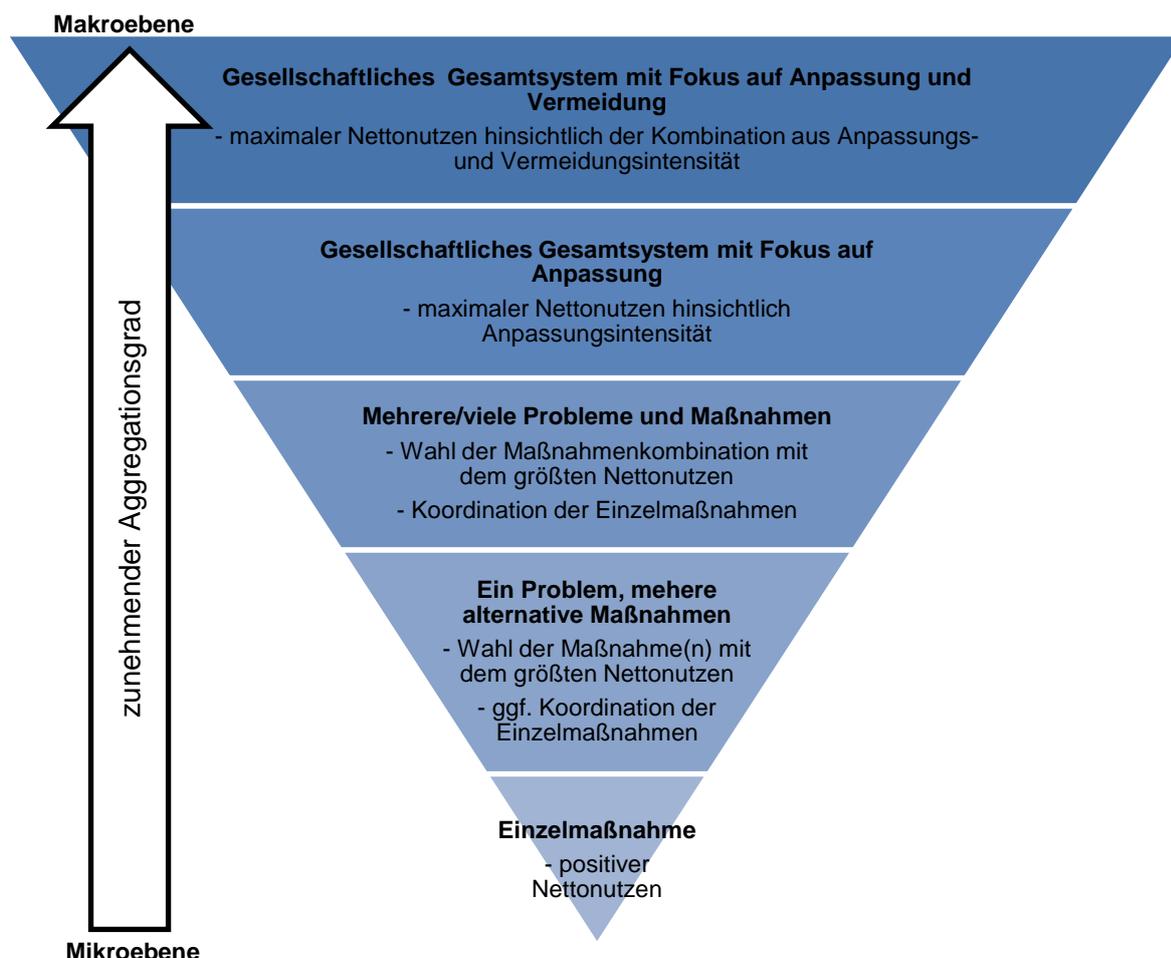


Abbildung 3: Dimensionen der „optimalen Anpassung“

3.1.1 Theoretische Fundierung

24. Die Literatur zur theoretischen Fundierung der optimalen Anpassung untergliedert sich in **zwei Stränge**. Der erste Strang (Abschnitt 3.1.1.1) untersucht die Fragestellung unter **isolierter Betrachtung der Anpassung** und folgt somit der Argumentation von Tol (2005), wonach Anpassung und Vermeidung unterschiedliche Dimensionen und Skalen aufweisen und demnach getrennt untersucht werden müssen (Ziff. 18). Der zweite Strang (Abschnitt 3.1.1.2) nimmt eine **integrierte Analyse von Anpassung und Vermeidung** vor und widersetzt sich somit dieser Logik bzw. beruft sich (implizit) auf den von TOL (2005) dargelegten Sonderfall des Aufbaus von Anpassungskapazität.

3.1.1.1 Isolierte Betrachtung der Anpassung

25. Das Kriterium der Optimalität kann einerseits auf die **Ausgestaltung** und **Intensität** (statische Analyse, Ziff. 26-29), andererseits auf den **Zeitpunkt** bzw. die **intertemporale Allokation** der Anpassung (dynamische Analyse, Ziff. 30-33) bezogen werden. MENDELSON (2000) und ADGER et al. (2005) heben in diesem Zusammenhang hervor, dass für sich

schnell anpassende Sektoren mit geringer Kapitalintensität eine statische Analyse hinreichend, jedoch für kapitalintensive, rigide Sektoren eine dynamische Analyse unerlässlich ist.

26. Die **Basis der statischen Überlegungen** zur optimalen Anpassung bilden **formale, mikroökonomisch fundierte Ansätze**. Den fundamentalen Ansatz liefert MENDELSON (2000), der in einem einfachen **deterministischen Optimierungsmodell** die optimale Anpassungsintensität untersucht, wobei zwischen privater und gemeinschaftlicher Anpassung unterschieden wird. Im Falle der **privaten Anpassung** zieht allein der Akteur einen Nutzen aus der Anpassungsmaßnahme, die er durchführt. Die optimale Anpassungsintensität maximiert den Nettonutzen des Akteurs, bringt also Grenznutzen und Grenzkosten der Anpassung zum Ausgleich. Die **gemeinschaftliche Anpassung** zeichnet sich dadurch aus, dass die jeweils individuell erbrachte Anpassungsleistung die Nutzenniveaus mehrerer Akteure beeinflusst, d. h. die Anpassung weist hier die Eigenschaften eines öffentlichen Gutes bzw. Clubgutes auf. Demzufolge bestimmt sich die optimale Anpassungsintensität nach der Regel von SAMUELSON (1954), wonach die Summe der Grenznutzen aller Betroffenen (vertikale Aggregation der Zahlungsbereitschaftskurven) mit den Grenzkosten der Anpassung übereinstimmen muss.

27. Ausgehend von dieser grundlegenden Analyse widmen sich folgende Arbeiten **speziellen Problemstellungen**: EISENACK (2009) betrachtet ein **stochastisches Partialmarktmodell**, in welchem die Unternehmen durch (private) Anpassungsmaßnahmen nachteilige Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf ihre Produktion abwenden können. EISENACK (2010) verallgemeinert dieses Modell, indem er nicht nur zwei unterschiedliche, sondern ein Kontinuum von Wetterzuständen zulässt. Auch Lee und THORNSBURY (2010) widmen sich einer ähnlichen Problemstellung: Sie untersuchen den optimalen Anpassungsgrad von (landwirtschaftlichen) Unternehmen im Rahmen eines **zweistufigen Spiels**, wobei diese in der ersten Stufe die bewirtschaftete Fläche festlegen, und in der zweiten Stufe über die Anpassungsinvestition entscheiden, mit der sie die Varianz der (aufgrund des Klimawandels) stochastischen Ernteerträge beeinflussen können.

28. Neben den soeben vorgestellten formalen Ansätzen existieren einzelne Arbeiten, deren Argumentation gleichermaßen auf **mikroökonomischen Überlegungen** basiert, jedoch auf rein **qualitativer Ebene**, d. h. ohne die Zuhilfenahme von Modellen, erfolgt. DANNENBERG et al. (2009) und OSBERGHAUS et al. (2010a) vertiefen den Aspekt der optimalen kollektiven Anpassung. Zudem betonen sie wie auch ADGER et al. (2005) die Notwendigkeit, mögliche **Externalitäten** zwischen einzelnen Anpassungsmaßnahmen bei deren optimaler Ausgestaltung zu berücksichtigen. ADGER et al. (2005) fordern zudem, dass im Zuge von Nutzen-Kosten-Betrachtungen auch **Transaktionskosten**, Kosten der ungenauen Vorhersage und Werte, die nicht durch den Marktmechanismus vermittelt werden, zu berücksichtigen sind. FÜSSEL (2007) eruiert grundlegende Beziehungen zwischen klimawandelbedingten **Risiken** und der optimalen Anpassung: Mit zunehmender Kenntnis der besagten Risiken und deren zukünftiger Entwicklung seien vermehrt spezifische, auf ein bestimmtes Problem bezogene Anpassungsmaßnahmen vorteilhaft, was das Optimalitätskriterium betrifft. Hingegen seien bei geringerem Kenntnisstand eher Maßnahmen zur Aufbau der Anpassungskapazität vorzuziehen. Ferner sieht der Autor die Erfahrung im Umgang mit spezifischen Risiken als bedeutende Determinante der Anpassungskapazität – eine geringe Erfahrung sollte mit einer größeren Anpassungsintensität kompensiert werden. Die Optimalität von Anpassungsmaß-

nahmen an große gegenwärtige Risiken ist mittel- bis langfristig nur gegeben, wenn bei der Ausgestaltung dieser Maßnahmen zukünftige klimatische Veränderungen berücksichtigt werden. Schließlich ist zu bedenken, dass, sofern sog. No- oder Low-Regret-Maßnahmen existieren (d. h. Maßnahmen, die unter allen plausiblen Klimaszenarien einen positiven bzw. nur geringfügig negativen Nettonutzen aufweisen), die optimale geplante Anpassung nicht notwendigerweise verlässliche Prognosen des Klimawandels und dessen Folgen voraussetzt.

29. **Makroökonomische Ansätze** nehmen in der Forschung zur isolierten statischen Anpassungsoptimalität eine untergeordnete Rolle ein. Hier ist die Arbeit von AAHEIM et al. (2009) zu benennen, die sich eines **allgemeinen berechenbaren Gleichgewichtsmodells** mit mehreren Sektoren und Regionen bedient. Die Anpassung erfolgt unmittelbar durch Änderungen in den Technologien und Präferenzen und mittelbar über die entsprechenden Marktreaktionen. Durch den Vergleich von Gleichgewichten mit unterschiedlicher Ausprägung der Anpassung (und jeweils exogen gegebener, identischer Vermeidung) werden Rückschlüsse auf die gesamtwirtschaftlich optimale Anpassungsstrategie gezogen.

30. Auch in der **dynamischen Analyse** dominieren die **mikroökonomischen Ansätze**. FANKHAUSER et al. (1999) verwenden ein simples Modell, um die Bedingung für den **optimalen Zeitpunkt** einer Anpassungsinvestition zu formalisieren. Der grundlegende Trade-off bei der Festlegung des Investitionszeitpunkts erklärt sich wie folgt: Eine Verzögerung der Investition führt zunächst zu eingesparten Anpassungskosten, denen jedoch (bei exogener Vermeidung) zusätzliche Schadenskosten in der Zukunft gegenüberstehen. FANKHAUSER (2009) identifiziert in diesem Zusammenhang drei wesentliche **Determinanten des optimalen Anpassungszeitpunkts**: die Veränderung der Anpassungskosten mit fortschreitender Zeit, mögliche kurzfristige, vergängliche Vorteile der Anpassung sowie langfristige Irreversibilitäten.

31. DANNENBERG et al. (2009), DOBES (2010) und OSBERGHAUS et al. (2010a) heben hervor, dass sich der oben beschriebene Trade-off (Ziff. 30) angesichts der massiven **Unsicherheiten** über die Folgen des Klimawandels und möglicher **irreversibler Investitionen** noch wesentlich komplexer darstellt. Wie ursprünglich in der **Optionswerttheorie** von DIXIT und PINDYK (1994) dargelegt, sprechen für eine Verzögerung der Investition nun zusätzlich die Aussicht, zu **lernen** bzw. neue Informationen über das Ausmaß des Klimawandels zu erlangen. Der daraus resultierende erwartete Nutzen, der Optionswert, ist natürlich in das Nutzen-Kosten-Kalkül zur Investitionsentscheidung einzubeziehen. WRIGHT und ERICKSON (2003) untersuchen in einem formalen Optionswertmodell den optimalen Anpassungszeitpunkt unter der Restriktion, dass seitens der Akteure **keine perfekte Voraussicht** gegeben ist. Konkret wird die Temperaturentwicklung, die den Nettonutzen der Anpassungsinvestition beeinflusst, als dynamischer stochastischer Prozess modelliert.

32. Ein anderer, ebenfalls weitgehend mikroökonomisch ausgerichteter Literaturzweig beschäftigt sich weniger mit dem optimalen Zeitpunkt der Anpassungsinvestitionen, sondern mit dem Problem, wie die **intertemporale Allokation** von Anpassungsmaßnahmen bzw. die Akkumulation von Anpassungskapital optimaler Weise zu gestalten ist. Es geht also um die Frage, wie viele Ressourcen grundsätzlich in präventive bzw. **antizipierende** Anpassungsmaßnahmen gelenkt werden sollten und wie viele in Maßnahmen, die auf bereits eingetrete-

ne Folgen des Klimawandels **reagieren** (vgl. z. B. FANKHAUSER et al., 1999, MENDELSON, 2000). CALLAWAY (2004) entwickelt einen allgemein angelegten Modellansatz zur Analyse der optimalen intertemporalen Anpassung eines Akteurs (z.B. Unternehmen oder Land) an die **Klimavariabilität** oder die **Folgen des Klimawandels**. Die Anpassung kann dabei kurzfristig über Managementinputs oder langfristig über den Kapitalstock vorgenommen werden. FANKHAUSER et al. (1999) argumentieren, dass in Anbetracht der unsicheren und sich wandelnden klimatischen Bedingungen (Anpassungs-) **Kapital** entweder **schneller abzuschreiben** und auszutauschen sei oder mit einer größeren Robustheit und Flexibilität versehen werden müsse – welche dieser beiden Alternativen vorzuziehen sei, hänge von deren relativen Kosten ab. FISHER und RUBIO (1997) studieren den speziellen Fall der **optimalen intertemporalen Wasserspeicherkapazität** einer Region. Der Wasserzufluss in den Speicher wird als stochastische Größe modelliert, deren Varianz mit zunehmender Intensität des Klimawandels wächst. Ferner wird berücksichtigt, dass der Kapazitätsaufbau mit negativen Umweltexternalitäten einhergehen kann.

33. Schließlich unternehmen DUMAS und HA-DUONG (2008) den bislang einzigen Versuch, sich dem Problem der optimalen intertemporalen Allokation der Anpassung mit einem **makroökonomischen Ansatz** zu nähern. Im Rahmen eines **Wachstumsmodells** mit perfekter Information und Voraussicht der Akteure und unter Ausblendung der Vermeidungsoption bestimmen sie den **optimalen Anpassungsinvestitionspfad** und analysieren den Zusammenhang zwischen der optimalen Abschreibungsrate der Anpassungsmaßnahmen und der Geschwindigkeit des Klimawandels.

3.1.1.2 Integrierte Betrachtung von Anpassung und Vermeidung

34. Analog zur Untersuchung der optimalen Anpassung in isolierter Betrachtung (Abschnitt 3.1.1.1) untergliedert sich auch die integrierte Analyse von Anpassung und Vermeidung in **statische** (Ziff. 35-38) und **dynamische** Komponenten (Ziff. 39-45).

35. Den Ausgangspunkt bilden diverse Arbeiten, die ohne modelltheoretische Untermauerung die **grundlegende Bedeutung und Beziehung von Anpassung und Vermeidung in der Klimapolitik** diskutieren und dabei die Dynamik bzw. intertemporale Aspekte dieses Problems vernachlässigen. In der Literatur herrscht ein breiter Konsens, dass eine ökonomisch sinnvolle, die Gesamtkosten des Klimawandels minimierende Klimapolitik notwendigerweise sowohl Vermeidungs- als auch Anpassungskomponenten umfassen muss (vgl. z. B. BARDT, 2005, IPCC, 2007a und PIELKE, 2007). Die beiden Strategien sind dabei grundsätzlich in begrenztem Ausmaß **substituierbar** (BMF, 2010, und FANKHAUSER, 2009).

36. TOL (2005) skizziert die **grundlegende statische Marginalbedingung**, welche die optimale Kombination aus Anpassung und Vermeidung charakterisiert⁶ – unter dem von ihm und KLEIN et al. (2005) vorgebrachten Vorbehalt (Ziff. 18), dass nur Anpassung im Sinne von Anpassungskapazitätsaufbau mit Vermeidung vergleichbar ist. Bei der Bestimmung des optimalen Mix ist ferner zu bedenken, dass zwischen spezifischen Anpassungsmaßnahmen

⁶ Diese Bedingung besagt, dass die Grenzvermeidungskosten mit dem Grenznutzen der Vermeidung zur Übereinstimmung gebracht werden müssen. Letzterer geht dabei aus dem Ausgleich der residualen Grenzschadenskosten mit den Grenzkosten der Anpassung hervor.

und der Emissionsreduktion Interdependenzen, konkret also **Synergien oder Konflikte** vorliegen können (TOL, 2005). DANG et al. (2003) demonstrieren dies am Beispiel von Vietnam; Rosenzweig und TUBIELLO (2007) führen eine entsprechende Untersuchung für den Agrarsektor durch. KLEIN et al. (2005) warnen davor, bei der Ausgestaltung des Anpassungs-Vermeidungs-Mix den Fokus allein auf potenzielle Synergien zu richten und dabei das Optimalitätskriterium aus den Augen zu verlieren.

37. Neben diesen allgemein ausgerichteten Überlegungen untersuchen einzelne Arbeiten **speziellere Aspekte** der optimalen Beziehung zwischen Anpassung und Vermeidung auf Basis **mikroökonomischer Modelle**. MCKITRICK und COLLINGE (2002) werfen in ihrem Beitrag die Frage auf, ob vor dem Hintergrund von Anpassungs- bzw. **Abwehrmaßnahmen** (potenziell) geschädigter Akteure überhaupt ein eindeutig optimales Emissionsniveau bzw. eine **eindeutig optimale umweltpolitische Maßnahme** existent ist. Sie demonstrieren, dass dies aufgrund von durch das Anpassungsverhalten bedingten Nichtkonvexitäten nicht ohne weiteres der Fall ist. In einem zweiten Schritt leiten sie eine formale Bedingung für die Existenz eines eindeutigen Optimums ab.

38. KANE und SHOGREN (2000) nähern sich der Thematik der optimalen Klimapolitik mit der **Theorie des endogenen Risikos**, d. h. sie betrachten ein Land (bei gegebener Vermeidungsanstrengung der restlichen Welt), das durch die Wahl seiner Anpassungs- und Vermeidungsanstrengungen sein klimawandelbedingtes Schadensrisiko selbst beeinflussen kann. Dabei wird der optimale Anpassungs-Vermeidungs-Mix charakterisiert, und es wird ermittelt, wie dieser bei einer exogenen Erhöhung des Schadensrisikos angepasst werden muss. Der grundlegende Ansatz dieses Beitrags geht auf das versicherungstheoretische Modell von EHRlich und BECKER (1972) zurück, in dem diese, losgelöst vom Klimakontext, den Trade-off zwischen „self-protection“ (Absenkung der Schadenswahrscheinlichkeit - Mitigation) und „self-insurance“ (Absenkung des Residualschadens - Adaptation) untersuchen. TULKENS und STEENBERGHE (2009) sowie AUERSWALD et al. (2011) erforschen den Anpassungs-Vermeidungs-Mix im Rahmen ähnlicher Modelle, allerdings unter der Voraussetzung eines **exogenen Schadensrisikos**.

39. Bei der **dynamischen Analyse** der optimalen Anpassungs-Vermeidungs-Kombination sind lediglich vereinzelte **mikroökonomische Ansätze** vorzufinden. Der Wissenschaftliche Beirat beim Bundesministerium der Finanzen argumentiert, dass die **Anpassung** vor dem Hintergrund der unsicheren Folgen des Klimawandels und möglicher Irreversibilitäten einen **Optionscharakter** aufweist (BMF, 2010): Prinzipiell sei es unter Nutzen-Kosten-Gesichtspunkten wünschenswert, die Vermeidung zu verzögern und somit durch zusätzliche Information bzw. Lernen die massive Unsicherheit bzgl. der Folgen des Klimawandels zu reduzieren, was allerdings durch das bekannte Irreversibilitätsproblem erschwert wird. Die Option der Anpassung entschärft dieses Problem, da sie mögliche negative Folgen auch noch nachträglich in der Zukunft lindern kann und eröffnet somit neuen Spielraum für die beschriebene Wartestrategie. INGHAM et al. (2007) analysieren diese Problematik in einem **stochastischen 2-Perioden-Partialmarktmodell** und kommen zu dem Ergebnis, dass die Aussicht auf Lernen bzw. Informationsgewinn in Verbindung mit der Anpassungsoption ein geringeres optimales Vermeidungsniveau in der Gegenwart bedingt. ATHANASSOGLU und XEPAPADEAS (2011) betrachten ein dynamisches Problem, in welchem der Entscheidungsträger zum Zeitpunkt Null in eine Technologie zur antizipativen Anpassung investiert und

anschließend den optimalen Vermeidungspfad determiniert. Die optimale Investitionsintensität wächst mit dem Grad der Unsicherheit. Sofern die Anpassungskosten hinreichend klein sind, weisen Anpassung und Vermeidung eine substitutive Beziehung auf, anderenfalls eine komplementäre. INGHAM et al. (2005) bieten einen breiten Literaturüberblick zur Rolle von Unsicherheit, Irreversibilitäten und Lernen in der Klimapolitik an, der jedoch weit über den Fokus der vorliegenden Arbeit hinausgeht.

40. Der oben (Ziff. 38) vorgestellte statische **Ansatz des endogenen Risikos** von KANE und SHOGREN (2000) wird von LECOQ und SHALIZI (2007) **dynamisiert** und um diverse Aspekte erweitert, wie z. B. die explizite Unterscheidung zwischen antizipierender und reagierender Anpassung, die Einführung verschiedener Sektoren und Regionen und die Unsicherheit über die Verteilung der Umweltschäden. Auch BERGER (2011) erweitert den Beitrag von KANE und SHOGREN (2000). Zum einen modelliert er eine sich über zwei Perioden erstreckende Entscheidungssituation, um dem Investitionscharakter der Anpassung und Vermeidung Rechnung zu tragen (Investition in Anpassung und/oder Vermeidung in der ersten Periode, Eintritt des Schadens in der zweiten Periode). Zum anderen bildet er die massiven Unsicherheiten bzgl. der Folgen des Klimawandels ab, indem er die Wahrscheinlichkeiten für Eintritt und Höhe des Schadens für den Entscheidungsträger als unbekannt bzw. ungewiss voraussetzt, wobei dieser eine **Ungewissheits-Aversion** aufweist. Schließlich liefern TULKENS und STEENBERGHE (2009) eine dynamische Version ihres statischen Modells (Ziff. 38).

41. Die folgenden Arbeiten basieren auf klassischen **makroökonomischen Modellierungsansätzen**: AALBERS (2009) berechnet innerhalb eines dynamischen stochastischen allgemeinen Gleichgewichtsmodells die **optimalen Diskontraten** für Anpassungs- und Vermeidungsinvestitionen und sonstige Investitionen. Er demonstriert, dass sich diese im Allgemeinen unterscheiden, nachdem die beiden Investitionstypen in unterschiedlichem Ausmaß klimabezogenen- und nicht-klimabezogenen Risiken ausgesetzt sind. BRÉCHET et al. (2010) untersuchen die **optimale Akkumulation** von physischem Kapital, Anpassungskapital und Treibhausgasen in einem deterministischen Solow-Swan-Wachstumsmodell mit einem Sektor. Dabei stellen sie einen Zusammenhang zwischen dem optimalen Anpassungs-Vermeidungs-Verhältnis und der Produktivität her. CHISARI (2010) beschäftigt sich ebenfalls mit dem optimalen Anpassungs- und Vermeidungspfad. Allerdings bildet er in seinem Wachstumsmodell stochastische **Katastrophen** bzw. **negative Wachstumsschocks** ab, die vom Klimawandel hervorgerufen werden können.

42. Die absolut dominante Position in der dynamischen Analyse des optimalen Anpassungs-Vermeidungs-Mix nehmen die **Integrated Assessment Models (IAM)** ein.⁷ Diese numerischen Modelle kombinieren Wissen aus verschiedenen Disziplinen, um politikrelevante Einsichten zu gewinnen (PATT et al., 2010). Ein weiterer Verwendungszweck der IAM besteht darin, Nutzen und Kosten der Anpassung – bezogen auf bestimmte Länder oder Regionen – abzuschätzen (siehe Ziff. 46). Im Klimakontext werden typischerweise physikalische Klimamodelle, welche die Ursachen-Wirkungs-Kette des Klimawandels abbilden, mit ökonomischen Wachstumsmodellen gekoppelt. Nachdem sich die IAM lange auf die Emissions-

⁷ Die IAM können nicht nur zur Bestimmung der optimalen Kombination von Anpassung und Vermeidung herangezogen werden, sondern erlauben auch die Berechnung derjenigen Kombination, die die Realisierung eines gegebenen Erwärmungs- oder Emissionsziels zu den geringstmöglichen Kosten gewährleistet (AGRAWALA et al., 2011, siehe auch Ziff. 62).

vermeidung beschränkten, wurden vereinzelte Versuche unternommen, die **Anpassungsoption implizit abzubilden**. Basierend auf dem sog. Ricardianischen Ansatz wird hier die Anpassung als Verlagerung der Produktion (bezogen auf Güter, Sektoren oder Regionen) modelliert. Aufgrund deren nachrangiger Bedeutung soll auf die IAM dieses Typs nicht näher eingegangen werden, siehe hierzu PATT et al. (2010).

43. Die **neueste Generation der IAM** bildet die Anpassung als **explizite Kontrollvariable** ab. Der generelle Fokus dieser Modellklasse liegt in dem **optimalen intra- sowie intertemporalen Anpassungs-Vermeidungs-Mix** begründet. Die einzelnen Arbeiten setzen unterschiedliche Schwerpunkte:⁸ DE BRUIN et al. (2009a) nehmen erstmalig eine explizite Modellierung der Anpassung vor und verallgemeinern ihre Analyse in einem zweiten Schritt, indem sie **regionale Unterschiede in den Klimaschäden** berücksichtigen (DE BRUIN et al., 2009b). DE BRUIN et al. (2009d) sowie DE BRUIN und DELLINK (2009) prüfen für die beiden genannten Modellvarianten, inwieweit eine **suboptimale Ausprägung der Anpassung** durch Änderungen der Vermeidungsaktivität kompensiert werden kann. AGRAWALA et al. (2009) nehmen im Rahmen eines Modells mit mehreren Regionen eine Unterscheidung zwischen **antizipierender Anpassung** im Sinne von Anpassungskapazitätsaufbau und **reagierender Anpassung** vor. Ergebnis ist ein erweiterter optimaler inter- und intratemporaler Klimapolitikmix, der nicht nur Anpassung und Vermeidung, sondern auch die beiden alternativen Anpassungsformen umfasst. BOSELLO et al. (2010) ergänzen diesen Ansatz durch die Modellierung von **stochastischen katastrophalen Ereignissen**. Die Rolle von Märkten und Preissignalen bei der Verbreitung von Anpassungsmaßnahmen stehen bei BOSELLO et al. (2009) im Vordergrund. BOSELLO (2010) erweitert die Analyse des optimalen Anpassungs-Vermeidungs-Mix, indem er **Investitionen in Forschung und Entwicklung** als zusätzliche Option der Klimapolitik zulässt. BOSELLO und CHEN (2010) betrachten in ihrem Modell zwei **unterschiedliche Formen der Unsicherheit**, zum einen unsichere katastrophale Ereignisse, zum anderen eine unsichere Verteilung des Schadens, der aus diesen Ereignissen hervorgeht. Schließlich untersucht TOL (2007) den Trade-off zwischen Anpassung und Vermeidung speziell bezogen auf das Problem des Meeresspiegelanstiegs.

44. AGRAWALA et al. (2011) fassen **wesentliche Erkenntnisse** zusammen, die sich über die unterschiedlichen Typen der IAM hinweg als robust erwiesen haben. Diverse Modellrechnungen untermauern die **strategische Komplementarität von Anpassung und Vermeidung**. Da beide Strategien die (residualen) Schäden des Klimawandels mindern, replizieren die Berechnungen das theoretische Ergebnis, wonach zwei Instrumente, die dasselbe Ziel verfolgen, nicht schlechter abschneiden können als ein Instrument. Vielmehr zeigt sich, dass die Wohlfahrt erhöht werden kann, wenn neben der Vermeidung auch auf die Anpassungsoption zurückgegriffen wird (vgl. z. B. DE BRUIN et al., 2009a oder BAHN et al., 2010). Dabei stellt sich die **Anpassung als favorisierte Option** heraus, in die mehr Ressourcen investiert werden als in die Mitigation und die auch den größeren Beitrag zur Schadensreduktion leistet (BOSELLO et al., 2010). Allerdings wird dieses Ergebnis maßgeblich dadurch getragen, dass in den IAM die Möglichkeit katastrophaler Ereignisse, die nur mit einer sehr kleinen Wahrscheinlichkeit eintreten und nur durch die Mitigation zu verhindern sind, nicht abgebildet werden können (SETTLE et al., 2007). Trotz der strategischen Komplementarität

⁸ Dabei kommen hauptsächlich folgende IAM zur Anwendung: AD-WITCH, AD-DICE, AD-RICE und FUND. Eine Beschreibung und Gegenüberstellung der verschiedenen Modelltypen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Siehe dazu AGRAWALA et al. (2011), PATT et al. (2010) oder BOSELLO et al. (2010).

besteht ein **Trade-off zwischen Anpassung und Vermeidung**, da diese um knappe Ressourcen konkurrieren (HOF et al., 2009). Zudem schmälert eine Ausweitung der Anpassung den Grenznutzen der Mitigation, und vice versa (Fankhauser, 2010). Das wechselseitige Crowding-out der beiden Strategien ist allerdings von einer **Asymmetrie** gekennzeichnet: Die Anpassung verdrängt die Vermeidung stärker als umgekehrt, da in der kurzen bis mittleren Frist der durch die Vermeidung verhinderte Schaden zu klein ist, um den Anpassungsbedarf zu reduzieren. Hinsichtlich des **optimalen Timings** der beiden Strategien hat sich folgende Regel herauskristallisiert: Während möglichst frühzeitig in die Vermeidung investiert werden sollte, folgen die Anpassungsausgaben der Dynamik der erwarteten Klimaschäden, d. h. diese sollten erst mit einer gewissen Zeitverzögerung, dann aber in ansteigender Form getätigt werden. Diese Diskrepanz ist schlicht auf die jeweilige intertemporale Verteilung der Kosten und Nutzen der beiden Optionen zurückzuführen. Eine **Erhöhung des Klimawandel-bedingten Schadens** impliziert sowohl ein höheres optimales Anpassungs- als auch Vermeidungsniveau. Die Implikationen hinsichtlich des optimalen Mix sind allerdings ambivalent. Sie hängen davon ab, ob die Adaptation als Bestands- (größerer Anteil der Schadensreduktion durch Adaptation, BOSELLO et al., 2010) oder Flussgröße (größerer Anteil der Schadensreduktion durch Mitigation, DE BRUIN et al., 2009) modelliert wird. Schließlich ist hinsichtlich der **regionalen Dimension der Anpassung** zu konstatieren, dass sich die Anpassungsausgaben in den Entwicklungsländern konzentrieren, weil diese deutlich vulnerabler sind als die Industrieländer. Deutliche Unterschiede sind auch zu verzeichnen, was die Art der Anpassung betrifft. Während nicht-OECD Länder zu gleichen Teilen proaktive und reagierende Anpassungsmaßnahmen ergreifen, sind bei OECD Ländern die meisten Maßnahmen proaktiver Natur (BOSELLO et al., 2010 beziffern den Wert auf 88%).

