Vierteljahrshefte
zur Wirtschaftsforschung
74 (2005), 2, S. 286–309

Regionale Klimaschutzprogramme – Zur integrierten Analyse von Kosten des Klimawandels und des Klimaschutzes auf regionaler Ebene*

Von Ulrich Fahl**, Henrike Koschel***, Andreas Löschel***, Bastian Rühle** und Helmut Wolf****

Zusammenfassung: Auch wenn die im Rahmen des Kyoto-Protokolls von Deutschland eingegangene Verpflichtung zur Reduktion von Treibhausgasen nur auf der Bundesebene völker- bzw. EU-rechtlich bindend ist, sind die Bundesländer zunehmend gefordert, regionale Strategien als Antwort auf das globale Klimaproblem zu entwickeln. In diesem Beitrag wird gezeigt, welche methodischen Anforderungen an die Konzeption eines integrierten regionalen Klimaschutzprogramms aus ökonomischer Sicht zu stellen sind und welche praktischen Umsetzungsspielräume angesichts der globalen Dimension des Klimaproblems und des nationalen und internationalen klimapolitischen Rahmens auf regionaler Ebene existieren. Zunächst wird das ökonomische Entscheidungskalkül eines Bundeslandes bei der möglichst kosteneffizienten Erreichung klimapolitischer Ziele und bei der Auswahl geeigneter Anpassungsmaßnahmen gegenüber drohenden Klimaschäden erläutert. Es folgt eine Darstellung der Methodik regionaler Klimaprognosen am Beispiel Hessens bis zum Jahr 2100 sowie der regionalen Auswirkungen des Klimawandels. Erste Schadensabschätzungen für Hessen, Konzepte zur Quantifizierung und Bewertung von Klimaschäden sowie Kategorien und Kosten von Anpassungsmaßnahmen werden aufgezeigt. Einen weiteren Schwerpunkt stellt die Identifizierung regional verfügbarer CO_2-Vermeidungsmaßnahmen und deren Kosten dar. Bei der klimapolitischen Zielfestlegung sollte die hohe Mobilität der Produktionsfaktoren über die Landesgrenzen hinweg berücksichtigt werden. Die Korridore für klimapolitische Maßnahmen sind bei der Einführung regionaler Klimaschutzprogramme entsprechend moderat und flexibel zu gestalten.

Summary: Since the Kyoto protocol has come into force, Germany's federal states are increasingly confronted with the task of undertaking own climate protection measures. This paper introduces the conception of integrated regional climate protection programmes from an economic point of view and points out the scope for their practical implementation at regional level. At first, we explain the federal state's decision problem with respect to a cost-efficient realisation of climate policy targets and the choice of adequate adaptation measures to reduce potential climate damages. The paper continues with an introduction of the methodology of regional climate forecasts (considering as example the development in Hessen until 2100) and with a presentation of the regional impacts of climate change. After providing preliminary estimates of climate damages in Hessen, we discuss concepts for the quantification and evaluation of climate damages as well as categories and costs of

* Unser besonderer Dank für wertvolle Diskussionen zur Ausgestaltung regionaler Klimaschutzprogramme gilt Herrn Rüdiger Schweer, Referatsleiter Klimaschutz im Hessischen Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, und Herrn Dr. Gerhard Spilok, Referatsleiter Ökologie, Forschung, Klimaschutz im Umweltministerium Baden-Württemberg. Die Verantwortung für die Inhalte des Beitrages liegt jedoch ausschließlich bei den Autoren.

** Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, E-Mail: *UF@ier.uni-stuttgart.de*, *BR@ier.uni-stuttgart.de*

*** Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim, E-Mail: *koschel@zew.de*, *loeschel@zew.de*

**** Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Wiesbaden, E-Mail: *h.wolf@hlug.de*

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

adaptation measures. A further main focus is the identification of regionally available CO_2-emission reduction measures and their costs.

1 Einführende Fragen zur Gestaltung regionaler Klimapolitik

Auch wenn die im Rahmen des Kyoto-Protokolls von Deutschland eingegangene Verpflichtung zur Reduktion von Treibhausgasen nur auf der Bundesebene völker- bzw. EU-rechtlich bindend ist, sind die Bundesländer zunehmend gefordert, regionale Strategien als Antwort auf das globale Klimaproblem zu entwickeln. Mit dem Klimaschutzprogramm Baden-Württemberg (Blesl et al. 2004b) und dem Integrierten Klimaschutzprogramm Hessen (InKlim) 2012[1] liegen nun bereits erste Erfahrungen in der Entwicklung integrierter regionaler Klimaschutzprogramme vor.

In diesem Beitrag wird aufgezeigt, welche methodischen Anforderungen an die Konzeption eines integrierten regionalen Klimaschutzprogramms aus ökonomischer Sicht zu stellen sind und welche praktischen Umsetzungsspielräume angesichts der globalen Dimension des Klimaproblems und des nationalen und internationalen klimapolitischen Rahmens auf regionaler Ebene existieren. Hierzu müssen in einem integrierten Ansatz regional verfügbare Vermeidungs- sowie Anpassungsmaßnahmen in Folge des Klimawandels mit den jeweiligen Potenzialen unter ökonomischen Gesichtspunkten analysiert und priorisiert werden. Zudem ist eine möglichst kosteneffiziente Instrumentierung der ausgewählten Maßnahmen erforderlich. Diese ist Voraussetzung dafür, dass negative (positive) gesamtwirtschaftliche Nettoeffekte des Klimaschutzes (etwa auf die Beschäftigung) minimiert (maximiert) werden.

In dem Zusammenhang gilt es auch darauf hinzuweisen, dass es in der Praxis neben den primären klimapolitischen Zielen (Emissionsreduktion, Vermeidung von Klimaschäden) weitere wirtschafts-, verkehrs- oder energiepolitische Ziele gibt, welche für die Ausgestaltung regionaler Ansätze maßgeblich sind. Hierzu gehören beispielsweise die Ziele Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und Standortqualität eines Bundeslandes, Förderung ausgewählter Technologien oder Ausbau der Versorgungssicherheit.

Im weiteren Verlauf des Kapitels 1 werden zwei aus ökonomischer Sicht zentrale Fragen bei der Ausgestaltung regionaler Klimapolitik behandelt: Erstens, nach welchen methodischen Ansätzen lassen sich angesichts stark unterschiedlicher Emissionsmuster sowie divergierender regional- und energiewirtschaftlicher Strukturen in den einzelnen Bundesländern die bundesweit vorgegebenen Minderungsziele sinnvoll auf die einzelnen Bundesländer aufteilen? Diese Frage ist zwar eher theoretischer Natur, ihre Diskussion ermöglicht jedoch eine gewisse Orientierung hinsichtlich des Umfangs der zu ergreifenden Minderungsmaßnahmen auf Landesebene. Zweitens, wie lautet, unter Berücksichtigung der dem Bundesland zur Verfügung stehenden Optionen, das ökonomische Entscheidungskalkül bei der möglichst effizienten Erreichung dieser Ziele und bei der Auswahl geeigneter Anpassungsmaßnahmen gegenüber drohenden Klimaschäden? Kapitel 2 erläutert die Methodik regionaler Klimaprognosen am Beispiel der Entwicklung in Hessen bis zum Jahr 2100. Die regionalen Auswirkungen des Klimawandels, einschließlich der relevanten

1 Siehe *www.hlug.de/medien/luft/inklim*

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Schadenskategorien, ersten Abschätzungen, Konzepten zur Quantifizierung und Bewertung von Klimaschäden sowie Typen und Kosten von Anpassungsmaßnahmen, werden in Kapitel 3 diskutiert. Kapitel 4 identifiziert regional verfügbare Vermeidungsmaßnahmen und deren Kosten. Abschließend werden in Kapitel 5 die Chancen regionaler Klimapolitik im Standortwettbewerb erörtert.

1.1 Ableitung regionaler Minderungsziele

Theoretisch sind zur Ableitung von Minderungszielen für ein einzelnes Bundesland verschiedene Ansätze denkbar, welche eine große Spannbreite möglicher Reduktionsvorgaben implizieren (Schmid und Schaumann 1998). Der einfachste Ansatz besteht darin, das aktuelle bundesweite prozentuale Minderungsziel für den Zeitraum 1990–2008/2012 auf die CO_2-Emissionen eines Bundeslandes zu übertragen, z.B. das gesamtdeutsche Treibhausgas-(THG-)Reduktionsziel von 21 % gegenüber 1990, aus dem sich eine erforderliche CO_2-Minderung von ca. 17 % ergibt.

Problematisch an diesem Ansatz ist jedoch der Bezug auf das Basisjahr 1990, woraus unverhältnismäßig hohe Minderungsanforderungen für die alten Bundesländer resultieren. So haben in den Jahren nach der Wiedervereinigung vor allem die neuen Bundesländer (Fahl et al. 2004b) durch Restrukturierungen zum Rückgang der gesamtdeutschen Emissionen beigetragen (vgl. Tabelle 1).

Entsprechende Minderungspotenziale stehen den alten Bundesländern nicht zur Verfügung. Alternativ bietet es sich daher an, statt dem Basisjahr 1990 eine aktuellere Referenzperiode, zum Beispiel 2000–2002, zu wählen. Baden-Württemberg müsste in diesem Fall seine energiebedingten CO_2-Emissionen gegenüber 1990 nicht reduzieren, sondern könnte diese sogar um rund 2 % ausweiten.

Will man auch noch berücksichtigen, dass für einzelne Bundesländer (z.B. Baden-Württemberg (Blesl et al. 2004b, UVM BaWü 2001), Bayern (Blesl et al. 2001), Hessen und Niedersachsen (Fahl und Schaumann 1996)) aufgrund des Kernenergieausstiegs die Realisierung künftiger Emissionsminderungen erheblich erschwert wird, sollte eine bundeslandspezifische Basisentwicklung als Referenzszenario verwendet werden. Für Baden-Württemberg würde dieser Ansatz einen Emissionsanstieg von etwa 6 % gegenüber 1990 zulassen (Blesl et al. 2004a).

In einem weiteren Ansatz kann der Tatsache Rechnung getragen werden, dass durch die Verteilung der Emissionsberechtigungen gemäß dem Nationalen Allokationsplan (DEHST 2004) nur noch für 40 % des Emissionsbudgets eine Flexibilität hinsichtlich der Emissionshöhe für die Bundesländer bestehen. Wenn die für Deutschland für die Kyoto-Periode 2008/12 noch verbleibenden Emissionsmöglichkeiten in Höhe von 327,4 Mill. t CO_2/a zu 50 % entsprechend der Bevölkerung der Bundesländer und zu 50 % entsprechend der Wirtschaftskraft der Bundesländer im Jahr 2000 verteilt würden, könnte Baden-Württemberg rund 3 % gegenüber 1990 mehr emittieren.

Offensichtlich wirft – angesichts unterschiedlicher regionalwirtschaftlicher Faktoren – die Ableitung regionaler Klimaziele nicht unwesentliche Probleme auf. Hinzu kommt, dass zur Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Effizienz des Klimaschutzes – jenseits vertei-

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Tabelle 1

Entwicklung der CO_2-Emissionen in Deutschland im Zeitraum 1990 bis 2000 nach Bundesländern

	Energiebedingte CO_2-Emissionen					Spezifische energiebedingte CO_2-Emissionen 2000		Durchschnittl. jährll. Emissionsberechti-gungen
	1990		2000		Veränderung 2000 / 1990	Bezogen auf die Bevölkerung	Bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt	2005—2007
Land	Mill. t	Anteil in %	Mill. t	Anteil in %	in %	t/Kopf	t/Mill. Euro1995	Mill. EB
Baden-Württemberg	74,4	7,6	74,9	8,8	0,8	7,1	264,5	29,3
Bayern	84,1	8,6	87,7	10,3	4,4	7,2	256,2	26,2
Berlin	26,9	2,8	23,5	2,8	-12,8	6,9	318,8	9,3
Brandenburg	81,9	8,4	60,4	7,1	-26,2	23,2	1417,6	52,7
Bremen	13,4	1,4	14,1	1,7	5,6	21,4	659,1	11,7
Hamburg	13,7	1,4	14,6	1,7	6,5	8,5	208,5	4,3
Hessen	43,3	4,5	45,6	5,3	5,2	7,5	251,3	13,8
Mecklenburg-Vorpommern	12,7	1,3	10,3	1,2	-19,1	5,8	366,7	3,6
Niedersachsen	78,7	8,1	75,5	8,9	-4,1	9,5	443,9	34,7
Nordrhein-Westfalen	298,9	30,7	293,9	34,4	-1,7	16,3	676,1	218,3
Rheinland-Pfalz	27,6	2,8	29,0	3,4	4,8	7,2	331,7	8,8
Saarland	23,4	2,4	23,4	2,7	-0,2	21,8	982,4	17,8
Sachsen	91,5	9,4	41,6	4,9	-54,6	9,4	590,3	33,2
Sachsen-Anhalt	50,9	5,2	26,3	3,1	-48,3	10,0	645,5	19,7
Schleswig-Holstein	22,8	2,3	20,4	2,4	-10,4	7,3	332,4	7,6
Thüringen	28,1	2,9	12,1	1,4	-57,0	5,0	316,7	4,1
Deutschland insgesamt	972,2	100,0	853,3	100,0	-12,2	10,4	433,2	495,0
Alte Bundesländer	680,2	70,0	679,2	79,6	-0,2	10,5	405,3	372,4
Neue Bundesländer einschl. Berlin	292,0	30,0	174,1	20,4	-40,4	10,1	593,1	122,6

Quellen: Länder-AK Energiebilanz, DEHSt, eigene Berechnungen.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

lungspolitischer Aspekte – auch die Grenzvermeidungskosten in den einzelnen Bundesländern ein wichtiges Kriterium für die Allokation von Reduktionsmaßnahmen darstellen sollten. Die marginalen Vermeidungskosten spielen daher im Verlaufe dieses Papiers und insbesondere in Kapitel 4 eine wichtige Rolle. Wie jedoch bereits zuvor angemerkt wurde, ist die Ableitung regionaler Emissionsminderungsziele für die Praxis von eher untergeordnetem Interesse – bedenkt man, dass die Bundesländer selbst keinen rechtlich-verbindlichen Emissionsreduktionsverpflichtungen unterliegen und somit ihre klimapolitischen Strategien vor allem an weiteren übergeordneten Zielen (wie z.B. Standortqualität) ausrichten.

1.2 Das Entscheidungskalkül eines Bundeslandes

Der Klimapolitik stehen zwei Optionen zur Verfügung, auf den drohenden Klimawandel zu reagieren: Vermeidungsmaßnahmen, die die in die Atmosphäre abgegebenen Netto-Treibhausgasemissionen reduzieren, und Anpassungsmaßnahmen zur Minderung regionaler und lokaler Klimaschäden. Gemäß einer globalen Kosten-Nutzen-Analyse müssten weltweit so viele Emissionsvermeidungsmaßnahmen durchgeführt werden, bis deren Grenzvermeidungskosten dem (globalen) Grenznutzen aus der Reduktion von Klimaschäden entsprechen. Letzterer ergibt sich aus dem Ausgleich von marginalen Anpassungskosten und marginalen residualen Schadenskosten. Die globale Kosten-Nutzen-Analyse weist somit auf einen Trade-off von Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen hin, den es allerdings in der klimapolitischen Praxis in dieser Weise nicht gibt. So wird über Umfang und Durchführung von Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen auf unterschiedlichen Handlungsebenen mit unterschiedlichen Akteuren und unter Anwendung verschiedener Zeitskalen entschieden (vgl. Tol 2003a).[2]

In Bezug auf die Vermeidungsmaßnahmen besteht das klimapolitische Entscheidungskalkül eines einzelnen Bundeslandes (theoretisch) darin, den eingeschlagenen Emissionsreduktionspfad möglichst kosteneffizient umzusetzen. Das heißt, es sind diejenigen Vermeidungsmaßnahmen zu wählen bzw. – angesichts der Dominanz europäischer und nationaler klimapolitischer Instrumente – zu unterstützen, die dem Land den geringsten wirtschaftlichen Schaden bzw. den größten Nutzen garantieren.

Das ökonomisch optimale Niveau der Anpassungsmaßnahmen in einem Bundesland hängt davon ab, in welchem Umfang – auf globaler Ebene – Maßnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen unternommen werden bzw. wie groß die Auswirkungen des Klimawandels auf die entsprechende Region sind. Da die eigenen Vermeidungsanstrengungen des Bundeslandes aufgrund des ubiquitären Charakters der Treibhausgase keinen Einfluss auf die von ihm zu tragenden Klimaschäden haben, bedarf es auch keinerlei Koordinierung von Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen.[3] Angesichts gegebener klimapolitischer Ziele für Deutschland (und damit indirekt auch für ein Bundesland) stellt sich die Frage nach der Quantifizierung und Monetarisierung von Klimaschäden auf Lan-

2 Über den Umfang von Vermeidungsmaßnahmen entscheiden nationale, in internationale Abkommen eingebundene Regierungen; für die Durchführung sind die entsprechenden Bundesministerien (z.B. für Energie und Finanzen) verantwortlich. Vermeidungsmaßnahmen sind zudem kurzfristig ausgerichtet mit dem Ziel, langfristig auftretende schädliche Klimafolgen zu verringern. Die Implementierung von Anpassungsmaßnahmen findet dagegen auf der Ebene lokaler und individueller Akteure statt. Auch sie sind kurzfristig ausgerichtet, aber mit dem Ziel, kurz- bis mittelfristigen Entwicklungen entgegenzusteuern (vgl. Tol 2003a).

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

desebene weniger aus der Perspektive der Kosten-Nutzen-Analyse zur Auswahl zu ergreifender Vermeidungsmaßnahmen, als vielmehr aus der Sicht der Anpassungsmaßnahmen: Wie hoch sind die (bei Umsetzung des bestehenden Emissionsreduktionsregimes) zu erwartenden Klimaschäden in einzelnen Bereichen und gibt es Anpassungsmaßnahmen, die zu geringeren Kosten führen als die Hinnahme der ansonsten zu erwartenden Schäden?

Zusammenfassend lassen sich zwei Entscheidungskalküle für ein Bundesland identifizieren: erstens, Minimierung der gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten für ein vorgegebenes Emissionsziel und zweitens, Minimierung der Summe aus Anpassungs- und Klimaschadenskosten.

2 Regionale Klimaprognosen

Die Erstellung eines integrierten regionalen Klimaschutzprogramms erfordert in einem ersten Schritt die Abschätzung des künftigen regionalen Klimawandels. Im Rahmen des Projekts InKlim 2012 wurde mit Hilfe eines statistischen Downscaling-Verfahrens (Enke und Spekat 1997, Enke et al. 2005a, Enke et al. 2005b) eine regionale Klimaprognose für das Bundesland Hessen erstellt. Grundlage war eine Modellrechnung des Max-Planck-Instituts für Meteorologie für das IPCC B2-Szenario (IPCC 2000).[4] Vergleichbare Prognosen liegen auch für die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Sachsen und Thüringen vor (siehe z.B. Wehry und Enke 2001, Enke 2003a,b, Enke 2004a,b).

In Hessen wurde das Modell anhand der Daten von rund 60 Klima- und über 500 Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes validiert. Als Vergleichszeitraum diente die Periode 1981 bis 2000. Der Prognosezeitraum erstreckt sich von 2011 bis 2100 und ist in Dekaden aufgeteilt. Jede Dekade wird dabei aus Gründen der Repräsentativität, beschrieben durch 10 Simulationen über einen Zeitraum von 20 Jahren mit täglichen Daten für alle Klima- und Niederschlagsstationen.

Die Modellläufe zeigen beispielsweise, dass die Temperatur innerhalb des Prognosezeitraums zunimmt – die durchschnittliche Maximaltemperatur steigt dabei am stärksten, die durchschnittliche Minimaltemperatur am wenigsten. Dabei geht die Erwärmung nicht gleichförmig vonstatten, sondern fluktuierend. In einigen Dekaden ist ein extrem starker Temperaturanstieg zu verzeichnen, in anderen hingegen eine Stagnation oder gar ein leichter Rückgang. Im Winter ist der Temperaturanstieg am stärksten, gefolgt von Sommer, Herbst und Frühjahr. Die Temperaturzunahme ist im Nordosten Hessens gegenüber dem Südwesten geringfügig höher, auf den Bergen etwas geringer als im Landesmittel.