45. In Bezug auf diese Ansätze haben sich in der Literatur einige Stimmen hervorgetan, die die **Aussagekraft und Politikrelevanz der IAM** kritisch hinterfragen und deren Grenzen aufzeigen (z. B. JOTZO, 2010, oder FANKHAUSER, 2009). Der grundlegende Tenor lautet, dass die IAM dem heterogenen und diffusen Charakter der Anpassung nur unzureichend Rechnung tragen und deshalb ungeeignet sind, konkrete Politikempfehlungen abzugeben. Bestenfalls können qualitative Einsichten in die Beziehung zwischen Anpassung und Vermeidung erwartet werden. PATT et al., 2010 argumentieren in ihrem zentralen Beitrag, dass viele der charakteristischen Eigenschaften der Anpassung in den IAM nur unzureichend abgebildet werden. In der Folge neigen die Modellrechnungen zu **Überschätzungen des Nettonutzens der Anpassung** und propagieren eine zu geringe Vermeidungsanstrengung. Im Einzelnen bringen die Autoren folgende Kritikpunkte vor: Die IAM sind nicht in der Lage, den **Bottom-up-Charakter der Anpassung** abzubilden. Dieser zeigt sich darin, dass die Kosten und der Nutzen der Anpassung an lokale Maßnahmen geknüpft sind und von lokalen Stakeholdern getragen werden bzw. diesen zugutekommen (siehe dazu auch TOL, 2005). Aussagen über die optimale Höhe und räumliche Verteilung der Anpassungsausgaben setzen demnach die Kenntnis der entsprechenden lokalen Gegebenheiten voraus. IAM mit globalem Fokus, die meist mit einer einzelnen Schadenskostenfunktion operieren, können diese Anforderungen jedoch nicht erfüllen. Die meisten IAM basieren auf der Annahme, dass ein **gewisser Teil der Anpassung autonom und proportional zu den eintretenden Schäden** erfolgt, wobei diese als Funktion der globalen Durchschnittstemperatur modelliert werden. Allerdings wird die Anpassung üblicherweise auf Basis der wahrgenommenen Risiken hinsichtlich Extremereignissen oder Erfahrungen bzgl. veränderter klimatischer Bedingungen vorgenommen (THOMAS et al., 2007), die jeweils nicht notwendigerweise eine lineare Funkti-

on der globalen Durchschnittstemperatur sind (EMANUEL, 2005). Problematisch zeigt sich auch die Bewertung von Folgen des Klimawandels, die nicht durch den Marktmechanismus bestimmt werden. Erste einschlägige Versuche hinsichtlich des Nutzens der Mitigation, z. B. veränderter Biodiversitätsverlust (IPCC, 2007a), lassen zwar auch Rückschlüsse auf den nicht-monetären Nutzen der Adaptation zu. Ungelöst zeigt sich indes das Problem der Bewertung **nicht-monetärer Anpassungskosten**, da diese vornehmlich auf lokaler Ebene anfallen und demzufolge schwerlich adäquat in den IAM berücksichtigt werden können. Die den IAM zugrunde liegende Annahme optimaler autonomer Anpassung impliziert, dass die **Akteure** die verfügbaren anpassungsrelevanten Informationen (z. B. Klimaprognosen) bestmöglich nutzen, d. h. den **Informationswert maximieren**. Dies stellt jedoch enorme Anforderungen an die Informationsverarbeitungskapazität der Akteure, die realistischer Weise nicht gegeben sind (IPCC, 2007a). Zudem sprechen weitere verhaltensbezogene Hemmnisse gegen die bestmögliche Nutzung der Information (siehe Ziff. 78). Ein weiteres, schwer zu lösendes Problem stellt schließlich die **Modellierung der Unsicherheit** dar. Dies gilt insbesondere für die Adaptation, da diese maßgeblich an die räumliche und zeitliche Verteilung der Folgen des Klimawandels gebunden ist. Erschwerend kommen hier wiederum mögliche verhaltensbezogene Hemmnisse der Akteure im Umgang mit diesen Unsicherheiten hinzu (siehe Ziff. 77).

3.1.2 Empirische Ermittlung des Nutzens und der Kosten der Anpassung

46. Voraussetzung für die tatsächliche Implementierung optimaler Anpassungs- (Vermeidungs-) Strategien ist die empirische Ermittlung der Kosten und des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen (Ziff. 23). Die Kosten- und Nutzen-Daten fungieren nicht nur als projektbezogene Entscheidungsgrundlage auf regionaler bzw. lokaler Ebene, sondern dienen auch als Preissignal für Politiker auf internationaler Ebene, vor allem hinsichtlich der Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen (OECD, 2008). Hinsichtlich der Erhebung regionaler (bzw.) lokaler Nutzen- und Kosten-Daten sind zwei grundsätzliche Vorgehensweisen zu unterscheiden (GEBHARDT et al., 2011, vgl. Abbildung 4). Den Ausgangspunkt des **Bottom-up-Ansatzes** bilden Klimaprojektionen und Abschätzungen der Folgen des Klimawandels für die betrachtete Region. Darauf aufbauend werden unter Einbeziehung der Entscheidungsträger und Stakeholder geeignete, auf den regionalen (bzw. lokalen) Kontext zugeschnittene, Anpassungsmaßnahmen identifiziert und schließlich einer ökonomischen Bewertung unterzogen. Im Gegensatz dazu zielen die **Top-down-Ansätze** darauf ab, globale, auf Integrated Assessment Modellen beruhende Nutzen-, und Kostenabschätzungen durch das sog. dynamische Downscaling auf die regionale bzw. lokale Ebene herunterzubrechen (vgl. z. B. KEMFERT, 2008).

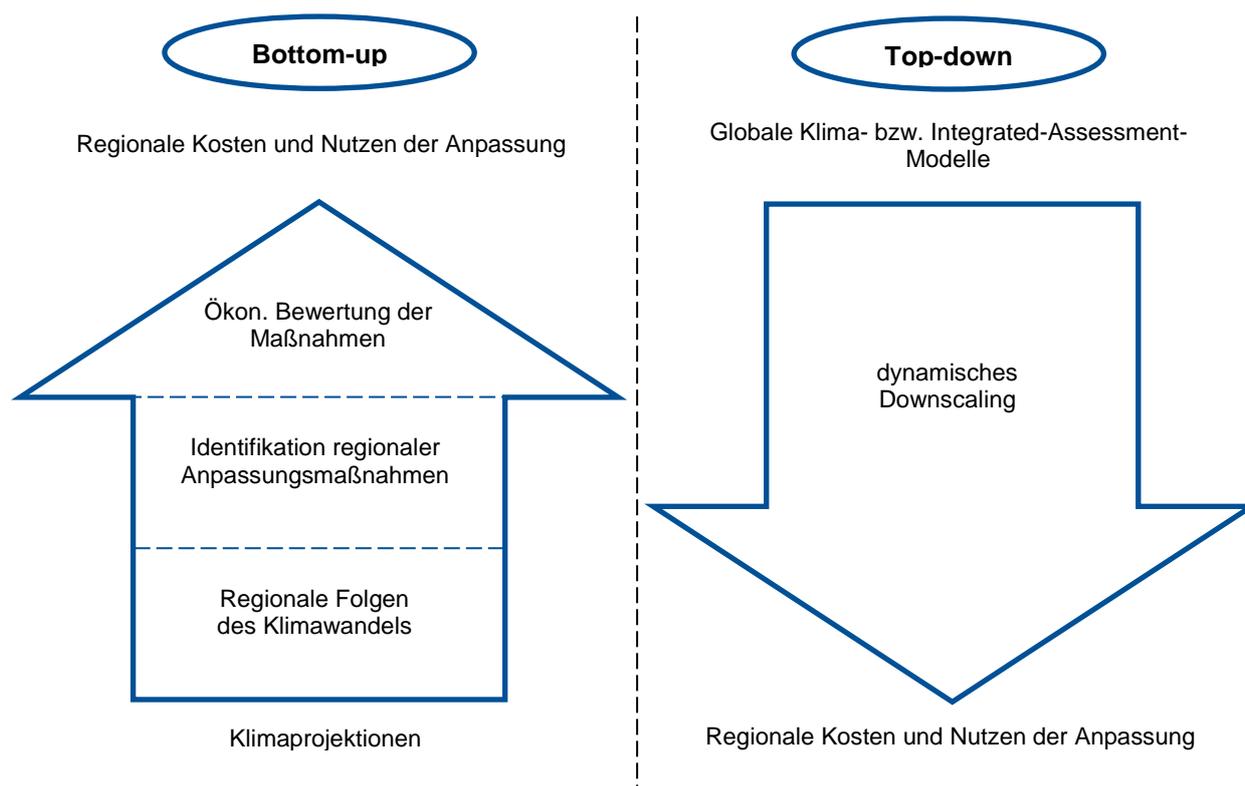


Abbildung 4: Zwei Wege zu den regionalen Kosten und Nutzen der Anpassung

47. Die Erfassung und Quantifizierung des Nutzens der Anpassung ist aufgrund der massiven Unsicherheiten bzgl. der Folgen des Klimawandels sowie methodischer Probleme hinsichtlich der Bewertung nicht-monetärer Güter (z. B. Erholungsfunktion einer Landschaft) nicht ohne Weiteres zu bewerkstelligen (siehe auch Ziff. 62). Daher überrascht es nicht, dass sich der deutlich kleinere Anteil der relevanten Beiträge mit der **Nutzenseite** beschäftigt. DOBES (2009) entwirft einen **mehrstufigen Plan zur Identifikation von Prioritäten und Präferenzen** von Individuen bzgl. Anpassungsmaßnahmen, der als erster Schritt in Richtung der monetären Bewertung des Nutzens zu verstehen ist. GLENK und FISCHER (2010) untersuchen die Bewertung von staatlich durchgeführten Anpassungsmaßnahmen durch die Öffentlichkeit. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, wie sich **Präferenzen** für besagte Maßnahmen aus hierarchischen Netzen von Werten und Überzeugungen **konstituieren**. Die Autoren gehen dem durch die Auswertung einer Befragung der Bevölkerung mittels ökonomischer Methoden nach. Sie kommen zu dem Schluss, dass konstituierende Werte wie Effizienz, Nachhaltigkeit oder Solidarität robustere Bewertungskriterien sind als die marginale Zahlungsbereitschaft, vor allem was langfristige Projekte betrifft.

48. CHAMBERA und STAGE (2010) entwickeln einen **konzeptionellen Rahmen**, in dem Nutzen und Kosten der Anpassung in Entwicklungsländern ermittelt werden können. Ergebnis ist ein Kriterienkatalog, den es bei der Erhebung abzarbeiten gilt. Auch MARGULIS et al. (2008) nehmen eine **integrierte Betrachtung der Nutzen- und Kosten-Seite** vor. Sie präsentieren einen **Top-down-Ansatz** zur Implementierung von Anpassungsmaßnahmen. Auf Basis eines Impact Assessment Models brechen sie die Klimaprojektionen auf die regionale bzw. lokale Ebene herunter und führen dann unter der Beachtung von Budgetrestriktionen eine Nutzen-Kosten-Analyse durch. PRC (2009) beschäftigt sich mit grundsätzlichen methodi-

schen Problemen der Nutzen-Kosten-Analyse am Beispiel von Anpassungsmaßnahmen im Rahmen des europäischen Küstenschutzes. TRÖLTZSCH et al. (2011) geben einen breiten Überblick über (vornehmlich Bottom-up-basierte) anwendungsorientierte Studien zur Erfassung des Nutzens und der Kosten von Anpassungsmaßnahmen in verschiedenen Sektoren und Handlungsfeldern in Deutschland.

49. Die folgenden Arbeiten richten den Fokus allein auf die **Kostenseite** und verfolgen dabei den Top-down-Ansatz: DESCHENES und GREENSTONE (2007) demonstrieren, wie mit **physischen Klimamodellen, gesundheitsökonomischen Modellen und ökonometrischen Methoden** Anpassungskosten im Gesundheitsbereich geschätzt werden können. Die Weltbank (WORLD BANK, 2010c) schätzt mittels Projektionen von Klimamodellen Anpassungskosten für Entwicklungsländer (WORLD BANK, 2010c), das Sekretariat der UN-Klimarahmenkonvention prognostiziert Anpassungskosten bzw. -investitionen mithilfe des **OECD ENV-Linkage Models** (UNFCCC, 2007). OSBERGHAUS und REIF (2010) unternehmen erstmalig den Versuch, die **fiskalischen Kostenwirkungen** von Anpassungsmaßnahmen zu untersuchen und verwenden dabei eine umfangreiche Sammlung theoretischer Konzepte und ökonomischer Methoden.

50. Eine Reihe von Arbeiten **kritisiert die Top-down-basierten Kostenschätzungen**. FANKHAUSER (2010) identifiziert (methodische) Schwächen bisheriger Anpassungskostenschätzungen. Bemängelt werden unter anderem die Breite und Tiefe der Studien, sowie die Vernachlässigung relevanter Kosten – zumeist werden lediglich die Investitions-, nicht aber die vollständigen Lebenszeitkosten der jeweiligen Maßnahme erfasst. Auch die Europäische Umweltagentur (EEA, 2007) und PARRY et al. (2007) halten jeweils einen Überblick zu dieser Thematik vor, wobei der letztgenannte Beitrag jedoch den Fokus auf **sektorspezifische Gegebenheiten** richtet.

51. An dieser Kritik setzt die Studie von GEBHARDT et al. (2011) an: Sie stellt einen ersten Versuch dar, am Beispiel des Landes Sachsen-Anhalt einen **Bottom-up-Ansatz** als innovatives Verfahren der ökonomischen Anpassungsforschung in einem regionalen Kontext zu entwickeln und modellhaft auszuarbeiten. Die dadurch ermöglichte Berücksichtigung der spezifischen regionalen Gegebenheiten erlaubt eine präzisere und detailliertere Erfassung der für die regionalen bzw. lokalen Entscheidungsträger relevanten Anpassungskosten (dazu auch GEBHARDT und HANSJÜRGENS, 2011). Im Zusammenhang mit dem Bottom-up-Ansatz diskutieren PATT und SIEBENHÜHNER (2005) das Potenzial von **Agent-Based Models (ABM)** zur empirischen Erfassung der Anpassungskosten beizusteuern. Die wesentliche Idee besteht dabei darin, dass die ABM aufgrund ihrer Fähigkeit, die komplexen adaptiven Systeme nachzubilden und zu analysieren, für die Ermittlung der Anpassungskosten relevante Informationen und Erkenntnisse bereitstellen können.

3.2 Ziele ohne Effizienzbezug

52. Neben der Optimalität bzw. Effizienz werden in der einschlägigen Literatur vor allem **(Verteilungs-) Gerechtigkeit, nachhaltige Entwicklung** bzw. **ökologische Kriterien** und die **Versorgungssicherheit** als Zielsetzungen angeführt, die es im Rahmen von Anpassungsmaßnahmen zu berücksichtigen gilt (vgl. z. B. FANKHAUSER, 1999, IPCC, 2001, KLEIN

et al., 2005, DANNENBERG et al., 2009, OSBERGHAUS et al., 2010a). RYNIKIEWCZ und CHE-TAILLE (2006) heben die Bedeutung des Gerechtigkeitsziels in Verbindung mit der nachhaltigen Entwicklung für die Armutsreduktion bei Entwicklungsländern hervor. Aus TOL (2007) geht hervor, dass Anpassungsmaßnahmen zumindest auf indirektem Wege auch **sicherheitspolitischen Zielen** zuträglich sein können, indem sie z. B. Ressourcenknappheit oder Migrationsbewegungen entgegenwirken bzw. kontrollieren und somit mögliche gewaltsame Konflikte verhindern. In der Literatur werden vor allem die Aspekte der (Verteilungs-) Gerechtigkeit, der nachhaltigen Entwicklung und der Versorgungssicherheit vertieft (siehe Ziff. 53-55).

53. DANNENBERG et al. (2009) und OSBERGHAUS et al. (2009) differenzieren zwischen **der vertikalen und horizontalen Verteilungsgerechtigkeit**. Erstere stellt auf die gerechte Behandlung von Individuen mit unterschiedlichen Einkommensniveaus ab. Im Anpassungskontext impliziert dies vor allem zu gewährleisten, dass auch einkommensschwache Individuen notwendige Anpassungsmaßnahmen durchführen können. Die horizontale Gerechtigkeit meint die gleichmäßige Behandlung aller Individuen vor dem bzw. durch das Gesetz. Dieser Aspekt wird vor allem bei der Durchführung staatlicher Anpassungsmaßnahmen relevant, z. B. wenn es aus Effizienzgesichtspunkten sinnvoll wäre, für eine Region Hochwasserschutz zu betreiben, für eine andere jedoch nicht. GEMENNE (2009) unterscheidet zwischen **Verteilungs-** und **ausgleichender Gerechtigkeit**, die im Sinne des Verursacherprinzips fordert, dass die Anpassungsmaßnahmen von denjenigen getragen werden müssen, die für den Klimawandel verantwortlich sind. Daran anknüpfend wird dafür plädiert, im Zuge der **internationalen Lastenteilung** bzgl. der Klimafolgen neben den Schadens- ein stärkeres Augenmerk auf die Anpassungskosten zu richten (GTZ, 2007 und EISENACK, 2011). In diesem Zusammenhang entwickeln DELLINK et al. (2009) mit der Deontologie, dem Konsequentialismus sowie der Solidarität **Prinzipien für eine faire Lastenteilung** und operationalisieren diese für die Umsetzung in der politischen Praxis. Auch DULAL et al. (2009) etablieren **operationalisierbare Gerechtigkeitsdimensionen**, u. a. die gerechte bzw. gleichmäßige Behandlung der Bevölkerung im Rahmen staatlicherseits initiiertter Anpassungsmaßnahmen oder das gleiche Recht für den Zugang staatlich geschaffener Anpassungsgüter. Ferner demonstrieren sie exemplarisch für verschiedene Handlungsbereiche, z. B. Mobilität oder Wohnen, wie Gerechtigkeitsziele in die Anpassungsplanung eingebunden werden können. PAAVOLA und ADGER (2002) schaffen einen **konzeptionellen Rahmen** zur Analyse von Gerechtigkeitsfragen im Anpassungskontext und vertreten dabei einen erweiterten Gerechtigkeitsbegriff, der auch Werte wie das menschliche Leben bzw. die Gesundheit oder die nachhaltige Unversehrtheit der Erde umfasst.

54. Ein großes Gewicht in dem hier diskutierten Literaturzweig kommt der Fragestellung zu, wie Anpassungsmaßnahmen mit dem Ziel der **nachhaltigen Entwicklung**, vor allem in Bezug auf Schwellen- und Entwicklungsländer, vereinbar sind. GOKLANY (2007) identifiziert **gemeinsame Erfolgsdeterminanten** von Vermeidung, Anpassung und nachhaltiger Entwicklung, die als Orientierungshilfe für die Implementierung geeigneter Strategien dienen. Auch GTZ (2007) und FANKHAUSER (2009) widmen sich möglichen **Synergien** zwischen Anpassungs- und Entwicklungsmaßnahmen. DANG et al. (2003) nähern sich dieser Thematik mittels einer **Fallstudie** für Vietnam.

55. DANNENBERG et al. (2009) und OSBERGHAUS et al. (2010a) stellen die besondere Bedeutung der **Versorgungssicherheit** im Anpassungskontext heraus. Als Beispiele benennen sie den Energie- oder Agrarsektor, für die bei hinreichend starken klimatischen Veränderungen ohne geeignete Anpassungsmaßnahmen keine konstante und ausreichende Bedienung der Nachfrage garantiert ist. CALZADILLA et al. (2009) untersuchen in einem **partiellen Gleichgewichtsmodell des Agrarsektors**, das an ein diverse Faktormärkte umfassendes allgemeines Gleichgewichtsmodell gekoppelt ist, die Implikationen verschiedener Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich der Versorgungssicherheit. Dieselbe Fragestellung wird von FINGER und SCHMID (2007) aufgegriffen, die zu diesem Zweck ein **biophysikalisches Modell** (Simulation der Beziehung zwischen Klima und Bepflanzung bzw. Pflanzenwachstum) mit einem ökonomischen Modell (Simulation der privaten Anpassung von Landwirten) kombinieren. ROSENZWEIG und TUBIELLO (2007) diskutieren anpassungsbezogene Herausforderungen, die sich bzgl. der Versorgungssicherheit im **Agrarsektor** ergeben.

3.3 Beurteilung und Auswahl von Anpassungsmaßnahmen

56. Zur Realisierung eines oder mehrerer der in den vorhergehenden Abschnitten genannten Ziele ist zunächst eine Beurteilung der zur Verfügung stehenden Anpassungsoptionen anhand bestimmter Kriterien erforderlich. Darauf aufbauend kann die Auswahl der Optionen mittels geeigneter Verfahren vorgenommen werden. Welche **Kriterien zur Beurteilung der Maßnahmen** heranzuziehen sind, hängt von der Form der Anpassung ab (SMIT et al., 2000, vgl. Abbildung 5). Diesbezüglich sind einerseits **spontane (zudem meist autonome und reagierende) Anpassungsmaßnahmen** zu unterscheiden. Diese erfolgen ausschließlich mit der ursprünglichen Intention der Anpassung, klimawandelbedingte Schäden (nachträglich) abzumildern bzw. entsprechende Chancen zu nutzen. Allerdings werden hier die zusätzlichen Ziele wie Optimalität oder Verteilungsgerechtigkeit naturgemäß nicht systematisch verfolgt. Somit wäre eine an der Erreichung dieser Ziele ausgerichtete Bewertung nicht angemessen. Stattdessen wird in der einschlägigen Literatur die spontane Anpassung vornehmlich hinsichtlich ihrer Kosten-Nutzen-Relation beurteilt, d. h., das Schadenseinsparungspotenzial (bzw. potenzielle Zugewinne) werden den Kosten der Anpassungsmaßnahmen gegenübergestellt. Derartige Abschätzungen erfolgen üblicherweise im Rahmen von Integrated Assessment Models bzw. Impact Models (TOL et al., 1998). Die Ergebnisse der Evaluation sind nicht nur relevant, um die **Folgen des Klimawandels besser prognostizieren** zu können, sondern sie sind zudem notwendige Voraussetzung, um **Referenzszenarien abzubilden**, die frei von politischen Eingriffen sind und als Grundlage für die Konzeption der Anpassungspolitik dienen (SMIT et al., 2000).

57. Im Gegensatz zur spontanen Anpassung wird für **geplante (zudem meist staatliche, antizipative)⁹ Anpassungsmaßnahmen** eine Vielzahl von Beurteilungskriterien herangezogen (vgl. z. B. SMIT et al., 1999). Das Intergovernmental Panel on Climate Change stellt grundlegende Vorüberlegungen hinsichtlich der Auswahl dieser Kriterien an (IPCC, 1994). Insbesondere wird betont, dass die Kriterien möglichst spezifisch und eindeutig überprüfbar

⁹ Die im Folgenden aufgelisteten Kriterien werden in der Literatur zumeist mit staatlich durchgeführten, geplanten Anpassungsmaßnahmen in Verbindung gebracht. Nichtsdestotrotz sind sie auch auf private geplante Maßnahmen anwendbar, insbesondere auch wenn es darum geht, ob diese staatliche Korrekturmaßnahmen erfordern (siehe Kapitel 4).

sein müssen. Das elementare Kriterium liegt in der **Effektivität**, d. h. dem Zielerreichungsgrad der Maßnahme, begründet (CIMATO und MULLAN, 2010). Wird nur eine Zielsetzung verfolgt, so ist die Anwendung des Effektivitätskriteriums trivial. In der praktischen Anpassungspolitik sollen allerdings üblicherweise mehrere Ziele simultan erreicht werden, die oftmals konfliktäre Beziehungen aufweisen (vgl. KLEIN et al., 2005), wodurch die Klarheit des Effektivitätskriteriums verloren geht. In diesem Fall ist eine Gewichtung bzw. ein Ranking der einzelnen Ziele notwendig, auf deren Basis die Trade-Offs zwischen den Zielen abgewägt und die Anpassungsoptionen nach bestimmten Verfahren (siehe Ziff. 60) ausgewählt werden können (IPCC, 1994). Dem Ziel der Optimalität kommt in Bezug auf das Effektivitätskriterium insofern eine besondere Bedeutung zu, als hier keine unterschiedlichen Zielerreichungsgrade existieren, d. h. die (gewählte) Anpassungsmaßnahme bzw. -allokation ist entweder optimal oder nicht.

58. Das Kriterium der **Kosteneffizienz** stellt in Analogie zum Standard-Preis-Ansatz darauf ab, ein politisch vorgegebenes oder aus technischen bzw. naturwissenschaftlichen Prämissen hervorgehendes Anpassungsziel zu minimalen volkswirtschaftlichen Kosten zu erreichen (vgl. z. B. SMIT et al., 1999 und 2000, sowie SHARMA und SHARMA, 2010). Auf eine Betrachtung des Nutzens der Anpassung wird im Gegensatz zur Optimalität explizit verzichtet, um die damit verbundenen Informationsprobleme zu umgehen. Diverse Beiträge beschäftigen sich mit der Operationalisierung des Kosteneffizienz-Kriteriums im Kontext verschiedener Handlungsfelder. WHEELER (2011) entwickelt ein **quantitatives Verfahren**, das Entscheidungsträger bzw. Geberländer bei der Ermittlung der kosteneffizienten Allokation von Anpassungsressourcen in Entwicklungsländern unterstützt. Der Fokus richtet sich dabei auf die Problembereiche wetterbedingte Katastrophen, Meeresspiegelanstieg und landwirtschaftliche Produktion. CAI et al. (2011a) konzipieren ein **Simulationsmodell** zur Bestimmung kosteneffizienter Anpassungsstrategien im **Energiesektor**. Dabei können mehrere Energiequellen, Technologien und Subsektoren betrachtet werden. Ferner erlaubt das Modell die Berücksichtigung von Unsicherheiten auf verschiedenen Ebenen, z. B. hinsichtlich der Folgen des Klimawandels oder der Anpassungsplanung. Das Modell kommt im Rahmen einer regionalen Fallstudie zur Anwendung (CAI et al., 2011b).

59. Neben den zentralen Kriterien der Effektivität und Kosteneffizienz wird eine Reihe von ergänzenden bzw. alternativen Kriterien angeführt. SMIT et al. (1999) und TOL (1996) betonen, dass die **Implementierbarkeit** bzw. politische Durchsetzbarkeit der Maßnahme sowie deren **Akzeptanz** in der Öffentlichkeit ausschlaggebend für den Erfolg der Anpassung sind. SMITH (1997) und SMITH und LENHART (1996) argumentieren, dass angesichts der Unsicherheit bzgl. der Folgen des Klimawandels die Maßnahmen möglichst **flexibel** ausgestaltet sein sollten, d. h. kurzfristig an veränderte klimatische Bedingungen angepasst werden bzw. auf unerwartete (Extrem-) Ereignisse reagieren können. Ein weiteres der Unsicherheit Rechnung tragendes Kriterium ist die **Robustheit** der Maßnahmen. Diese verlangt, dass die Wirkung und Funktionsfähigkeit der Maßnahmen für die gesamte Bandbreite möglicher bzw. wahrscheinlicher klimatischer Bedingungen sichergestellt sein muss (LEMPERT und SCHLESINGER, 2000). Das **No-Regret-Kriterium** verknüpft die Kriterien der Optimalität und der Robustheit. Die Maßnahmen sollten demnach unter allen plausiblen Klimaszenarien einen nicht-negativen Nettonutzen generieren (HALLEGATTE, 2009). Auf Basis der genannten Kriterien wird schließlich mittels bestimmter Verfahren (siehe den nachfolgenden Abschnitt) die Auswahl der geplanten Anpassungsmaßnahmen getroffen. Ferner geben sie den Entschei-

Trägern der Anpassungspolitik Anhaltspunkte für die Ausgestaltung von (geplanten) Anpassungsmaßnahmen und -strategien (SMIT et al., 2000).

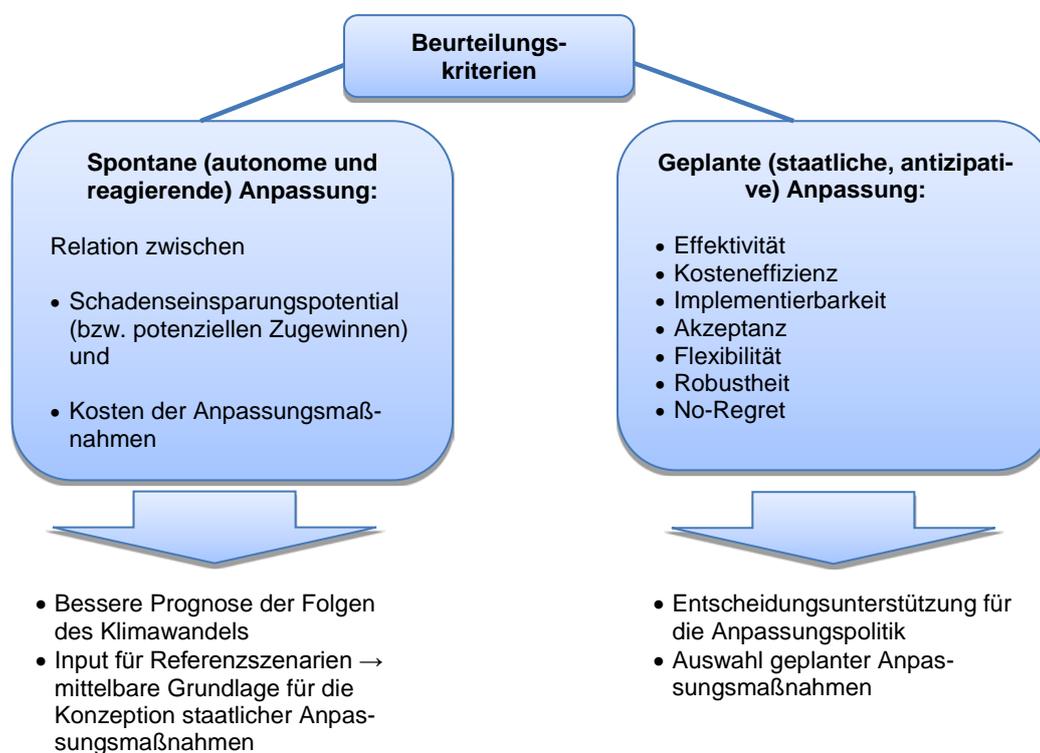


Abbildung 5: Kriterien zur Beurteilung von Anpassungsmaßnahmen

60. Auf Basis der in Abbildung 5 zusammengefassten Beurteilungskriterien für geplante Anpassungsmaßnahmen gilt es für den jeweiligen Entscheidungsträger nunmehr die „beste“ Maßnahme bzw. das „beste“ Maßnahmenbündel auszuwählen. Wird nur eine Zielsetzung verfolgt und keine weiteren Kriterien, wie z. B. die Flexibilität, angelegt, so kann die Auswahl schlicht anhand des Effektivitätskriteriums getroffen werden. Sobald allerdings mehrere Ziele realisiert werden sollen und/oder zusätzliche Kriterien herangezogen werden, muss auf spezielle **Auswahlverfahren** zurückgegriffen werden. Das Intergovernmental Panel on Climate Change liefert eine ausführliche Zusammenfassung dieser Verfahren (IPCC, 2001a),¹⁰ deren wesentliches Konzept einschließlich einer kurzen Bewertung überblicksartig in Tabelle 4 dargestellt wird. Zu unterscheiden sind dabei zum einen Verfahren, die **unmittelbar zur Entscheidungsfindung beitragen**, sprich im Ergebnis ein explizites Ranking der möglichen Handlungsoptionen generieren. Zum anderen existieren Verfahren, die den **Entscheidungsträger lediglich mittelbar unterstützen**, indem sie die Implikationen und Trade-offs zwischen den Optionen verdeutlichen oder die Menge der infrage kommenden Optionen eingrenzen. Sie geben jedoch keine eindeutige Handlungsempfehlung ab.