Die Entwicklung der mittleren Tagestemperatur ist in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Temperatur-Extremwerte werden sich im Sommer nicht stark erhöhen, jedoch ist mit einer größeren Anzahl sehr heißer Tage (T_{max} > 35 °C) zu rechnen, und die Häufigkeit sowie die Dauer von Hitzeperioden werden steigen.

3 Jenseits des streng ökonomischen Kalküls einer optimalen Ressourcenallokation können jedoch in einer politökonomischen Analyse sehr wohl Überlegungen zu einer optimalen Kombination von Emissionsreduktionspolitik (Gewinn von Wählerstimmen z.B. bei jungen Wählern und Familien) und Anpassungsmaßnahmen (Gewinn von Wählerstimmen z.B. in von Hochwasser bedrohten Regionen) durchgeführt werden.

4 ECHAM4-OPYC3 AOGCM (Atmosphere-Ocean-General-Circulation-Model).

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Beim Niederschlag zeigt sich in den Jahreszeiten Frühjahr, Sommer und Herbst dagegen keine signifikante Änderung, jedoch ist insgesamt ein abnehmender Trend erkennbar. Gleichzeitig wird aber – besonders im Sommer – eine größere Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen erwartet. Der Winter wird bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts deutlich feuchter, danach wieder trockener. Am Ende des Prognosezeitraumes liegen die Winterniederschläge wieder auf dem Niveau der Vergleichsperiode (1981–2000). Eine Prognose zur räumlichen Niederschlagsverteilung ist für den Sommer schwierig. Im Winter zeigt sich eine Tendenz zu stärkeren Niederschlägen in den Staulagen der Mittelgebirge bei den vorherrschenden westlichen Winden.

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass die hier angewendete statistische Methode auf einer so genannten objektiven Wetterlagen-Klassifikation beruht und, besonders in orographisch geprägten Regionen Deutschlands, große Vorteile gegenüber anderen statistischen Verfahren aufweist (Bartels 2004). Ein Schwachpunkt statistischer Prognoseverfahren besteht jedoch in der Extremwertprognose: Extreme werden durch eine größere Häufung von bestimmten Wetterlagen, nicht aber durch neue Wetterlagen erzeugt. Es ist jedoch zu erwarten, dass Extremereignisse sowohl in ihrer Intensität als auch in ihrer Häufigkeit zunehmen, und zwar umso mehr, je stärker sich die Verteilung der Klimaparameter verändert (siehe z. B. Schär et al. 2004). Dies hat entsprechende Folgen für die Folgekostenabschätzungen bei Extremereignissen (Dürren, Starkniederschläge, Hagel, Stürme).

3 Regionale Auswirkungen des Klimawandels

Im Rahmen des InKlim-Projekts werden die Auswirkungen eines veränderten Klimas in Hessen in den Bereichen Forst-, Land- und Wasserwirtschaft untersucht. Grundlage hierfür ist die durchgeführte Klimaprognose (vgl. Kapitel 2). Im Folgenden werden für Hes-

Tabelle 2

Entwicklung der mittleren Tagesmaximum-, -mittel- und -minimumtemperatur

In °C für die Jahreszeiten und das Jahr über den Prognosezeitraum

	ΔT	T	ΔT	T	ΔT	T	ΔT	T	ΔT	T
Maximum	**Frühjahr**		**Sommer**		**Herbst**		**Winter**		**Jahr**	
1981-2000		13,2		22		12,7		3,7		12,9
2011-2020	1,1	14,3	1,4	23,4	0,7	13,4	2,1	5,8	1,3	14,2
2091-2100	2,1	15,3	3,4	25,4	2,9	15,6	4,6	8,3	3,3	16,2
Mittel	**Frühjahr**		**Sommer**		**Herbst**		**Winter**		**Jahr**	
1981-2000		8,4		16,7		8,8		0,9		8,9
2011-2020	0,9	9,3	1,1	17,8	0,8	9,6	2,1	3	1,2	10,1
2091-2100	1,8	10,2	2,9	19,6	2,3	11,1	3,9	4,8	2,7	11,6
Minimum	**Frühjahr**		**Sommer**		**Herbst**		**Winter**		**Jahr**	
1981-2000		4		11,7		5,5		-1,7		4,8
2011-2020	0,7	4,7	0,8	12,5	0,9	6,4	2,1	0,4	1,1	5,9
2091-2100	1,2	5,2	2,1	13,8	2	7,5	3,6	1,9	2,2	7

ΔT = Änderung im Vergleich zum Zeitraum 1981 bis 2000.

Quelle: Enke (2003c, 2004c).

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

sen relevant erscheinende Schadenskategorien dargestellt (vgl. Pearce et al. 1995:189ff., Tol 2002a,b) und erste Ergebnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels vorgestellt. Anschließend werden Konzepte zur Schadensbewertung und Anpassungsmaßnahmen erläutert.

3.1 Auswirkungen des Klimawandels in Hessen

3.1.1 Wasserwirtschaft: Grundwasser und Oberflächengewässer

Durch Klimawandel bedingte Änderungen des Niederschlagsverhaltens und der Verdunstung wirken sich in Hessen aus auf

- die Grundwasserneubildung und
- das Abfluss- und Hochwasserregime.

Zudem gibt es potenzielle Auswirkungen auf die Qualität des Grundwassers und der Oberflächengewässer in Hessen, z.B. im Hinblick auf den Eintrag diffuser Schadstoffe (Brahmer und Berthold 2004):

- Beeinträchtigung der Gewässergüte durch geringere Durchflüsse (dies kann zur Erhöhung der Vermeidungskosten im Bereich Abwasserklärung führen; Verschlechterung des biologischen Gewässerzustandes),
- geringere Wasserqualität aufgrund einer temperaturbedingten Abnahme des Sauerstoffgehalts im Wasser, höhere Eutrophierungsgefahr, höhere Wasserverschmutzung in Seen durch verstärktes Algenwachstum,
- höhere Wasserverschmutzung in Seen durch verstärktes Algenwachstum und
- Veränderung im Austragsverhalten von im Sickerwasser gelösten Inhaltsstoffen mit Beeinträchtigung der Grundwasserqualität; bei höherer Grundwasserneubildung besteht die Gefahr einer Auswaschung von Schadstoffen (z.B. Nitratauswaschung in Landwirtschaft, Durchbruch von Versauerungsfronten unter Wald).

Aus den Untersuchungen zu den Auswirkungen auf hessische Flusssysteme auf Basis der Klimaprognose bis 2050 ist generell eine Verlagerung der Abflüsse aus dem Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr zu erkennen. Bei den Hochwasserabflüssen ist eine Verstärkung der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse für die Wintermonate abzusehen, wobei auch die höchsten Tagesabflüsse deutlich ansteigen. Quantitative Aussagen zu den erwarteten Hochwasserscheiteln sind nicht möglich, hierzu sind zeitlich wesentlich höher aufgelöste Niederschlagsdaten erforderlich als die derzeit vorliegenden Tagessummen. Somit kann aus den Ergebnissen geschlossen werden, dass die Gefahr und das Ausmaß der Winterhochwasser zunehmen wird und im Sommer und Frühherbst Probleme mit extremen Niedrigwasserständen zu erwarten sind.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Neben der Gefahr zunehmender Hochwasserereignisse besteht somit die Problematik möglicher Dürreperioden. Diese haben Auswirkungen auf die Niedrigwasserabflüsse, wodurch Folgen für die Ökologie, die Gewässergüte, die Energieversorgung z.B. durch die erforderliche Reduktion der Kraftwerksleistung wegen der Gefahr zu starker Erwärmung der Gewässer, den Schiffsverkehr sowie die Trinkwasserversorgung und damit zusammenhängende Fragen der Grundwasser- und Speicherbewirtschaftung entstehen können (vgl. Disse 2003).

3.1.2 Landwirtschaft

Klimawandel schädigt bzw. begünstigt den landwirtschaftlichen Sektor je nach regionaler Betroffenheit. Die möglichen negativen Auswirkungen für Hessen bestehen in Ertragsrückgängen aufgrund von (i) Extremereignissen wie Dürre oder starken Regenfällen, (ii) erhöhter Evapotranspiration durch höhere Temperaturen in Verbindung mit (iii) in der Wachstumsperiode reduzierten Niederschlägen (Priess et al. 2004) sowie (iv) der größeren interannuellen Temperaturvariabilität (Schär et al. 2004).

Die durch den Klimawandel möglichen positiven Effekte im landwirtschaftlichen Bereich bestehen in Hessen in einer verbesserten Ertragslage durch Erhöhung der Pflanzenmasseproduktion infolge einer klimabedingten Verlängerung der Wachstumsperiode, höheren Temperaturen in dieser Zeit sowie durch höhere atmosphärische CO_2-Konzentration (Priess et al. 2004, Grünhage und Streitfert 2004).

Für die Landwirtschaft sollen im Rahmen von Inklim 2012 die unter veränderten klimatischen Bedingungen zu erwartenden Ertragsänderungen für die wichtigsten hessischen Feldfrüchte sowie die Änderung der Nettoprimärproduktion des Grünlandes ermittelt werden. Das verwendete Rechenmodell DayCent (Kelly et al. 2000, Parton et al. 2001) wurde für solche Anwendungen angepasst. Die Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf die Pflanzenphänologie in Hessen wird Aufschluss geben, wie sich die Wachstumsphasen im Jahresverlauf verschieben. Damit sind Rückschlüsse auf die Verlagerung der Erntezeitpunkte, Verlängerung der Vegetationsperiode sowie Gefahren durch Spätfröste möglich. Ebenfalls durch Auswertung phänologischer Daten sollen die Auswirkung des Klimawandels für die landwirtschaftlichen Sonderkulturen Obst- und Weinbau ermittelt werden. Dies ist eine Grundlage zur Abschätzung des Ertrags und der Verlagerung des Erntezeitpunktes beziehungsweise der Lese.

3.1.3 Forstwirtschaft

Ebenso wie im landwirtschaftlichen Sektor wird die Forstwirtschaft vom Klimawandel in einigen Regionen begünstigt, in anderen Regionen dagegen geschädigt. Negative Effekte entstehen in Hessen beispielsweise durch

- Vitalitäts- und Mortalitätsverluste sowie Zuwachseinbußen der Waldbestände durch Trockenheit,
- erhöhten Kalamitätsholzanfall durch Stürme und Schadorganismen,

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

- vermehrten Ausfall von Forstkulturen und deswegen notwendiger zusätzlicher Kulturmaßnahmen,

- Veränderung der Stoffkreisläufe und des Wasserhaushalts in Böden sowie erhöhter Erosionsgefahr und

- Strukturveränderungen des Landschaftselements Wald mit Folgen für den Wärme- und Wasserhaushalt der Landschaft und des besiedelten Raums, für die Biodiversität von Tieren und Pflanzen sowie für den Bodenschutz (siehe Paar 2004, Eichhorn 2004).

Als erste Maßnahme wird in der hessischen Forstwirtschaft eine Standorteignungskarte angefertigt, welche die Veränderung der Eignung verschiedener Forststandorte für die üblichen Baumarten unter den Bedingungen des Klimawandels zeigt. Dies kann als Anleitung zum erforderlichen Waldumbau verstanden werden.

3.2 Konzepte zur Quantifizierung und Bewertung von Klimaschäden

Die Monetarisierung von Umweltschäden setzt voraus, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen einer Umweltbelastung und dem Schaden existiert und dass die Schäden quantifiziert werden können. Die Quantifizierung von Klimaschäden bereitet spezielle Probleme, z.B. weil erhebliche Unsicherheiten über das Ausmaß und den Verlauf der Klimaerwärmung existieren, die Kenntnisse über lokale und regionale Auswirkung begrenzt sind, unvorhersehbare Katastrophenereignisse nicht modellierbar sind oder Unsicherheiten bzgl. Anpassungsmaßnahmen bestehen. Zudem gibt es zahlreiche Unsicherheiten bei der ökonomischen Bewertung, z.B. hinsichtlich der gewählten Diskontierungsrate oder des gewählten Bewertungsansatzes (siehe hierzu Downing und Watkiss 2003, Defra 2003).[5]

Die wichtigsten Methoden zur Schadenskostenermittlung sind (siehe Krewitt 2002):

- *Direkte Erfassung über Marktpreise*: Monetäre Werte für Schäden können vereinzelt als Marktpreise ermittelt werden, z.B. bei Einkommensverlusten in der Land- und Forstwirtschaft.

- *Ermittlung/Abfrage von Zahlungsbereitschaften/Präferenzen (direkt oder indirekt):* Dort, wo keine Marktpreise zur Verfügung stehen (bei nichtmarktlichen Klimaauswirkungen wie z.B. dem Verlust an Biodiversität), müssen Methoden der Wohlfahrtsökonomik herangezogen werden. Hierbei wird der monetäre Wert eines Klimaschadens daran gemessen, wie viel die Betroffenen zu zahlen bereit wären, wenn sich dadurch der Schaden abwenden ließe („willingness to pay“) bzw. welche Kompensation erforderlich ist, damit sie bereit sind, den zu erwartenden Schaden zu tragen („willingness to accept“). Dabei kommen entweder direkte Verfahren zur Erfassung von Zahlungsbereitschaften durch Befragungen („Contingent-valuation“-Methode) oder indirekte Ver-

5 Entsprechend groß ist die Bandbreite der in der Literatur angegebenen Schadenskosten pro Tonne Kohlenstoff. Gemäß Tol (2003b) variieren bei 88 Schätzungen aus 22 Studien die Werte zwischen US-$1666/tC und US-$7/tC.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

fahren zur Anwendung. Bei der indirekten Ermittlung wird mittels statistischer Verfahren ein Zusammenhang zwischen einem auf dem Markt gehandelten Gut und dem zu bewertenden Umweltgut hergestellt.

In einer ersten Auswertung der Folgen des extremen Hitze- und Trockenjahres 2003 wurde eine Monetarisierung der Schäden in der Forstwirtschaft für Bayern auf Basis von Marktpreisen vorgenommen (Borchert 2004). Für Bayern wurden so finanzielle Einbußen zwischen 270 und 360 Mill. Euro ermittelt. Auch wenn endgültige Aussagen zu den Folgen extremer Hitze- und Trockenjahre erst nach mehreren Jahren möglich sind, können diese Ergebnisse als erste Hinweise für zu erwartende Schäden in der Forstwirtschaft in Hessen durch den Klimawandel herangezogen werden. Für Hessen ergäben sich bei einer direkten Übertragung der Berechnungen Borcherts Schäden für ein extremes Trockenjahr von rund 135 Mill. Euro (Paar 2004). Rechnet man über die Bruttowertschöpfung, so gelangt man zu anderen Ergebnissen. Für die hessische Forstwirtschaft betrug sie im Jahr 2002 rund 137 Mill. Euro. Bei einem Zuwachsverlust von 50 % in einem extremen Trokkenjahr ergeben sich unter der Annahme des jährlichen Einschlages des Zuwachses rund 70 Mill. Euro Verlust.[6] Mit einem Verlust in der zuvor genannten Größenordnung kann in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts jährlich gerechnet werden, sofern keine Anpassungsmaßnahmen erfolgen.

3.3 Anpassungsmaßnahmen: Typen und Kosten

Anpassungsmaßnahmen werden mit dem Ziel durchgeführt, die negativen Effekte des Klimawandels zu minimieren bzw. die positiven Auswirkungen zu maximieren. Während die Literatur zu Vermeidungsmaßnahmen sehr umfangreich ist, finden Anpassungsmaßnahmen erst seit den 90er Jahren eine zunehmende Beachtung (siehe Fankhauser et al. 1999). Typischerweise wurden in Szenarioanalysen Anpassungsmaßnahmen nur implizit einbezogen und deren Kosten und Nutzen nicht explizit ausgewiesen („Aggregate-damage-cum-adaption-figure"-Ansatz). Offensichtlich führt die stärkere Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen in neueren Studien zu einem signifikanten Rückgang der berechneten sozialen Klimakosten (vgl. Mendelsohn 2003).

Fankhauser et al. (1999) klassifizieren Anpassungsmaßnahmen

- zum einen in reaktive Anpassungsmaßnahmen (z. B. Umsiedlungskosten für Bewohner ungeschützter Küstengebiete) und antizipatorische Anpassungsmaßnahmen (z. B. langfristig angelegte Küstenschutzprogramme, Forschungsprogramme zu den Folgen des Klimawandels und Informationsprogramme zur Verbreitung der Ergebnisse),

- zum anderen in autonome Anpassungsmaßnahmen (von Individuen selbst durchgeführte Maßnahmen) und geplante, strategische Maßnahmen (meist staatlich durchgeführt).

6 In Nordrhein-Westfalen liegen die von den Forstverwaltungen und dem Statistischen Landesamt erfassten jährlichen Holzmengen sogar um das Drei- bis Vierfache auseinander (Beck 2003). Die Ursache hierfür ist, ebenso wie in Hessen, nicht bekannt.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Tol et al. (1998) differenzieren bei den Anpassungskosten zwischen

- Transaktionskosten, die beim Übergang zu einem neuen Gleichgewicht anfallen (z.B. Schulungsmaßnahmen für Landwirte oder Umsiedlungskosten aus bisher ungeschützten Küstengebieten), und

- Kosten im neuen Gleichgewicht (z.B. Instandhaltungskosten von Küstenschutz-Infrastruktur).

Häufig dienen Anpassungsmaßnahmen wie Deiche oder Schutzunterkünfte der Reduktion von Klimaschäden aufgrund extremer Wetterereignisse. So stellt besonders für Europa der Küstenschutz eine kostengünstige Strategie dar, deren Nutzen die Kosten um das 20fache übersteigen kann (siehe Pearce et al. 1995: 187). Auch Fankhauser (1994) berechnet, dass in den OECD-Ländern ein 50- bis 100%iger Schutz der Küstengebiete ökonomisch sinnvoll sei. Zunehmend werden auch Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Land- oder Forstwirtschaft diskutiert (z.B. in Form eines veränderten land- oder forstwirtschaftlichen Managements). Zu den forstwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen in Hessen zählen beispielsweise: Baumartenwahl/Verjüngung, Durchforstungskonzepte/Mischregulierung, Forstschutzstrategien, Erhaltung und Förderung der Artenvielfalt und genetischen Vielfalt (siehe Positionspapier Forstwirtschaft 2004, Eichhorn 2004).

4 Regional verfügbare Vermeidungsmaßnahmen und deren Kosten

4.1 Regional verfügbare Minderungsoptionen und -potenziale

Grundsätzlich gibt es drei verschiedene Möglichkeiten, energiebedingte CO_2-Emissionen zu reduzieren: Einsparung und Substitution fossiler Energieträger sowie die Abscheidung und Verpressung von CO_2 (CO_2-Entnahme). Letztere ist zwar technisch möglich, wird jedoch in den nächsten zehn Jahren noch nicht als großtechnisch realisierbare Minderungsoption angesehen. Eine Verminderung des Energiebedarfs ist durch eine abnehmende Nachfrage nach Energiedienstleistungen oder durch Erhöhung der Wirkungsgrade bei der Energieumwandlung und -anwendung möglich. Die Minderungsmaßnahmen, die sich an einer Verringerung der CO_2-Freisetzung aus fossilen Brennstoffen orientieren, bestehen vorrangig aus der Substitution fester und flüssiger Brennstoffe durch Erdgas. Bei der Substitution fossiler durch nichtfossile Primärenergiequellen (erneuerbare Energien bzw. Kernenergie) bestehen teilweise soziale, ökonomische und infrastrukturelle Barrieren; somit sind diese Techniken stark von den inneren und äußeren Entwicklungsbedingungen des Energiesystems abhängig.