¹⁰ Die besagte Quelle bezieht sich zwar auf den Kontext der Mitigation, die benannten Verfahren können aber gleichermaßen im Rahmen von Anpassungsentscheidungen zur Anwendung kommen.

61. Die zur erstgenannten Gruppe gehörigen Verfahren sind – mit Ausnahme der Spieltheorie (Ziff. 64) – allesamt Teil der **Entscheidungstheorie**. Diese zielt darauf ab, die aus Sicht des Entscheidungsträgers „beste“ Auswahl aus einer Menge möglicher Handlungsoptionen zu treffen. Zu diesem Zweck wird den einzelnen Optionen, basierend auf der zugehörigen Ausprägung der (quantitativen und/oder qualitativen) Beurteilungskriterien, mittels quantitativer Methoden ein bestimmter Wert zugeordnet, der als Grundlage für das Ranking der Optionen dient. Dabei kommen häufig modellbasierte Tools als Teil interaktiver Techniken zum Einsatz, in deren Rahmen die Entscheidungsträger die Problemstellung strukturieren und ihre Präferenzen offenlegen. Neben der Identifizierung der „besten“ Auswahl werden die einschlägigen Verfahren eingesetzt, um die Entscheidungssituation zu analysieren und ggf. verbesserte Handlungsoptionen offenzulegen. Allerdings gründet die Entscheidungstheorie mitunter auf relativ restriktiven Prämissen, welche die Anwendung auf das Klima- bzw. Anpassungsproblem einschränken (siehe Tabelle 4).

*Tabelle 4: Verfahren zur Entscheidungsfindung bei multiplen Zielsetzungen
(in Anlehnung an IPCC, 2001a)*

(siehe Folgeseite)

| Verfahren | Beschreibung | Bewertung |
|--|---|--|
| EINDEUTIGE HANDLUNGSEMPFEHLUNG | | |
| Entscheidungstheorien (u. a. Nutzen-Kosten-, Kosteneffizienz- und multikriterielle Analyse sowie Portfoliotheorie) | Formales quantitatives Verfahren zur Bestimmung der besten Auswahl aus einer Reihe von Alternativen. Voraussetzung ist die Definition der vollständigen Menge von Entscheidungsalternativen, der zugehörigen Ergebnisse sowie deren Bewertung. Einbezug von Unsicherheit indem den Ergebnissen Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. | Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Quantitative Ergebnisse • Reproduzierbarkeit der Analyse • Prinzipiell können alle Dimensionen des Klimaproblems einbezogen werden Nachteile (restriktive Annahmen): <ul style="list-style-type: none"> • Einzelner Entscheidungsträger mit wohldefinierten Präferenzen • Endliche Menge an Entscheidungsalternativen • Ergebnisse müssen vergleichbar und daher in einer bestimmten Maßeinheit (z. B. € oder Nutzen) darstellbar sein. • Rationalität • Quantifizierbarkeit der Unsicherheit |
| Spieltheorie | Liefert Informationen über die Implikationen von Entscheidungen mehrerer Akteure. Dabei wird die Erwartung jedes einzelnen Akteurs bzgl. des Verhaltens und der Erwartungen der anderen Akteure berücksichtigt (strategische Interaktion). | Eindeutige Handlungsempfehlungen möglich. Bei zu hoher Komplexität aber Beschränkung auf deskriptive Analyse, die Informationen über Handlungsergebnisse in einem spezifischen Kontext generiert. |
| KEINE EINDEUTIGE HANDLUNGSEMPFEHLUNG | | |
| Finanzwissenschaft | Umfasst eine Vielzahl von Ansätzen, u. a. die Theorie des Second-Best. | Ermöglicht die Untersuchung von Trade-Offs zwischen Effizienz und anderen Kriterien. |
| Bayes'sche Netze | Wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle mit dualer Struktur: 1.) Graph, in dem die Knoten (Zufalls-)Variablen und die Kanten bedingte Abhängigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten zwischen diesen Variablen darstellen. 2.) Quantifizierung von bedingten Wahrscheinlichkeiten zwischen Variablen. | Ermöglichen die Analyse komplexer Entscheidungssysteme (mehrere Ziele, Unsicherheit, Dynamik) unter Berücksichtigung von Lernprozessen. |
| Tolerable Windows und/oder Safe Landing Approach | Gegeben definierter, exogener Rahmenbedingungen, die einerseits einen nicht tolerierbaren Klimawandel, andererseits nicht akzeptierbare (Anpassungs-/Vermeidungs-/...) Maßnahmen ausschließen, wird der mögliche Handlungsspielraum auf der Grundlage von Kausalzusammenhängen zwischen Klima und Gesellschaft identifiziert. | Vorteile <ul style="list-style-type: none"> • Fundierte Eingrenzung der Handlungsalternativen • Anregung zu kritischem Hinterfragen der vorgegebenen Zielsetzungen Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> • Keine Information bzgl. der Auswahl der Rahmenbedingungen • Verfahren liefert im Ergebnis keine „beste“ Handlungsalternative (bzw. keinen „besten“ Handlungspfad) |
| Präskriptive Regeln ethischer und kultureller Art | Stellt primär auf die Implikationen unterschiedlicher sozialer Organisationsformen ab. | Vorteil: <ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht die Betrachtung von Interaktionen zwischen der Wahl politischer Maßnahmen und der sozialen Struktur. Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> • Nur begrenzte Anwendbarkeit auf das Klimaproblem. • Keine quantitative Analyse |

| | | |
|---|---|--|
| Fokusgruppen, politische Rollenspiele und Simulationen | Umfasst eine Reihe von Forschungsaktivitäten zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses. Im Allgemeinen werden im Rahmen von Gruppenarbeit mögliche Handlungsergebnisse untersucht, wobei die einzelnen Gruppenmitglieder unterschiedliche Rollen im Rahmen eines simulierten Entscheidungsumfelds einnehmen. Computergestützte Modelle können zur Unterstützung herangezogen werden. | Die Ergebnisse sind größtenteils pädagogischer Natur und nicht reproduzierbar. |
|---|---|--|

62. Innerhalb der Entscheidungstheorie nehmen insbesondere die Verfahren der Nutzen-Kosten-, der Kosteneffizienz- und der multikriteriellen Analyse eine bedeutende Rolle für die Entscheidungsunterstützung im Anpassungskontext ein (KLEIN und TOL, 1997). Die **Nutzen-Kosten-Analyse** ermöglicht es, mehrere Ziele gleichzeitig zu berücksichtigen, indem sie diese auf denselben monetären Maßstab herunterbricht, wodurch mögliche Synergien und Konflikte zwischen den Zielen ausbalanciert werden können (siehe dazu ausführlich Abschnitt 3.1). Zu wählen ist schließlich jene Handlungsoption, die den größten Nettonutzen, d. h. die größte Differenz zwischen Nutzen und Kosten der Option, aufweist. Erstrecken sich der Nutzen und die Kosten (z. B. im Falle von Investitionsentscheidungen) über mehrere Perioden, so sind diese durch Diskontierung auf den Gegenwartswert zu beziehen. In der Praxis erschweren allerdings massive Unsicherheiten bzgl. der Folgen des Klimawandels und Informationsprobleme bei der Bewertung von Schäden bzgl. nicht-monetärer Güter (z. B. Biodiversitätsverlust) die Quantifizierung der Nutzenseite (KLEIN et al., 2005). Einen Ausweg bietet hier die **Kosteneffizienz-Analyse**, die die Nutzenseite explizit ausklammert. Sie beschränkt sich vielmehr darauf, diejenige Maßnahme auszuwählen, welche die vorgegebenen Zielsetzungen zu den geringstmöglichen Kosten erreicht, und umgeht somit die genannten Informationsprobleme.¹¹ Die Nutzen-Kosten- und die Kosteneffizienz-Analyse ermöglichen zwar die Berücksichtigung mehrerer Ziele, beurteilen die Handlungsoptionen aber nur nach einem Kriterium – der Optimalität bzw. Kosteneffizienz. Sollen bei der Auswahl weitere Kriterien (z. B. Flexibilität oder Akzeptanz) berücksichtigt werden, so muss auf die **multikriterielle Analyse** zurückgegriffen werden (HALLEGATTE, 2009). Diese gewichtet qualitative und quantitative Kriterien nach bestimmten Gesichtspunkten und bildet so ein Ranking der verfügbaren Maßnahmen (siehe dazu ausführlich KLEIN und TOL, 2007). MEYER et al. (2011a) entwickeln ein spezielles, **software-gestütztes multikriterielles Verfahren**, das insbesondere auch bei **unsicherheitsbehafteten Daten** bzgl. der Folgen des Klimawandels eingesetzt werden kann. Dieses wenden sie auf der Grundlage zweier Fallstudien an, in denen sie strukturelle (Wasserbau) und nicht-strukturelle (z. B. Warnsysteme oder Umsiedlungen) Hochwasserschutzmaßnahmen anhand mehrerer Kriterien (u. a. Effektivität bzgl. und Kosteneffizienz) evaluieren. Ein weiteres Anwendungsbeispiel findet sich in MEYER et al. (2011b). Hier werden unterschiedliche Wassermengenmanagementoptionen zur Anpassung an veränderte klimatische Bedingungen im Elbe-Einzugsgebiet nach ökonomischen und ökologischen Kriterien bewertet.

¹¹ Ein mögliches Tool zur Durchführung einer Kosteneffizienz-Analyse ist mit den Integrated Assessment Models gegeben. Diese ermöglichen die Berechnung derjenigen Anpassungs-Vermeidungs-Kombination, die die Realisierung eines gegebenen Erwärmungs- oder Emissionsziel zu den geringstmöglichen Kosten gewährleistet (siehe oben, Ziff. 42).

63. Die **Portfoliotheorie** ist ebenfalls der Entscheidungstheorie zuzuordnen, spielt aber für das Anpassungsproblem eine eher untergeordnete Rolle (IPCC, 2001a). Sie stellt grundlegend darauf ab, die optimale Zusammensetzung bestimmter Vermögens-Anlagen zu bestimmen, die sich hinsichtlich Rendite und Risiko unterscheiden. Die unterschiedlichen „Anlageformen“ bzw. hier besser: Handlungsalternativen (Elemente des Portfolios) werden durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über die erwarteten Renditen repräsentiert. In die Nutzenfunktion des Entscheidungsträgers gehen ausschließlich Varianz und Erwartungswert des Ertrags ein. Das effiziente Portfolio zeichnet sich dadurch aus, dass kein anderes Portfolio mit höherem erwarteten Ertrag und gleichem/geringerem Risiko oder geringerem Risiko und gleichem/höheren erwarteten Ertrag existiert. Diese Abwägung greift jedoch offensichtlich für viele Anpassungsentscheidungen zu kurz.

64. Eine wesentliche Einschränkung der Entscheidungstheorie besteht in der Annahme, dass nur ein einzelner Entscheidungsträger das Handlungsergebnis beeinflusst. In der Realität sind die Ergebnisse jedoch häufig von den Handlungen mehrerer Akteure abhängig. Derartige strategische Entscheidungssituationen können mit **spieltheoretischen Methoden** analysiert werden. Dabei kommen formale Modelle zur Anwendung, aus denen prinzipiell auch eindeutige Handlungsempfehlungen abgeleitet werden können. In besonders komplexen Entscheidungssituationen, z. B. wenn die Akteure jeweils mehrere Ziele gleichzeitig verfolgen, muss jedoch mit einer deskriptiven Analyse der strategischen Interaktion vorlieb genommen werden (IPCC, 2001a).

65. Weiterhin existieren diverse Verfahren, die sich von vornherein mit einer solchen deskriptiven Analyse bzw. der Eingrenzung der möglichen Handlungsoptionen begnügen (IPCC, 2001a). Die **Finanzwissenschaft**, die sich aus einer Vielzahl von einzelnen Ansätzen und Theorien zusammensetzt, ermöglicht die Untersuchung von Trade-Offs zwischen der Optimalität und weiteren Zielen oder Kriterien, wie z. B. der Verteilungsgerechtigkeit. Darauf aufbauend können sog. Second-Best-Ziele, d. h. Kompromisslösungen zwischen mehreren konkurrierenden Zielen, identifiziert werden. CATENACCI und GUPPONI (2010) sowie MUSANGO und PETER (2007) sprechen sich für die Anwendung von **Bayes'schen Netzen** zur Unterstützung von Anpassungsentscheidungen aus. Bayes'sche Netze sind wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle mit einer dualen Struktur: Einerseits umfassen sie einen Graphen, in dem die Knoten (Zufalls-)Variablen und die Kanten bedingte Abhängigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten zwischen diesen Variablen darstellen. Im Kontext der Klimaanpassung können auf diese Weise komplexe Entscheidungssysteme, bestehend aus verschiedenen Anpassungsmaßnahmen (ggf. zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit unsicheren Effekten) sowie unsicheren Folgen des Klimawandels und Schadensereignissen systematisch veranschaulicht werden. Andererseits ermöglichen die Netze die Quantifizierung von bedingten Wahrscheinlichkeiten zwischen Variablen, auch wenn diese nicht in direktem Zusammenhang stehen (sprich über mehrere Knoten hinweg). Zudem können Lernprozesse abgebildet werden, indem bei neu verfügbaren Informationen die bedingten Wahrscheinlichkeiten mit der Bayes'schen Methode aktualisiert werden. Somit sind die Bayes'schen Netze prädestiniert, die für die dynamischen Anpassungsentscheidungen charakteristischen Rahmenbedingungen (Unsicherheit, Irreversibilität, Möglichkeit des Lernens) abzubilden und zur Entscheidungsfindung beizusteuern. Der **Tolerable Windows bzw. Safe Landing Approach** verfolgt primär das Ziel, die Menge der infrage kommenden Handlungsoptionen einzuschränken. Dazu wird üblicherweise im Rahmen von Integrated Assessment Models auf Ba-

sis definierter Zielsetzungen bzw. Rahmenbedingungen eruiert, welcher Handlungsspielraum mit diesen vereinbar ist bzw. welche Maßnahmen auszuschließen sind. So kann beispielsweise vor dem Hintergrund eines bestimmten Erwärmungsziels sowie einer gegebenen Budgetrestriktion abgeschätzt werden, in welchem Bereich sich die Anpassungsinvestitionen eines Landes über einen bestimmten Zeitraum hinweg bewegen sollten. Zur Auswahl spezifischer Maßnahmen ist dieses Verfahren aufgrund seines hohen Aggregationsgrades jedoch nicht geeignet. Schließlich sind mit der **Analyse präskriptiver Regeln ethischer und kultureller Art** sowie den **politischen Rollenspielen und Simulationen** (z. B. im Rahmen von sog. Fokusgruppen) zwei soziologische bzw. politikwissenschaftliche Ansätze zu benennen, die eine qualitative Analyse des Entscheidungsprozesses vornehmen. Der erstgenannte Ansatz untersucht die Bedeutung unterschiedlicher sozialer Organisationsformen in Hinblick auf Durchsetzbarkeit und Wirkung der Anpassungsmaßnahmen. Die Simulationen anpassungspolitischer Entscheidungsprozesse liefern primär pädagogische, nicht-reproduzierbare Ergebnisse. Diese haben angesichts des Laborcharakters der Simulation eine eher geringe Aussagekraft für reale Anpassungsentscheidungen (IPCC, 2001a).

4 Barrieren autonomer Anpassung und die Legitimation staatlicher Eingriffe

66. Die Anpassung an sich verändernde Rahmenbedingungen ist wahrlich kein neuartiges Phänomen, sondern ständige Aufgabe für alle gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Akteure. Märkte versprechen aus wirtschaftstheoretischer Perspektive sowohl im Umgang mit Unsicherheit als auch bei der Bewältigung veränderter Umfeldbedingungen grundsätzlich eine überlegene Kompetenz. Daher besteht zunächst ein gewisses Prä für eine dezentrale und autonome Anpassung an veränderte Klimabedingungen. Es bedarf vor diesem Hintergrund aus ökonomischer Sicht durchaus einer näheren Begründung, wo und wie eine Anpassung an den Klimawandel staatlicherseits organisiert wird (vgl. z. B. PETHIG, 2011). Grundsätzlich ist die Legitimität staatlicher Interventionen gegeben, sofern die autonome Anpassung bestimmten Barrieren unterliegt und deshalb der (bzw. den) angestrebten Zielsetzung(en) (siehe Kapitel 3) nicht gerecht wird.¹² Ein Großteil der einschlägigen Literatur thematisiert dabei auf breiter Basis die besagten Barrieren, ohne diese systematisch in die ökonomische Theorie einzubetten (Abschnitt 4.1). Ein zweiter Strang versucht hingegen theoriegestützte Legitimationen herauszuarbeiten (siehe Abbildung 6 für einen Überblick). Diese beruhen zum einen auf einer Verfehlung des ökonomischen Ziels der Optimalität (Abschnitt 4.2). Zum anderen werden staatliche Eingriffe mit der Verfolgung von Zielen ohne Effizienzbezug motiviert, da diese generell nicht vom Marktmechanismus transportiert werden (Abschnitt 4.3).

¹² Davon abzugrenzen ist die Thematik der Barrieren staatlicher Anpassungspolitik, die in Abschnitt 5.2 zur Sprache kommt.

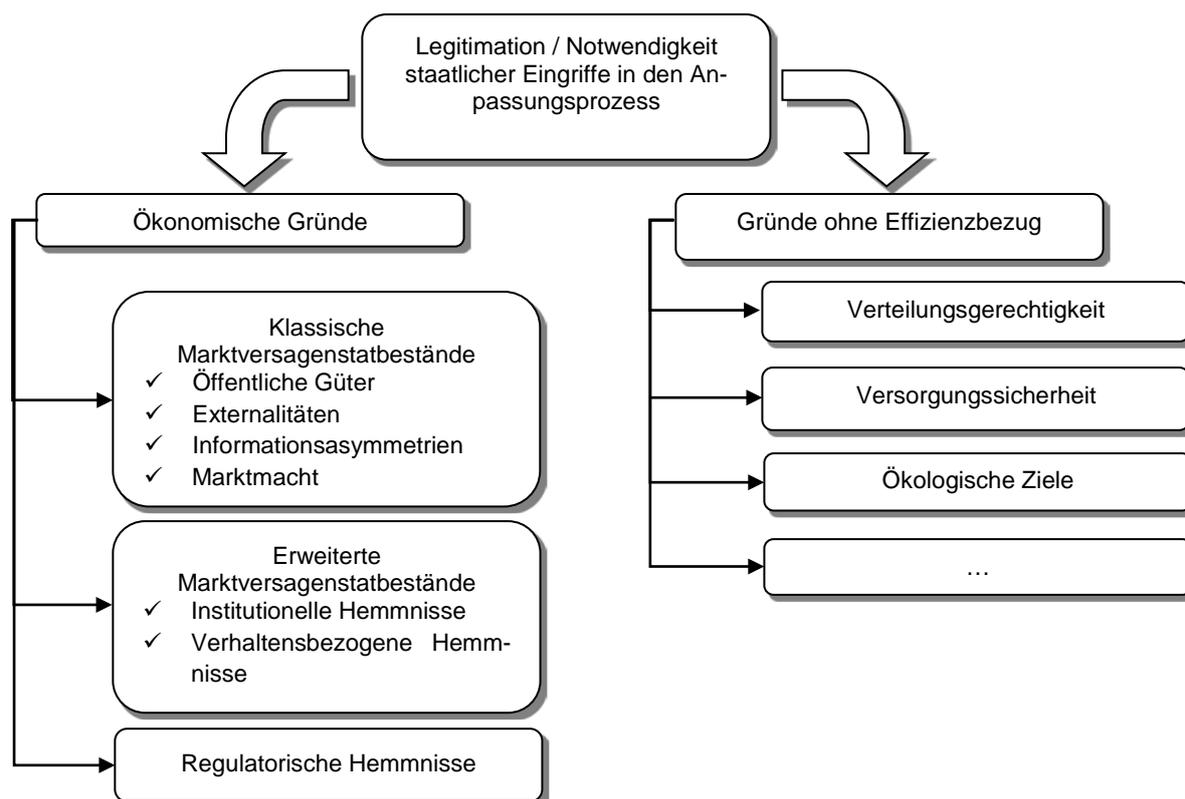


Abbildung 6: Legitimation und Notwendigkeit staatlicher Eingriffe in den Anpassungsprozess
(in Anlehnung an GAWEL und HEUSON, 2011)

4.1 Identifikation grundlegender autonomer Anpassungsbarrieren

67. Die nachfolgenden Arbeiten identifizieren grundlegende Hemmnisse autonomer Anpassung als Ansatzpunkte staatlicher Eingriffe **ohne systematischen Bezug zur ökonomischen Theorie**. Gemäß dem Intergovernmental Panel on Climate Change zählen zu den **wesentlichen Anpassungsbarrieren** der mangelnde Zugang zu (ökonomischen) Ressourcen, die mangelnde Verfügbarkeit von Technologien, unzureichende Information und Fähigkeiten bzw. Qualifikationen, unzureichende bzw. unvorteilhafte infrastrukturelle oder institutionelle Voraussetzungen sowie (soziale) Ungleichheit (IPCC, 2001b). HULME et al. (2007) wählen einen **interdisziplinären Ansatz** zur Offenlegung der Anpassungsbarrieren, die sich nach ihrer Auffassung politischen, sozialen oder psychologischen Ursprüngen zuordnen lassen. Ferner unterscheiden sie zwischen **Barrieren und Grenzen** der Anpassung, wobei letztere im Gegensatz zu den Barrieren nicht überwindbar sind. Als typische Barrieren benennen die Autoren individuelle und soziale Faktoren, wie z. B. Trägheit oder eine politische Kultur der Risikoverdrängung bzw. -leugnung, als typische Grenzen die Unsicherheit bzgl. der Folgen des Klimawandels sowie kritische Schwellenwerte ökologischer Systeme, deren Überschreitung irreversible Schäden nach sich zieht. Allerdings weisen sie darauf hin, dass die Unterscheidung zwischen Barrieren und Grenzen der Anpassung nicht verallgemeinernd vorgenommen werden kann sondern vielmehr im Kontext der Werte einer Gesellschaft und der Ziele, die diese mit der Anpassung verfolgt, zu sehen ist. ADGER et al. (2009) gehen auf vergleichbare Weise vor, wobei sie einen starken Fokus auf **technologische Barrieren** richten.

68. Neben diesen allgemein ausgerichteten Arbeiten existiert eine Vielzahl von Studien, die – zumeist im Rahmen von Fallstudien – gezielt die **Anpassungsbarrieren innerhalb bestimmter Regionen oder Sektoren** untersuchen. WREFORD et al. (2009) analysieren Barrieren im **Agrarsektor**, ANTLE (2009), HASSAN und NHEMACHENA (2008) und PAAVOLA (2004) spezialisieren sich dabei auf die USA, Afrika und Tansania. Auch POPP et al. (2009) widmen sich dem Agrarsektor. Sie verwenden ein **gekoppeltes Modell** mit **ökologischen** (Dynamik der Vegetation) und **ökonomischen Komponenten** (ökonomisches Kalkül der Landwirte), um Voraussetzungen und Hemmnisse einer erfolgreichen Anpassung im Agrarbereich zu erforschen. ALPIZAR et al. (2009) verfolgen dieselbe Zielsetzung, führen dazu aber ein Feldexperiment mit Kaffeebauern in Costa Rica durch. GTZ (2007) konzentriert sich auf Barrieren, denen man typischerweise in **Entwicklungsländern** begegnet. KELLY und ADGER (1999) nehmen eine derartige Untersuchung speziell für Vietnam vor und identifizieren dabei den mangelnden Ressourcenzugang bedingt durch beschränkte Eigentumsrechte als maßgebliches Hemmnis. BATTAGLANI et al. (2009) und COVICH (2009) richten ihr Augenmerk auf den europäischen **Weinbau** bzw. die **Trinkwasserversorgung**, während KREIBICH et al. (2005) Barrieren studieren, die im Rahmen der **Elbe-Flut** 2002 zum Tragen kamen.

4.2 Ökonomische Legitimation staatlicher Eingriffe

69. Gemäß CIMATO und MULLAN (2010) ist die Verfehlung des Optimalitätsziels einerseits auf **klassische Marktversagenstatbestände** (öffentliche Güter, Externalitäten, Informationsasymmetrien oder Marktmacht, Abschnitt 4.2.1) oder **erweiterte Marktversagenstatbestände** (institutionelle oder verhaltensbezogene Hemmnisse, Abschnitt 4.2.2) zurückzuführen. Andererseits sind **regulatorische Hemmnisse** in Betracht zu ziehen (Abschnitt 4.2.3).

4.2.1 Klassische Marktversagenstatbestände

70. Sofern der Marktmechanismus optimale (Ziff. 23) Anpassungsmaßnahmen der privaten Akteure hervorbringt, sind aus ökonomischer Sicht keinerlei staatliche Eingriffe in den Anpassungsprozess bzw. staatlich durchgeführte Anpassungsmaßnahmen notwendig und zu rechtfertigen (vgl. z. B. MENDELSON, 2000, AAHEIM und AASEN, 2008). Das Gegenteil trifft zu, wenn das individuelle von dem sozialen Nutzen-Kosten-Kalkül abweicht bzw. die **klassischen Marktversagenstatbestände** – öffentliche Güter, Externalitäten, asymmetrische Information oder Marktmacht – vorliegen (vgl. z. B. OECD, 2008, DANNENBERG et al., 2009, OSBERGHAUS et al., 2010a, BMF, 2010 oder HALLEGATTE et al., 2011). MENDELSON (2000) erbringt in einem einfachen mikroökonomischen Modell (Ziff. 26) den **formalen Nachweis**, dass die verschiedenen Formen des Marktversagens zu Ineffizienzen in dem autonomen Anpassungsverhalten führen. BOSELLO et al. (2009) sowie DE BRUIN und DELLINK (2009) erfassen die Auswirkungen suboptimaler autonomer Anpassung auf **makroökonomischer Ebene** mit Hilfe von Integrated Assessment Modellen (vgl. Ziff. 43).

71. Viele Anpassungsmaßnahmen weisen die Eigenschaften **öffentlicher Güter** auf, was bekanntlich in einem suboptimal niedrigen privaten bzw. autonomen Anpassungsniveau mündet (DANNENBERG et al., 2009, FANKHAUSER et al., 2009, BMF, 2010, OSBERGHAUS et al., 2010a). CIMTAO und MULLAN (2010) unterscheiden im Anpassungskontext zwischen **globa-**

len (z. B. Informationsbereitstellung oder Grundlagenforschung zu dürreresistenten Nutzpflanzen), **nationalen** (z. B. Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Infrastruktur oder des Gesundheitswesens) und **lokalen öffentlichen Gütern** (z. B. Dammanlagen zum Schutz spezifischer Gebiete).¹³ DOBES et al. (2010) betonen die besondere Bedeutung der staatlichen **Informationsbereitstellung**, um mehr **Planungssicherheit** bei privaten Anpassungsinvestitionen zu gewährleisten.

72. Des Weiteren können Anpassungsmaßnahmen mit positiven oder negativen **externen Effekten** einhergehen, die es durch staatliche Eingriffe zu internalisieren gilt. Beispielsweise besteht die Möglichkeit, dass Interdependenzen zwischen mehreren lokalen Anpassungsmaßnahmen vorliegen, wie z. B. die Konkurrenz um eine Wasserquelle, die für verschiedene Bewässerungssysteme genutzt wird, die von staatlicher Seite koordiniert werden müssen. (DANNENBERG et al., 2009). Zudem können Anpassungsmaßnahmen negative Umwelt-Externalitäten bedingen, wie z. B. den erhöhten CO₂-Ausstoß durch den Einsatz von Klimaanlagen, der in diesem Fall ein suboptimal hohes Anpassungsniveau bedeuten würde (TOL 2005). EISENACK (2009) betrachtet im Rahmen eines mikroökonomischen Modells eine spezielle Konstellation, die einen positiven externen Effekt bedingt. Ein preisnehmendes Unternehmen kann durch Anpassungsmaßnahmen nachteilige Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf seine Produktion reduzieren. Das Unternehmen vernachlässigt bei seinem Kalkül den positiven Effekt seiner Anpassungsanstrengung auf die Konsumentenrente – durch die Anpassung sinken die Produktionskosten, wodurch sich eine höhere gleichgewichtige Gütermenge und gleichermaßen ein niedrigerer Preis einstellen. Folglich fällt die Anpassungsleistung des Unternehmens aus sozialer Sicht zu gering aus.

73. Die **asymmetrische Verteilung klima- bzw. anpassungsrelevanter Information** führt – beispielsweise in den Immobilien- oder Versicherungsmärkten – zu den bekannten Problemen der adversen Selektion bzw. des Moral Hazards und bedarf daher staatlicher Abhilfe (vgl. z. B. DANNENBERG et al., 2009, SCHWARZE, 2008 oder SCHWARZE und WAGNER, 2007).

74. **Marktmacht** kann in zweierlei Hinsicht bei Anpassungsmaßnahmen auftreten: Zum einen bei der Anpassung von Infrastrukturgütern (bzw. bei deren Schaffung zu Anpassungszwecken), wie z. B. Schienen- oder Energienetzen, deren effiziente Produktion ein **natürliches Monopol** bedingt (FANKHAUSER et al., 2009). Einer anderen, in der Literatur einzigartigen marktmachtbezogenen Problematik nimmt sich EISENACK (2010) an, der in einem mikroökonomischen Modell den Nachweis erbringt, dass **Cournot-Oligopolisten bei endogener Marktstruktur** eine suboptimale Anpassungsleistung erbringen.

¹³ Im Zusammenhang mit lokalen öffentlichen Gütern, die einen Ausschluss gestatten, ist auch häufig von Club-Gütern die Rede (BMF, 2010).