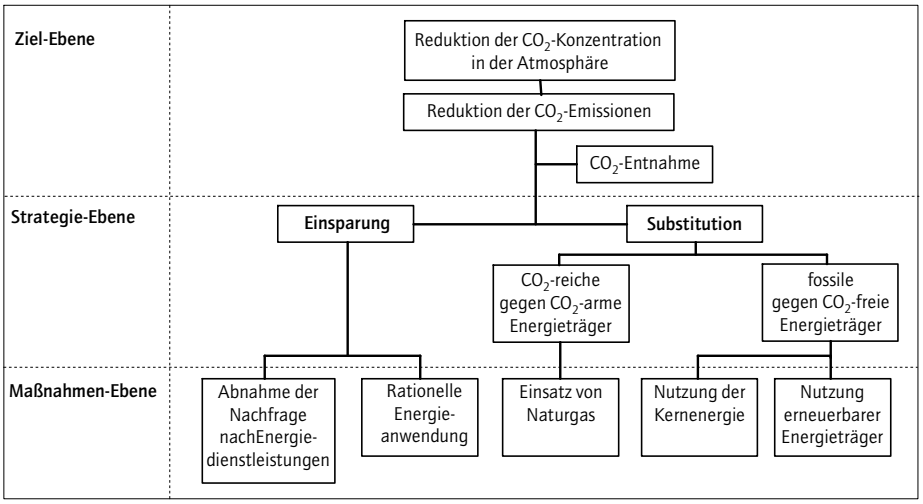
Auf der Ebene der regionalen Klimapolitik ist bei der Auswahl von Maßnahmen und Optionen insbesondere regionalen Besonderheiten, wie den Energieträgerpotenzialen und -verfügbarkeiten sowie der Nachfrage nach Energiedienstleistungen, Rechnung zu tragen. Im Fall des Bundeslandes Hessen muss beispielsweise explizit auf die besondere Rolle des Verkehrs (Luftverkehr, Durchgangsverkehr auf Autobahnen) eingegangen werden.

Weitere örtliche Gegebenheiten, z.B. der Wärmebedarf in verschiedenen Regionen, die Verteilung der Windgeschwindigkeiten oder der Sonneneinstrahlung, haben einen entscheidenden Einfluss auf die Minderungspotenziale des Energiesystems. Ebenfalls zu be-

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abbildung 1

Strategien und Maßnahmen zur Reduktion von CO_2-Emissionen



Quelle: Fahl et al. (1995).

rücksichtigen sind die erforderlichen regionalen Transportprozesse. Dies gilt sowohl für die Primärenergieträger (z.B. Erdgas, Steinkohle) als auch für Sekundärenergieträger (z.B. Strom oder Wasserstoff). Diese Charakteristika können in einem Energiesystemmodell, etwa dem hessischen Energiemodell „TIMES-HS“[7], detailliert abgebildet werden.

4.2 Kosten von Minderungsmaßnahmen und Maßnahmenrangfolge

Das wichtigste Bewertungskriterium für den volkswirtschaftlich zweckmäßigen Beitrag von CO_2-Minderungsoptionen sind die damit verbundenen Kosten. Die spezifischen Minderungskosten einer bestimmten Maßnahme oder Technik sind definiert als Quotient aus den Differenzkosten (= Kosten der Maßnahme bzw. Technik vermindert um die Kosten einer Referenztechnik) und der Emissionsminderung (= Emissionen der Referenztechnik vermindert um die Emissionen der Maßnahme bzw. Technik). Zur Bewertung der relativen Wirtschaftlichkeit der einzelnen Optionen wird eine dynamische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mithilfe der Barwert-Methode durchgeführt. Die während der Nutzungsdauer der Anlage anfallenden Kosten werden dabei mithilfe des kalkulatorischen Zinssatzes[8] auf einen gemeinsamen Bezugspunkt abdiskontiert. Während die ökologische Effektivität von

7 Das Energiemodell TIMES-HS ist ein lineares Optimierungsmodell, mit dem die gesamte hessische Energieversorgung und -anwendung von den Energiedienstleistungen bis hin zur Primärenergieversorgung integriert abgebildet wird. Der TIMES-Modellcode ist in einer Arbeitsgruppe für die Internationale Energie Agentur (IEA) entwickelt worden. Im Rahmen von InKlim 2012 findet eine Anpassung auf Hessen statt.

8 Der gewählte Kalkulationszinsfuß sollte bei einer volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise die Knappheit des Produktionsfaktors Kapital widerspiegeln und im Idealfall dem realen Kapitalmarktzins für langfristige Anlagepapiere entsprechen.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Maßnahmen zur CO_2-Minderung die Wirksamkeit in Bezug auf ein vorgegebenes CO_2-Minderungsziel angibt, sind spezifische CO_2-Minderungskosten (in Euro je t CO_2) ein Maß für die Kosteneffizienz. Bei einer solchen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist grundsätzlich darauf zu achten, ob es sich um eine einzel- oder gesamtwirtschaftliche Sichtweise handelt, da die Berücksichtigung oder Vernachlässigung von Backup-Kosten für das elektrische Netz, von Subventionen oder Steuern einen großen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Eine weitere wesentliche Annahme für die Abschätzung der spezifischen CO_2-Minderungskosten ist die unterstellte Preisentwicklung der Primärenergieträger, die sowohl statisch (heutige Preise) als auch dynamisch (über einen Preispfad) erfolgen kann.

Bei der Auswahl und Bewertung der Maßnahmen ist zu beachten, dass sich Emissionsminderungen im Umwandlungssektor und jene in den nachfolgenden Anwendungsbereichen gegenseitig beeinflussen. So verringern beispielsweise Emissionsminderungsmaßnahmen im Umwandlungssektor (z.B. Wirkungsgradverbesserungen) den Minderungseffekt „nachgelagerter" Maßnahmen (z.B. Stromeinsparungen) im Anwendungsbereich.

Um bei der Bestimmung der Rangfolge von CO_2-Minderungsmaßnahmen in unterschiedlichen Sektoren (wie Energieumwandlung, Wärme in Wohngebäuden und Verkehr) eine einheitliche Vorgehensweise zu erreichen, werden für die fossilen Energieträger stets nur die direkten energiebedingten CO_2-Emissionen betrachtet. Für die Quantifizierung von CO_2-Minderungskosten ist dann das Referenzsystem, gegenüber dem die Emissionseinsparungen ausgewiesen werden, von entscheidender Bedeutung. Wenn z.B. im Strombereich ein neues Kraftwerk als Referenz herangezogen wird, variieren die anrechenbaren CO_2-Emissionen sehr stark in Abhängigkeit von der Stromerzeugungstechnik und deren Energieträgerbasis (z.B. Erdgas-GuD-Kraftwerk ≈ 350 g CO_2/kWh_{el}, Steinkohle-Kondensationskraftwerk ≈ 750 g CO_2/kWh_{el}, Braunkohle-Kondensationskraftwerk ≈ 930 g CO_2/kWh_{el}).

Analog dazu können Referenztechniken für die Bereiche Industrie, Verkehr sowie Wärme in Wohngebäuden definiert werden.

Bei der Interpretation und der Verwendung von spezifischen CO_2-Minderungskosten als Effizienzmaß sind die folgenden Gesichtspunkte zu beachten (Blesl et al. 2001):

- Bei additiven CO_2-Minderungsmaßnahmen sollten unter dem Gesichtspunkt einer maximalen CO_2-Minderung zunächst alle Maßnahmen mit negativen[9] Minderungskosten durchgeführt werden.

- Bei alternativen (konkurrierenden) CO_2-Minderungsmaßnahmen mit negativen CO_2-Minderungskosten sollte unter der Zielsetzung einer möglichst großen CO_2-Minderung vorrangig die Maßnahme mit dem höchsten Minderungspotenzial verwirklicht werden. Deshalb ist hierbei neben der Angabe der spezifischen Minderungskosten auch die Angabe der CO_2-Minderungspotenziale von Vorteil.

9 Eine negative Effizienzzahl ist hierbei ein Indikator für eine ökonomisch Gewinn bringende Minderungsmaßnahme.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

- Bei positiven Minderungskosten liefern die spezifischen Minderungskosten in Verbindung mit den Minderungspotenzialen die Informationen für eine erste Einordnung der Maßnahmen. Die Untersuchung einer effizienten Gesamtminderungsstrategie sollte dabei jedoch unbedingt als weiterer Analyseschritt folgen.

Die Auswahl der zu ergreifenden Maßnahmen hängt letztlich jedoch auch sehr stark von den für die Förderung des Klimaschutzes zur Verfügung stehenden Haushaltsmitteln ab (Schlesinger et al. 2004). In Tabelle 3 sind beispielhaft eine Bandbreite verschiedener spezifischer Minderungskosten aus gesamtwirtschaftlicher Sicht sowie die dafür erforderlichen Haushaltsmittel pro vermiedene Tonne CO_2 dargestellt. Es zeigt sich, dass die beiden Blickwinkel durchaus unterschiedliche Rangfolgen der Maßnahmen implizieren. Obwohl einige Maßnahmen negative gesamtwirtschaftliche Minderungskosten besitzen, müssen für diese trotzdem Zuschüsse aus dem öffentlichen Haushalt bereitgestellt werden, damit eine Anregung zur Nutzung dieser Potenziale stattfindet. Diesen Ausgaben der öffentlichen Hand stehen jedoch keine eigenen Kosteneinsparungen gegenüber. Beispielsweise ist bei der Maßnahme „Best-practice-Immobilien" ein Beitrag der öffentlichen Hand erforderlich, der die (Teil-)Finanzierung einer Marketingkampagne, von Veranstaltungen und Druckkosten beinhalten würde. Die Investitionskosten für die Sanierungsmaßnahmen werden vom Investor getragen. Durch die nach der Sanierung verringerten Betriebskosten handelt es sich für den Investor insgesamt um eine wirtschaftlich gewinnbringende Maßnahme, wodurch die Gesamtminderungskosten negativ werden.

Tabelle 3

Beispiel zum Ranking von CO_2-Minderungsmaßnahmen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht und aus Sicht des Landeshaushaltes

Angaben für Baden-Württemberg

	CO_2-Minderung	Minderungskosten	
	2010	Gesamt	Landeshaushalt
	In Mill. t/a	In Euro/t	In Euro/t
Best-Practice-Immobilien	0,23	-612	1,4
KWK-Kooperationen	0,22	-324,5	0,5
Sanierung der Landesliegenschaften	0,59	-247,8	-28,7
Industrielle Eigenstromerzeugung	0,45	-56,2	1,8
Effizienzsteigerung in Kraftwerken	3,3	11	0,3
Verstärkter Einsatz von Erdgas im Kraftwerksbestand	4,6	23	0,2
Biomasse-Kraftwerke	1,33	33,2	2,8
Dezentrale Integration von Kraftwerken	0,42	48,1	0
Zufeuerung von Biomasse in Kraftwerken	0,66	53,5	0,7
CDM-Kohlekraftwerk	0,46	63,5	2,2
Zusätzliche KWK-Förderung	0,38	88,4	1,6
Biogasanlagen	0,54	90,7	13,4
Stromerzeugung Geothermie	0,3	113,3	2,7
CDM-Wind	0,03	340,9	39
Solarkollektorengroß	0,05	1340,4	5,6

Quelle: Blesl et al. (2004b).

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

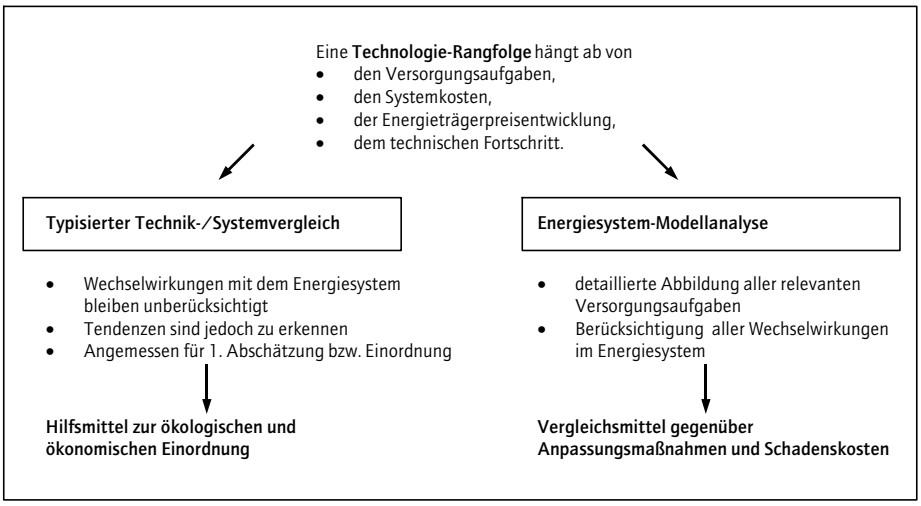
Dies deutet auf einen potenziellen Interessenkonflikt für die politischen Entscheidungsträger auf Landesebene zwischen ökologischen-ökonomischen und budgetären Überlegungen hin.

Mit den spezifischen CO_2-Minderungskosten eines Technikvergleichs kann, wie in Abbildung 2 dargestellt, jedoch nur eine erste Einordnung vorgenommen werden, da dabei vor allem die Wechselwirkungen und eventuell auftretende Konkurrenzsituationen (z.B. Effizienzsteigerung in der Wärmeerzeugung gegenüber Wärmedämmmaßnahmen im Gebäudebestand) zwischen den einzelnen Techniken unberücksichtigt bleiben.

Einen umfassenderen Ansatz bietet eine Energiesystem-Modellanalyse, mit der auch die marginalen Grenzkosten zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt werden können. Mögliche Wechselwirkungen zwischen Maßnahmen werden in der Energiesystemanalyse adäquat berücksichtigt (vgl. Blesl et al. 2004, 2004a, Fahl et al. 2004a, FORUM 2004b, Laege 2002, Prognos et al. 2002, Schaumann et al. 1994). Die Entscheidungen innerhalb des Energiesystem-Modells werden unter einem wirtschaftlichen Optimierungskalkül getroffen, wobei grundsätzlich auch Steuern und Subventionen berücksichtigt werden können. Als Ergebnis einer solchen Energiesystemanalyse auf regionaler Ebene ergeben sich alle Energieflüsse, die Mehrkosten des Gesamtsystems sowie eine Grenzkostenkurve der CO_2-Minderung (vgl. Abbildung 3 als Beispiel einer derartigen Grenzkostenkurve für das Bundesland Baden-Württemberg, in der die sektorale Zusammensetzung der energiebedingten CO_2-Emissionen in Abhängigkeit von vorgegebenen CO_2-Vermeidungskosten dargestellt ist). Dabei kann auch die jeweilige Grenztechnologie, das heißt die letzte zu ergreifende Maßnahme, identifiziert werden.

Abbildung 2

Probleme bei der Bestimmung von Technologie-Rangfolgen

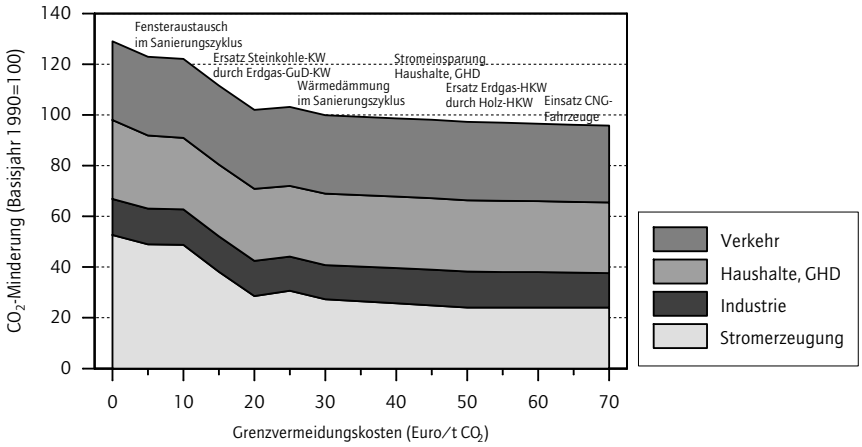


Quelle: Blesl et al. (2004b).

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abbildung 3

Grenzkostenkurve und Grenztechnologie-Rangfolge für Baden-Württemberg



Quelle: Blesl et al. (2004b).

In Abbildung 4 werden die Emissionsminderungen in Baden-Württemberg (Blesl et al. 2004b) mit denen in Deutschland in Abhängigkeit von vorgegebenen Grenzkosten dargestellt (Blesl et al. 2004, FORUM 2004a). Darin wird deutlich, dass für ein bestimmtes Grenzkostenniveau sich zum Teil sehr unterschiedliche prozentuale Emissionsminderungen gegenüber dem Basisjahr 1990 ergeben. In der Baseline (0 Euro/t CO_2) erreicht Deutschland bereits eine Minderung der energiebedingten THG-Emissionen[10] von 19,5 % gegenüber 1990, während Baden-Württemberg die energiebedingten CO_2-Emissionen um 7,5 % erhöht. Damit zeigt sich, dass für einzelne Bundesländer durchaus auch eine Erhöhung der CO_2-Emissionen im Vergleich zum Basisjahr 1990 mit der Erreichung des gesamtdeutschen Minderungsziels kompatibel sein kann.

Eine proportionale oder nach anderen Schlüsseln vorgenommene Verteilung der nationalen Minderungsziele auf die einzelnen Bundesländer widerspricht einer kosteneffizienten Klimaschutzpolitik (vgl. Abschnitt 1.1).

5 Chancen regionaler Klimapolitik im Standortwettbewerb

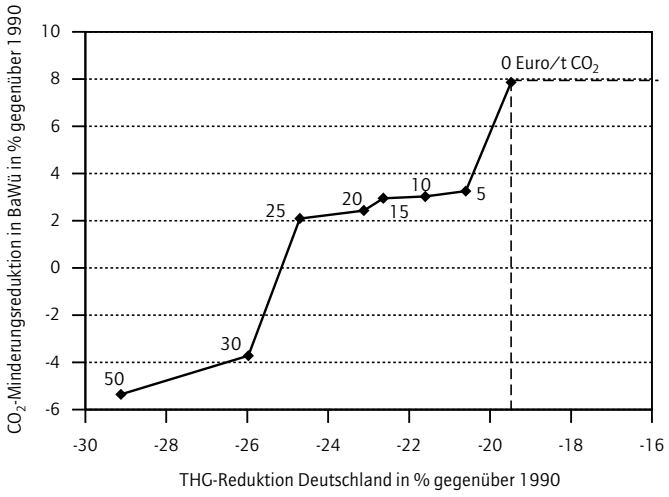
Die Umsetzung regionaler Klimaschutzprogramme induziert auf der einen Seite einen für Produktion und Beschäftigung positiven Ausgabeneffekt, da Umweltschutzgüter und -dienstleistungen vermehrt nachgefragt werden. Auf der anderen Seite verursacht die Finanzierung dieser Ausgaben Preis- und Mengeneffekte, die in vor- und nachgelagerte Wirtschaftssektoren übertragen werden. Während der Ausgabeneffekt lediglich die Brut-

10 In den Werten für Deutschland sind neben den energiebedingten CO_2-Emissionen auch die energiebedingten Emissionen von Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O) mit erfasst.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abbildung 4

Vergleich der prozentualen Minderung der energiebedingten CO_2-Emissionen in Baden-Württemberg und der prozentualen Reduktion der energiebedingten THG-Emissionen in Deutschland im Jahr 2010 gegenüber 1990 in Abhängigkeit von den CO_2-Grenzvermeidungskosten



Quelle: Blesl et al. (2004b).

toeffekte klimapolitischer Maßnahmen erfasst, lassen sich unter Berücksichtigung des Finanzierungseffekts deren Nettoproduktions- und -beschäftigungswirkungen ermitteln. Der gesamtwirtschaftliche Nettoeffekt ist somit unbestimmt. Auf der einen Seite wird beispielsweise im Zusammenhang mit dem Ausbau erneuerbarer Energien auf die Wachstumsimpulse dieses Marktes hingewiesen und betont, dass sich mit mittlerweile 120 000 Beschäftigten und einem jährlichen Umsatz von rund 10 Mrd. Euro die erneuerbaren Energien zum Jobmotor entwickelt hätten (BMU 2004). Andererseits finden neuere wissenschaftliche Studien zum Ausbau erneuerbarer Energien – bei Berücksichtigung negativer Budget- bzw. Finanzierungseffekte – nur marginal positive oder sogar negative Nettobeschäftigungseffekte (siehe RWI 2004, Pfaffenberger et al. 2003).