4.2.2 Erweiterte Marktversagenstatbestände

75. Ein optimales Marktergebnis ist an bestimmte **institutionelle Voraussetzungen und Rahmenbedingungen** gebunden (DANNENBERG et al., 2009, BMF, 2010). Von besonderer Bedeutung ist ein **funktionsfähiges System von Eigentumsrechten**. Ohne ein solches würden langfristige Investitionen, die eine entscheidende Rolle im Anpassungsprozess spielen, ausbleiben, wodurch sowohl der Erfolg der staatlichen als auch der privaten Anpassung gefährdet würde (OSBERGHAUS et al., 2010a). Beispielsweise kann die Implementierung eines landwirtschaftlichen Bewässerungssystems nur vorgenommen werden, wenn die Eigentumsrechte an den betreffenden Wasserquellen eindeutig definiert sind. Zudem ist das Justizsystem als öffentliche Dienstleistung unerlässlich, um die Durchsetzbarkeit der Rechte zu sichern. Eine zentrale Rolle spielen auch Institutionen zur Gewährleistung der **Finanzierung** von Individuen oder Unternehmen mit unzureichendem Budget, d. h. ein geeignetes Banken- und Kreditsystem (z. B. Mikrokredite), um diesen die Durchführung notwendiger Anpassungsmaßnahmen zu ermöglichen (CIMATO und MULLAN, 2010). Im Zusammenhang mit den **institutionellen Voraussetzungen** erweisen sich die Trägheit bzw. **Pfadabhängigkeiten** als problematisch, die einer rechtzeitigen Modifikation bzw. Schaffung von anpassungsrelevanten Institutionen entgegenstehen. LIBECAP (2011) zeigt die Ursachen dieser Pfadabhängigkeiten am Beispiel des US-Wassersektors auf. Die einschlägigen Institutionen, wie z.B. Rechtsverordnungen, wurden zu einer Zeit geschaffen, in der das Wasser größtenteils für landwirtschaftliche Zwecke genutzt wurde, und sind somit im gegenwärtigen Kontext der überwiegend industriellen Wassernutzung nicht mehr adäquat. Eine entsprechende Modifikation der Institutionen ist jedoch mitunter mit erheblichen Kosten verbunden und daher nicht ohne Weiteres möglich. In der Konsequenz erschweren die gegebenen institutionellen Rahmenbedingungen die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen im Wassersektor.

76. Hemmende Rahmenbedingungen können sich auch in **technologischen Pfadabhängigkeiten** manifestieren. Diese rühren daher, dass vielen vulnerablen Systemkomponenten, wie z. B. Immobilien oder Energienetze, langfristige Investitionen vorausgehen. Diese werden ex post zu versunkenen Kosten, was entsprechende Rigiditäten und somit letzten Endes eine suboptimale autonome Anpassung zur Folge hat, da ggf. notwendige Verlagerungen oder Substitutionen dieser Komponenten nicht vollzogen werden (AAHEIM und AASEN, 2008).

77. Die Ursachen für suboptimales Anpassungsverhalten können auch unmittelbar bei den anpassenden Akteuren liegen, die entgegen der neoklassischen ökonomischen Theorie nicht perfekt rational und mit vollkommener Voraussicht handeln. Angesichts der enormen Komplexität des Klima- bzw. Anpassungsproblems kann mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass anpassungsbezogene Entscheidungen Gegenstand **begrenzt rationalen Verhaltens** sind. Letzteres kann alternativ auch durch kulturelle Aspekte, wie bestimmte Wertvorstellungen oder Traditionen, hervorgerufen werden. (IPCC, 2007b). Weiterhin ist das menschliche Verhalten häufig von zeitlichen Inkonsistenzen und dem aus der Verhaltensökonomik bekannten Phänomen des **Hyperbolic Discounting** geprägt, welches zu Verhaltensweisen wie **Trägheit, Hinauszögern** oder **strategischer Ignoranz** führen kann (CIMATO und MULLAN, 2010, sowie CARILLO und MARIOTTI, 2000). Die Trägheit bzw. das Zögern ist maßgeblich darauf zurückzuführen, dass aufgrund des Time-lags in den Folgen des Klimawandels der Nutzen von Anpassungsmaßnahmen entgegen den Kosten oft erst jenseits des Planungshorizonts des betreffenden Akteurs anfällt.

78. GROTHMANN et al. (2009a) benennen wesentliche **psychologische bzw. verhaltens-ökonomische Determinanten des Anpassungsverhaltens** von Individuen, die für unzureichende Anreize zur autonomen Anpassung verantwortlich sein können – vgl. Abbildung 7. Dabei sind einerseits Determinanten zu unterscheiden, die aus dem allgemeinen Handlungskontext hervorgehen und sowohl die Motivation als auch die Handlungsausführung betreffen. Andererseits sind hinsichtlich der Motivation problem- (z. B. Problemwahrnehmung oder Umweltbewusstsein) und handlungsbezogene Faktoren (z. B. Wirksamkeitsüberzeugungen oder subjektive Normen) zu unterscheiden, hinsichtlich der Handlungsausführung sind Gewohnheiten und weitere Faktoren (z. B. Klarheit des Ziels oder Emotionen) entscheidend für das Anpassungsverhalten. Angesichts dieser vielfältigen Einflüsse wird deutlich, dass eine bloße Bereitstellung anpassungsrelevanter Informationen durch den Staat nicht notwendiger Weise eine effiziente autonome Anpassung garantiert. Zu diesem Schluss kommen auch OSBERGHAUS et al. (2010b). Sie demonstrieren im Rahmen eines verhaltens-ökonomischen bzw. **risikopsychologischen Ansatzes** mit ökonometrischen Methoden, dass gewisse psychologische Aspekte und Risikowahrnehmungen hemmend auf die Informationsverarbeitung Einfluss nehmen können. GIFFORD (2011) identifiziert diverse psychologische Faktoren (wie z.B. mangelnde Problemerkennung, ideologische Weltanschauungen, die umweltfreundliches Verhalten ausschließen, Festhalten an Gewohnheiten oder mangelndes Vertrauen gegenüber Experten), die die Untätigkeit von Akteuren im Anpassungsbereich erklären können.



Abbildung 7: Einflussdeterminanten von Handlungen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel (GROTHMANN et al., 2009)

4.2.3 Regulatorische Hemmnisse

79. Hemmnisse autonomer Anpassung können nicht nur in den Rahmenbedingungen und Eigenschaften des Marktes verwurzelt sein. Die Ursache kann auch in bestehenden **regulatorischen und politischen Eingriffen** begründet liegen, die zwar andere, nicht anpassungsbezogene Ziele verfolgen (z. B. Eingriffe in den Bereichen Biodiversität, Wasser oder Landwirtschaft), aber dennoch **autonome Anpassungsentscheidungen maßgeblich beeinflussen** (CIMATO und MULLAN, 2010). Beispielsweise schlagen sich agrarpolitische Maßnahmen in der Widerstandsfähigkeit natürlicher, für die landwirtschaftliche Produktion genutzter, Systeme nieder.

80. KESKITALO (2009) argumentiert, dass angesichts der zunehmenden Globalisierung nicht nur einzelne regionale oder nationale regulatorische Eingriffe im Rahmen autonomer Anpassungsentscheidungen zu berücksichtigen sind, sondern mitunter ganze Maßnahmenbündel bis hin zu **Governance-Netzwerken** auf verschiedenen Ebenen Einfluss auf die Entscheidungssituation nehmen. Der Autor untersucht mittels einer Fallstudie im Bereich der Forstwirtschaft, Rentierzucht und Fischerei in Skandinavien, wie lokale Stakeholder angesichts dieser zunehmenden Komplexität die Vulnerabilität und Anpassungskapazität in ihrem Handlungsbereich wahrnehmen und anpassungsbezogene Entscheidungen treffen.

81. FANKHAUSER et al. (1999) betonen, dass nahezu alle Politikbereiche (Gesundheit, Bildung, Wirtschaft, Umwelt etc.) die Rahmenbedingungen autonomer Anpassung maßgeblich mitgestalten. Deshalb ist die Berücksichtigung anpassungsrelevanter Aspekte bei einschlägigen Entscheidungen und Interventionen unabdingbar, um regulatorische Hemmnisse von vornherein zu unterbinden. In der Literatur wird dieser Aspekt häufig unter dem Begriff des „**Mainstreaming**“ zusammengefasst. OECD (2009) demonstrieren anhand von Fallstudien, wie die Anpassung in die Entwicklungspolitik integriert werden kann. Klein et al. (2005) beschäftigen sich mit dieser Frage auf konzeptioneller Ebene und identifizieren den Politikbereich der Regionalentwicklung als besonders relevant hinsichtlich der Einbeziehung von Anpassungsaspekten.

4.3 Verfolgung von Zielen ohne Effizienzbezug

82. Neben der ökonomischen, durch das Marktversagen begründeten Legitimation staatlicher Anpassungsmaßnahmen sind **staatliche Eingriffe** auch zur **Durchsetzung** der in Abschnitt 3.2 dargelegten **Zielsetzungen ohne Effizienzbezug** notwendig, zumal diese nicht durch den Marktmechanismus vermittelt werden (DANNENBERG et al., 2009, OSBERGHAUS et al., 2010a). Eine Reihe von Arbeiten heben in diesem Zusammenhang aus ihrer Sicht besonders wichtige Zielsetzungen und Aspekte hervor, wie z. B. die soziale Absicherung gegen Katastrophen (FANKHAUSER et al., 2009), die Überwindung von Armut (HALLEGATTE et al., 2011) oder die Gerechtigkeit (PAAVOLA und ADGER, 2002).

5 Governance und Instrumentenwahl

83. Zur Thematik Governance und Instrumentenwahl sind im Wesentlichen drei Literaturstränge zu verzeichnen. Im ersten Strang werden im Zuge einer **deskriptiven Analyse** mögliche und bereits implementierte Anpassungs-Instrumente, -Institutionen und -Governance-Strukturen erfasst und kategorisiert (Abschnitt 5.1). Der zweite Strang nähert sich der Thematik auf **positiver Ebene**, indem er die Barrieren (optimaler) staatlicher Interventionen untersucht (Abschnitt 5.2), wogegen der dritte Strang auf **normativer Ebene** Empfehlungen zur Ausgestaltung und Auswahl der Instrumente und zum Design der Institutionen und Governance-Strukturen abgibt (Abschnitt 5.3).

5.1 Deskriptive Analyse: Governance-Strukturen, Institutionen und Instrumente

84. Die Literatur zur Bestandsaufnahme möglicher und bestehender Anpassungs-Instrumente, -Institutionen und -Governance-Strukturen untergliedert sich in zwei Bereiche. Einerseits werden diverse generelle, **grundlegende Kategorisierungen** und Systematisierungen vorgenommen (Abschnitt 5.1.1). Andererseits existieren zahlreiche Analysen, die speziell auf **einzelne Sektoren** oder **Regionen** abzielen (Abschnitt 5.1.2).

5.1.1 Grundlegende Systematisierung

85. Prinzipiell kann die Systematisierung der staatlichen Anpassungsinstrumente auch anhand der in Tabelle 2 (Ziff. 13) dargelegten Kategorisierung allgemeiner Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden. Allerdings wurden in der Literatur diverse Systematisierungen entwickelt, die den spezifischen Charakteristika staatlicher Eingriffe bzw. Instrumente Rechnung tragen. Diese stehen nicht im Widerspruch zu den Kriterien in Tabelle 2, sondern sind vielmehr als Ergänzung und Präzisierung zu verstehen. OECD (2008) systematisiert die staatlichen Eingriffsmöglichkeiten im Anpassungsbereich nach dem **Zweck** bzw. der **Absicht des Eingriffs**:

- Verteilen der Verluste (z. B. Wiederaufbau durch öffentliche Gelder),
- Modifikation der Bedrohung (z. B. Hochwasserschutz),
- Abwenden der Auswirkungen des Klimawandels durch
 - Strukturelle/technologische Maßnahmen
 - Juristische oder regulatorische Instrumente
 - Institutionelle oder administrative Maßnahmen
 - Marktbasierte Instrumente
 - Vor-Ort-Maßnahmen,
- Änderung der Nutzung (z. B. Umwandlung von landwirtschaftlicher Nutzfläche in Feuchtgebiete zum Küstenschutz),
- Änderung des Orts (z. B. Umsiedlung von Anbauflächen),
- Informationsgewinnung (z. B. durch Forschung),
- Verhaltenssteuerung durch Bildung, Information und Regulierung.

86. Die Systematisierungen von CIMATO und MULLAN (2010) und – davon nur geringfügig abweichend – HALLEGATTE et al. (2011) beruhen hingegen auf der **Form des staatlichen Eingriffs**:

- direkte Regulierung (z. B. technologie- oder prozessbezogene Auflagen und Verbote),
- marktbasierete (ökonomische) Instrumente (z. B. Steuern oder handelbare Nutzungsrechte),
- Forschungs- und Monitoring-Programme,
- Informationsbereitstellung,
- Investition in Infrastruktur (z. B. Deichbau),
- Umverteilungsmaßnahmen (z. B. Kompensations- oder Kreditprogramme),
- institutionelle Reformen (z. B. im Wasser- oder Landwirtschaftsbereich).

87. Der Wissenschaftliche Beirat beim Bundesministerium für Finanzen systematisiert Anpassungsinstrumente anhand der verschiedenen **Marktversagenstatbestände**, an denen diese ansetzen (BMF, 2010). GOKLANY (2007) konzentriert sich auf Institutionen und Maßnahmen, die speziell auf den Aufbau von **Anpassungskapazität** ausgerichtet und zugleich mit Zielsetzungen der nachhaltigen Entwicklung konform sind. Letztlich wählen das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007a) und AAHEIM und AASEN (2008) die **Auswirkungen des Klimawandels** bzw. die **vom Klimawandel betroffenen Sektoren** als Kategorisierungskriterium.

88. GROTHMANN et al. (2009a) führen drei Hauptansatzpunkte von Instrumenten an, die speziell auf die **Überwindung psychologischer Anpassungsbarrieren** abzielen (zur detaillierten Beschreibung der einzelnen Instrumente siehe GROTHMANN et al., 2009b). Die erste Instrumentengruppe setzt direkt bei den Personen an, die zur Änderung ihres Verhaltens bewegt werden sollen. Diese Instrumente adressieren im Wesentlichen das Wissen (z. B. persönliche oder nicht persönliche Wissensvermittlung), die Normvorstellungen (z. B. Selbstverpflichtungen oder soziale Modelle) oder die Emotionen (z. B. erlebnisorientierte Techniken) der Personen. Die zweite Gruppe zielt darauf ab, das Verhaltensumfeld der Personen zu beeinflussen, z. B. über organisatorische Veränderungen oder die Weiterbildung von Schlüsselakteuren. Schließlich werden Versuche unternommen, systematisch vorhandene soziale Netzwerke und Beziehungen zwischen Personen zu instrumentalisieren, um die eigenständige Verbreitung von Anpassungsaktivitäten zu fördern, z. B. durch die entsprechende Einflussnahme auf Multiplikatoren wie Lehrer oder Vereinsvorsitzende.

5.1.2 Sektor- und regionenspezifische Erfassung

89. **Sektorspezifische Analysen** beziehen sich auf den Gesundheitsbereich (FÜSSEL und KLEIN, 2004), die Versicherungswirtschaft (BERZ, 2005 und HERWEIJER et al., 2009), die öffentliche Infrastruktur (NEUMANN und PRICE, 2009), die Landwirtschaft (WREFORD et al., 2009), den Katastrophenschutz (FOA, 2009), terrestrische Ökosysteme (RUNNING und MILLS, 2009) und – gewissermaßen als Querschnittssektor – den urbanen Bereich (HUNT und WATKISS, 2011).

90. Einige Arbeiten erfassen sektorübergreifend die staatlichen Anpassungsmaßnahmen bzw. Governance-Strukturen einzelner **Länder bzw. Regionen**: Deutschland (DANNENBERG et al., 2009, OSBERGHAUS et al. 2010a, GAWEL und HEUSON, 2011 nehmen eine kritische Würdigung des „Aktionsplans Anpassung“ der Deutschen Anpassungsstrategie vor), Niederlande (DE BRUIN et al., 2009), Vietnam (KELLY und ADGER, 1999 und DANG et al., 2003) und Papua Neuguinea (MERCER, 2010). GAGNON-LEBRUN und AGRAWALA (2006) bündeln die implementierten Maßnahmen der **Industrieländer**, HARDEE und MUTUNGA (2010) sowie WORLD BANK (2010b) die der **Entwicklungsländer**. Im Zusammenhang mit letzteren stehen insbesondere Instrumente und Ansätze der **Finanzierungshilfe** im Mittelpunkt des Interesses: PRZYLSKI und HALLEGATTE (2010), AYERS und HUQ (2008), Hoff et al. (2005), Stewart et al. (2009), UNFCCC (2007) und UNFCCC (2008). Ferner werden mit den europäischen Küsten **spezielle Regionen** untersucht (PRC, 2009).

91. Eine weitere Gruppe von Arbeiten erhöht den Spezialisierungsgrad, indem sie die **sektor-** (Ziff. 89) **und regionenspezifische Analyse** (Ziff. 90) **kombinieren**: norwegische Städte (AMUNDSEN et al., 2010), US Landwirtschaft (ANTLE, 2009), US Trinkwassermanagement (COVICH, 2009), europäischer Weinbau (BATTAGLANI et al., 2009), Hochwasserschutz China (LAU, 2006), Agrarsektor Tanzania (PAAVOLA, 2004), Agrarsektor Österreich (PRETTENTHALER, 2006), landwirtschaftliche Wassersysteme Südamerika (SEO, 2011), und das Wasserresort der Alpen (EEA, 2009).

5.2 Positive Analyse: Barrieren staatlicher Anpassung

92. Die Barrieren staatlicher Anpassung stellen das Pendant zu den Barrieren der privaten Anpassung dar (vgl. Kapitel 4) und sind dementsprechend ausschlaggebend für das Politikversagen, d. h. für suboptimale, die in Kapitel 3 benannten Zielsetzungen verfehlende staatliche Anpassungsmaßnahmen oder suboptimale Ausgestaltungen der einschlägigen Instrumente oder Institutionen. Neben vereinzelt allgemeinen Abhandlungen zu den Barrieren der staatlichen Anpassung (Abschnitt 5.2.1) beschäftigen sich zahlreiche Studien mit Barrieren, die spezifisch in bestimmten Ländern, Regionen oder Sektoren auftreten (Abschnitt 5.2.2).

5.2.1 Allgemeine Barrieren

93. ADGER et al. (2009) argumentieren im Rahmen eines interdisziplinären Ansatzes mit psychologischen, politischen und sozio-ökonomischen Komponenten, dass die Barrieren der kollektiven Anpassung oftmals in der **Kultur**, den **Wertegerüsten** und **Traditionen** einer Gesellschaft begründet liegen. Diese prägen nicht nur die Akzeptanz bzw. die Vorbehalte der Bevölkerung oder verschiedener Stakeholder gegenüber staatlicherseits implementierten Anpassungsmaßnahmen und -instrumenten. Sie beeinflussen darüber hinaus die Zielsetzungen und Fähigkeiten der einschlägigen Entscheidungsträger und können ggf. einer optimalen Anpassungspolitik abträglich sein. Das Intergovernmental Panel on Climate Change identifiziert schlecht funktionierende **Finanzmärkte**, schwache bzw. instabile **institutionelle** und **rechtliche Rahmenbedingungen**, sozial oder kulturell bedingte **Rigiditäten** sowie **Wissens- bzw. Qualifikationsdefizite** seitens der staatlichen Entscheidungsträger und Be-

hörden als wesentliche Hemmnisse (IPCC, 2001b). YOHE (2001) benennen ferner das **Human- und Sozialkapital** einer Gesellschaft, die **Management-Fähigkeiten** der Entscheidungsträger sowie die **öffentliche Wahrnehmung** der Anpassungspolitik als wesentliche Determinanten der Um- und Durchsetzbarkeit staatlicher Anpassungsinterventionen.

94. Einen etwas anderen Ansatz wählt MICHAELOWA (2001). Er argumentiert aus Sicht der **Neuen Politischen Ökonomik**, dass **Eigennutzen-maximierende Interessengruppen und Akteure** den politischen Anpassungsprozess beeinflussen und einschlägige Entscheidungen verzerren können. Zu den besagten Gruppen und Akteuren zählen unter anderem die emitierende Industrie, die Klimaschutz- sowie die Anpassungsindustrie, regierungsunabhängige Organisationen, wie z. B. Umweltschutzverbände, Medien, Bürokraten und Wähler. Zu guter Letzt kann natürlich auch Eigennutzen-orientiertes Verhalten bzw. Machtstreben der politischen Entscheidungsträger selbst suboptimale Anpassungsinterventionen hervorrufen. Obgleich die Neue Politische Ökonomik zweifellos eine vielversprechende Theorie zur Analyse staatlicher Anpassungsbarrieren darstellt, finden sich bislang noch kaum Beiträge, die diesen Ansatz verfolgen. MOSER und EKSTROM (2010) entwickeln einen Governance-basierten, **konzeptionellen Rahmen zur Identifikation von Barrieren** in den verschiedenen Phasen des Anpassungsprozesses, der insbesondere die jeweiligen Anforderungen an die involvierten Akteure und deren Beziehungen durchleuchtet.

5.2.2 Sektorale und regionale Barrierenanalyse

95. Die sektoren- und regionenbezogene Literatur basiert zumeist auf Feldstudien. Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei vor allem Barrieren staatlicher Anpassung, die typischerweise in **Entwicklungs- und Schwellenländern** zugegen sind (BARR et al., 2010, DELLINK et al., 2009, sowie HARDEE und MUTUNGA, 2010). Innerhalb dieses Themengebiets werden diverse **spezifische Probleme** beleuchtet. So beschäftigen sich KELLY und ADGER (1999) mit Frühwarnsystemen für tropische Stürme in den Küstenregionen Vietnams, DULAL et al. (2009) mit Small Island Developing States (SIDS), KOCH et al. (2007) mit anpassungsrelevanten Institutionen und Governance-Strukturen in Südafrika, SEO (2011) mit der landwirtschaftlichen Bewässerung in Südamerika und LAU (2006) mit dem Katastrophen- und Hochwasserschutz in chinesischen Küstenregionen. Diese Studien machen dabei im Wesentlichen dieselben Barrieren für die Probleme in der Anpassungspolitik der Entwicklungs- und Schwellenländer verantwortlich:

- unzureichende Finanzkraft,
- unzureichende institutionelle Kapazität,
- Governance-Probleme (z. B. mangelnde Koordination und Konflikte zwischen verschiedenen Behörden und Ministerien),
- kulturelle Barrieren (z. B. Vorbehalte gegenüber der Nutzung ausländischer Technologien).

96. Daneben werden – zumeist sektorspezifische – Barrieren von **Industrieländern** analysiert. AMUNDSEN et al. (2010) zeigen mittels einer Befragung **norwegischer Städte und Gemeinden**, dass sich deren Barrieren vor allem in mangelnden institutionellen Kapazitäten und in der unzureichenden Koordination und Kooperation zwischen nationalen und lokalen Regierungsbehörden manifestieren. MEASHAM et al. (2011) kommen zu ähnlichen Schluss-

folgerungen im Rahmen einer Fallstudie von Stadtbezirken in Sydney. Darüber hinaus sehen sie Anpassungsbarrieren vor allem in unzureichenden Führungsqualitäten der politischen Akteure und in rivalisierenden politischen Vorhaben verwurzelt. Mangelnde Koordination zwischen Behörden und Ländern sowie starre Verfahrensregeln erschweren die Anpassung im **Wasserressortmanagement der Alpen** (EEA, 2009). COVICH et al. (2009) erachten Konflikte zwischen lokalen und regionalen Stakeholdern als wesentliche Barriere im **US-Trinkwassermanagement**. CRABBÉ und ROBIN (2006) untersuchen spezifische institutionelle Barrieren im Bereich der Wasserinfrastrukturanpassung in Eastern Ontario. NEUMANN und PRICE (2009) befassen sich mit Barrieren im Bereich der **öffentlichen Infrastruktur**, die sie unter anderem in der mangelnden Integration der Planung zwischen den verschiedenen Sektoren und Bereichen verwurzelt sehen. KOPYTKO und PERKINS (2011) konstatieren, dass der technologische Lock-in in die **Atomenergie** und die damit einhergehende massive Bindung von Ressourcen die staatliche Anpassungskapazität deutlich beeinträchtigt.

97. **Losgelöst vom spezifischen Kontext der Industrie- bzw. Entwicklungsländer** widmen sich ALBERINI et al. (2005) dem **Gesundheitssektor**, für den sie mittels einer Expertenbefragung und ökonomischen Methoden einen Anpassungskapazitätsindex entwickeln, der gleichermaßen Aufschluss über Anpassungshemmnisse gibt, die vor allem in der Beschaffenheit des Gesundheitssystem zu suchen sind. Auch FOA (2009) verwendet ökonomische Methoden im Rahmen einer vergleichenden Studie von länderspezifischen Anpassungsbarrieren im **Katastrophenschutz**. Im Ergebnis zeigt sich, dass vor allem schwache, unselbständige Zivilgesellschaften und mangelnde Mitbestimmungs- und Mitwirkungsmöglichkeiten von Frauen einer optimalen staatlichen Anpassung abträglich sind. AYERS und HUQ (2008) decken die von der **UNFCCC** organisierten **Anpassungshilfe** betreffende Barrieren auf, zu denen u. a. finanzielle Restriktionen, unklare Zuteilungskriterien und hohe Transaktionskosten zählen.

5.3 Normative Analyse: Ausgestaltung der Anpassungspolitik und Instrumentenwahl

98. Auf Basis der in Abschnitt 5.1 dargelegten Instrumente und Gestaltungsmöglichkeiten staatlicher Anpassungspolitik werden in der Literatur auf normativer Ebene diverse **Politikempfehlungen** abgegeben, mit deren Hilfe die Barrieren staatlicher Anpassung (Abschnitt 5.2) überwunden und die angestrebten Ziele (Kapitel 3) erreicht werden sollen. In diesem Zusammenhang diskutieren BALBI und GUIPPONI (2009) sowie PATT und SIEBENHÜNER (2005) das Potenzial von **Agent Based Models**, den Prozess bzw. das System der Anpassungspolitik realitätsnah, unter Berücksichtigung der besagten Barrieren abzubilden, um so geeignete Handlungsempfehlungen für die Politik abzuleiten. Diese zielen einerseits auf **konkrete Instrumente und Maßnahmen** ab (Abschnitt 5.3.1). Klar in der Überzahl sind jedoch ganzheitlichere, an der **Governance der Anpassung**, d. h. der Gesamtheit einschlägiger, Institutionen, Instrumente und Regeln in einem bestimmten Handlungsfeld, ansetzende Empfehlungen (Abschnitt 5.3.2). Es ist zu konstatieren, dass die einschlägigen Studien in der überwiegenden Mehrheit **qualitativ argumentieren**, dabei zwar den Bezug zur ökonomischen Theorie suchen, aber **keine Modelle oder ökonomische Schätzungen** heranziehen.

5.3.1 Instrumente und Maßnahmen

99. Die normative Analyse staatlicher Anpassungsinstrumente und -maßnahmen erfolgt überwiegend **kontextabhängig** bzw. **problembezogen** und beschränkt sich zudem vorrangig auf deren Auswahl, nicht aber Ausgestaltung. Eine Ausnahme bilden zum einen GROTHMANN et al. (2009a), die allgemeine Empfehlungen zur Anwendung der von ihnen vorgeschlagenen Instrumente zur Überwindung psychologischer Anpassungsbarrieren geben (Ziff. 88). Diese sollten demnach möglichst kombiniert zum Einsatz kommen um mehrere psychologische Einflussfaktoren gleichzeitig adressieren zu können. Ferner sollten die Zielgruppen möglichst in Phasen erreicht werden, in denen sie besonders zugänglich für Veränderungen sind, um die größtmögliche Wirksamkeit der Instrumente zu garantieren. Zum anderen leiten BARR et al. (2010) und DELLINK et al. (2009) mittels einer indexbasierten Operationalisierung des Verteilungsgerechtigkeitsziels Empfehlungen zur Ausgestaltung **der internationalen Anpassungsfinanzierungshilfe** für Entwicklungsländer ab. Auch AGRAWALA und CARRARO (2010) beschäftigen sich mit der Finanzierungshilfe. Sie plädieren dafür, das Instrument der **Mikrokredite** vor allem zur Finanzierung kurzfristiger Anpassungsmaßnahmen mit geringem Investitionsvolumen einzusetzen. Für langfristige ressourcenintensivere Maßnahmen sollten hingegen Instrumente der Makrofinanzierung zur Anwendung kommen. Im Kontext der **Entwicklungsländer** werden zudem diverse staatliche **Anpassungsmaßnahmen im Agrarsektor** vorgeschlagen und priorisiert, wobei Bildungs- und Forschungsinvestitionen und Informationsbereitstellung an erster Stelle stehen (POPP et al., 2009, HASSAN und NHEMACHENA, 2008 sowie PAAVOLA, 2004).

100. Andere Arbeiten richten ihren Fokus hingegen auf die **Industrieländer**. DANNENBERG et al. (2009) und OSBERGHAUS et al. (2010a) identifizieren tatsächliche bzw. mögliche Ineffizienzen privater Anpassung in den wichtigsten **Wirtschaftssektoren der BRD** und formulieren auf dieser Basis durchzuführende sektorspezifische Politikmaßnahmen. COVICH (2009) erarbeitet Vorschläge für das **US-Trinkwassermanagement**, CIMATO und MULLAN (2010) für die Bereiche **Versicherung, Immobilien, öffentliche Infrastruktur** und **Ökosysteme**, wobei sie explizit mögliche Barrieren der staatlichen Anpassung berücksichtigen.

5.3.2 Governance

101. Diverse Studien geben begründet durch effizienzbezogene (Abschnitt 2.2) oder sonstige Zielsetzungen (Abschnitt 3.2) **allgemeingültige Empfehlungen** zur Gestaltung der Anpassungs-Governance ab. ADGER et al. (2009) fordern, die Anpassungspolitik an einem **ethischen Leitbild** auszurichten, welches vor allem die von den negativen Folgen des Klimawandels Betroffenen bzw. Gefährdeten sowie deren kulturellen Hintergrund respektiert und berücksichtigt. Auch BRUNNER et al. (2009) sprechen sich für ein leitbildorientiertes Vorgehen aus, wobei sie vor allem der Integration von Wissenschaft, Politik und den Betroffenen eine große Bedeutung beimessen. Das **Leitmotiv der Integration** wird darüber hinaus noch in zahlreichen weiteren Bereichen eingefordert. So plädieren ADGER et al. (2001) für die Integration der **Anpassungs- und Vermeidungspolitik**, DANG et al. (2003) zusätzlich für die der Entwicklungspolitik. Eine bedeutende Rolle wird in der aktiven **Einbindung der Stakeholder** und Betroffenen in den politischen Prozess gesehen (DULAL et al., 2009, HULME et al., 2007). DOBES (2010) und DULAL et al. (2009) treten für eine integrierte Sichtweise von

klimawandelbezogenen und sonstigen **Gerechtigkeitsaspekten** im politischen Prozess ein. Ein immer größeres Gewicht gewinnt das Konzept des **Mainstreaming**, wonach die Anpassung in sämtliche Politik- und Regulierungsbereiche (jenseits der Klimapolitik i.e.S.) zu integrieren ist (vgl. z. B. CIMATO und MULLAN, 2010 und KLEIN et al., 2009). Selbiges gilt für das Konzept der **Multilevel Governance**, das für eine enge Kooperation, Integration und Koordination der Entscheidungsträger und Behörden auf den verschiedenen staatlichen Hierarchieebenen steht (vgl. z. B. KESKITALO, 2010). In diesem Zusammenhang wird eine möglichst **dezentrale Implementierung** von Anpassungsmaßnahmen empfohlen, die idealerweise dort ansetzt, wo die Betroffenheit und das Know-How am größten sind. Bei Interdependenzen zwischen mehreren Maßnahmen muss eine übergeordnete Instanz die Koordination übernehmen (BMF, 2010 und HULME et al., 2007). Schließlich liegt eine weitere wesentliche Forderung in dem **Aufbau institutioneller Kapazität** im Anpassungsbereich begründet (Adger et al., 2001, CIMATO und MULLAN, 2010 und KLEIN et al., 2009).

102. Neben diesen allgemeingültigen Politikempfehlungen bestehen wiederum zahlreiche Studien, die **spezifische Problemstellungen, Sektoren oder Regionen** zum Gegenstand haben. Viele Arbeiten fokussieren die Anpassungs-Governance der **Entwicklungsländer** (HARDEE und MUTUNGA, 2010, KOCH et al., 2007, WORLD BANK, 2010b und VIGNOLA et al. 2009), wobei Konsens bzgl. der zentralen Anregungen für die Entscheidungsträger herrscht: Multilevel Governance, weniger Hierarchie, Integration von Stakeholdern und lokalen Gemeinschaften, Integration der Familien- und Gesundheitspolitik sowie der Wissenschaften. Hinsichtlich **grenzüberschreitender Anpassungsprobleme** raten die Studien zu einer klaren Definition der Verantwortlichkeiten und internationaler Kooperation (PRC, 2009 – EU Küstenschutz), sowie zur Koordination und Integration der nationalen Rechtssysteme, Wissenstransfer und Kooperation in der Finanzierung (EEA, 2009 – Wasserressort der Alpen, CHRISCHILLES, 2011 – Forschungsk Kooperation mit Entwicklungsländern). In Bezug auf die **öffentliche Infrastruktur** regen NEUMANN und PRICE (2009) eine Integration der bereichsspezifischen Planungen an. AMUNDSEN et al. (2009) identifizieren wiederum die Multilevel Governance sowie den Aufbau lokaler institutioneller Kapazität als Schlüsselrolle in der Anpassungspolitik **norwegischer Kommunen**. PAHL-WOSTL (2007) stellt im Zusammenhang mit dem **Hochwassermanagement** die Wichtigkeit der Flexibilität und Lernfähigkeit einschlägiger Governance-Strukturen heraus. Hinsichtlich der **Anpassungsfinanzierung** sprechen sich PRZYLSKI and HALLEGATTE (2010) dafür aus, den Fokus zunächst auf den Aufbau institutioneller Kapazität und erst in einem zweiten Schritt auf konkrete Maßnahmen zu richten. AYERS und HUQ (2008) fordern die Integration von Instrumenten der Finanzierungshilfe im Entwicklungs- und Anpassungsbereich. Schließlich sieht MERCER (2010) Synergien in der Integration von Anpassungspolitik und Maßnahmen zur Katastrophenrisikoreduktion.

6 Bedeutung der Anpassung für internationale Abkommen zur Treibhausgasreduktion

103. Die in diesem Abschnitt vorgestellte Literatur nimmt eine Sonderstellung ein, da sie die Klimaanpassung nicht zum zentralen Forschungsgegenstand hat, sondern im Rahmen einer positiven Analyse diese lediglich mittelbar, hinsichtlich ihrer Bedeutung für das **Ergebnis und die Stabilität internationaler Abkommen zur Treibhausgasreduktion** von Interesse ist. Die Studien basieren größtenteils auf spieltheoretischen Modellen. Der Wissenschaftliche

Beirat beim Bundesministerium für Finanzen wählt zwar eine argumentative Vorgehensweise, greift aber auf die Erkenntnisse der Spieltheorie zurück (BMF, 2010): Ausgangspunkt der Argumentation ist die Feststellung, dass die aus dem internationalen Abkommen resultierende Lastenteilung zwischen den Ländern maßgeblich von deren **Drohpunkten**, d. h. deren Nettonutzen bzw. Auszahlungen im nicht-kooperativen Gleichgewicht, determiniert wird. Durch Anpassungsmaßnahmen kann ein Land seinen Residualschaden reduzieren (bzw. den Nutzen aus möglichen Vorteilen des Klimawandels erhöhen) und somit seinen Drohpunkt verbessern. In der Konsequenz muss das besagte Land weniger zum globalen öffentlichen Gut der Treibhausgasreduktion beisteuern.

104. SCHWARZE et al. (2012) konzipieren einen **allgemein angelegten spieltheoretischen Analyserahmen (ausführliche Darstellung im Anhang)**, der den **versicherungstheoretischen Ansatz** von EHRlich und BECKER (1972) aufgreift (Ziff. 38): Zwei Länder können dem Klimawandel mittels Mitigation oder Adaptation begegnen. Die Mitigationsanstrengung eines Landes reduziert die globale Eintrittswahrscheinlichkeit des Klimawandel-bedingten Schadens („self-protection“) und stellt somit ein öffentliches Gut dar. Hingegen mindert die Adaptationsanstrengung eines Landes ausschließlich dessen eigenen Residualschaden („self-insurance“) und kommt somit einem privaten Gut gleich. Die Gegenüberstellung der Anpassungs-Vermeidungs-Allokationen im kooperativen und nicht-kooperativen Gleichgewicht führt zu dem bekannten Ergebnis, dass letztere aus globale Sicht suboptimal ist – die Länder berücksichtigen hier nicht, dass sich ihre Vermeidungsleistung positiv in der Wohlfahrt des jeweils anderen Landes niederschlägt. Zudem zeigt die Analyse des nicht-kooperativen Settings, dass die Verfügbarkeit der Anpassungsoption unter bestimmten Voraussetzungen das übliche Freifahrerverhalten der beiden Länder bzgl. der Emissionsvermeidung aufheben, bzw. sogar ins Gegenteil verkehren kann – d.h. die Vermeidungsleistungen der Länder sind dann keine strategischen Substitute, sondern strategisch neutral bzw. komplementär. Die allgemeine Form dieses Modellansatzes erlaubt vielfältige Erweiterungen und Verfeinerungen, was institutionelle Rahmenbedingungen oder involvierte Akteure und Stakeholder einer spezifischen Problemstellung anbelangt.

105. AUERSWALD et al. (2011) liefern in einem statischen Modell mit zwei risikoaversen Ländern den **formalen Nachweis** zu den Aussagen des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Finanzen (BMF, 2010, Ziff. 103). Zudem untersuchen sie unter Berücksichtigung der Anpassungsoption die **Crowding-Out-Problematik** der globalen Emissionsvermeidung, die darin begründet liegt, dass die unilaterale Emissionsreduktion eines Landes möglicherweise dazu führt, dass die Gesamtemissionen konstant bleiben oder sogar ansteigen. Die zugehörigen Ergebnisse sind technischer Natur und werden hier nicht näher dargestellt. Bemerkenswert ist, dass unter den in diesem Abschnitt beschriebenen Modellen einzig Auerswald et al. (2011) einen stochastischen Ansatz wählen. EISENACK und KÄHLER (2012) demonstrieren in ihrem Modellansatz, dass **unilaterale Vermeidungsanstrengungen den Crowding-Out-Effekt ins Gegenteil verkehren**, d.h. die Vermeidungsleistung der anderen Länder erhöhen können. Voraussetzungen hierfür sind – neben der Verfügbarkeit der Anpassungsoption – bestimmte Kosten-Eigenschaften der Länder, die auf die unilaterale Vermeidungsanstrengung des „Stackelbergführers“ reagieren.

106. Diverse Arbeiten fokussieren **den Einfluss der Anpassung auf die Stabilität** von internationalen **Klimaschutzabkommen** unter Ausblendung möglicher Unsicherheiten.

MARROUCH und CHAUDURI (2011) analysieren dieses Problem im Rahmen eines einstufigen Spiels mit mehreren Ländern, die wahlweise dem Abkommen beitreten können. Dabei werden **mehrere Anpassungstypen** hinsichtlich deren Einflusses auf den Grenzschaten unterschieden. Mit zunehmender Effektivität der Anpassung steigt die **Stabilität des Klimaabkommens**, wodurch auch eine größere globale Emissionsreduktion ermöglicht wird. BENCHEKROUN et al. (2011) vertiefen in einem vergleichbaren Modellrahmen die Frage, wie sich unterschiedliche Effektivitätsgrade der Anpassung auf Stabilität und Freifahreranreize auswirken. DE BRUIN et al. (2011) wählen ein dreistufiges Modell zur Untersuchung der Stabilitätsfrage. In der ersten Stufe investieren die Länder in die proaktive Anpassung, in der zweiten Stufe erfolgt optional der Beitritt zum Klimaschutzabkommen, woraufhin in Stufe drei die Vermeidungsleistung erbracht wird.

107. BUOB und STEPHAN (2011a) betrachten ein Modell mit **zwei Perioden** und **mehreren identischen Regionen**, denen jeweils nur ein **begrenztes Budget** für Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen zur Verfügung steht. Sie zeigen, dass die Kooperationsbereitschaft der Länder hinsichtlich der Emissionsreduktion von deren ursprünglicher Umweltqualität und Budget abhängig ist. Unter vergleichbaren Prämissen geht ZEHAIE (2009) der Frage nach, mit welchen strategischen Effekten die Anpassung verbunden ist, wenn diese der Vermeidung zeitlich vor- oder nachgelagert ist oder Anpassung und Vermeidung simultan erfolgen. Die Analyse wird für die Fälle **vollständiger Kooperation** (Anpassung und Vermeidung), **teilweiser Kooperation** (nur Vermeidung) und **keiner Kooperation** durchgeführt. EBERT und WELSCH (2011) führen diesen Analysestrang in einem zweistufigen Spiel, allerdings ohne explizite Modellierung der Budgetrestriktion, fort, wobei die Anpassung der Vermeidung vorgelagert ist. Ihr besonderes Interesse gilt der Frage, wie Produktivität, Verschmutzungssensitivität und Anpassungskapazität der Länder den Mix aus Anpassung und Vermeidung im kooperativen und nicht-kooperativen Gleichgewicht beeinflussen. BARRET (2008) studiert die Bedeutung der Anpassungsoption für die Kooperationsbereitschaft im Rahmen eines spieltheoretischen Modells mit mehreren Ländern. Dieses zeichnet sich durch die Besonderheit aus, dass sowohl Anpassungs- (z.B. Deichbau) als auch Vermeidungsmaßnahmen (z.B. Bau von Windrädern) **fixe Kosten** verursachen, was dazu führt, dass die **Anpassungsoption die Teilnahmebereitschaft der Länder befördert**: Aufgrund der Fixkosten der Vermeidung ist diese für die Länder nur lohnend, sofern eine hinreichend große Anzahl an Ländern zur Vermeidung beiträgt. Die Anpassungsoption schmälert den Grenzertrag der Vermeidung und erhöht somit die besagte nötige Mindestzahl an Ländern.

108. Eine weitere Modellgruppe beschäftigt sich mit der **Rolle von Anpassungsfonds** innerhalb internationaler Klimaschutzabkommen, die in der aktuellen klimapolitischen Diskussion als Instrument zur finanziellen Unterstützung der Entwicklungs- durch die Industrieländer vorangetrieben werden. BUOB und STEPHAN (2011b) untersuchen in einem dreistufigen nicht-kooperativen Spiel (1. Stufe: Industrieland geht Commitment bzgl. Vermeidungsleistung ein; 2. Stufe: nimmt Anpassung vor und zahlt in Fonds ein; 3. Stufe: Entwicklungsland erbringt Anpassungs- und Vermeidungsleistung) die **Anreize für Industrieländer, in derartige Fonds einzuzahlen** und diskutieren mögliche Schlussfolgerungen im Hinblick auf das Zustandekommen von Klimaschutzabkommen. Ein anderer Ansatz zielt darauf ab, dass die Anpassungsfinanzierung die **Fairness-Wahrnehmung** der Entwicklungsländer beeinflusst, wobei diese wiederum ausschlaggebend für deren Bereitschaft zur Teilnahme an internationalen Klimaschutzabkommen ist (PITTEL und RÜBBELKE, 2011). EISENACK (2011) analysiert

den **gegenwärtig im Kyoto-Protokoll implementierten Anpassungsfinanzierungsmechanismus**, der die Industrieländer zur Abführung einer Steuer auf die von ihnen im Rahmen des Clean Development Mechanism (CDM) erworbenen Emissionsrechte verpflichtet. Die Grundlage der Untersuchung bildet ein partielles Gleichgewichtsmodell des CDM-Marktes, in dem u.a. der die Nettotransferzahlungen maximierende Steuersatz abgeleitet und die Zusammenhänge zwischen Emissionsreduktionsziel, Steueraufkommen und Excess Burden studiert werden. Eine numerische Spezifikation des Modells auf Basis empirisch geschätzter Grenzvermeidungskostenkurven für 13 Weltregionen zeigt, dass eine ausreichende Finanzierung auf Basis des gegenwärtigen Mechanismus ein deutlich ambitionierteres Emissionsreduktionsziel erfordert, als es im Rahmen der Verhandlungen von Kopenhagen anberaumt wurde.

109. Schließlich nähern sich HASSON et al. (2010) der Thematik mittels Methoden der **experimentellen Ökonomik**: Konkret untersuchen sie die Kooperationsbereitschaft in einem One-Shot Public-Good-Game mit sehr speziellen Rahmenbedingungen; u. a. gehen sie davon aus, dass der Klimawandel mit gewisser Wahrscheinlichkeit zur vollständigen Auslöschung führt und betrachten ausschließlich Entweder-Oder-Entscheidungen zwischen der Vermeidung- und der Anpassungsoption.

7 Leitfäden und Entscheidungsunterstützung

110. Ein weiterer Literaturstrang macht es sich zur Aufgabe, den politischen Entscheidungsträgern ökonomisch fundierte Orientierungshilfen bzw. Leitfäden hinsichtlich **Planung, Ranking, Implementierung, Evaluierung und Monitoring** von Anpassungsmaßnahmen und -instrumenten an die Hand zu geben. Allerdings wird mitunter auch vor der Anwendung dieser Leitfäden gewarnt, da sie oftmals zu allgemein angesetzt sind und somit dem spezifischen Kontext des jeweiligen Anpassungsproblems nur unzureichend Rechnung tragen (PRC, 2009). Ein Großteil der Leitfäden ist **ganzheitlich ausgerichtet**, d. h. umfasst sämtliche Schritte von der Erfassung und Bewertung der Folgen des Klimawandels bis hin zur Auswahl und Implementierung konkreter Politikmaßnahmen. FÜSSEL (2008) bietet einen Überblick über ausgewählte ganzheitliche Leitfäden und wertet diese anhand diverser Kriterien aus, siehe Tabelle 5.¹⁴ BURTON et al. (2002) kritisieren den Leitfaden des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1994, vgl. wiederum Tabelle 5) für dessen zu starke Fokussierung der Folgen des Klimawandels (anstelle der Vulnerabilität der betroffenen Systeme) sowie die unzureichende Berücksichtigung der Unsicherheit und versuchen mit dem von ihnen konzipierten Leitfaden diese Mängel zu überwinden.

¹⁴ Die ausgewerteten Leitfäden adressieren die allgemeine Anpassungspolitik, ausgenommen WHO (2003), die auf Anpassung im Gesundheitssektor abzielt. Die Auswertung erfolgt strenggenommen unter dem Aspekt der Brauchbarkeit der Leitfäden für die Anpassung im Gesundheitsbereich. Zum Großteil sind die abgeleiteten Schlussfolgerungen aber allgemeingültiger Natur.

| | IPCC (1994) | USCSP (1996) | UNEP (1998) | UKCIP (2003) | UNDP (2005) | WHO (2003) |
|--|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Klare verfahrenstechnische Struktur | + | + | 0 | + | + | 0 |
| Flexibles Bewertungsverfahren | 0 | 0 | 0 | + | + | 0 |
| Priorisierung von Forschungsanstrengungen | 0 | 0 | 0 | + | 0 | 0 |
| Identifikation wesentlicher Informationsanforderungen | - | - | - | + | 0 | 0 |
| Einbeziehung wesentlicher Stakeholder | - | 0 | 0 | 0 | + | + |
| Wahl relevanter räumlicher und zeitlicher Skalen | - | 0 | 0 | + | + | 0 |
| Ausgewogene Berücksichtigung gegenwärtiger und zukünftiger Risiken | - | 0 | 0 | 0 | + | + |
| Management von Unsicherheiten | 0 | 0 | 0 | + | + | 0 |
| Politikberatung bei Nicht-Existenz quantitativer Risiken | - | - | 0 | + | + | 0 |
| Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen | - | 0 | 0 | + | + | - |
| Mainstreaming der Anpassung | - | 0 | 0 | + | + | + |
| Sektorübergreifende Integration | 0 | 0 | + | - | - | + |
| Angehen wesentlicher Anpassungsbarrieren | - | - | - | - | 0 | 0 |

Tabelle 5: Evaluation ganzheitlicher Anpassungsleitfäden (Füssel, 2008)
(+: Kriterium gut erfüllt; 0: teilweise; -: nicht)

111. Neben diesen größtenteils allgemeingültigen Leitfäden existieren auch solche, die zwar ebenso ganzheitlich angelegt, allerdings auf einen **spezifischen Kontext** bzw. ein **spezifisches Handlungsfeld** bezogen sind. GAMBARELLI und GORIA (2010) erarbeiten auf Basis eines allgemeinen theoretischen Rahmens einen Leitfaden für die italienische Anpassungspolitik. KLEIN et al. (1999) zielen speziell auf die **Anpassung im Küstenraum** ab, wogegen sich die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit mit den spezifischen praxisbezogenen Anforderungen bzgl. des Rankings von Anpassungsmaßnahmen in **Entwicklungsländern** (GTZ, 2007) beschäftigt. HALLEGATTE et al. (2008) schaffen einen konzeptionellen Rahmen, der vor dem Hintergrund unterschiedlicher Emissionsszenarien eine Implementierung von **kosteneffizienten Anpassungsstrategien auf der Ebene von Städten** unterstützen soll. Schließlich konzipieren FÜSSEL und KLEIN (2008) einen Leitfaden für das **Design und die Evaluierung** von Anpassungsmaßnahmen im **Gesundheitssektor**.

112. HALLEGATTE (2011) erstellt einen **7-stufigen Leitfaden zur Ausarbeitung von Anpassungsstrategien**, der den dynamischen Charakter des Anpassungsprozesses in den Mittel-

punkt rückt und folglich Raum für Flexibilität und Lernen vorsieht. Als Grundlage der gesamten Strategieentwicklung dienen klimatische und ökonomische Szenarien, die Anhaltspunkte in Bezug auf mögliche Folgen des Klimawandels und geeignete Anpassungsmaßnahmen geben. Die identifizierten Maßnahmen gilt es dann anhand von Ranking-Verfahren (Ziff. 60) unter besonderer Würdigung ihrer Dringlichkeit zu priorisieren. Dabei sind möglichst unterschiedliche Verfahren einzusetzen, um eine möglichst objektive und robuste Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Für jede ausgewählte Maßnahme muss ein individueller Plan erstellt werden, der bestimmte, verifizierbare Erfolgskriterien bzw. Meilensteine umfasst, die mit der Maßnahme zu festgelegten Zeitpunkten erreicht werden müssen. Das hierdurch ermöglichte kontinuierliche Monitoring ist Voraussetzung für die erfolgreiche Implementierung der Maßnahmen. Bei Nichterfüllung der Kriterien sind entsprechende Modifikationen vorzunehmen.

113. FÜSSEL (2007) benennt **robuste Prinzipien**, die bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden sollten, siehe Tabelle 6.

| Notwendige Voraussetzungen | Zu beteiligende Akteure | Eigentliche Planung |
|--|---|--|
| <p><i>Problembewusstsein:</i> Bewerten und Kommunizieren der Klimawandelbezogenen Vulnerabilität.</p> <p><i>Verfügbarkeit effektiver Anpassungsmaßnahmen:</i> Anstoßen von Forschung, die zur Entwicklung neuer Optionen führt.</p> <p><i>Informationen über diese Maßnahmen:</i> Identifizierung und Bewertung der Maßnahmen.</p> <p><i>Verfügbarkeit von Ressourcen zur Implementierung der Maßnahmen:</i> Zusatznutzen der Maßnahmen berechnen (→ Erhöhung des wahrgenommenen Nutzens); Wege effizienter Ressourcennutzung identifizieren, z. B. Mainstreaming (→ Senkung der Kosten); Bereitstellung zusätzlicher Ressourcen auf motivieren.</p> <p><i>Kulturelle Akzeptanz der Maßnahmen:</i> Aufklärung der Bevölkerung bzgl. Risiken und Handlungsoptionen → Erhöhung der Akzeptanz unbeliebter Maßnahmen.</p> <p><i>Anreize zur Implementierung:</i> Identifizieren von Implementierungsbarrieren sowie von Ansätzen zu deren Überwindung.</p> | <p><i>Wissenschaftler:</i> Klimawandel(-folgen-)forscher liefern Schlüsselinformationen, weshalb gegenwärtige Politiken, Praktiken und Infrastrukturen ggf. zukünftig nicht mehr geeignet sind.</p> <p><i>Praktiker:</i> Akteure, welche die empfohlenen Änderungen umsetzen verfügen über wesentliche Informationen und Erfahrungen, die für die Planung von Änderungen entscheidend sein können.</p> <p><i>Entscheidungsträger und andere Stakeholder:</i> Doppelfunktion: 1. Durch Spezifizierung von Prioritäten und Kriterien für „gute“ Anpassung helfen sie bei der Gestaltung des Bewertungsprozesses. 2. Sie entscheiden über die Implementierung der von den Analytikern empfohlenen Änderungen.</p> <p><i>Analytiker mit politischem oder ökonomischem Bezug:</i> Helfen bei der Priorisierung der Anpassungsoptionen auf Basis derer erwarteten Nutzen und Kosten (im weiteren Sinne) oder anderer von den Stakeholdern spezifizierten Kriterien.</p> | <p>Je größer die <i>Bedeutung klimatischer im Vergleich zu nicht-klimatischen Faktoren</i> für eine bestimmte Entscheidung, desto größer ist die Notwendigkeit einer detaillierten Bewertung der mit dem Klimawandel verbundenen Risiken.</p> <p>Je besser das <i>Wissen über die zukünftige Veränderung klimatischer Risiken</i>, desto spezifischere Handlungen sind gegenwärtig möglich.</p> <p>Je geringer die <i>Erfahrung im Umgang mit einem spezifischen Risiko</i>, desto größer ist der Bedarf an zusätzlicher Aktion.</p> <p>Sofern <i>große gegenwärtige klimatische Risiken</i> existieren, liegt die effektive bzw. effiziente Anpassungsstrategie darin begründet, vorrangig diese Risiken, unter Berücksichtigung zukünftiger klimatischer Veränderungen, zu adressieren.</p> <p>Sofern <i>Low- oder No-regret-Maßnahmen</i> existieren, hängt die geplante Anpassung nicht notwendigerweise von verlässlichen Prognosen der Folgen des Klimawandels ab.</p> |

Tabelle 6: Robuste Prinzipien für eine effektive Planung von Anpassungsmaßnahmen

114. Eine weitere Kategorie von Leitfäden konzentriert sich darauf, den Entscheidungsträgern die **Anwendung von Verfahren zum Ranking der Anpassungsmaßnahmen** (Ziff. 60) unter **praktischen Gesichtspunkten** zu vermitteln, bzw. exemplarisch anhand von Fallstudien zu demonstrieren. Im Fokus stehen dabei insbesondere multikriterielle Ansätze. DE BRUIN et al. (2009c) präsentieren ein ganzheitliches ökonomisch fundiertes Verfahren zum **Ranking** von Anpassungsmaßnahmen, das sie exemplarisch auf die Niederlande anwenden. Dieses erstreckt sich von der Identifikation geeigneter Anpassungsmaßnahmen und Bewertungskriterien unter der Einbeziehung von Experten und Stakeholdern bis hin zur Evaluation der Maßnahmen, die im Wesentlichen auf Nutzen-Kosten-Kriterien basiert. FÜSSEL (2009) kritisiert die einseitige Ausrichtung dieses Ansatzes auf das Nutzen-Kosten-Kriterium und die damit verbundenen methodischen Schwierigkeiten, sowie die Vernachlässigung der Verteilungsgerechtigkeit. Er plädiert für einen **multikriteriellen Ansatz**. SMITH und LENHART (1996) sowie SMITH (1997) erarbeiten ein einschlägiges Ranking-System, das neben der Optimalität auch Aspekte wie Flexibilität und Irreversibilität berücksichtigt. HALLEGATTE (2009) vergleicht aus einer anwender- bzw. praxisorientierten Perspektive mehrere Auswahlverfahren, die speziell auf die Priorisierung **robuster Maßnahmen** ausgerichtet sind. Ein weiterer Ranking-orientierter Ansatz beruht auf Instrumenten und Methoden des **Risikomanagements** (ECA, 2009).

115. Darüber hinaus erfassen diverse Leitfäden **spezielle Teilbereiche** der Anpassungspolitik bzw. des Anpassungsprozesses. PROWSE und SNILSTVEIT (2010) stellen die **Impact Evaluation** als mögliches Verfahren zur Evaluation bereits implementierter Maßnahmen vor. Dieses vergleicht die Wohlfahrt der betroffenen Akteure bzw. Region in der gegebenen Situation (d. h. mit implementierter Maßnahme) mit deren Wohlfahrt in der hypothetischen Situation ohne Maßnahme. SHARMA und SHARMA (2010) halten eine Einführung zur Anwendung des **Program-Logic-Ansatzes** vor, der neben der Evaluation auch **Monitoring-Zwecke** erfüllt. Dazu werden logische Verknüpfungen zwischen den verfügbaren Ressourcen, Aktivitäten bzw. Maßnahmen, Stakeholdern und Ergebnissen des betreffenden Anpassungsproblems modelliert und graphisch dargestellt. WHEELER (2011) entwickelt Vorgaben zur Implementierung kosteneffizienter Allokationen der **Anpassungsfinanzierungshilfe**. GROTHMANN et al. (2009b) setzen sich mit der Implementierung und Erfolgskontrolle von Anpassungsmaßnahmen in den Bereichen **Bauen, Wohnen, Verkehr und Mobilität** auseinander. Schließlich nimmt die **Integration entwicklungs- und anpassungspolitischer Maßnahmen** eine gewichtige Rolle in der einschlägigen Literatur ein (GOKLANY, 2007, OECD, 2009 und GTZ, 2010).

8 Methodische Zugänge zur ökonomischen Anpassungsforschung

116. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die in den einzelnen Forschungsfeldern vornehmlich zur Anwendung gebrachten Methoden, um so ggf. Rückschlüsse hinsichtlich vielversprechender aber noch nicht etablierter methodischer Zugänge zu bestimmten Themenkomplexen zu ermöglichen. Die Abhandlungen zur **Erfassung und Abgrenzung des Forschungsbereichs** (Kapitel 2) bewegen sich naturgemäß auf **verbal-argumentativer Ebene**, wobei diverse **interdisziplinäre Ansätze** mit soziologischen, politologischen, ökonomischen, psychologischen und naturwissenschaftlichen Komponenten zu verzeichnen sind (Ziff. 6 ff.).

117. Im Bereich **Ziele der Klimaanpassung** (Kapitel 3) liegt ein breiter Methodenmix vor. Die ökonomische Zielfindung wird vom **Optimalitäts- bzw. Nutzen-Kosten-Dogma** dominiert (Abschnitt 3.1), wogegen der Themenkomplex nicht-effizienzbezogener Ziele (Abschnitt 3.2) sowie die Beurteilung und Auswahl von Anpassungsmaßnahmen (Abschnitt 3.3) Gegenstand von Methoden unterschiedlicher Disziplinen sind.

118. Das Optimalitätsziel wird im Rahmen der **theoretischen Zielfindungsanalyse** auf folgende Weise methodisch gestützt: Bei den **statischen Ansätzen** dominieren **mikroökonomische Optimierungsansätze**, zumeist beruhend auf einfachen Partialmarktmodellen (Ziff. 26, 27). Die **makroökonomischen Studien** sind mit nur einem allgemeinen berechenbaren Gleichgewichtsmodell in der Unterzahl (Ziff. 29). Zur Analyse des statischen Trade-offs zwischen Anpassung und Vermeidung wird die **Theorie des endogenen Risikos** herangezogen (Ziff. 38). Bei der **dynamischen Analyse** stellt sich das Kräfteverhältnis zwischen Mikro- und Makroökonomik genau umgekehrt dar. Hier sind nur einzelne **mikroökonomisch fundierte Optimierungsansätze** (Ziff. 30, 32, 39) und **Optionswertmodelle** (Ziff. 31) zu registrieren. Neben makroökonomischen **Wachstumsmodellen** (Ziff. 33, 41) kommt den **Integrated Assessment Models** die zentrale Rolle zu (Ziff. 42-45).

119. Die Anstrengungen **zur empirischen Erfassung des Nutzens und der Kosten** von Anpassungsmaßnahmen erscheinen generell noch ausbaufähig. Bzgl. der **Nutzenseite** werden lediglich vereinzelte **konzeptionelle Vorüberlegungen** angestellt (Ziff. 47, 48). **Kostenschätzungen** erfolgen zumeist **Top-down** auf Basis **physischer Klimamodelle** in Verbindung mit **ökonomischen Methoden**, bzw. auf Basis von Integrated Assessment Models (Ziff. 49). Die zahlreichen einschlägigen **Fallstudien** werden aufgrund methodischer Mängel und Unschärfen kritisiert (Ziff. 47). **Bottom-up-Kostenschätzungen** stellen bislang hingegen die Ausnahme dar (Ziff.51).

120. Die Arbeiten zu den **Zielsetzungen ohne Effizienzbezug** sind meist **argumentativer Natur** und greifen nicht auf modellbasierte bzw. formale Methoden zurück (Abschnitt 3.2). Einzig das Ziel der Versorgungssicherheit wird mitunter im Rahmen von partiellen Gleichgewichtsmodellen oder gekoppelten naturwissenschaftlich-ökonomischen Modellen untersucht (Ziff. 55). Was die weiteren einschlägigen Ziele belangt, kommen **unterschiedliche Denkansätze** zur Anwendung, die überwiegend **ökonomisch, soziologisch, politologisch oder auch interdisziplinär** geprägt sind (Ziff. 52-54).

121. Bei der Bewertung und Auswahl der Anpassungsmaßnahmen dominieren eindeutig **entscheidungstheoretische Methoden**, vor allem Nutzen-Kosten-basierte und multikriterielle Verfahren (Ziff. 61-63). Allerdings werden zahlreiche **weitere Ansätze ökonomischen** (z. B. Spieltheorie oder Finanzwissenschaft, Ziff. 64, 65), **interdisziplinären** (z. B. Bayes'sche Netze oder Tolerable-Windows-Approach, Ziff. 65) oder **politologisch-soziologischen Ursprungs** (z. B. ethische und kulturelle Entscheidungsregeln oder politische Rollenspiele und Simulationen, Ziff. 65) aufgegriffen.

122. Die Legitimation der staatlichen Eingriffe bzw. die Analyse der Barrieren autonomer Anpassung (Kapitel 4) beruht größtenteils auf der (neo-) klassischen **Marktversagenstheorie**. Das Zustandekommen bzw. die Auswirkungen des Marktversagens werden in **vereinzelten mikro- und makroökonomischen Ansätzen** (bzw. Integrated Assessment Models) un-

tersucht (Ziff. 70). Es überwiegen jedoch **argumentative Arbeiten**, die zwar diverse ökonomische Theorien und Ansätze aufgreifen (z. B. finanzwissenschaftliche Aspekte oder Principal-Agent-Theorie), diese jedoch nicht durch Modelle untermauern (Ziff. 71-74). Selbiges gilt für die Studien zu den erweiterten Marktversagenstatbeständen. Hier wird hauptsächlich auf institutionen-, verhaltensökonomische und auch psychologische Methoden zurückgegriffen (Ziff. 75-78). Die wenigen Studien zu den regulatorischen Hemmnissen sind zwar ökonomisch ausgerichtet, aber nicht theoretisch verwurzelt (Ziff. 79-91). Was die grundlegenden Barrieren autonomer Anpassung anbelangt, so werden diese in interdisziplinären, argumentativen Abhandlungen und Feldstudien untersucht (Ziff. 67, 68), vereinzelt kommen auch interdisziplinäre oder naturwissenschaftlich-ökonomische Modelle zum Einsatz (Ziff. 68). Die Arbeiten, die sich mit der Legitimation staatlicher Eingriffe durch die Erreichung nicht-ökonomischer Ziele befassen, sind allesamt argumentativ und multi- bzw. interdisziplinär ausgerichtet (Ziff. 82).

123. In Bezug auf die **Anpassungs-Governance und Instrumentenwahl** (Kapitel 5) ist bemerkenswert, dass gänzlich auf formale, modellgestützte Analysen verzichtet wird. Die Erfassung möglicher und bestehender Instrumente und Institutionen erfolgt einerseits auf Basis **theoretischer** ökonomischer, teils interdisziplinärer **Überlegungen** (Ziff. 85-88), andererseits mit Hilfe von **Feldstudien** (Ziff. 89-91). Zur Identifikation und Analyse **staatlicher Anpassungsbarrieren** wird ebenfalls auf Feldstudien, aber auch auf **institutionenökonomische Ansätze** zurückgegriffen (Ziff. 93-97). Das in diesem Zusammenhang äußerst vielversprechende Theoriengebäude der **Neuen Politischen Ökonomik** wird nur von einem Beitrag explizit genutzt (Ziff. 94). Die **normative Analyse** der Anpassungs-Governance ist im Wesentlichen institutionenökonomisch fundiert (Ziff. 98-102).

124. **Spieltheoretische Modelle** sind das dominante Instrument, wenn es darum geht, die Bedeutung der Anpassung für **die internationalen Abkommen zur Treibhausgasreduktion** zu studieren (Kap. 6). Vereinzelt werden diese durch partielle Gleichgewichtsmodelle oder experimentelle Ansätze ergänzt (Ziff. 108, 109).

125. Die **Leitfäden** für politische Entscheidungsträger gehen aus breit angelegten, interdisziplinären Überlegungen qualitativer Natur hervor (Kapitel 7), werden jedoch mitunter durch **entscheidungstheoretische Methoden** unterstützt (Ziff. 114).

126. Eine Querschnittsfunktion nehmen gewissermaßen die **Bayes'schen Netzwerke** (Ziff. 65) und die **Agent Based Models** (Ziff. 51) ein. Da diese besonders geeignet sind, um die für den Anpassungsprozess charakteristische massive Unsicherheit bzw. die komplexe Akteurs- und Entscheidungsstruktur abzubilden, können sie im Prinzip für den Großteil der hier dargelegten Forschungsfelder herangezogen werden. In der Literatur wird jedoch hauptsächlich deren Anwendungspotenzial in der Klimaanpassung diskutiert, konkrete Anwendungen selbst sind dem aktuellen Stand der Recherche nach zu urteilen jedoch nicht vorzufinden.

9 Thematische Schwerpunktsetzungen in Anpassungsforschung und -politik

127. Das vorliegende Kapitel verfolgt das Ziel, die **thematische Schwerpunktsetzung in der ökonomischen Anpassungsforschung** zu identifizieren und ferner zu überprüfen, wie sich diese in der **Anpassungspolitik** widerspiegelt. So sollen vorsichtige Rückschlüsse hinsichtlich der politischen Relevanz der ökonomischen Forschung sowie möglichen Handlungsbedarfs in der wissenschaftlichen Politikberatung ermöglicht werden. Die relative Bedeutung der verschiedenen **Themenkomplexe in der Forschung** lässt sich durch eine Gegenüberstellung der jeweiligen Anzahl der Beiträge quantitativ abschätzen, siehe Abbildung 8.¹⁵ Daraus geht hervor, dass die Zielfindung, dicht gefolgt von der Governance und Instrumentenwahl, den größten Raum in der ökonomischen Anpassungsforschung einnehmen. Im Vergleich dazu spielen die Barrieren autonomer Anpassung bzw. die Legitimation staatlicher Eingriffe und die Entwicklung von Leitfäden eine eher untergeordnete Rolle. Die geringste Anzahl an Beiträgen ist im Bereich Bedeutung der Anpassung für die internationalen Klimaschutzabkommen zu verzeichnen. Die Themenverteilung wird sicherlich von mehreren Faktoren bestimmt, wesentlich sind dabei wohl vor allem die Komplexität des jeweiligen Themas, Verfügbarkeit und Ausgereiftheit geeigneter Methoden sowie die Schwerpunktsetzung in der Forschungspolitik bzw. -förderung. Eine Vertiefung dieser Fragestellung geht allerdings über den Rahmen dieses Beitrags hinaus.

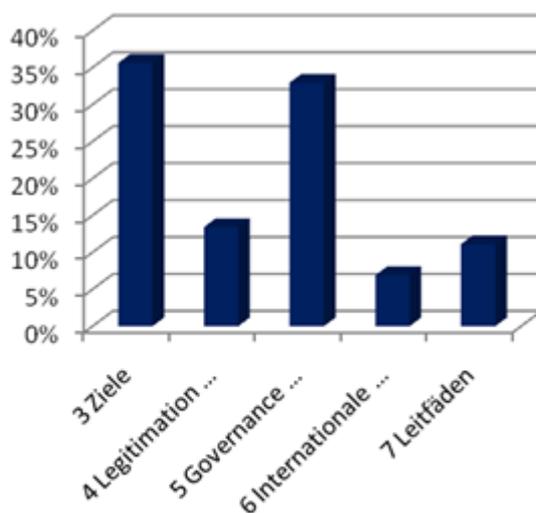


Abbildung 8: Thematische Schwerpunktsetzung in der ökonomischen Anpassungsforschung

128. Die **Bedeutung der ökonomischen Forschungsschwerpunkte in der Anpassungspolitik** lässt sich anhand der nationalen Anpassungsstrategien bewerten. Diesbezüglich liefert die Studie von PEER (2009) einen **ersten Anhaltspunkt**. Diese beinhaltet eine umfas-

¹⁵ Die relative Bedeutung eines Themengebiets ergibt sich aus der Anzahl der Beiträge in diesem Themengebiet in Relation zu der über alle Themengebiete aggregierten Beitragsanzahl. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich ein Beitrag auf mehrere Themengebiete beziehen kann.

sende, komparative Auswertung der **Anpassungsstrategien der europäischen Länder**. Dabei wird ein **ganzheitlicher Ansatz** verfolgt, d. h. neben der Bedeutung von Erkenntnissen der (ökonomischen) Anpassungsforschung werden allgemeine Determinanten bzgl. des Zustandekommens und der Entwicklung der Strategien, die Interaktion zwischen Wissenschaft und Politik, die Kommunikation der anpassungsbezogener Informationen, die Rolle der Multi-level-Governance, die Integration der Anpassung in die sektorale Politik sowie die Überwachung, Begutachtung und Durchsetzung der anpassungspolitischen Maßnahmen untersucht. Abbildung 9 zeigt die Auswertung der nationalen Strategien im Überblick. Hinsichtlich der **Bedeutung der Anpassungsforschung lassen sich folgende wesentliche Ergebnisse** festhalten: Wissenschaftliche Erkenntnisse waren bei allen Ländern ein entscheidendes Initial zur Entwicklung der Strategien. Die Ausrichtung und Inhalte der Strategien wurden maßgeblich von naturwissenschaftlichen Informationen hinsichtlich der Funktionsweise des Klimasystems, der Folgen des Klimawandels und Vulnerabilitäten geprägt. Was die ökonomischen Beiträge anbelangt, so waren vor allem die Kosten der Anpassungsmaßnahmen von zentraler Bedeutung.

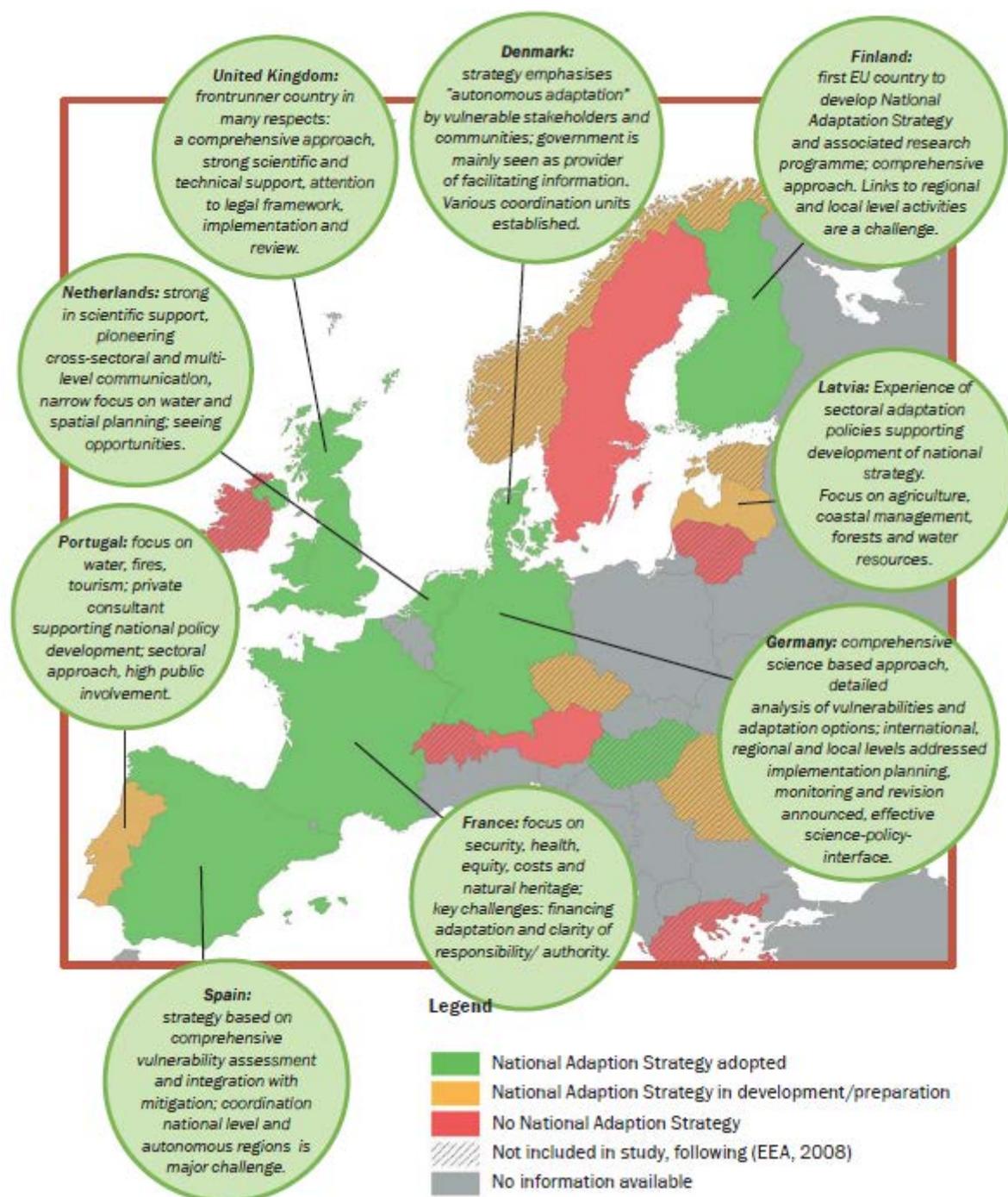


Abbildung 9: Auswertung der nationalen Anpassungsstrategien in Europa (PEER, 2009)

129. Um einen, im Vergleich zu dem ganzheitlichen Ansatz von PEER (2009), **detaillierten Einblick bzgl. der Bedeutung der thematischen Schwerpunkte in der ökonomischen Anpassungsforschung für die Anpassungspolitik** zu erlangen, werden im Folgenden exemplarisch die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) und der zugehörige Aktionsplan Anpassung auf diese Fragestellung hin geprüft (BMU, 2008 und 2011). Diese ist gemäß der Studie von PEER (2009) im Wesentlichen repräsentativ für die Strategien der wirtschafts-

stärksten europäischen Länder. Hinsichtlich der **Zielfindung und -realisierung** wird bislang maßgeblich der genuine Zweck der Anpassung, die Vulnerabilitätsreduktion, fokussiert. Die Priorisierung und Auswahl der Maßnahmen erfolgt bislang keinem erkennbaren System (GAWEL und HEUSON, 2011). Allerdings werden in diesem Zusammenhang durchaus die Relevanz der Effizienz bzw. des Nutzen-Kosten-Kriteriums eingeräumt und diverse Forschungsvorhaben zur Schließung der entsprechenden Wissens- und Informationslücken, vor allem in Bezug auf regionale und sektorale Anpassungsmaßnahmen, angestoßen. Die Verfolgung ökologischer Ziele und der Versorgungssicherheit ist allenfalls indirekt zu erkennen, in Form von Bestrebungen Querverbindungen zu anderen Strategieprozessen herzustellen (z. B. Biodiversität) oder anberaumten Maßnahmen, z. B. Anpassungen im Energiesektor. Der Aspekt der Verteilungsgerechtigkeit spielt ausschließlich auf internationaler Ebene hinsichtlich der Anpassungsfinanzierung eine Rolle. Ein gezieltes Vorgehen zur Verfolgung multipler Zielsetzungen auf Basis ökonomischer oder entscheidungstheoretischer Ansätze ist allerdings nicht gegeben.

130. Die Forschung zu den **autonomen Anpassungsbarrieren** wurde insofern seitens der Politik berücksichtigt, als dass alle in der Strategie bzw. im Aktionsplan anberaumten **staatlichen Eingriffe aus ökonomischer Sicht legitim** sind. Allerdings werden einzelne Barrieren, z. B. verhaltensbezogene Hemmnisse, nicht gezielt adressiert. Das Feld der **Governance und Instrumentenwahl** findet keine augenfällige Beachtung in der DAS. Insbesondere bleiben Aspekte der Multi-Level-Governance wie die Koordination unterschiedlicher staatlicher Eingriffe außen vor. Gleiches gilt für die Forschung zu **den Implikationen der Anpassung hinsichtlich der internationalen Klimaschutzabkommen**.

131. **Zusammenfassend** ist zu konstatieren, dass, obgleich Forschungsanstrengungen angestoßen werden, um eine bessere ökonomische Fundierung des Anpassungsprozesses zu gewährleisten, bislang vor allem naturwissenschaftliche Erkenntnisse bzgl. Klimawandelfolgen und Vulnerabilität für die Konzeption der DAS und die Konkretisierung erster Maßnahmen prägend sind. Dies ist einerseits damit zu erklären, dass die Anpassung erst seit wenigen Jahren als komplementäre Strategie zur Vermeidung auf die politische Agenda gerückt ist. Folglich befindet sich der Anpassungsprozess in einem frühen Stadium und fokussiert daher momentan den wesentlichen Zweck der Anpassung. Andererseits ist sicher auch eine noch nicht vollständig ausgereifte Kommunikation zwischen Wissenschaft und Politik mitverantwortlich für den eher geringen Einfluss der ökonomischen Forschung auf DAS und Aktionsplan.

10 Die deutsche Forschungslandschaft

132. Bevor das nachfolgende Kapitel mit den Eckpunkten für die zukünftige Ausrichtung der ökonomischen Anpassungsforschung schließt, soll zuvor die aktuelle **deutsche Forschungslandschaft überblicksartig skizziert** werden. Die **universitäre Anpassungsforschung** spielt im Vergleich zu den Forschungsinstituten eine deutlich untergeordnete Rolle. Einzig der **Lehrstuhl für Umwelt- und Entwicklungsökonomie der Universität Oldenburg** besitzt einen explizit ausgewiesenen Forschungsschwerpunkt Klimaanpassung. Der Fokus liegt auf Anpassungsinstrumenten, die in stark regulierten Sektoren mit langlebiger Infrastruktur, wie z. B. dem Energie- oder Verkehrssektor, eingesetzt werden. Dabei wird ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt, der u. a. auf physische, ökonomische oder politologische Theorien gestützt ist. In methodischer Hinsicht kommen sowohl qualitative Ansätze als auch mathematische Modellierung zur Anwendung. Auf Kooperationsbasis mit dem **Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)** Berlin ist die **Forschungsgruppe Chamäleon** an den Lehrstuhl angegliedert. Diese beschäftigt sich mit der Klimaanpassung in Unternehmen der öffentlichen Versorgung und der Entwicklung und Analyse einschlägiger politischer Handlungsoptionen.

133. In den Wirtschaftsforschungsinstituten hat sich das Anpassungsthema mehrheitlich – wenn auch nicht in Form spezieller Forschungsschwerpunkte – etabliert. Das **Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW)** in Mannheim beschäftigt sich u. a. mit der integrierten ökonomischen Bewertung von Anpassungsinstrumenten, fiskalischen Effekten von Anpassungsmaßnahmen, konzeptionellen Fragen zur Legitimation und Notwendigkeit staatlicher Eingriffe und verhaltensbezogenen Barrieren autonomer Anpassung. Dabei wird neben im Vordergrund stehenden quantitativen, empirischen Methoden auch auf finanzwissenschaftliche oder experimentelle Ansätze zurückgegriffen. Das **Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)** in Berlin befasst sich mit einzelnen ausgewählten Fragestellungen, wie z. B. der Anpassungsfinanzierung in Entwicklungsländern, der Entwicklung von Vermeidungs- und Anpassungsstrategien im Rahmen der europäischen Klimapolitik oder der Bewertung der Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen. Auch hier stehen quantitative empirische Methoden im Vordergrund. Die regionale Anpassungsfähigkeit und die ökonomische Bewertung regionaler Anpassungsmaßnahmen sind Gegenstand der Forschung im **Hamburgischen WeltWirtschaftsinstitut (HWWI)**. Dazu werden empirisch-quantitative und theoretische Modelle sowie darauf aufbauende Simulationsanalysen angewendet. Das **Institut der Deutschen Wirtschaft (IW)** Köln bearbeitet u. a. konzeptionelle Fragestellungen zur Bedeutung der internationalen Kooperation im Anpassungsbereich sowie zu Instrumenten und Maßnahmen der sektoralen Anpassung. Das **Institut für Weltwirtschaft (IFW)** in Kiel untersucht Klimaanpassungsprozesse im Rahmen des Forschungsbereichs „Umwelt und natürliche Ressourcen“, wobei ein besonderes Augenmerk der Quantifizierung von Anpassungskosten im Gesundheitsbereich gilt.

134. Ferner setzen sich diverse **interdisziplinär ausgerichtete Forschungseinrichtungen** mit ökonomischen Anpassungsfragen auseinander. Das Department Ökonomie des **Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung – UFZ** in Leipzig untersucht im Rahmen seiner Klimaforschung schwerpunktmäßig anpassungsbezogene Problemstellungen und kooperiert dabei eng mit den anderen sozialwissenschaftlichen Departments des UFZ (Umwelt- und Planungsrecht, Stadt- und Umweltsoziologie, Umweltpolitik). Ein Schwerpunkt besteht in der

Entwicklung von Tools zur partizipativen Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl von Anpassungsmaßnahmen unter Unsicherheit, die u. a. im Bereich des Hochwasserschutzes angewendet werden. Ein weiterer Input für die Maßnahmenauswahl wird in Form der Bewertung der Kosten von Naturgefahren, die den Nutzen einschlägiger Anpassungsmaßnahmen determinieren, bereitgestellt. Der zweite große Forschungsschwerpunkt umfasst Fragen der Governance und Instrumentenwahl. Konkret geht es dabei um die Identifizierung von Synergien und Konflikten von Anpassungsmaßnahmen und -instrumenten sowie die Identifikation und Überwindung von Barrieren der autonomen und staatlichen Anpassung. Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen wird auf einen breiten Methodenmix zurückgegriffen. Unter anderem kommen softwarebasierte, entscheidungstheoretische Ansätze, finanzwissenschaftliche Ansätze (z. B. Theorie der öffentlichen Güter, Föderalismustheorie, Public Choice-Theorie,) sowie Konzepte der Neuen Institutionenökonomik (Ökonomische Analyse des Rechts, Vertragstheorie, Theorie der Verfügungsrechte, Transaktionskostenökonomik) und der Spieltheorie zur Anwendung. Das **Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)** verfolgt einen transdisziplinären Ansatz, der, eingebettet in einen größeren Nachhaltigkeitskontext, das Verhältnis von Vermeidung und Anpassung, Landnutzung, Ressourcenverwendung und allgemeiner sozioökonomischer Entwicklung analysiert. Auch die Konzeption und Bewertung von Leitfäden für die Anpassungspolitik spielt eine gewichtige Rolle. Die Forschungsprojekte sind überwiegend verhaltens-, regionen- (Europa) und sektorenspezifisch (Landwirtschaft, Gesundheit) angelegt. Als zentrales Analyseinstrument dienen Integrated Assessment Models und verwandte Modellierungsansätze. Auch beim **Ecologic Institute** in Berlin, das in seiner Forschung diverse sozialwissenschaftliche Ansätze vereint, nimmt die ökonomische Anpassungsforschung eine zentrale Position ein. Die einschlägigen Projekte umfassen überwiegend regionale und sektorale Studien zur ökonomischen Bewertung von Anpassungsmaßnahmen sowie der Konzeption und Evaluation von Anpassungsprojekten und -strategien, aber auch Aspekte der internationalen Anpassungsfinanzierungshilfe und Anpassungskooperation. Schließlich verfolgt das **Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)** in Karlsruhe einen systemischen, interdisziplinären Ansatz, der maßgeblich auf die Konzeption europäischer Anpassungs- und Vermeidungsstrategien sowie die Quantifizierung des Nutzens und der Kosten von Anpassungsmaßnahmen abzielt.

135. Schließlich hat das **Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)** im Rahmen der **Fördermaßnahme „Ökonomie des Klimawandels“** diverse Projekte mit Anpassungsbezug angestoßen, die sowohl von universitären als auch außeruniversitären Forschungseinrichtungen bearbeitet werden:¹⁶

- Regionalökonomische Evaluierung von Anpassungsmaßnahmen der Land- und Forstwirtschaft unter Berücksichtigung von Bioenergie-Produktion und Klimawandel (REGECON) – **Universität Bayreuth**;
- Klimapolitik unter Unsicherheit (Climate change mitigation and adaptation under uncertainty (CLIMA-U) – **IfW**;
- Bewertung von Maßnahmen zu Klimaanpassung und Klimaschutz in Agglomerationen (EMPACCA) – **HWWI** und **Technische Universität Dresden**;
- Climate Service Center: Aufbau einer nationalen Dienstleistungseinrichtung zur Vermittlung von Wissen über Klima- und Klimawandel in Form von bedarfsgerechten

¹⁶ Detaillierte Informationen zum Förderschwerpunkt „Ökonomie des Klimawandels“ können unter www.bmbf.de/foerderungen/14682.php eingesehen werden.

Produkten an Entscheider aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft – **Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG)**;

- Verbundprojekt: Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste (RADOST), Teilprojekt 8: Sozioökonomische Analyse regionaler Anpassungsstrategien an den Klimawandel – **IÖW**.

136. Insgesamt ist zu konstatieren, dass die **ökonomische Anpassungsforschung in Deutschland überwiegend anwendungsorientiert mit starkem regionalen und sektoralen Bezug** arbeitet. Im Vordergrund steht dabei vor allem die ökonomische Bewertung von Anpassungsmaßnahmen. Grundlegende konzeptionelle Studien zur Zielfindung und Instrumentenwahl, Überwindung autonomer Anpassungsbarrieren oder Governance und Instrumentenwahl spielen dagegen eine vergleichsweise untergeordnete Rolle.

11 Eckpunkte für die zukünftige Ausrichtung der ökonomischen Klimaanpassungsforschung

137. Dieses Kapitel macht es sich zur Aufgabe, basierend auf der Gesamtschau der Literatursichtung Eckpunkte für die zukünftige Ausrichtung der ökonomischen Klimaanpassungsforschung zu konturieren, wobei der Fokus gemäß dem Ansatz dieses Beitrags auf der **konzeptionellen Forschung** liegt. Zu diesem Zweck werden die einzelnen Forschungsfelder auf ihr **Potenzial für vielversprechende offene Forschungsfragen** hin geprüft. Dabei spielt einerseits das inhaltliche Ergebnis der Literatursichtung eine maßgebliche Rolle. Andererseits misst sich das Potenzial auch daran, ob der jeweilige Forschungsansatz politisch relevant ist und auf eine entsprechende „Nachfrage“ stößt (siehe Kapitel 9).

138. Die **Erfassung und Abgrenzung des Forschungsbereichs** (Kapitel 2) birgt zwar keine unmittelbare politische Relevanz in sich, ist aber Grundlage für alle weiteren Forschungsanstrengungen. Die Abhandlungen zu den Begriffsbestimmungen und Dimensionen der Klimaanpassung sowie zu sonstigen Vorüberlegungen sind prinzipiell ausgereift und relativ weit fortgeschritten. Allerdings herrscht hier eine gewisse Unübersichtlichkeit bzw. vereinzelte Widersprüchlichkeit, so dass zweifelsohne ein **gewisses Potenzial für die Synthese, Ordnung und ggf. Modifikation oder Ergänzung** der einschlägigen Konzeptionen gegeben ist.

139. Angesichts des frühen Stadiums des politischen Anpassungsprozesses besteht ein sehr **großer Bedarf an Forschungsergebnissen zur Findung und Realisierung effizienz- und nicht-effizienzbezogener Ziele** (Kapitel 3), zumal sich die anberaumten politischen Maßnahmen bislang auf die Vulnerabilitätsreduktion konzentrieren und demzufolge vornehmlich naturwissenschaftlich fundiert sind. Aufgrund der Breite dieses Forschungsfelds ist das Potenzial für neue Ansätze differenziert zu betrachten.

140. Die Beiträge zum **Optimalitätsziel** (Abschnitt 3.1) untergliedern sich in **theoretische** (Abschnitt 3.1.1) und empirische Ansätze (Abschnitt 3.1.2). Bei ersteren ist zwischen der isolierten Betrachtung der Anpassung (Abschnitt 3.1.1.1) und der integrierten Betrachtung von Anpassung und Vermeidung (Abschnitt 3.1.1.2) zu unterscheiden. Die Überlegungen zur **optimalen Anpassung in isolierter Betrachtung** basieren auf einer soliden konzeptionellen und modelltheoretischen Grundlage – dies gilt statisch wie dynamisch. Hinsichtlich der

modelltheoretischen Ansätze ist festzuhalten, dass diese, sofern überhaupt, die inhärente massive Unsicherheit des Anpassungsprozesses nur unzureichend, nach Maßgabe der Erwartungsnutzentheorie, abbilden. Auch der Aspekt der Irreversibilität und die Möglichkeit des Lernens bleiben in den besagten Modellen weitestgehend außen vor. Bei der **statischen integrierten Betrachtung von Anpassung und Vermeidung** fällt auf, dass zwar grundlegende Überlegungen bzgl. möglicher Synergien und Konflikte zwischen diesen beiden Strategien angestellt werden, diese jedoch nicht in einem ganzheitlichen konzeptionellen Rahmen zusammengefügt, geschweige denn modelltheoretisch erfasst werden. Die **dynamische integrierte Betrachtung** wird von den Integrated Assessment Models dominiert (Ziff. 42-45). Die Literatur zur Einbeziehung der Anpassung in diese Modellklasse weist bereits einen beträchtlichen Umfang auf und wächst mit großer Geschwindigkeit. Dennoch besteht noch massiver Handlungsbedarf, was die adäquate Abbildung der Anpassung in den Integrated Assessment Models betrifft, um die Abgabe praxisrelevanter Politikempfehlungen zu ermöglichen. Dies betrifft vor allem den Bottom-up-Charakter der Anpassung, deren Gebundenheit an den lokalen bzw. regionalen Kontext, die in besonderem Maße ausgeprägte Unsicherheit sowie das begrenzt rationale Anpassungsverhalten der betreffenden Akteure.

141. Des Weiteren existieren einzelne integrierte **dynamische Modellierungsansätze jenseits der Integrated Assessment Models**, die mikro- oder makroökonomisch fundiert sind (siehe Ziff. 39-41). Hinsichtlich der mikroökonomischen Ansätze wäre, auch im Hinblick auf die Politikberatung, eine Vertiefung der Fragestellungen im Kontext der Unsicherheit, des Lernens und des begrenzt rationalen Verhaltens der Anpassungsakteure wünschenswert. Die makroökonomischen Ansätze sehen sich im Wesentlichen denselben Herausforderungen konfrontiert wie die Integrated Assessment Models.

142. Die **empirische Erfassung des Nutzens und der Kosten der Anpassung** ist aus offensichtlichen Gründen von höchster Relevanz für die anpassungspolitischen Entscheidungsträger. Die einschlägigen Beiträge bestehen nahezu ausnahmslos aus angewandten Nutzen-Kosten-Analysen bzw. ökonometrischen Methoden im Rahmen von Fallstudien. Konzeptionelle Überlegungen hinsichtlich der für die Klimaanpassung spezifischen (methodischen) Bewertungsprobleme, vor allem in Bezug auf die Nutzenseite, sind die Ausnahme (siehe Ziff. 47, 50) und bilden somit einen Ansatzpunkt für zukünftige Forschung. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Frage nach der grundsätzlichen methodischen Ausrichtung der Bewertungsverfahren. Die **Top-down**-Ansätze versprechen zwar Kostenschätzungen zu einem vertretbaren Aufwand, sind aber, was die lokale bzw. regionale Ebene betrifft, auf der die Anpassungsentscheidungen getroffen werden, zu ungenau. Genau umgekehrt verhält es sich bei den **Bottom-up**-Verfahren. Diese ermöglichen relativ genaue Abschätzungen lokaler und regionaler Anpassungskosten, sind aber zu aufwendig um flächendeckend eingesetzt zu werden. Angesichts dieses Trade-offs ist zu eruieren, ob die beiden Verfahren auf sinnvolle Weise kombiniert oder integriert werden können.

143. Für die Arbeiten zu den **sonstigen, nicht-effizienzbezogenen Zielen** (Abschnitt 3.2), ist zu konstatieren, dass, wenngleich wiederum ein gewisses Synthesepotenzial besteht, die grundlegenden konzeptionellen Fragen abgearbeitet sind. Unklar ist allerdings häufig noch, wie die entsprechenden Ziele operationalisiert werden können. Auch modellbasierte Studien, die möglicherweise interessante Aufschlüsse geben könnten, kommen nicht zur Anwendung. Ferner sei auf die **sicherheitspolitische Dimension** der Anpassungspolitik hingewiesen.

Diese liegt darin begründet, dass Anpassungsmaßnahmen mögliche gewaltsame Konflikte, die (Klimawandelbedingt) aus Migrationsbewegungen oder Ressourcenknappheit hervorgehen, verhindern können. Auch wenn diese Thematik in der ökonomischen Forschung bisher kaum beachtet wird, ist sie sicherlich vielversprechend und zudem, zumindest mittel- bis langfristig, von großer politischer Relevanz.

144. Demgegenüber ist die Forschung zur **Bewertung und Auswahl der Anpassungsmaßnahmen** (Ziff. 56 ff.) bereits für das gegenwärtige Stadium der Anpassungspolitik, in dem Strategien und erste Maßnahmenkataloge konzipiert werden, von außerordentlicher Bedeutung. Zwar bietet die ökonomische Theorie ein breites Sammelsurium an einschlägigen Verfahren. Deren systematische Anwendung in der Praxis ist aber nicht erkennbar – dies gilt insbesondere für multikriterielle Verfahren, die zur Verfolgung multipler Zielsetzungen herangezogen werden können. Demnach besteht hier Forschungsbedarf, um mögliche Anwendungshemmnisse der Verfahren aufzudecken und zu beheben. Dabei könnte neben der Schaffung bzw. dem Ausbau von Partizipationsmöglichkeiten von Stakeholdern und Entscheidungsträgern auch eine verbesserte Kommunikation dieser Verfahren eine maßgebliche Rolle spielen.

145. Die Forschung zu den Barrieren **autonomer Anpassung und der Legitimation staatlicher Eingriffe** (Kapitel 4) ist grundsätzlich gut erschlossen und konzeptionell wie modelltheoretisch untermauert und findet zudem auch Berücksichtigung in der Politik. Dies gilt vor allem für die klassischen Marktversagenstatbestände (Ziff. 70-74). Mögliche institutionelle, regulatorische, organisatorische oder verhaltensbezogene Barrieren werden zwar in der Literatur erwähnt, jedoch nicht tiefgreifend analysiert. Hier erscheint der Einsatz von Methoden der Institutionenökonomik oder der Behavioural Economics sehr vielversprechend.

146. Das Thema **Governance und Instrumentenwahl** (Kapitel 5) nimmt in der Forschung eine überragende Bedeutung ein, wird seitens der Politik aber bisher nur begrenzt rezipiert, was aufgrund der objektiven Relevanz des Themas möglicherweise auf ein gewisses Kommunikationsproblem seitens der Wissenschaft hindeutet. Dieser Aspekt sollte bei einschlägigen zukünftigen Forschungsanstrengungen bedacht werden. Die **konzeptionelle Erfassung und Systematisierung staatlicher Anpassungsinstrumente** (Abschnitt 5.1) wird bereits auf vorbildliche Weise vorgenommen und lässt kaum offene Fragen zurück (Ziff. 85-88).

147. Hingegen ist die konzeptionelle Forschung zu den **Barrieren der staatlichen Anpassung** (Abschnitt 5.2) in vielerlei Hinsicht ausbaufähig. Die grundlegenden Barrieren werden zwar in der Literatur benannt (vgl. Ziff. 92-97), allerdings ist sowohl eine ganzheitliche Ordnung sowie eine Vertiefung, geschweige denn modellbasierte Erfassung, dieser Überlegungen nicht vorhanden. Erstaunlich ist auch, dass nur eine Arbeit diese Problematik aus dem Blickwinkel der Neuen Politischen Ökonomik betrachtet, obwohl dies mit Sicherheit ein sehr aussichtsreiches Vorgehen darstellt.

148. Hinsichtlich der **normativen Analyse der Anpassungs-Governance** (Abschnitt 5.3) treffen im Wesentlichen dieselben Schlussfolgerungen zu wie für die Barrieren staatlicher Anpassung (Ziff. 147). Ein Punkt ist aber besonders auffällig: Obgleich in der Literatur immer wieder erwähnt wird, dass Anpassung nicht nur zur Abwendung von Klimaschäden, sondern auch zur Nutzung möglicher Vorteile des Klimawandels dient, spielen die **Gewinner des**

Klimawandels im Rahmen der Abhandlungen zur Anpassungs-Governance keine Rolle. In diesem Zusammenhang sind sicherlich interessante offene Forschungsfragen gegeben, z. B. in Bezug auf die Instrumente der Anpassungsfinanzierungshilfe oder Lastenteilung.

149. Die Forschung zur **Bedeutung der Anpassung für internationale Klimaschutzabkommen** (Kapitel 6) ist noch ein sehr junges Feld, das aber bereits eine beträchtliche Anzahl an Beiträgen aufweist. Erweiterungsmöglichkeiten sind in vielerlei Hinsicht gegeben. Besonders vielversprechend erscheinen jedoch – auch im Hinblick auf die politische Relevanz – Anstrengungen, institutionelle Rahmenbedingungen und Restriktionen, wie z. B. Fonds oder andere Instrumente der internationalen Anpassungsfinanzierungshilfe, in die Analyse zu integrieren.

150. Die Entwicklung von **Leitfäden** (Kapitel 7) zur Ausgestaltung und Implementierung der Anpassungspolitik ist, wenngleich von großer politischer Wichtigkeit, per se nicht Gegenstand der konzeptionellen Anpassungsforschung. Anders verhält es sich, was die theoretische und empirische **Erforschung der Anwendungs- und Erfolgsdeterminanten der Leitfäden sowie die Evaluation von Anpassungsprogrammen** betrifft. Hierzu sind jedoch bislang fast keine Beiträge zu verzeichnen.

151. **Insgesamt** hat sich gezeigt, dass vielfältige Herausforderungen für noch offene Forschungsfragen konzeptioneller Art bestehen. Vor dem Hintergrund der aktuellen politischen Relevanz sind insbesondere Fragen der Zielfindung bzw. -realisierung sowie der Bewertung und Auswahl von Anpassungsmaßnahmen prioritär zu behandeln. Dabei gilt es auch, **methodische Grundsatzentscheidungen** zu treffen: Das in der Forschung dominante **Nutzen-Kosten-Paradigma** findet – wenn auch noch nicht systematisch bei der Ausgestaltung von Eingriffen und Maßnahmen – in Form von Politikempfehlungen, die aus Integrated Assessment Models abgeleitet werden, große Beachtung in der politischen Arena. Allerdings ist diese Modellklasse mit eklatanten inhärenten Schwächen und Unzulänglichkeiten behaftet, was die adäquate Abbildung der charakteristischen Anpassungseigenschaften wie Heterogenität, Bottom-up-Charakter, Unsicherheit und Gebundenheit an den lokalen bzw. regionalen Kontext betrifft. Selbst im Falle weiterer intensiver Forschungsanstrengungen zur Lindering dieser Schwächen erscheint es fraglich, ob und inwieweit dieser Ansatz letztlich zur praktischen Politikberatung geeignet sein kann. Eine wesentliche Aufgabe der ökonomischen Anpassungsforschung besteht somit darin, alternative, **praxistaugliche Ansätze zur Entscheidungsunterstützung** zu konzipieren, die durchaus das Nutzen-Kosten-Kriterium als Orientierungshilfe oder Referenzpunkt beibehalten können. Erste Schritte in diese Richtung sind mit der Priorisierung des Robustheits- und Flexibilitätskriteriums oder der versicherungstheoretischen Erfassung des Anpassungsproblems zu verzeichnen.

Anhang: Spieltheoretischer Analyserahmen zur Untersuchung des optimalen Anpassungs-Vermeidungs-Mix

(nach SCHWARZE et al., 2012)

Grundmodell

Zwei identische Länder $i = 1,2$ können dem Klimawandel durch Mitigation (m_i) und Adaptation (a_i) entgegentreten. Beide Maßnahmen verursachen Kosten $c_i(m_i)$ bzw. $c_i(a_i)$ mit $\frac{dc_i(m_i)}{dm_i} > 0$, $\frac{d^2c_i(m_i)}{dm_i^2} > 0$ bzw. $\frac{dc_i(a_i)}{da_i} > 0$, $\frac{d^2c_i(a_i)}{da_i^2} > 0$, $\forall i = 1,2$. Dabei ist zu beachten, dass die Adaptation antizipativ ist, d.h. die Anpassungskosten fallen unabhängig davon an, ob der Schaden eintritt oder nicht.

Die Mitigationsleistung von Land i senkt die globale Wahrscheinlichkeit $p(m_1, m_2)$ für den Eintritt des klimawandelbedingten Schadens („self-protection“), d.h. $\frac{\partial p(m_1, m_2)}{\partial m_i} < 0$, mit $\frac{\partial^2 p(m_1, m_2)}{\partial m_i^2} > 0$, $\forall i = 1,2$ (abnehmender Grenzertrag der Mitigation), und stellt somit ein (globales) öffentliches Gut dar. Im Gegensatz dazu ist die Adaptation ein privates Gut, d.h. die Adaptationsleistung von Land i reduziert ausschließlich dessen (Residual-) Schaden $s_i(a_i)$ („self-insurance“), lässt aber den des anderen Landes unberührt: $\frac{ds_i(a_i)}{da_i} < 0$, mit $\frac{d^2s_i(a_i)}{da_i^2} > 0$ (abnehmender Grenzertrag der Adaptation), $\forall i = 1,2$.

Kooperatives Gleichgewicht

Die beiden risikoneutralen Länder minimieren die erwarteten globalen Gesamtkosten, bestehend aus der Summe ihrer Vermeidungs-, Anpassungs- und erwarteten Schadenskosten, über die vier Kontrollvariablen m_1, m_2, a_1, a_2 :

$$\min_{\{m_{i=1,2}, a_{i=1,2}\}} C(m_1, m_2, a_1, a_2) = c_1(m_1) + c_2(m_2) + c_1(a_1) + c_2(a_2) + p(m_1, m_2)(s_1(a_1) + s_2(a_2)) \quad (1)$$

Die entsprechenden Bedingungen erster Ordnung lauten:

$$\frac{\partial C(\cdot)}{\partial m_1} = \frac{dc_1(m_1)}{dm_1} + \frac{\partial p(m_1, m_2)}{\partial m_1} (s_1(a_1) + s_2(a_2)) = 0 \Leftrightarrow \frac{dc_1(m_1)}{dm_1} = -\frac{\partial p(m_1, m_2)}{\partial m_1} (s_1(a_1) + s_2(a_2)) \quad (2)$$

$$\frac{\partial C(\cdot)}{\partial m_2} = \frac{dc_2(m_2)}{dm_2} + \frac{\partial p(m_1, m_2)}{\partial m_2} (s_1(a_1) + s_2(a_2)) = 0 \Leftrightarrow \frac{dc_2(m_2)}{dm_2} = -\frac{\partial p(m_1, m_2)}{\partial m_2} (s_1(a_1) + s_2(a_2)) \quad (3)$$

$$\frac{\partial C(\cdot)}{\partial a_1} = \frac{dc_1(a_1)}{da_1} + p(m_1, m_2) \frac{ds_1(a_1)}{da_1} = 0 \Leftrightarrow \frac{dc_1(a_1)}{da_1} = -p(m_1, m_2) \frac{ds_1(a_1)}{da_1} \quad (4)$$

$$\frac{\partial C(\cdot)}{\partial a_2} = \frac{dc_2(a_2)}{da_2} + p(m_1, m_2) \frac{ds_2(a_2)}{da_2} = 0 \Leftrightarrow \frac{dc_2(a_2)}{da_2} = -p(m_1, m_2) \frac{ds_2(a_2)}{da_2} \quad (5)$$

(2) und (3), die Bedingungen für die optimalen Vermeidungsleistungen der beiden Länder, besagen, dass die Grenzvermeidungskosten und der erwartete Grenznutzen der Vermeidung

dung (eingesparter globaler Grenz-Erwartungsschaden) übereinstimmen müssen. Die analoge Bedingung gilt für die optimalen länderspezifischen Anpassungsleistungen gemäß (4) und (5).

Nicht-kooperatives Gleichgewicht

Hier gehen ausschließlich die eigenen Kosten in das Minimierungskalkül des jeweiligen Landes ein – siehe nachfolgend exemplarisch für Land 1:

$$\min_{\{m_1, a_1\}} C_1(m_1, m_2, a_1) = c_1(m_1) + c_1(a_1) + p(m_1, m_2)s_1(a_1) \quad (6)$$

Es resultieren die beiden Bedingungen erster Ordnung:

$$\frac{\partial C_1(\cdot)}{\partial m_1} = \frac{dc_1(m_1)}{dm_1} + \frac{\partial p(m_1, m_2)}{\partial m_1} s_1(a_1) = 0 \Leftrightarrow \frac{dc_1(m_1)}{dm_1} = -\frac{\partial p(m_1, m_2)}{\partial m_1} s_1(a_1) \quad (7)$$

$$\frac{\partial C_1(\cdot)}{\partial a_1} = \frac{dc_1(a_1)}{da_1} + p(m_1, m_2) \frac{ds_1(a_1)}{da_1} = 0 \Leftrightarrow \frac{dc_1(a_1)}{da_1} = -p(m_1, m_2) \frac{ds_1(a_1)}{da_1} \quad (8)$$

Der Vergleich von (7) und (2) zeigt, dass Land 1 bei der Festlegung seiner Vermeidungsleistung ausschließlich seinen eigenen (Residual-) Schaden berücksichtigt, wogegen im kooperativen Setting mit dem globalen Schaden kalkuliert wird. Bedingt durch den Öffentlichen-Gut Charakter der Mitigation vermeidet Land 1 aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu wenig, da es den Effekt seiner Emissionsreduktion auf den Erwartungsschaden von Land 2 vernachlässigt.

(8) stimmt hingegen vollständig mit (4) überein, da es sich bei der Anpassung um ein privates Gut handelt. Nachdem allerdings m_1 in (8) einfließt ist auch die Anpassungsleistung suboptimal – konkret suboptimal groß, da m_1 suboptimal klein ist.

Zur **strategischen Interaktion** zwischen den Ländern (Beweise und ausführliche Begründung siehe unten):

- $\frac{dm_1}{dm_2}$: Die Vermeidungsreaktion von Land 1 auf eine marginale Erhöhung der Vermeidungsleistung von Land 2 hängt maßgeblich von der Kreuzableitung $\frac{\partial^2 p(m_1, m_2)}{\partial m_1 \partial m_2}$ ab. Diese zeigt an, wie stark eine marginale Erhöhung von m_2 den Grenzertrag der Vermeidung von Land 1 schmälert. Ist $\frac{\partial^2 p(m_1, m_2)}{\partial m_1 \partial m_2}$ hinreichend groß, so resultiert erwartungsgemäß Freifahrerverhalten, d.h. $\frac{dm_1}{dm_2} < 0$. Je nach Ausprägung der Kreuzableitung ist aber auch $\frac{dm_1}{dm_2} = 0$ bzw. $\frac{dm_1}{dm_2} > 0$ möglich.
- $\frac{da_1}{dm_2}$: Auch die Anpassungsreaktion von Land 1 auf eine marginale Erhöhung der Vermeidungsleistung von Land 2 hängt von besagter Kreuzableitung ab. $\frac{da_1}{dm_2} < 0$ bedingt hier, dass $\frac{\partial^2 p(m_1, m_2)}{\partial m_1 \partial m_2}$ hinreichend klein ist.
- a_2 als „privates Gut“ für Land 2 spielt für das Kalkül von Land 1 keine Rolle. Folglich gilt $\frac{dm_1}{da_2} = \frac{da_1}{da_2} = 0$.

Die simultane Lösung von (7) und (8) sowie der entsprechenden Gewinnmaximierungsbedingungen für Land 2 ergibt die Vermeidungs- und Anpassungsmengen der beiden Länder im nicht-kooperativen Nash-Gleichgewicht. Eine explizite Lösung ist ohne Spezifikation der Funktionen nicht möglich.

Beweis zur strategischen Interaktion:

Komparativ statische Analyse (vgl. z.B. GRAVELLE und REES, 2004, S. 696f):

- $\frac{dm_1}{dm_2} = \frac{\det H_{m_1 m_2}}{\det H}$, wobei

H die Hesse-Matrix des Minimierungsproblems (6) bezeichnet, mit

$$H = \begin{pmatrix} \partial^2 C_1(\cdot) / \partial m_1^2 & \partial^2 C_1(\cdot) / \partial m_1 \partial a_1 \\ \partial^2 C_1(\cdot) / \partial a_1 \partial m_1 & \partial^2 C_1(\cdot) / \partial a_1^2 \end{pmatrix}$$

Die Existenz eines globalen Minimums für (6) erfordert, dass H positiv definit ist, womit gelten muss $\det H > 0$ (dies geht allerdings nicht aus Modellannahmen hervor: alle 4 Komponenten von H sind positiv).

Die Matrix $H_{m_1 m_2}$ erhält man, indem die erste Spalte der Hesse-Matrix durch den Spaltenvektor $(-\partial^2 C_1(\cdot) / \partial m_1 \partial m_2, -\partial^2 C_1(\cdot) / \partial a_1 \partial m_2)$ ersetzt. Für die zugehörige Determinante resultiert

$$\begin{aligned} \det H_{m_1 m_2} &= \det \begin{pmatrix} -\partial^2 C_1(\cdot) / \partial m_1 \partial m_2 & \partial^2 C_1(\cdot) / \partial m_1 \partial a_1 \\ -\partial^2 C_1(\cdot) / \partial a_1 \partial m_2 & \partial^2 C_1(\cdot) / \partial a_1^2 \end{pmatrix} \\ &= \det \begin{pmatrix} -\frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} s_1(a_1) & \frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_1} \frac{ds_1(a_1)}{da_1} \\ -\frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_2} \frac{ds_1(a_1)}{da_1} & \frac{d^2 c_1(a_1)}{da_1^2} + p(\cdot) \frac{d^2 s_1(a_1)}{da_1^2} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Aus den Modellannahmen resultieren folgende Vorzeichen für die vier Komponenten der

$$\text{Matrix: } \begin{pmatrix} a? & b > 0 \\ c < 0 & d > 0 \end{pmatrix}. \det H_{m_1 m_2} = ad - cb. \operatorname{sgn}\{\det H_{m_1 m_2}\} = \operatorname{sgn} \left\{ \begin{array}{c} \underbrace{ad}_{?} - \underbrace{cb}_{<0} \\ >0 \end{array} \right\}.$$

Die Vorzeichen von b, c und d sind eindeutig festgelegt. Einzig das Vorzeichen der Kreuzableitung in Komponente a ist nicht bestimmt. Allerdings ist aufgrund des globalen öffentlichen-Gut-Charakters der Vermeidung davon auszugehen, dass m_1 und m_2 perfekte Substitute sind. Aus dem Gesetz des abnehmenden Grenzertrags folgt somit unmittelbar $\frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} > 0$,

$$\text{was wiederum bedingt: } a < 0 \Rightarrow \operatorname{sgn}\{\det H_{m_1 m_2}\} = \operatorname{sgn} \left\{ \begin{array}{c} \underbrace{ad}_{<0} - \underbrace{cb}_{<0} \\ >0 \end{array} \right\}.$$

Insgesamt sind also die folgenden 3 Fälle möglich:

$$\frac{dm_1}{dm_2} \begin{cases} < 0 \Leftrightarrow \det H_{m_1 m_2} < 0 \text{ (i)} \\ = 0 \Leftrightarrow \det H_{m_1 m_2} = 0 \text{ (ii)} \\ > 0 \Leftrightarrow \det H_{m_1 m_2} > 0 \text{ (iii)} \end{cases}$$

Fall (i)

$\det H_{m_1 m_2} < 0 \Rightarrow |ad| > |cb|$; d.h. $\left| \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} \right|$ muss hinreichend groß sein. Dies bedeutet, eine marginale Erhöhung der Vermeidungsleistung von Land 2 muss den Grenzertrag der Vermeidung von Land 1 hinreichend stark schmälern. Das ist der Fall, sofern das Ausgangsniveau der Gesamtvermeidung relativ klein ist.

Inhaltliche Interpretation über die Bedingungen 1. Ordnung (7) und (8):

Direkte Effekte:

(7): $m_2 \uparrow$ senkt den Grenzertrag der Vermeidung $\frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_1}$ (RHS). Damit erfordert die Opt. auch geringere Grenzkosten (LHS), d.h. $m_1 \downarrow$.

(8): $m_2 \uparrow$ reduziert die Gewichtung des Grenzertrags der Anpassung (RHS). Damit erfordert die Opt. auch geringere Grenzkosten (LHS), d.h. $a_1 \downarrow$ (\rightarrow mittelbare Relevanz für $\frac{dm_1}{dm_2}$ über indirekten Effekt).

Indirekter Effekt (man bedenke: (7) und (8) müssen simultan gelöst werden):

$a_1 \downarrow$ bewirkt über (7) eine Erhöhung der Gewichtung des Grenzertrags der Vermeidung und somit $m_1 \uparrow$.

Der indirekte wirkt also dem direkten Effekt entgegen. Letzterer ist stärker wenn $\left| \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} \right|$ hinreichend groß ist. Konkret muss gelten:

$$ad - cb < 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} > \frac{\frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_2} \frac{ds_1(a_1)}{da_1} \frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_1} \frac{ds_1(a_1)}{da_1}}{s_1(a_1) \left(\frac{d^2 c_1(a_1)}{da_1^2} + p(\cdot) \frac{d^2 s_1(a_1)}{da_1^2} \right)} > 0$$

Fall (ii)

$\det H_{m_1 m_2} = 0 \Rightarrow |ad| = |cb|$; Interpretation wie Fall (i); $\left| \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} \right|$ dergestalt, dass sich der direkte und indirekte Effekt gerade neutralisieren.

Fall (iii)

$\det H_{m_1 m_2} > 0 \Rightarrow |ad| < |cb| \rightarrow$ Interpretation siehe oben.

- $\frac{da_1}{dm_2} = \frac{\det H_{a_1 m_2}}{\det H}$, wobei

man die Matrix $H_{a_1 m_2}$ erhält, indem die zweite Spalte der Hesse-Matrix durch den Spaltenvektor $(-\partial^2 C_1(\cdot)/\partial m_1 \partial m_2, -\partial^2 C_1(\cdot)/\partial a_1 \partial m_2)$ ersetzt. Für die zugehörige Determinante resultiert

$$\begin{aligned} \det H_{a_1 m_2} &= \det \begin{pmatrix} \partial^2 C_1(\cdot)/\partial m_1^2 & -\partial^2 C_1(\cdot)/\partial m_1 \partial m_2 \\ \partial^2 C_1(\cdot)/\partial a_1 \partial m_1 & -\partial^2 C_1(\cdot)/\partial a_1 \partial m_2 \end{pmatrix} \\ &= \det \begin{pmatrix} \frac{d^2 c_1(m_1)}{dm_1^2} + \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1^2} s_1(a_1) & -\frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} s_1(a_1) \\ \frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_1} \frac{ds_1(a_1)}{da_1} & -\frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_2} \frac{ds_1(a_1)}{da_1} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Aus den Modellannahmen resultieren folgende Vorzeichen für die vier Komponenten der Matrix: $\begin{pmatrix} a > 0 & b? \\ c > 0 & d < 0 \end{pmatrix}$. Nicht eindeutig bestimmt ist b , bzw. das Vorzeichen der Kreuzableitung $\frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2}$. Aus den oben genannten Gründen ist jedoch davon auszugehen, dass

$$\frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} > 0, \text{ woraus folgt } b < 0 \Rightarrow \text{sgn}\{\det H_{a_1 m_2}\} = \text{sgn} \left\{ \begin{matrix} ad - cb \\ \underbrace{< 0} - \underbrace{< 0} \\ \underbrace{> 0} \end{matrix} \right\}. \text{ Insgesamt sind also die}$$

folgenden 3 Fälle möglich:

$$\frac{da_1}{dm_2} \begin{cases} < 0 \Leftrightarrow \det H_{a_1 m_2} < 0 \text{ (i)} \\ = 0 \Leftrightarrow \det H_{a_1 m_2} = 0 \text{ (ii)} \\ > 0 \Leftrightarrow \det H_{a_1 m_2} > 0 \text{ (iii)} \end{cases}$$

Fall (i)

$\det H_{a_1 m_2} < 0 \Rightarrow |ad| > |cb|$; d.h. $\left| \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} \right|$ muss hinreichend klein sein. Dies bedeutet, eine marginale Erhöhung der Vermeidungsleistung von Land 2 muss den Grenzertrag der Vermeidung von Land 1 hinreichend schwach schmälern. Das ist der Fall, sofern das Ausgangsniveau der Gesamtvermeidung relativ groß ist.

Inhaltliche Interpretation über die Bedingungen 1. Ordnung (8) und (7):

Direkte Effekte:

(8): $m_2 \uparrow$ senkt die Gewichtung des Grenzertrags der Anpassung (RHS). Damit erfordert die Opt. auch geringere Grenzkosten (LHS), d.h. $a_1 \downarrow$.

(7): $m_2 \uparrow$ reduziert den Grenzertrag der Vermeidung (RHS). Damit erfordert die Opt. auch geringere Grenzkosten (LHS), d.h. $m_1 \downarrow$ (\rightarrow mittelbare Relevanz für $\frac{da_1}{dm_2}$ über indirekten Effekt).

Indirekte Effekte (man bedenke: (7) und (8) müssen simultan gelöst werden):

$m_1 \downarrow$ bewirkt über (8) eine Erhöhung der Gewichtung des Grenzertrags der Vermeidung und somit $a_1 \uparrow$.

Der indirekte wirkt also dem direkten Effekt entgegen. $\left| \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} \right|$ ist hier proportional zur Stärke des indirekten Effekts. Der direkte Effekt ist also stärker, wenn $\left| \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} \right|$ hinreichend klein ist. Konkret muss gelten:

$$ad - cb < 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} < \frac{\frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_2} \frac{ds_1(a_1)}{da_1} \left(\frac{d^2 c_1(m_1)}{dm_1^2} + \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1^2} s_1(a_1) \right)}{s_1(a_1) \frac{\partial p(\cdot)}{\partial m_1} \frac{ds_1(a_1)}{da_1}}$$

Fall (ii)

$\det H_{a_1 m_2} = 0 \Rightarrow |ad| = |cb|$; Interpretation wie Fall (i); $\left| \frac{\partial^2 p(\cdot)}{\partial m_1 \partial m_2} \right|$ dergestalt, dass sich der direkte und indirekte Effekt gerade neutralisieren.

Fall (iii)

$\det H_{a_1 m_2} > 0 \Rightarrow |ad| < |cb| \rightarrow$ Interpretation siehe oben.

Literaturverzeichnis

- Aaheim, A., Amundsen, H., Dokken, T., Ericson, T. and Wei, T. (2009): A macroeconomic assessment of impacts and adaptation to climate change in Europe, CICERO Report 2009:06, Center for International Climate and Environmental Research, Oslo.
- Aaheim, A. and Aasen, M. (2008): What do we know about the economics of adaptation? CEPS Policy brief No. 150, Centre for European Policy Studies.
- Aalbers, R. (2009): Discounting investments in mitigation and adaptation – A dynamic stochastic general equilibrium approach of climate change, CPB Discussion Paper No 126, CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, The Hague, Netherlands.
- Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D. R., Naess, L. O., Wolf, J. and Wreford, A. (2009): Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change* 93, 335-354.
- Adger, W. N., Paavola, J., Huq, S. and Mace, M. J. (2006): *Fairness in adaptation to climate change*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Adger, W. N., Arnell, N. W. and Tompkins, E. L. (2005): Successful adaptation to climate change across scales, *Global Environmental Change* 15, 77-86.
- Adger, W. N. (2001): Scales of governance and environmental justice for adaptation and mitigation of climate change, *Journal of International Development* 13, 921-931.
- Agrawala, S., Bosello, F., Carraro, C., de Cian, E. and Lanzi, E. (2011): Adaptation to climate change: costs, benefits and modelling approaches, *International Review of Environmental and Resource Economics* 5, 245-284.
- Agrawala, S. and Carraro, M. (2010): Assessing the role of microfinance in fostering adaptation to climate change, *Nota di Lavoro* 82.2010, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan.
- Agrawala, S., Bosello, F., Carraro, C. and de Cian, E. (2009): Adaptation, mitigation and innovation: a comprehensive approach to climate policy, Working Paper No. 25/WP/2009, Department of Economics, University of Venice, Italy.
- Alberini, A., Chiabai, A. and Muehlenbachs, L. (2005): Expert judgment to assess adaptive capacity to climate change: evidence from a conjoint choice survey, *Nota di Lavoro* 106.2005, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan.
- Alpizar, F., Carlsson, F. and Naranjo, M. (2009): The effect of risk, ambiguity, and coordination on farmers' adaptation to climate change: a framed field experiment, Working Papers in Economics No 382, School of Business, Economics and Law, University of Gothenburg, Sweden.
- Amundsen, H., Berglund, F. and Westskog, H. (2010): Overcoming barriers to climate change adaptation – a question of multilevel governance? *Environment and Planning C: Government and Policy* 28, 276-289.
- Antle, J. M. (2009): Agriculture and the food system - adaptation to climate change, RFF Report, Resources for the Future (RFF), Washington, DC.

- Athanassoglou, S., Xepapadeas A. (2011). Pollution control: when and how to be precautionous, Nota di Lavoro 2011.018, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy.
- Auerswald, H, Konrad, K. A. and Thum, M. (2011): Adaptation, mitigation and risk-taking in climate policy, CESifo Working Paper No. 3320.
- Ayers, J. M. and Huq, S. (2009): Supporting Adaptation to Climate Change: What role for official development assistance? *Development Policy Review* 27, 675-692.
- Bahn, O., Chesney, M. and Gheysens, J. (2010): The effect of adaptation measures on the adoption of clean technologies, *Les Cahiers du GERAD*, G-2010-19, HEC Montreal, Canada.
- Balbi, S. and Giupponi, C. (2009): Reviewing agent-based modelling of socio-ecosystems: a methodology for the analysis of climate change adaptation and sustainability, Working Paper No. 15, Department of Economics, University of Venice, Italy.
- Bardt, H. (2005): Klimaschutz und Anpassung: Merkmale unterschiedlicher Politikstrategien, In: *DIW Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung* 74. Jahrgang, Heft 2/2005, 259-269: Die ökonomischen Kosten des Klimawandels und der Klimapolitik, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin.
- Barr, R., Fankhauser, S., Carraro, C. and Enrica, C. de (2010): Adaptation investments: a resource allocation framework, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 843-858.
- Barrett, S. (2008): Dikes vs. windmills: climate treaties and adaptation, Discussion Paper, School of Advanced International Studies, John Hopkins University, USA.
- Battaglini, A., Barbeau G., Bindi, M. and Badeck, F.-W. (2009): European winegrowers' perceptions of climate change impact and options for adaptation, *Regional Environmental Change* 9, 61-73.
- Benckekroun, H., Marrouch, W. and Chaudhuri, A. R. (2011): Adaptation effectiveness and free-riding incentives in international environmental agreements, *CentER Discussion paper* 2011-120, Tilburg University, The Netherlands.
- Berger, L. (2011): Does ambiguity aversion raise the optimal level of effort? A two-period model, *ECARES working paper* 2011-01, ECARES – Université libre de Bruxelles.
- Berz, G. (2005): Naturkatastrophen und Klimaänderung – Befürchtungen und Handlungsoptionen der Versicherungswirtschaft, In: *DIW Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung* 74. Jahrgang, Heft 2/2005, 169-174: Die ökonomischen Kosten des Klimawandels und der Klimapolitik, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin.
- BMF (2010): Klimapolitik zwischen Emissionsvermeidung und Anpassung, Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium der Finanzen (BMF), Berlin.
- BMU (2011): Aktionsplan Anpassung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf

- BMU (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), veröffentlicht als BT-Drs. 16/11595 vom 19.12.2008, <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php>
- Bosello, F. (2010): Adaptation, mitigation and "green" R&D to combat global climate change. Insights from an empirical integrated assessment exercise, Nota di Lavoro 22.2010, Fondazione Eni Enrico Mattei, Venice.
- Bosello, F. and Chen, C. (2010): Adapting and mitigating to climate change: balancing the choice under uncertainty, Nota di Lavoro, 159.2010, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy.
- Bosello, F., Carraro, C. and De Cian, E. (2010): Climate policy and the optimal balance between mitigation, adaptation and unavoided damage, *Climate Change Economics* 1, 1-22.
- Bosello, F., Carraro, C. and De Cian, E. (2009): An analysis of adaptation as a response to climate change, Copenhagen Consensus Center, Frederiksberg/DK.
- Bréchet, T., Hritonenko, N. and Yatsenko, Y. (2010): Adaptation and mitigation in long-term climate policies, CORE Discussion Paper 2010/65, Center for Operations Research, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Bruin, K. de, Weikard, H.-P. and Dellink, R. (2011): The role of proactive adaptation in international climate change mitigation agreements, CERRE Working Paper 2011:9, Centre for Environmental and Resource Economics (CERE), Umeå University, Sweden.
- Bruin, K. de, Dellink, R. B. and Tol, R. S. J. (2009a): AD-DICE: an implementation of adaptation in the DICE model, *Climatic Change* 95, 63-81.
- Bruin, K. de, Dellink, R. B. and Tol, R. S. J. (2009b): International cooperation on climate change adaptation from an economic perspective, Nota di Lavoro 63.2010, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan.
- Bruin, K. de, Dellink, R. B., Ruijs, A. Bolwidt, L., Buuren, A. van, Graveland, J., Groot, R. S. de, Kuikman, P. J., Reinhard, S., Roetter, R. P., Tassone, V. C., Verhagen, A. and Ierland, E. C., van (2009c): Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives, *Climatic Change* 95, 23-45.
- Bruin, K. de, Dellink, R. and Agrawala, S. (2009d): Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Integrated Assessment Modelling of Adaptation Costs and Benefits, OECD Environment Working Papers No. 6, Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris.
- Bruin, K. de and Dellink, R. B. (2009): How harmful are adaptation restrictions? Nota di Lavoro 58.2009, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan.
- Brunner, R. D., Steelman, T. A., Coe-Juell, L., Cromley, C. M., Edwards, C. M. and Tucker, D. W. (2005): Adaptive governance. Integrating science, policy and decision making. Columbia University Press, New York.

- Buchholz, W. und Rübhelke, D. (2011): Vermeidungs- vs. Anpassungsstrategien in der zukünftigen Klimapolitik: Der Versuch einer realistischen Einschätzung, ifo Schnelldienst 5/2011, 11-16, Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München (ifo).
- Buob, S. and Stephan, G. (2011a): To mitigate or to adapt: how to confront global climate change, *European Journal of Political Economy* 27, 1-16.
- Buob, S. and Stephan, G. (2011b): On the incentive compatibility of funding adaptation, NCCR Climate Research Paper 2011/02, The National Centre of Competence in Research on Climate (NCCR Climate), Bern, Switzerland.
- Burton, I., Huq, S. Lim, B., Pilifosova, O. and Schipper, E. L. (2002): From impact assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy, *Climate Policy* 2, 145-149.
- Cai, Y. P., Huang, G. H., Tan, Q. and Liu, L. (2011a): An integrated approach for climate-change impact analysis and adaptation planning under multi-level uncertainties: Part I. Methodology, *Sustainable Energy Reviews* 15, 2779-2790.
- Cai, Y. P., Huang, G. H., Tan, Q. and Liu, L. (2011b): An integrated approach for climate-change impact analysis and adaptation planning under multi-level uncertainties: Part II. Case Study, *Sustainable Energy Reviews* 15, 3051-3073.
- Callaway, J. M. (2004): Adaptation benefits and costs: are they important in the global policy picture and how can we estimate them? *Global Environmental Change* 14, 273-282.
- Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R. S. J. and Ringler, C. (2009): Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa, IFPRI Discussion Paper 00873, International Food Policy Research Institute.
- Carrillo J. D. and Mariotti, T. (2000): Strategic ignorance as a self-disciplining device, *Review of Economic Studies* 67, 529-544.
- Catenacci, M. and Giupponi, C. (2010): Potenzial and limits of Bayesian networks to deal with uncertainty in the assessment of climate change adaptation policies, Nota do Lavoro 07.2010, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy.
- Chambwera, M. and Stage, J. (2010): Climate change adaptation in developing countries: issues and perspectives for economic analysis, International Institute for Environment and Development (IIED), London, UK.
- Chisari, O. O. (2010): Notes on optimal growth, climate change calamities, adaptation and mitigation, IDB Working Paper Series No. IDB-WP-212, Inter-American Development Bank.
- Chrischilles, E. (2011): Anpassung an den Klimawandel. Reduzierung der Verletzlichkeiten durch internationale Kooperation, *Ökologisches Wirtschaften* 3/2011, 43-46.
- Cimato, F. and Mullan, M. (2010): Adapting to climate change: analysing the role of government, Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), London, UK.
- Covich, A. P. (2009): Emerging climate change impacts on freshwater resources. A perspective on transformed watersheds, RFF Report, Resources for the Future, Washington D.C., USA.

- Crabbé, P. and Robin, M. (2006): Institutional adaptation of water resource infrastructures to climate change in Eastern Ontario, *Climatic Change* 78, 103-133.
- Dang, H., Michaelowa, A. and Tuan, D. (2003): Synergy of adaptation and mitigation strategies in the context of sustainable development: the case of Vietnam, *Climate Policy* 3 S.1, S81-S96.
- Dannenberg, A., Mennel, T., Osberghaus, D. and Sturm, B. (2009): The economics of adaptation to climate change - the case of Germany, Discussion Paper No. 09-057, Centre for European Economic Research (ZEW), Mannheim.
- Dellink, R., Elzen, M. den, Aiking, H., Bergsma, E., Berkhout, F., Dekker, T. and Gupta, J. (2009): Sharing the burden of adaptation financing: an assessment of the contributions of countries, *Nota di Lavoro* 59.2009, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy.
- Dêschenes, O. and Greenstone, M. (2007): Climate change, mortality and adaptation: evidence from annual fluctuations in weather in the US, Working Paper 07-007, Centre for Energy and Environmental Policy Research, Cambridge, USA.
- Dixit, A. and Pindyk, S. (1994): *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, NJ.
- Dobes, L. (2010): Notes on applying 'real options' to climate change adaptation measures, with examples from Vietnam, CCEP working paper 7.10, Centre for Climate Economics & Policy, Crawford School of Economics and Government, The Australian National University, Canberra.
- Dobes, L. (2009): People versus planners: social preferences for adaptation to climate change, Environmental Economics Research Hub Research Report 41, Crawford School of Economics and Government, The Australian National University, Canberra.
- Dulal, H. B., Shah, K. U. and Ahmad, N. (2009): Social equity considerations in the implementations of Caribbean climate change adaptation policies, *Sustainability* 1, 363-383.
- Dumas, P. and Ha-Duong, M. (2008): Optimal growth with adaptation to climate change, Collection HAL, halshs-00207621, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, Nogent-sur-Marne, France.
- Ebert, U. and Welsch, H. (2011): Adaptation and mitigation in global pollution problems: economic impacts of productivity, sensitivity and adaptive capacity, *Environmental and Resource Economics* (in press).
- EC (2007): *Adapting to climate change in Europe – options for EU action*, Green Paper, Commission of the European Communities, Brussels.
- ECA (2009): *Shaping climate-resilient development. A framework for decision making*, A report of the Economics of Climate Adaptation (ECA) Working Group.
- EEA (2009): *Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources*, European Environment Agency (EEA) Report No 8/2009, Copenhagen, Denmark.

- EEA (2007): Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation, European Environment Agency (EEA) Technical report No 13/2007, Copenhagen, Denmark.
- Ehrlich, I. and Becker, G. S. (1972): Market insurance, self-insurance and self-protection, *The Journal of Political Economy* 80, 623-648.
- Eisenack, K. (2012): Adaptation financing as part of global climate agreement: is the adaptation levy appropriate? *Climate Policy* (in press).
- Eisenack, K. and Kähler, L. (2012): Unilateral emission reductions can lead to Pareto improvements when adaptation to damages is possible, *Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionspapiere V – 344 – 12*, Universität Oldenburg.
- Eisenack, K. (2010): The inefficiency of private adaptation to pollution in the presence of endogenous market structure, *Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionspapiere V – 328 – 10*, Institut für Volkswirtschaftslehre, Universität Oldenburg.
- Eisenack, K. (2009): Autonomous adaptation to climate change is inefficient, in "17th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists", Amsterdam.
- Emanuel, K. (2005): Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years, *Nature* 436, 686-688.
- Fankhauser, S. (2010): The costs of adaptation, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1, 23-30.
- Fankhauser, S. (2009b): A perspective paper on adaptation as a response to climate change, Copenhagen Consensus Center, Copenhagen Business School, Denmark.
- Fankhauser, S., Smith, J. B. and Tol, R. S. J. (1999): Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions, *Ecological Economics* 30, 67-78.
- Finger, R. and Schmid, S. (2008): Modelling agricultural production risk and the adaptation to climate change, *Agricultural Finance Review* 68, 25-41.
- Fisher, A. C. and Rubio, S. J. (1997): Adjusting to climate change: implications of increased variability and asymmetric adjustment costs for investment in water reserves, *Journal of Environmental Economics and Management*, 34, 207-227.
- Foa, R. (2009): Social and governance dimensions of climate change – Implications for policy, Policy Research Working Paper 4939, The World Bank Social Development Department & Development Economics World Development Report Team.
- Füssel, H.-M. (2009): Ranking of national-level adaptation options. An editorial comment, *Climatic Change* 95, 47-51.
- Füssel, H.-M. (2008): Assessing adaptation to the health risks of climate change: what guidance can existing frameworks provide? *International Journal of Environmental Health Research* 18, 37-63.
- Füssel, H.-M. (2007): Adaptation Planning for Climate Change: Concepts, Assessment Approaches and Key Lessons, *Sustainability Science* 2, 265-275.

- Füssel, H.-M. and Klein R. J. T. (2006): Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking, *Climatic Change* 75, 301-329.
- Füssel, H.-M. and Klein, R. J. T. (2004): Conceptual frameworks of adaptation to climate change and their applicability to human health, PIK Report No. 91, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam.
- Gagnon-Lebrun, F. and Agrawala, S. (2006): Progress on adaptation to climate change in developed countries: an analysis of broad trends, ENV/EPOC/GSP(2006)1/FINAL, OECD, Paris.
- Gambarelli, G. and Gorla, A. (2004): Economic Evaluation of Climate Change Impacts and Adaptation in Italy, Nota di Lavoro 103.2004, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy.
- Gawel, E. (2011): Climate Engineering als Mittel der Klimapolitik – Optionen und Herausforderungen, in: *Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR)* 22, 451-457.
- Gawel, E. und Heuson, C. (2011): Der „Aktionsplan Anpassung“ an den Klimawandel – eine ökonomische Bewertung, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 12, 51-56.
- Gebhardt, O., Kumke, S. und Hansjürgens, B. (2011): Kosten der Anpassung an den Klimawandel – Eine ökonomische Analyse ausgewählter Sektoren in Sachsen-Anhalt, UFZ-Bericht 05/2011, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig.
- Gebhardt, O., und Hansjürgens, B. (2011): Kosten der Klimaanpassung im Wasserbereich – Ein Bottom-up-Ansatz am Beispiel Sachsen-Anhalts, *Wasser und Abfall* 13, 14-18.
- Gemenne, F. (2009): Equity in adaptation to climate change, *Synthèses Climate* No 06/09, Institut du Développement Durable et des Relations Internationales (IDDRI), Paris.
- Gifford, R. (2011): The Dargons of inaction – psychological barriers that limit climate change mitigation and adaptation, *American Psychologist* 66, 290-302.
- Glenk K. and Fischer, A. (2010): Insurance, prevention or just wait and see? Public preferences for water management strategies in the context of climate change, *Ecological Economics* 69, 2279-2291.
- Goklany, I. M. (2007): Integrated strategies to reduce vulnerability and advance adaptation, mitigation, and sustainable development, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12, 755-786.
- Gravelle, H. and Rees, R. (2004): *Microeconomics*, 3rd edition. Pearson Education Limited, Essex, UK.
- Grothmann, T., Werner, J., Krömker, D., Werg, J. Stolberg, A., Homburg, A., Reckien, D., Egli, T., Buchert, M., Zimmer, W., Hoffmann, C. und Siebenhüner, B. (2009a): Förderung von Klimaschutz und Klimaanpassung in Privathaushalten – Erfolgsfaktoren, Instrumente, Strategie, in Mahammadzadeh, M. und Biebeler, H. (Hrsg.): Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen. Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele, Institut der deutschen Wirtschaft Köln.

- Grothmann, T., Krömker, D., Homburg, A. und Siebenhüner, B. (2009b): KyotoPlus-Navigator: Praxisleitfaden zur Förderung von Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel – Erfolgsfaktoren, Instrumente, Strategie, <http://erklm.de>
- GTZ (2010): Climate proofing for development. Adapting to climate change, reducing risk, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany.
- GTZ (2007): Economic approaches to climate change adaptation and their role in project prioritisation and appraisal, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany.
- Hallegatte, S., Lecocq, F. and de Perthuis, C. (2011): Designing climate change adaptation policies. An economic framework, Policy Research Working Paper 5568, The World Bank Sustainable Development Network.
- Hallegatte, S. (2009): Strategies to adapt to an uncertain climate change, *Global Environmental Change* 19, 240-247.
- Hallegatte, S., Henriot, F. and Corfee-Morlot, J. (2008): The economics of climate change impacts and policy benefits at city scale. A conceptual framework, OECD Environment Working Papers No. 4.
- Hansjürgens, B. and Antes, R. (2008): Introduction: Climate change risks, mitigation and adaptation, in Hansjürgens, B. and Antes, R. (Hrsg.): *Economics and management of climate change*, 1-9, Springer, New York.
- Hardee, K. and Mutunga, C. (2009): Strengthening the link between climate change adaptation and national development plans: lessons from the case of population in National Adaptation Programmes of Action (NAPAs), *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 113-126.
- Hassan, R. and Nhemachena, C. (2008): Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: multinomial choice analysis, *African Journal of Agricultural and Resource Economics* 2, 83-104.
- Hasson, R., Löfgren, A. and Visser, M. (2010): Climate change in a public goods game: investment decision in mitigation versus adaptation, *Ecological Economics* 70, 331-338.
- Herweijer, C., Ranger, N. and Ward, R. E. T. (2009): Adaptation to Climate Change: Threats and Opportunities for the Insurance Industry, *The Geneva Papers on Risk and Insurance – Issues and Practice* 34, 360-380.
- Hof, A. F., Elzen, M. G. J. den, Vuuren, D. P. van (2010): Including adaptation costs and climate change damages in evaluating post-2012 burden-sharing regimes, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15, 19-40.
- Hof, A. F., Bruin, K. de, Dellink, R. B., Elzen, M. G. J. den and Vuuren, D. P. van (2009): The effect of different mitigation strategies on international financing of adaptation, *Environmental Science and Policy* 12, 832-843.

- Hoff, H., Warner, K. and Bouwer, L. M. (2005): The role of financial services in climate adaptation in developing countries, In: DIW Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung 74. Jahrgang, Heft 2/2005, 196-207: Die ökonomischen Kosten des Klimawandels und der Klimapolitik, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin.
- Hulme, M., Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Lorenzoni, I., Nelson, D., Naess, L.-O., Wolf, J. and Wredford, A. (2007): Limits and barriers to adaptation: four propositions, Tyndall Briefing Note No. 20, Tyndall Centre for Climate Change Research, UK.
- Hunt, A. and Watkiss, P. (2011): Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature, *Climatic Change* 104, 13-49.
- Ingham, A., Ma, J. and Ulph, A. M. (2007): Climate change, mitigation and adaptation with uncertainty and learning, *Energy Policy* 35, 5354-5369.
- Ingham, A., Ma, J. and Ulph, A. M. (2005): How do the costs of adaptation affect mitigation when there is uncertainty, irreversibility and learning? Tyndall Centre Working Paper 74, Tyndall Centre for Climate Change Research, UK.
- IPCC (2007a): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC (2007b): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Chapter 17. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC (2001a): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Chapter 10. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC (2001b): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Chapter 18. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC (1994): IPCC Technical Guidelines for assessing climate change impacts and adaptations. Part of the IPCC Special Report to the First Session of the Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change, Department of Geography, University College London, London, UK.
- Jotzo, F. (2010): Prerequisites and limits for economic modelling of climate change impacts and adaptation, Research Report No. 55, Environmental Economics Research Hub, Crawford School of Economics and Government, Australian National University, Canberra Australia.
- Kane, S. and Shogren, J. F. (2000): Linking adaptation and mitigation in climate change policy, *Climatic Change* 45, 75-102.
- Kane, S. and Yohe, G. (2000): Societal adaptation to climate variability and change: an introduction, *Climatic Change* 45, 1-4.
- Kelly, P. M. and Adger, W. N. (1999): Assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation, CSERGE Working Paper GEC 99-07, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE), Norwich, UK.

- Kemfert, C. (2008): Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten, DIW Wochenbericht, 12-13, 137-142, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin.
- Keskitalo, E. C. H. (2010): Developing adaptation policy and practice in Europe: Multi-level governance of climate change, Springer.
- Keskitalo, E. C. H. (2009): Governance in vulnerability assessment: the role of globalising decision-making networks in determining local vulnerability and adaptive capacity, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14, 185-201.
- Klein, R. J. T., Schipper, E. L. F. and Dessai, S. (2005): Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy, *Environmental Science and Policy* 8, 579-588.
- Klein, R. J. T., Nicholls, R.J. and Mimura, N. (1999): Coastal adaptation to climate change: Can the IPCC Technical Guidelines be applied? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4, 239-252.
- Klein, R. J. T and Tol, R. S. J. (1997): Adaptation to climate change: options and technologies. An overview paper, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Koch, I. C., Vogel, C. and Patel, Z. (2007): Institutional dynamics and climate change adaptation in South Africa, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, 1323-1339.
- Kopytko, N. and Perkins, J. (2011): Climate change, nuclear power, and the adaptation-mitigation dilemma, *Energy Policy* 39, 318-333.
- Kreibich, H., Thieken, A. H., Petrow, T., Müller, M. and Merz, B. (2005): Flood loss reduction of private households due to building precautionary measures – lessons learned from the Elbe flood in August 2002, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5, 117-126.
- Lau, M. A. (2006): Assessing the Institutional Dimension of Alternative Organisational Frameworks, Working Paper FNU-94, Research Unit Sustainability and Global Change, Center for Marine and Atmospheric Research, University of Hamburg.
- Lecocq, F. and Shalizi, Z. (2007): Balancing expenditures on mitigation of and adaptation to climate change: an exploration of issues relevant to developing countries, Policy Research Working Paper 4299, The World Bank Social Development Department & Development Economics World Development Report Team.
- Lee, S. and Thornsbury, S. (2010): The effect of market structure on adaptation to climate change in agriculture, Contributed paper at the IATRC Public Trade Policy Research and Analysis Symposium 'Climate Change in World Agriculture: Mitigation, Adaptation, Trade and Food Security' Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany, June 27-29, 2010.
- Lempert, R. J. and Schlesinger, M. E. (2000): Robust strategies for abating climate change, *Climatic Change* 45, 387-401.
- Libecap, G. D. (2011): Institutional path dependence in climate adaptation: Coman's some unsettled problems of irrigation, *American Economic Review* 101, 64-80.

- Margulis, S. et al. (2008): The economics of adaptation to climate change, World Bank Methodology Report,
<http://siteresources.worldbank.org/INTCC/Resources/MethodologyReport0209.pdf>.
- Marrouch, W. and Chaudhuri, A. R. (2011): International environmental agreements in the presence of adaptation, CentER Discussion Paper No. 2011-023, Tilburg University, The Netherlands.
- McKittrick, R. and Collinge, R. A. (2002): The existence and uniqueness of optimal pollution policy in the presence of victim defense measures, *Journal of Environmental Economics and Management* 44, 106-122.
- Measham, T., Preston, B. L., Smith, T. F., Brooke, C., Gorddard, R., Withycombe, G. and Morrison, C. (2011): Adapting to climate change through local municipal planning: barriers and challenges. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 16, 889-909.
- Mendelsohn, R. (2000): Efficient adaptation to climate change, *Climatic Change* 45, 583-600.
- Mercer, J. (2010): Disaster risk reduction or climate change adaptation: Are we reinventing the wheel? *Journal of International Development* 22, 247-264.
- Meyer, V., Priest, S., and Kuhlicke, C. (2011a): Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River, *Natural Hazards* (in press).
- Meyer, V., Kaltofen, M., Ansmann, T., Dietrich, O, Eschenbach, A. von, Grossmann, M., Hansjürgens, B., Koch, H., Lange, M., Lienhoop, N., Müller, F., Mutafoglu, K. Pavlik, D. und Vögele, S. (2011b): GLOWA-Elbe Handlungsoptionen für den Bereich Wassermengenmanagement. Bericht zum Projekt „Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbeinzugsgebiet (GLOWA-Elbe)“, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig (mimeo).
- Michaelowa, A. (2001): Mitigation versus adaptation: the political economy of competition between climate policy strategies and the consequences for developing countries, HWWA Discussion Paper 153, Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv (HWWA).
- Moser, S. C. and Ekstrom, J. A., 2010. A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 22026-22031.
- Musango, J. K. and Peter, C. (2007): A Bayesian approach towards facilitating climate change adaptation research on the South African agricultural sector, *Agrekon* 46, 245-259.
- Neumann, J. E. and Price, J. C. (2009): Adapting to climate change - the public policy response - public infrastructure, RFF Report, Resources for the Future (RFF), Washington, D. C.
- OECD (2009): Integrating climate change adaptation into development co-operation. Policy guidance, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris.

- OECD (2008): Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris.
- Osberghaus, D. and Reif, C. (2010): Total costs and budgetary effects of adaptation to climate change: an assessment for the European Union, ZEW Discussion Paper No. 10-046, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.
- Osberghaus, D., Dannenberg, A., Mennel, T. and Sturm, B. (2010a): The role of the government in adaptation to climate change, Environment and Planning C: Government and Policy 28, 834-850.
- Osberghaus, D., Finkerl, E. and Pohl, M. (2010b): Individual adaptation to climate change: the role of information and perceived risk, ZEW Discussion Paper No. 10-061, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.
- Paavola, J. (2004): Livelihoods, vulnerability and adaptation to climate change in the Morogoro Region, Tanzania, CSERGE Working Paper EDM 04-12, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE), Norwich, UK.
- Paavola, J. and Adger, W. N. (2002): Justice and Adaptation to Climate Change, Working Paper No. 23, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK.
- Pahl-Wostl, C. (2007): Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change, Water Resources Management 21, 49-62.
- Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Fankhauser, S., Hope, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterwaite, D., Tiffin, R. and Wheeler, T. (2009): Assessing the costs of adaptation to climate change: A review of the UNFCCC and other recent estimates, International Institute for Environment and Development (IIED), London.
- Patt, A. G., Vuuren, D. P. van, Berkhout, F., Aaheim, A., Hof, A. F., Isaac, M., and Mechler, R. (2010): Adaptation in integrated assessment modeling: where do we stand? Climatic Change 99, 383-402.
- Patt, A. G. and Siebenhüner, B. (2005): Agent based modeling and adaptation to climate change, In: DIW Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung 74. Jahrgang, Heft 2/2005, 310-320: Die ökonomischen Kosten des Klimawandels und der Klimapolitik, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin.
- PEER (2009): Europe adapts to climate change. Comparing national adaptation strategies. PEER Report No 1. Partnership for European Environmental Research (PEER), Helsinki, Finland.
- Pethig, R. (2011): Emissionsvermeidung oder Anpassung an den Klimawandel: Klimapolitischer Handlungsbedarf und strategisches Handeln, ifo Schnelldienst 5/2011, 20-23, Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München (ifo).
- Pielke, R., Prins, G., Rayner, S. and Sarewitz, D. (2007): Lifting the taboo on adaptation, Nature 450, 597-598.

- Pittel, K. and Rübbelke, D. (2011): International climate finance and its influence on fairness and policy, BC3 Working Paper Series 2011-04, Basque Centre for Climate Change (BC3), Bilbao, Spain.
- Popp, A. Domptail, S., Blaum, N. and Jeltsch, F. (2009): Landuse experience does qualify for adaptation to climate change, *Ecological Modelling* 220, 694-702.
- PRC (2009): The economics of climate change adaptation in EU coastal areas. Final Report for the European Commission, Policy Research Corporation (PRC), Brussels.
- Preston, B. L., Westaway, R. M. and Yuen, E. J. (2010): Climate adaptation planning in practice: an evaluation of adaptation plans from three developed nations, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 16, 407-438.
- Prettenthaler, F., Strametz, S., Töglhofer, C. and Türk, A. (2006): Anpassungsstrategien gegen Trockenheit: Bewertung ökonomisch-finanzieller versus technischer Ansätze des Risikomanagements, *Wissenschaftlicher Bericht Nr. 8-2006*, Wegener Center, Graz.
- Prowse, M. and Snilstveit, B. (2010): Impact evaluation and interventions to address climate change: a scoping study, Working Paper 7, International Initiative for Impact Evaluation, New Delhi, India.
- Przylski, V. and Hallegatte, S. (2010): Climate change adaptation, development and international financial support: lessons from EU pre-accession and solidarity funds. *Nota di Lavoro* 137.2010, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy.
- Reilly, J. and Schimmelpfennig, D. (2000): Irreversibility, uncertainty and learning: Portraits of adaptation to long-term climate change, *Climatic Change* 45, 253-278.
- Rosenzweig, C. and Tubiello, F. N. (2007): Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12, 855-873.
- Running, S. W. and Mills, L. S. (2009): Terrestrial ecosystem adaptation, RFF Report, Resources for the Future, Washington, D. C.
- Rynkikiewicz, C. and Chetaille, A. (2006) Poverty reduction, climate change mitigation and adaptation : the need for intermediate public policies harnessing technology appropriation, SPRU 40th Anniversary Conference - The Future of Science, Technology and Innovation Policy, September 11 - 13, 2006.
- Samuelson, P. (1954): The pure theory of public expenditures, *Review of Economics and Statistics* 36, 387-389.
- Schwarze, R., Gawel, E. and Heuson, C. (2012): The double struggle of climate policy – insights for the governance of mitigation and adaptation from an insurance perspective, Working Paper accepted for the international symposium “The Governance of Adaptation”, Amsterdam (March 22-23), Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig.
- Schwarze, R. (2008): Financial risks of natural hazards: Markets and the role of the state, *Schmollers Jahrbuch (Journal of Applied Social Science Studies)* 128, 545–548.

- Schwarze, R. and Wagner, G. (2007): The political economy of natural disaster insurance: lessons from the failure of a proposed compulsory insurance scheme in Germany, *European Environment: the journal of European environmental policy* 17, 403-415.
- Seo, S. N. (2011): An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America, *Ecological Economics* 70, 825-834.
- Settle, C., Shogren, J. F., and Kane, S. (2007): Assessing mitigation-adaptation scenarios for reducing catastrophic climate risk, *Climatic Change* 83, 443-456.
- Sharma, V. and Sharma, P. (2010): A framework for monitoring and evaluation of climate change adaptation interventions, Discussion Paper 5, Sambodhi Research & Communications, New Delhi, India.
- Shepherd, J. G. and Working Group on Geoengineering the Climate (2009): *Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty*. The Royal Society (RS), RS Policy Document 10/29, London, UK.
- Smit, B., Burton, I. Klein, R. J. T. and Wandel, J. (2000): An anatomy of adaptation to climate change and variability, *Climatic Change* 45, 223-251.
- Smit, B., Burton, I. Klein, R. J. T. and Street, R. (1999): The science of adaptation: a framework for assessment, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4, 199-213.
- Smith, J. B. (1997): Setting priorities for adapting to climate change, *Global Environmental Change* 7, 251-264.
- Smith, J. B. and Lenhart. S. S. (1996): Climate change adaptation policy options, *Climate Research* 6, 193-201.
- Stewart, R. B., Kingsbury, B. and Rudyk, B. (2009): *Climate finance. Regulatory and funding strategies for climate change and global development*, New York University Press, New York and London.
- Thomas, D. S. G., Twyman, C., Osbahr, H. and Hewitson, B. (2007): Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa, *Climatic Change* 83, 301-322.
- Tol, R. S. J. (2008): Why worry about climate change? A research agenda, *Environmental values* 17, 437-470.
- Tol, R. S. J. (2007): The double trade-off between adaptation and mitigation for sea level rise: an application of FUND, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12, 741-753.
- Tol, R. S. J. (2005) Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods, *Environmental Science and Policy* 8, 572-578.
- Tol, R. S. J., Fankhauser, S. and Smith, J. B. (1998): The scope for adaptation to climate change: what can we learn from the impact literature? *Global Environmental Change* 8, 109-123.
- Tol, R. S. J. (1996): A systems view of weather disasters, in Downing, T. E. Olsthoorn, A. A. and Tol, R. S. J. (eds.): *Climate change and extreme events-altered risk*, Socio-economic

- impacts and policy responses, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit and Environmental Change Unit, University of Oxford, Amsterdam and Oxford.
- Tröltzsch, J., Görlach, B., Lückge, H., Peter, M. und Sartorius, C. (2011): Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel – Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, Climatic Change 19/2011, Umweltbundesamt, Berlin.
- Tulkens, H. and Steenberghe, V. van (2009): Mitigation, adaptation, suffering: in search of the right mix in the face of climate change, Nota di Lavoro 79.2009, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan.
- UNDP (2005): Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies and measures. United Nations Development Programme. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- UNEP (1998): Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies. Version 2.0. United Nations Environmental Programme, Nairobi.
- UNFCCC (2008): Investment and Financial Flows to Address Climate Change. An Update, Technical Paper 7/2008, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Climate Change Secretariat, Bonn.
<http://unfccc.int/resource/docs/2008/tp/07.pdf>.
- UNFCCC (2007): Investment and Financial Flows to Address Climate Change, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Climate Change Secretariat, Bonn, http://unfccc.int/resource/docs/publications/financial_flows.pdf.
- UKCIP (2003): Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UKCIP Technical Report, United Kingdom Climate Impacts Programme, Oxford, UK.
- USCSP (1994): Guidance for vulnerability and adaptation assessments. Version 1.0. U.S. Country Studies Program, Washington, D. C.
- Vignola, R., Locatelli, B., Martinez, C. and Imbach, P. (2009): Ecosystem-based adaptation to climate change: what role for policy-makers, society and scientists? Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 14, 691-696.
- Wheeler, D. (2011): Quantifying vulnerability to climate change: implications for adaptation assistance, Working Paper 240, Center for Global Development, Washington, D. C, USA.
- WHO (2003): Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. Number 1 in Health and Global Environmental Change Series. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- World Bank (2010a): Economics of adaptation to climate change. Synthesis Report, The World Bank, Washington, D. C, USA.
- World Bank (2010b): Economics of adaptation to climate change. Social Synthesis Report, The World Bank, Washington, D. C, USA.
- World Bank (2010c): The cost to developing countries of adapting to climate change. New Methods and Estimates, The World Bank, Washington, DC, USA.

- Wreford, A., Moran, D. and Adger, N. (2009): Climate change and agriculture. Impacts, adaptation and mitigation, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris.
- Wright, E. L., and Erickson, J. D. (2003): Climate variability, economic adaptation, and investment timing, International Journal of Global Environmental Issues 3, 357-368.
- Yohe, G. (2001): Mitigative capacity – the mirror image of adaptive capacity on the emissions side, Climatic Change 49, 247-262.
- Zehaie, F. (2009): The timing and strategic role of self-protection, Environmental and Resource Economics 44, 337-350.