Grundsätzlich entspricht es einer rationalen Klimapolitik auf Landesebene, aufgrund der ubiquitären umweltschädlichen Wirkung der Klimagase sowie der nur auf Bundes- oder gar EU-Ebene vorliegenden Handlungskompetenz für echte Internalisierungsmaßnahmen (z.B. Ökosteuern, Emissionshandel) eher so genannte „Win-win"-Vermeidungsmaßnahmen durchzuführen. Dies sind Maßnahmen, die sowohl dem Klimaschutz als auch der Gesamtwirtschaft in der Region zuträglich sind.

In den letzten Jahren steht die umweltpolitische Debatte unter dem Einfluss der so genannten „Porter-Hypothese". Diese besagt zweierlei: Erstens kann es zu einem die internationale Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie stärkenden Vorreitereffekt kom-

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

men, wenn eine relativ strikte nationale Umweltregulierung international diffundiert. Wettbewerbsvorteile können zum einen daraus resultieren, dass Anpassungsmaßnahmen in den umweltbelastenden Industrien bereits früher vorgenommen wurden, und zum anderen daraus, dass über die frühzeitige (umweltpolitisch induzierte) Entwicklung neuer umweltfreundlicher Produkte und Technologien Exportchancen geschaffen werden. Zweitens soll ein durch anspruchsvolle Umweltregulierung angeregtes effizientes Management von Umweltressourcen (z.B. über die Nutzung von No-regret-Potenzialen) zu Kostensenkungen führen, die dazu beitragen, die Kosten der Umweltregulierung zu lindern, auszugleichen oder gar zu überkompensieren (Innovationseffekt) (vgl. für einen aktuellen Literaturüberblick Taistra 2001). Die Kritiker der Porter-Hypothese argumentieren dagegen, dass Umweltschutz zu Kostenbelastungen für heimische Unternehmen führe und sie im internationalen Wettbewerb benachteilige; negative Wirkungen werden bis hin zur Abwanderung von Betrieben ins Ausland gesehen.

Tatsächlich konnte ein theoretischer oder empirischer Nachweis der Porter-Hypothese bislang nicht erbracht werden (vgl. SRU 2002: Tz. 46–48). Empirische Studien weisen allenfalls darauf hin, dass es einen positiven, wenn auch häufig schwachen bis statistisch insignifikanten Zusammenhang zwischen der ökonomischen und ökologischen Performance von Unternehmen gibt (Rennings 2005). Aus der Porter-Hypothese lassen sich dennoch wichtige Forderungen zur Ausgestaltung einer innovationsfreundlichen regionalen Klimapolitik ableiten. Hierzu gehört u.a., dass Ziele und nicht von vornherein bestimmte Maßnahmen zu ihrer Erreichung vorgegeben werden, so dass auch integrierte Lösungen zum Einsatz kommen können. Außerdem ist es wichtig, flexible und an den betrieblichen bzw. baulichen Investitionszyklen orientierte Übergangsfristen zu gewähren sowie marktliche Anreize zu geben (vgl. Brockmann et al. 2000).

Bei der klimapolitischen Zielfestlegung sollte die hohe Mobilität der Produktionsfaktoren über die Landesgrenzen hinweg berücksichtigt werden. Die Korridore für klimapolitische Maßnahmen sind bei der Einführung regionaler Klimaschutzprogramme entsprechend moderat und flexibel zu gestalten. Sinnvoll erscheint insbesondere die Unterstützung exportstarker Industrien, um die Chancen, die sich aus einer auf eine Vorreiterstrategie setzenden Klimapolitik des Bundes und der EU ergeben könnten, voll nutzen zu können. Hier sind Fördermaßnahmen zur Erhöhung des Informationsstandes der Unternehmen (z.B. über die Exportchancen von Klimaschutztechnologien) oder zur Senkung der Transaktionskosten (z.B. bei der Teilnahme am Emissionshandel) anzuraten. Auch Fördermaßnahmen für Demonstrations- und Pilotprojekte von ausgewählten Klimaschutztechnologien sind durchaus zu begrüßen, ebenso wie die gezielte Förderung Erfolg versprechender technologischer Kerne (etwa der Brennstoffzellentechnologie). Diese sollten aber innerhalb des anvisierten Förderbereichs möglichst viele Freiräume für den Wettbewerb zwischen unterschiedlichen technologischen Lösungsansätzen lassen. Das Land sollte die Forschung und Entwicklung von Technologien fördern, die zum gegenwärtigen und auch zum langfristigen Klimaschutz beitragen können. Die Einschätzung von technologischen Risiken und den Marktchancen einzelner Ansätze sollte hingegen besser den markterfahrenen Unternehmen überlassen werden. Zudem sollte das Land bei jeder technologischen Förderung stets das Verhältnis von Mitteleinsatz zu erzielbarem Nutzen sorgfältig überprüfen – so ist nicht bei allen Technologien zu erwarten, dass sie in absehbarer Zeit (trotz steigender Preise für fossile Energieträger) wirtschaftlich sein werden.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Ganz im Sinne des Subsidiaritätsprinzips sollte das Land seine Informationsvorteile bei der Identifizierung zukunftsträchtiger Branchen, bei der unternehmensnahen Hemmnisanalyse und bei der problemgerechten Senkung von Transaktionskosten zur Geltung bringen.

Das Bundesland kann gemeinsam mit dem Bund oder der EU Finanzierungsquellen (z.B. Klimafonds) ins Leben rufen, in die die Unternehmen miteinbezogen werden und die es ermöglichen, in allen Sektoren Anreize zu schaffen, klimaverträglich zu handeln und bestehende Hemmnisse abzubauen.

Literaturverzeichnis

Bartels, Hella (2004): *Vergleich regionaler Klimaszenarienrechnungen für Süddeutschland*. Arbeitskreis KLIWA: 2. KLIWA-Symposium am 3. und 4.5. 2004 in Würzburg. Fachvorträge Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. KLIWA-Berichte. 4. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. München.

Beck, Otto A. (2003): Cluster-Studie Forst und Holz in NRW. *Forst und Holz*, 58 (4), 98–100.

Blesl, Markus, Ulrich Fahl, Stephan Kempe und Alfred Voß (2004): Auswirkungen des Zertifikatehandels auf KWK und Fernwärme. *EuroHeat&Power*, 33 (6), 28–41.

Blesl, Markus, Ulrich Fahl und Alfred Voß (2001): *Energieverbrauchsprognose für Bayern – CO_2-Vermeidungskosten*. Ergänzung des Gutachtens im Auftrag des Bayrischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Stuttgart.

Blesl, Markus, Ulrich Fahl und Alfred Voß (2004a): *Analyse der energiewirtschaftlichen Strukturen unter einem Kyoto-Regime in Europa*. Studie im Auftrag der e.on Energie AG. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Stuttgart.

Blesl, Markus, Ulrich Fahl und Alfred Voß (2004b): *Szenarienanalyse: Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zum Klimaschutz für Baden-Württemberg*. Gutachten im Auftrag des Umwelt- und Verkehrsministeriums Baden-Württemberg. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Stuttgart.

BMU (2004): Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). *Überblick über das vom Deutschen Bundestag beschlossene Gesetz*. Berlin.

Borchert, Herbert (2004): Ökonomische Folgen des Trockenjahres 2003 und Kosten des Waldumbaus. *LWF aktuell*, 43, 31–32.

Brahmer, Gerhard und Georg Berthold (2004): *Ideenskizze zur Vorgehensweise INKLIM 2012 und Wasserwirtschaft*. HLUG / W3. Wiesbaden.

Brockmann, Karl Ludwig, Christoph Böhringer und Marcus Stronzik (2000): *Flexible Instrumente in der deutschen Klimapolitik*. ZEW-Dokumentation Nr. 00-12. Mannheim.

Defra (2003): *The Social Cost of Carbon. Review Background Paper*. Paper presented at the Social Cost of Carbon Conference, July 7, 2003. London.

DEHST (2004): *Emissionshandel in Deutschland – Verteilung der Emissionsberechtigungen für die erste Handelsperiode 2005–2007*. Daten und Fakten zur Zuteilung der Emissionsberechtigungen an 1 849 Anlagen. Deutsche Emissionshandelsstelle. Berlin.

Disse, Markus (2003): *Konsequenzen aus der Klimaveränderung für die Praxis der Wasserwirtschaft in Deutschland*. KLIWA-Workshop „Extreme Hochwasser und Klimaver-

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

änderung“ am 27. November 2003. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. München.

Downing, Tom und Paul Watkiss (2003): *Overview: The Marginal Social Costs of Carbon in Policy Making: Applications, Uncertainty and a Possible Risk Based Approach*. Paper presented at the Social Cost of Carbon Conference, July 7, 2003. London.

Eichhorn, Johannes (2004): *Klimawandel und Wald – Kartenbezogene Grundlagen der Waldentwicklung*. Präsentation auf dem Projekttreffen von Baustein II (InKlim 2012) am 17. November 2004. Wiesbaden.

Enke, Wolfgang (2003a): *Anpassung der Sachsen-Wetterlagenklassifikation für Thüringen und Anwendung auf das Szenario ECHAM4 OPYC3 des Klimasimulationslaufes B2 zur Abschätzung regionaler Klimaänderungen für Thüringen*. Landesanstalt für Umwelt und Geologie. Jena.

Enke, Wolfgang (2003b): *Anwendung einer Wetterlagenklassifikation für Süddeutschland auf Kontrolllauf und Szenario eines transienten ECHAM4 Klimasimulationslaufes (Szenario B) zur Abschätzung regionaler Klimaänderungen für Süddeutschland*. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.

Enke, Wolfgang (2003c): *Anwendung eines statistischen Regionalisierungsmodells auf das Szenario B2 des ECHAM4 OPYC3 Klima-Simulationslaufes, bis 2050 zur Abschätzung regionaler Klimaänderungen für das Bundesland Hessen*. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden.

Enke, Wolfgang (2004a): *Erweiterung des Simulationszeitraumes der wetterlagenbasierten Regionalisierungsmethode auf der Basis des ECHAM4-OPYC3 Laufes für die Dekaden 2001/2010 und 2011/2020, Szenario B2 für Sachsen*. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Dresden.

Enke, Wolfgang (2004b): *Erweiterung der sächsischen Klimaprognose WEREX II für das Zeitfenster 2050 bis 2100 für die Emissionsszenarien B und A (WEREX 2100)*. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Dresden.

Enke, Wolfgang (2004c): *Erweiterung des Simulationszeitraumes der wetterlagenbasierten Regionalisierungsmethode auf der Basis des ECHAM4-OPYC3 Laufes für die Dekaden 2011/2020 und 2051/2100, Szenario B2*. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden.

Enke, Wolfgang, Thomas Deutschländer und Frank Schneider (2005a): Results of Five Regional Climate Studies Applying a Weather Pattern Based Downscaling Method to ECHAM4 Climate Simulations. *Meteorologische Zeitschrift*, 14 (2), 247–257.

Enke, Wolfgang, Frank Schneider und Thomas Deutschländer (2005b): A Novel Scheme to Derive Optimized Circulation Pattern Classifications for Downscaling and Forecast Purposes. *Theoretical and Applied Climatology* (im Druck).

Enke, Wolfgang und Arne Spekat (1997): Downscaling Climate Model Outputs into Local and Regional Weather Elements by Classification and Regression. *Climate Research*, 8, 195–207.

Fahl, Ulrich, Peter Bickel, Markus Blesl, Bert Droste-Franke, Ingo Ellersdorfer, Tobias Rehrl, Uwe Remme, Ullash Rout und Alfred Voß (2004a): *Entwicklung und Anwendung eines Integrated Assessment Modellinstrumentariums für die Analyse nachhaltiger Entwicklungen der Energieversorgung in Deutschland*. Schlussbericht zum Vorhaben mit finanzieller Unterstützung des BMWA. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

Fahl, Ulrich, Egbert Laege, Wolfgang Rüttler, Peter Schaumann, Christoph Böhringer, Roland Krüger und Alfred Voß (1995): Emissionsminderung von energiebedingten kli-

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

marelevanten Spurengasen in der Bundesrepublik Deutschland und in Baden-Württemberg. IER-Forschungsbericht Nr. 21. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

Fahl, Ulrich, Bastian Rühle und Alfred Voß (2004b): *Wissenschaftliche Begleitung des Energieprogramms Sachsen*. Schlussbericht zum Gutachten im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

Fahl, Ulrich und Peter Schaumann (1996): *Energie und Klima als Optimierungsproblem am Beispiel Niedersachsen*. IER-Forschungsbericht Nr. 34. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Stuttgart.

Fankhauser, Samuel (1994): Protection vs. Retreat. The Economic Costs of Sea Level Rise. *Environment and Planning A*, 27, 299–319.

Fankhauser, Samuel, Joel B. Smith und Richard S.J. Tol (1999): Weathering Climate Change: Some Simple Rules to Guide Adaptation Decisions. *Ecological Economics*, 30, 67–78.

FORUM Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hrsg.) (2004a): *Energiemodelle zum europäischen Klimaschutz. Der Beitrag der deutschen Energiewirtschaft zum europäischen Klimaschutz*. Münster, LIT Verlag.

FORUM Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (2004b): *Energiemodelle zum Klimaschutz in liberalisierten Energiemärkten. Die Rolle erneuerbarer Energieträger*. Münster, LIT Verlag.

Grünhage, Ludger und Anita Streitfert (2004): *Klimaänderung und Pflanzenphänologie in Hessen*. Präsentation auf dem Projekttreffen von Baustein II (InKlim 2012) am 17. November 2004. Wiesbaden.

IPCC (2000): *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*. Cambridge, Cambridge University Press.

Kelly, R. H., William. J. Parton, Melannie D. Hartman, L.K. Stretch, Dennis. S. Ojima und David S. Schimel (2000): Intra-Annual and Interannual Variability of Ecosystem Processes in Shortgrass Steppe. *Journal of Geophysical Research*, 105, 20093–20100.

Krewitt, Wolfram (2002): Externe Kosten der Stromerzeugung. In: Eckhard Rebhan (Hrsg.): *Energie-Handbuch für Wissenschaftler, Ingenieure und Entscheidungsträger*. Berlin, Springer, 986–1008.

Laege, Egbert (2002): *Entwicklung des Energiesektors im Spannungsfeld von Klimaschutz und Ökonomie – Eine modellgestützte Systemanalyse*. IER-Forschungsbericht Nr. 85. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

Mendelsohn, Robert (2003): *The Social Cost of Carbon: An Unfolding Value*. Paper presented at the Social Cost of Carbon Conference, July 7, 2003. London.

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (UVM BaWü) (Hrsg.) (2001): *Umweltplan Baden-Württemberg* (Fachliche Unterstützung: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung et al.). Stuttgart. Download unter: *www.umweltplan.baden-wuerttemberg.de*

Paar, Uwe (2004): InKlim 2012 – Tischvorlage und Informationspapier für ein Arbeitsgespräch. Hessen Forst. Hannoversch-Münden.

Parton, William J., Elisabeth. A. Holland, Stephen. J. Del Grosso, Melannie. D. Hartman, R. E. Martin, Arvin. R. Mosier, Dennis. S. Ojima und David. S. Schimel (2001): Generalized Model for NO_x and N_2O Emissions from Soils. *Journal of Geophysical Research*, 106, 17403–17419.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Pearce, D.W., W.R. Cline, A.N. Achanta, Samuel Fankhauser, R.K. Pachauri, Richard S.J. Tol und P. Vellinga (1995): The Social Costs of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control. In: J.P. Bruce, H. Lee und E.F. Haites (Hrsg.): *Climate Change 1995 Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the IPCC, 181–224.

Pfaffenberger, Wolfgang, Khanh Nguyen und Jürgen Gabriel (2003): *Ermittlung der Arbeitsplätze und Beschäftigungswirkungen im Bereich Erneuerbarer Energien*. Bremer Energie Institut, Bremen.

Positionspapier Forstwirtschaft (2004): InKlim 2012 – Tischvorlage und Informationspapier für ein Arbeitsgespräch.

Priess, Jörg A., Rüdiger Schaldach, Maik Heistermann, Daniela Trinks und Joseph Alcamo (2004): *Klimawandel und Landwirtschaft in Hessen: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge*. Präsentation auf dem Projekttreffen von Baustein II (InKlim 2012) am 17.11. 2004. Wiesbaden.

Prognos, IER und WI (2002): *Szenarienerstellung*. Endbericht an die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages. Prognos AG, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Basel, Stuttgart, Wuppertal.

Rennings, Klaus (2005): Innovationen aus Sicht der neoklassischen Umweltökonomik. In: Frank Beckenbach et al. (Hrsg.): *Innovationen und Nachhaltigkeit*. Jahrbuch Ökologische Ökonomik 4. Marburg, 15–39.

RWI (Hrsg.) (2004): *Sektorale und gesamtwirtschaftliche Wirkungen des weiteren Ausbaus Erneuerbarer Energien*. Essen.

Schär, Christoph, Pier Luigi Vidale, Daniel Lüthi, Christoph Frei, Christian Häberli, Mark A. Liniger und Christof Appenzeller (2004): The Role of Increasing Temperature Variability in European Summer Heatwaves. *Nature*, 427, 332–335.

Schaumann, Peter, Egbert Läge, Wolfgang Rüffler, Stephan Molt, Ulrich Fahl, Jochen Diekmann und Hans-Joachim Ziesing (1994): Integrierte Gesamtstrategien der Minderung energiebedingter Treibhausgasemissionen (2005/2020). In: Enquete-Kommission (Hrsg.): *Studienprogramm Energie*. Bonn, Economica.

Schlesinger, Michael, Almut Kirchner und Ulrich Fahl (2004): *Analyse der Wirksamkeit von CO_2-Minderungsmaßnahmen im Energiebereich und ihre Weiterentwicklung*. Endbericht zum Vorhaben im Auftrag des BMWA. Prognos AG, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart. Basel, Stuttgart.

Schmid, Günter und Peter Schaumann (1998): Burden Sharing in a European Framework – Carbon Reduction Strategies for 13 European Countries. In: Egbert Läge und Peter Schaumann (Hrsg.): *Energy Models for Decision Support – New Challenges and Possible Solutions*. Joint FORUM/ETSAP Workshop am 4./5. Mai 1998, Proceedings. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

SRU – Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (2002): *Umweltgutachten 2002 – Für eine neue Vorreiterrolle*. Deutscher Bundestag Drucksache 14/8792. Berlin.

Taistra, Gregor (2001): Die Porter-Hypothese zur Umweltpolitik. *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, 2, 241–262.

Tol, Richard S.J. (2002a): Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part 1: Benchmark Estimates. *Environmental and Resource Economics*, 21, 47–73.

Tol, Richard S.J. (2002b): Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part II: Dynamic Estimates. *Environmental and Resource Economics*, 21, 135–160.

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Tol, Richard S.J. (2003a): *Adaptation and Mitigation: Trade-offs in Substance and Methods*. Working Paper FNU-33. Vrije and Carnegie Mellon Universities. Hamburg.

Tol, Richard S.J. (2003b): *The Marginal Costs of Carbon Dioxide Emissions*. Paper presented at the Social Cost of Carbon Conference, July 7, 2003. London.

Tol, Richard S.J., Samuel Fankhauser und Joel B. Smith (1998): The Scope for Adaptation to Climate Change: What can we learn from the Impact Literature? *Global Environmental Change*, 8 (2), 109–123.

Wehry, Werner und Wolfgang Enke (2001): *Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen des statistischen Verfahrens der Wetterlagenklassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse*. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden. Download unter: *www.umwelt.sachsen.de/*

DOI https://doi.org/10.3790/vjh.74.2.286
Generated at 88.198.162.162 on 2025-12-18 00:34:58
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH