

Akteurshandeln und langfristige Investitionsentscheidungen im Klimaschutz

Empirische Untersuchung und Modellierung des Entscheidungsverhaltens von
Unternehmen der Elektrizitätswirtschaft
in Europa, den USA und China

Projektantrag im Rahmen des Förderschwerpunkts
“Wirtschaftswissenschaften für Nachhaltigkeit“
des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)

Themenfelder:

- I: Ökonomische Konzepte für eine gesellschafts- und umweltverträgliche Globalisierung
- III: Integrierte Modelle und Instrumente der ökologischen Steuerung

Antragsteller:

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Prof. Dr. Bernd Siebenhüner (Projektleitung),
Dr. Volker Barth

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Dr. Ottmar Edenhofer

International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)
Professor Anthony Patt, PhD.

Praxispartner:

European Climate Forum (ECF)

Kontaktadresse:

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Fakultät II, Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften
Prof. Dr. Bernd Siebenhüner
Ammerländer Heerstr. 114-118
26129 Oldenburg
Tel.: 0441-798-4366
Fax: 0441-798-4379
Email: bernd.siebenhuener@uni-oldenburg.de

1 Problemstellung und Ziele

1.1 (Nachhaltigkeitspolitische) Problemstellung

Konzept und Umsetzungsstrategien der Nachhaltigkeit können nur auf vergleichsweise grobe substantielle Zielformulierungen zurückgreifen. In der Umsetzung muss daher auf langfristig angelegte Such- und Lernprozesse zurückgegriffen werden (vgl. Beschorner et al. 2005, Enquete Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages 1998, Homann 1996, Kopfmüller, et al. 2001, Minsch, et al. 1998, Siebenhüner 2001). Um diese Such- und Lernprozesse auf wirtschaftswissenschaftlich fundierte Grundlagen zu stellen, sollten bei der Ausarbeitung von nachhaltigkeitsrelevanten Strategien empirisch fundiertes Wissen zugrunde gelegt werden. Hier können verhaltensökonomische Konzepte wichtige Beiträge für politische Entscheidungsprozesse liefern, die explizit vom beobachteten menschlichem Verhalten ausgehen und Unsicherheit und unvollständige Information berücksichtigen.

Die Diskrepanz von Leitvorgaben und offener Umsetzung wird im Bereich des Klimaschutzes besonders greifbar: Das politische Ziel der EU, die globale Erwärmung auf maximal 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu beschränken (CEU 1996, 2004) ist ein Beispiel für eine grobe substantielle Zielfestlegung der Nachhaltigkeit im Sinne einer starken Nachhaltigkeit (Cansier 1998; Endres & Radke 1998; Nutzinger 1995; Radke 1995, Ott & Döring 2004). Die hierzu erforderliche Beschränkung des Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre auf unter 450 ppm (Hare & Meinshausen 2004) ist aber nur durch ambitionierte Vermeidungsmaßnahmen umsetzbar, deren technische Machbarkeit, ökonomische Effizienz und soziale Akzeptanz zwar im Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) Working Group III diskutiert wurde, in vielerlei Hinsicht jedoch noch ungeklärt ist (vgl. <http://www.feem-web.it/potsdam>). Auch beim Kyoto-Protokoll scheint es derzeit so, als würden dessen Zielvorgaben mit den darin festgelegten Mechanismen und Maßnahmen zumindest nicht auf breiter Front erreicht. Gleichzeitig beginnen jetzt die Planungen für die Ausgestaltung eines Kyoto-Plus-Regimes, das nach 2012 den Klimaschutz, auch im Kontext der Globalisierung, weiter vorantreiben soll. Hier ist bislang lediglich klar, dass dieses auch die großen Emittenten von Treibhausgasen miteinbeziehen muss, allen voran die USA und China, Indien und Brasilien, die für den weltweiten Emissionszuwachs in den nächsten beiden Dekaden wesentlich mitverantwortlich sein werden (IEA 2005).

Eine wesentliche Determinante der Treibhausgasemissionen ist das Investitionsverhalten der Akteure im Energie- und insbesondere im Elektrizitätssektor. Wegen der langen Lebensdauer der dort eingesetzten Anlagen werden durch heutige Investitionen die Emissionen der kommenden Jahrzehnte festgelegt. Insbesondere die in mehreren europäischen Staaten, den USA und China anstehende Erneuerung und Erweiterung des Kraftwerksparks in den kommenden Jahren verleiht der Thematik besondere Brisanz. Aufgrund des kaum vorhersehbaren politischen Rahmens sind jedoch Investitionsentscheidungen mit großen Unsicherheiten behaftet, weil die zu erwartenden Emissionsminderungen und daher auch die Preisentwicklung fossiler Brennstoffe nach dem Jahr

2012 unklar sind. Zudem sind die exakten Kostenverläufe der technischen Optionen, aus denen gewählt werden kann und die bewertet werden müssen, kaum bekannt, geschweige denn in ihren Konsequenzen kalkulierbar sind. Erschwerend kommt hinzu, dass die Dynamik des technologischen Wandels, der durch (klima-)politische Maßnahmen ausgelöst wird (induzierter technologischer Wandel, ITC), bisher nur in ersten Umrissen verstanden ist, wenngleich jüngste Untersuchungen zeigen, dass er ein starkes Potential hat, die Vermeidungskosten zu senken (siehe Edenhofer et al. 2006b). Dies betrifft insbesondere die Möglichkeiten der politischen Beeinflussung der Entstehung und Diffusion emissionsarmer (Energie-)Technologien. Bereits hier stellt sich die Frage, wie Investitionsentscheidungen im Elektrizitätssektor tatsächlich gefällt werden, welche Kriterien dabei welche Rolle spielen, und welche Theorien dieses Verhalten sinnvoll beschreiben.

Die lange Anlagenlebensdauer wirft hierbei ein weiteres Problem in Gestalt der Bewertung zukünftiger Erträge auf. Der Nutzenmaximierer der Rational-Choice-Theorie würde diese mit einer Exponentialfunktion abdiskontieren. Zahlreiche Befunde der empirischen Verhaltensökonomik zeigen jedoch, dass reale Akteure sich anders verhalten: bei der Diskontierung bevorzugen diese die Gegenwart, was eher mit einer (quasi-)hyperbolischen Diskontfunktion beschrieben werden könnte (Frederick et al. 2002). Weiterhin scheinen reale Individuen nur kurze Zeithorizonte zu überblicken: sie betrachten nicht alle Erträge, die über einen längeren Zeitraum anfallen, sondern lediglich solche, die in der nahen Zukunft liegen (Rabin 1998). Schließlich sind Menschen konsistent voreingenommen bezüglich ihrer Erwartungen zukünftiger oder unsicherer Ereignisse, was sich oft in übersteigertem Vertrauen in eigenes Wissen oder Vorhersagefähigkeiten sowie in einer Unterschätzung von Unsicherheiten ausdrückt (*overconfidence*) (Kahneman & Tversky 1979). Alle drei Verhaltensmuster (Diskontierungsschema, kurze Zeithorizonte, übersteigertes Selbstvertrauen) haben dabei wesentlichen Einfluss auf unser theoretisches Verständnis von langfristigen Investitionsentscheidungen (Shleifer 2000) und damit auf die Möglichkeiten, das Verhalten solch klimarelevanter Sektoren wie des Elektrizitätssektors zu modellieren.

Gerade in der Klimapolitik wird zunehmend auf die Ergebnisse von Modellen zur integrierten Bewertung des Klimawandels (*integrated assessment models*, IAMs) zurückgegriffen. Mit diesen Modellen lassen sich verschiedene Szenarien der Energieversorgung und deren Effekte auf Volkswirtschaft und Klimasystem darstellen, sowie die Kosten berechnen, die für die jeweilige Energieversorgung und den dadurch verursachten Klimawandel anfallen. In diesen Modellen spielt der Elektrizitätssektor eine zentrale Rolle. Jüngste Modellvergleiche haben gezeigt, dass zur Abschätzung von Klimaschutzstrategien das Zusammenspiel von induziertem technologischen Wandel (ITC) und langfristigen Investitionsentscheidungen wesentlich ist (Edenhofer et al. 2006a). Da bislang jedoch nur in Ansätzen geklärt ist, welche empirisch zu bestimmenden Muster und Zusammenhänge typisch für den ITC sind, besteht bisher auch noch keine Einigung, welche zentralen Variablen die Dynamik und Richtung des ITC bestimmen. An der Weiterentwicklung dieses dynamischen Forschungsfelds sind die Antragsteller beteiligt.

Unter klimapolitischen Gesichtspunkten ist daher die Untersuchung des Zusammenspiels von Investitionsentscheidungen und technologischem Wandel auf zwei Ebenen von großer Bedeu-

tung. Zum einen stellen Annahmen und Einsichten über das Entscheidungsverhalten von Unternehmen die Grundlage für die Gestaltung von politischen Instrumenten dar. Zum anderen können sich Investitionsentscheidungen in neue Technologien für Unternehmen bei unterschiedlichen politischen Rahmenbedingungen drastisch unterscheiden. Bei geeigneter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge können schon kleine politische Maßnahmen vergleichsweise große Wirkungen im Investitionsverhalten bewirken.

1.2 Gesamtziele des Vorhabens

Unser Projekt verfolgt zwei Hauptziele. Zum einen streben wir ein besseres Verständnis der tatsächlichen Entscheidungsprozesse in Unternehmen an, die langfristigen Investitionen und dem technischen Wandel im Elektrizitätssektor in der EU, den USA und China zugrunde liegen. Zum anderen wollen wir herausfinden, wie sich die Dynamik langfristiger Investitionsentscheidungen auf den technologischen Fortschritt und damit auf die Möglichkeiten klimapolitischer Interventionen und Kooperationen in und zwischen der EU, den USA und China als derzeitigen und kommenden Hauptemittenten von Treibhausgasen auswirkt. Diese Erkenntnisse sollen im Projekt zur Verbesserung von IAMs genutzt werden, die dann auf die Klimapolitik Einfluss haben können. Sie lassen sich aber gegebenenfalls auch direkt in politische Steuerungskonzepte überführen. Daneben erwarten wir eine Weiterentwicklung der Verhaltensökonomik in Hinblick auf die Übertragbarkeit der Erkenntnisse von individuellem Verhalten auf das Verhalten von kollektiven Handlungsträgern wie Firmen.

1.3 Bezug zu den förderpolitischen Zielen

Das Vorhaben ist dem Themenfeld „Integrierte Modelle und Instrumente der ökologischen Steuerung“ zugeordnet. Es zielt auf die Verbesserung integrierter Modelle zur Abschätzung ökologischer, ökonomischer und sozialer Interaktionen im Rahmen des Klimawandels durch die verbesserte und realitätsnähere Einbeziehung individueller und kollektiver Akteure sowie durch die empirische Untersuchung von langfristigen Investitionsentscheidungen in Unternehmen des Energiesektors. Mit der gestaltungsorientierten Ausrichtung versucht das Vorhaben zu den Zielen der Nachhaltigkeit im Themenfeld des Klimaschutzes in Richtung auf eine drastische Reduktion von Treibhausgasemissionen beizutragen, die erforderlich sind, wenn die Konzentration in der Atmosphäre auf 450 ppm oder sogar darunter beschränkt werden soll. Insbesondere kann die adäquatere Berücksichtigung von langfristigem Investitionsverhalten in IAM zu einem Umdenken in der klimapolitischen Diskussion führen und Lösungsansätze stärker auch in diesem zentralen Entscheidungsbereich vorantreiben. Damit können Nachhaltigkeitsinnovationen im Klimaschutz systematischer gefördert und Nachhaltigkeitsbewertungen im Rahmen von IAM verbessert werden.

Das Vorhaben weist zudem Bezüge zum Themenfeld „Ökonomische Konzepte für eine gesellschafts- und umweltverträgliche Globalisierung“ auf, da es auch die internationale Diffusion von Innovationen im Klimaschutz am Beispiel China analysiert. Diffusion wird im Projektkontext als Teil-

phänomen technologischen Wandels untersucht. Hierbei fokussiert das Vorhaben auf Unternehmen des Elektrizitätssektors als zentrale Akteure im Bereich des Klimaschutzes.

1.4 Wissenschaftliche Arbeitsziele

Das Vorhaben verfolgt die folgenden wissenschaftlichen Zielstellungen:

- 1) *Theorieentwicklung*: Anknüpfend an die Diskussion um die Verhaltensökonomik (*Behavioural Economics*) zielt das Vorhaben darauf ab, sowohl die Diskussionen zum Diskontierungs- und Investitionsverhalten und zu Zeitpräferenzen als auch die Bedeutung des endogenen und induzierten technischen Wandels für den Nachhaltigkeitsdiskurs aufzuarbeiten und wechselseitig zu befruchten. Zudem soll ein Beitrag zur Theorieentwicklung im Hinblick auf die Erwartungsbildung und Investitionsentscheidungen von Unternehmen auf Basis empirischer Daten geleistet werden. Neben dem Beitrag zur verhaltensökonomischen Theorie und der Theorie der Unternehmung sollen auch kulturelle Rahmenfaktoren auf Basis von länder- und regionenübergreifenden empirischen Untersuchungen in die theoretischen Debatten eingebracht werden.
- 2) *Empirische Forschung*: Vor dem Hintergrund der besonderen Bedeutung von Langfrist-Investitionen für die Herausforderungen des Klimaschutzes und der Nachhaltigkeit soll das Entscheidungsverhalten von zentralen Akteuren im Feld der Elektrizitätswirtschaft in drei Weltregionen empirisch untersucht werden. Insbesondere interessieren hier Entscheidungen über die Technologiewahl und die damit verbundenen Annahmen über zukünftige Entwicklungspfade und die Wirtschaftlichkeit diesbezüglicher Investitionen. Es sollen hierbei zentrale Einflussfaktoren auf diese Entscheidungen in Unternehmen untersucht werden.
- 3) *Modellentwicklung*: Das Projekt zielt auf die Weiterentwicklung von IAMs und die bessere Abschätzung der Kosten von Vermeidungsmaßnahmen durch emissionsarme Energietechniken. Dabei stehen der Einfluss des (klimapolitisch) induzierten technischen Fortschritts und die Möglichkeiten der Koalitionsbildung zwischen den zentralen Hauptemittenten im Vordergrund. Diese Frage kann jedoch nur beantwortet werden, wenn auf empirisch gehaltvolles Wissen über den Zusammenhang von Investitionsentscheidungen und induziertem technischen Fortschritt zurückgegriffen werden kann. Mit diesem verbesserten Modell sollen klimapolitische Optionen analysiert werden.

Das hier vorgestellte Forschungsvorhaben strebt eine Integration auf verschiedenen Ebenen an: Erstens eine Integration von Modellieraktivitäten auf verschiedenen Skalen (Firmenebene, Marktebene, makroökonomische Ebene), zweitens eine Verknüpfung von Modellieraktivitäten mit einem Stakeholder-Dialog, und drittens soll eine Integration von empirischer Datenerhebung, Modellierung und Validierung von Modellen erreicht werden. Durch diesen Schritt soll die Glaubwürdigkeit von IAMs erhöht werden. Schließlich sollen die Erkenntnisse der empirischen Erhebungen und ihre modelltechnische Abbildung die wissenschaftliche Diskussion im Rahmen der Verhaltensökonomik befruchten.

1.5 Anwendungsorientierte Arbeitsziele

Das Projekt verfolgt im Rahmen der Problemlösungsorientierung die Zielsetzung der Politikgestaltung. Hierfür sollen die im wissenschaftlichen Teil erarbeiteten Ergebnisse in politische Diskursprozesse eingespeist werden und zur Generierung zukunftsfähiger Lösungen für verbesserten Klimaschutz herangezogen werden. Diese Stakeholder-Dialoge sollen sowohl politische als auch privatwirtschaftliche Akteure einbeziehen und in konkrete politische wie unternehmerische Maßnahmen zum Klimaschutz sowie in intra- und intergenerativ faire Investitionsentscheidungen münden. Aufbauend auf Erkenntnissen der empirischen Forschung sollen politische oder marktwirtschaftliche Instrumente entwickelt und mit Hilfe von Modellen in ihren Wirkungen beurteilt werden, die Gegenwartspräferenz und übersteigertes Selbstvertrauen im Entscheidungsverhalten von Individuen und Unternehmen berücksichtigen.

2 Stand der Forschung

2.1 Ökonomische Forschung

Gemäß der gängigen theoretischen Auffassungen in der Ökonomik gründen Unternehmen ihre Investitionsentscheidungen auf Berechnungsverfahren wie der Kapitalwertmethode, die ein exponentielles Diskontierungsverfahren als exaktes negatives Analogon zur Zinseszinsrechnung beinhalten. Neben Einfachheit und weiter Verbreitung erfüllt nur dieses Diskontierungsverfahren das Kriterium der intertemporalen Konsistenz (Strotz 1955).

Wie die neuere verhaltensökonomische Literatur auf Basis einer Vielzahl empirischer Studien zeigt (vgl. Bolton et al. 1998; Eichenberger & Oberholzer-Gee 1998; Frank 1988; Frey 1992, 1997; Gintis 2000; Kahneman et al. 1986; Klemisch-Ahlert 1996), weicht reales Akteursverhalten regelmäßig von den theoretischen Vorhersagen ab. Simon (1957, 1987), Gigerenzer (2000) und andere haben im Rahmen des Konzepts der beschränkten Rationalität (*bounded rationality*) unterstrichen, dass Menschen in der Praxis selten optimieren. Stattdessen benutzen sie einfache Entscheidungsregeln (*heuristics*), mit denen sie die Vielfalt von Information begrenzen, die sie für die Entscheidung benutzen. Kahneman et al. (1999) haben gezeigt, dass Menschen relativ insensitive für die Dauer von Ereignissen sind. Daher betrachten Entscheidungsträger oftmals nicht die langfristigen Konsequenzen ihrer Entscheidungen, sondern haben verkürzte Zeithorizonte. Dies wurde nicht nur bei Drogensüchtigen beobachtet (z.B. Petry et al. 1998), sondern auch im Unternehmenskontext (z.B. Schotter & Weigelt 1992). Obgleich klar ist, dass verkürzte Zeithorizonte in vielen Kontexten eine Rolle spielen, ist noch relativ unklar, wie die kontextuellen Faktoren auf die Zeithorizonte einwirken. Daher kann z.B. im Elektrizitätssektor bisher nicht gesagt werden, ob die Entscheidungsfindung eher durch verkürzte oder durch unbeschränkte Zeithorizonte beschrieben wird. Noch viel weniger klar ist, wie kurz die betrachteten Zeithorizonte tatsächlich sind und ob potentielle langfristige Nebeneffekte wie Lernen von Entscheidungsträgern berücksichtigt werden müssen.

In herkömmlichen ökonomischen Entscheidungsmodellen mit exponentieller Diskontfunktion sind Zeithorizonte unwesentlich, weil ihre Ergebnisse nicht von den stark abdiskontierten Ereignissen in ferner Zukunft abhängen. Viele empirische Ergebnisse weisen jedoch darauf hin, dass reales Verhalten nur schlecht mit exponentieller Diskontierung beschrieben werden kann, während verkürzte Zeithorizonte eine große Rolle spielen (Kahneman et al. 1999). Vor allem experimentelle (Loewenstein & Prelec 1992), aber auch ökonometrische (Chesson and Viscusi 2000) Studien haben gezeigt, dass dies durch eine hyperbolische oder gegenwartsbevorzugende Funktion besser beschrieben wird (Cropper et al., 1994; Laibson et al., 2004; McClure et al., 2004). Auch kognitionswissenschaftliche und neurologische Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die gegenwartsbevorzugende Unterscheidung von heutigen und zukünftigen Erträgen ein grundlegendes Element menschlicher Informationsverarbeitung (McClure et al. 2004) wie auch bei Tieren ist (Ross and Schaal 2002). Gegenwartspräferenz heißt, dass Individuen deutlich zwischen heutigen und zukünftigen Erträgen unterscheiden, während zukünftige Ereignisse kaum unterschieden werden. Dasselbe empirische Verhalten kann z.B. von einem exponentiellen Regressionsmodell mit einer Diskontrate von 3% beschrieben werden, während eine hyperbolische Regression zeigt, dass alle zukünftigen Ereignisse zunächst mit 40% diskontiert werden und spätere Ereignisse nur noch mit einer Rate von 1% unterschieden werden (Laibson et al. 2004).

Bislang sind eine Reihe von Punkten unklar. Zum Ersten hat die Forschung zwar gezeigt, dass kontextuelle Faktoren das Ausmaß der Gegenwartspräferenz beeinflussen (Suarez 2005), aber die Einflüsse von Managementstrukturen auf die Gegenwartspräferenz und die Frage, bei welchen Firmen diese überhaupt eine Rolle spielt, sind noch nicht bekannt (Frederick et al. 2002). Bisherige Studien zeigen, dass solche Abweichungen bei Entscheidungsträgern in Gruppen durchaus auftreten (Gordon & Kammen, 1996; Patt & Dessai, 2005). Andererseits verwenden Unternehmen formale, intertemporale Kosten-Nutzen-Analysen, so dass die intertemporale Konsistenz hier eher gewahrt sein dürfte, doch hängt die Anwendung solcher Methoden oft von Unternehmensgröße, -struktur und -kultur ab (Chu et al., 1999; Ensminger, 2000; Gigerenzer, 2000). Zum Zweiten hat sich gezeigt, dass Gegenwartsbevorzugung zu Inkonsistenzen (z.B. Zaudern) führen kann (O'Donoghue & Rabin 1999), aber die Effekte auf das allgemeine Marktverhalten sind noch unerforscht. Zum Dritten hat sich herausgestellt, dass bestimmte Strategien – vor allem solche, die das eigene Verhalten in der Zukunft beschränken – beitragen, die Gegenwartspräferenz zu korrigieren (Laibson 1997). Jedoch ist die Frage der Beeinflussung und Beeinflussbarkeit von Investitionsentscheidungen durch staatliche Instrumente, Marktbedingungen oder Beratung in der ökonomischen Literatur bislang kaum empirisch untersucht, obwohl ihr unter dem Blickwinkel potenzieller Problemlösungsstrategien große Bedeutung zukommt.

Eine weitere Diskrepanz von beobachtetem Verhalten zum theoretischen Modell sind verzerrte Wahrscheinlichkeitsabschätzungen (Loewenstein & Thaler 1989; Thaler 1981; 1991, Tversky & Thaler 1990; Price 1993; Camerer, 2001) und übermäßiges Selbstvertrauen (*overconfidence*) angesichts von Entscheidungssituationen bei Unsicherheit (Gordon und Kammen, 1996; Gowda

und Fox, 2002; Stracca, 2004), das auch bei Experten beobachtet wird (Barber & Odean, 2001). Menschen glauben üblicherweise, sie könnten oder wüssten mehr als tatsächlich der Fall ist. Insbesondere die Fähigkeit zur Einschätzung zukünftiger Entwicklungen wird regelmäßig überschätzt (Thaler 1991). Gordon & Kammen (1996) konnten zeigen, dass u.a. Finanzanalysten bei Entscheidungen unter Unsicherheit zu systematischen Fehlern neigen, so dass es nahe liegt, dass übermäßiges Selbstvertrauen auch zu systematischen Fehlern bei unternehmerischen Entscheidungen im Energiesektor führt. Dies kann z.B. Einfluss auf die Investitionen in neue Technologien haben, weil diese erst in der Zukunft wirksam werden und den dann herrschenden Rahmenbedingungen entsprechen sollen. Wenn diese (fälschlicherweise) ähnlich den heutigen eingeschätzt werden, könnte das zu verringerter Investitionsneigung führen. Die Frage, inwieweit Firmen des Energiesektors von diesem Bias betroffen sind, ließe sich nur mittels empirischer Untersuchungen klären.

Eine weitere zentrale Erkenntnis der Verhaltensökonomik ist, dass der Kontext und das *framing* von Entscheidungen eine Rolle spielen. Eine der gesichertsten Grundlagen der Verhaltensökonomik, die Theorie der Voraussicht, zeigt, dass Individuen Ereignisse als deutlich wichtiger bewerten, wenn sie als Verlust konnotiert sind (Kahneman & Tversky 1979). Daher ist es beim Risikomanagement wesentlich, ob Handlungsalternativen als aktive Problemlösungen oder als passive Handlungsunfähigkeit interpretiert werden (Baron & Ritov 2004; Patt & Zeckhauser 2000; Ritov & Baron 1992; Samuelson & Zeckhauser 1988).

Vor diesem Hintergrund bekommen die in der Ökonomik vielfach diskutierten Theorien und Konzepte der Erwartungsbildung zentrale Bedeutung für das Investitionsverhalten. Erwartungsbildung ist nötig, wenn die Annahme der vollkommenen Voraussicht aufgehoben werden muss, z.B. wenn die Kapitalmärkte unvollständig sind (Bebczuk 2003). Unter dieser Voraussetzung kann es durchaus rational sein, dass sich Firmen in ihren Investitionsentscheidungen gegenseitig beobachten und in ihrem Verhalten imitieren. Dies kann zu dem auf Kapitalmärkten beobachteten Herdenverhalten führen, das vor allem in der Literatur zu „Behavioural Finance“ thematisiert wird (Baker et al. 2004, Bondt & Thaler 1985, Shleifer 2000). Studien individuellen Investoren haben gezeigt, dass diese voreingenommene Erwartungen über die zukünftigen Werte ihrer Beteiligungen entwickeln (Odean 1999). Experimentelle Studien liefern bestimmte Muster von Abschätzungswahrscheinlichkeiten (Idson et al., 2001; Tversky & Koehler, 1994), die zu verzerrten Erwartungen über zukünftige Erträge führen können. Trotzdem ist noch relativ unerforscht, wie Industrieunternehmen Zukunftserwartungen ihrer Investitionen bilden, speziell in komplizierten Situationen, in denen ein Großteil des Erwartungswerts für die Firmen in der Bewertung von Optionen und Erfahrungs- und Wissensgewinn liegt.

Im Bereich der Theorie der Unternehmung lässt sich eine zunehmende Berücksichtigung von verhaltensbezogenen Faktoren erkennen. Ausgehend von der traditionellen Sicht auf Unternehmen als gewinnmaximierende Anpasser zeigen empirische Untersuchungen, dass Unternehmen durch multiple Zielsetzungen und Verhaltensorientierungen gekennzeichnet sind (Meffert & Kirchgeorg 1989; Raffée & Fritz 1990, 1991). Zudem stellt die neuere Managementforschung

zunehmend auf verhaltensrelevante Faktoren im Rahmen eines Verständnisses von Unternehmen als sozialen Phänomenen (Schanz 1979, 1990; Staehle 1999). Hierbei kommt der empirischen Untersuchung des tatsächlichen Verhaltens von Akteuren in Unternehmen wie auch von Unternehmen als kollektiven Akteuren besondere Bedeutung zu. Während hier psychologische und soziologische Konzepte häufig angewendet werden, beziehen erst wenige Arbeiten verhaltensökonomische Konzepte und Erkenntnisse auch auf Unternehmen.

Zudem zeigen Studien aus dem Bereich des International Managements die Bedeutung des kulturellen und regulativen Umfeldes für das Handeln von Unternehmen (Ronen 1986; Thomas 2002). Insbesondere Vergleiche zwischen Europa, den USA und asiatischen Kulturräumen zeigen erhebliche Divergenzen der individuellen wie vor allem auch auf Ebene kollektiver Entscheidungen in Unternehmen hinsichtlich der Wahrnehmung von Zeiträumen und Technologieoptionen, der Planungs- und Entscheidungsmethoden sowie der Selbst-Einschätzung. Hier zeigen sich noch wenig ausgebaute Bezüge zu den in der verhaltensökonomischen Literatur beschriebenen *framing*-Effekten. Daher sollen im Projekt kulturelle Rahmenfaktoren und ihr Einfluss auf Investitionsverhalten und technologischen Wandel untersucht werden.

2.2 Entwicklungsstand von Integrated Assessment Modellen zum Klimawandel

In der ersten Generation der IAM (Nordhaus 1993, 1994, Cline 1992) spielte die Bedeutung des technischen Wandels noch kaum eine Rolle. Dort wurde technischer Fortschritt im Wesentlichen als Wachstumsrate der totalen Faktorproduktivität exogen vorgegeben. Dies führte zur Politikempfehlung, dass die Emissionen vor allem in der Zukunft vermieden werden sollten, da künftige Generationen über höhere Pro-Kopf-Emissionen verfügen (Nordhaus 1993, 1994).

Die zweite Generation der IAM endogenisierte zwar den technischen Fortschritt (Goulder & Schneider 1999, Nordhaus 2002), aber die Fähigkeit der Klimapolitik, technischen Fortschritt zu *induzieren*, wurde als beschränkt eingeschätzt. Der inhärente trade-off zwischen Wirtschaftswachstum und Klimaschutz blieb bestehen, weil es nach Auskunft dieser Modelle bessere Möglichkeiten gebe, technischen Fortschritt zu induzieren: Klimapolitik würde zwar die Energieeffizienz und den Einsatz von emissionsfreien Techniken fördern, diese gebundenen Investitionsmittel könnten aber nicht mehr für Investitionen zur Steigerung der Arbeitsproduktivität genutzt werden (Goulder & Schneider 1999, Nordhaus 2002, Popp 2005, Grübler et al. 2002).

Die Endogenisierung des technischen Fortschritts in der dritten Generation der IAM war eine wichtige Vorbedingung, um überhaupt den durch Klimapolitik induzierten Fortschritt angemessen analysieren zu können (Vollebergh & Kemfert 2005, Köhler et al. 2006, vgl. auch Clarke und Weyant 2002, Carraro und Galeotti 2004). Das in diesem Zuge entwickelte Konzept des induzierten technischen Fortschritts (ITC) beschreibt den technischen Wandel, der durch (klima)politische Massnahmen hervorgerufen wird. Dieser kann aber nur mit Modellen untersucht werden, in denen der technische Fortschritt bereits im business-as-usual Szenario, in dem es keine Klimapolitik gibt, durch sozio-ökonomische Variablen bestimmt wird. Nur dann kann eine Klimapolitik, die zu einer Änderung dieser Variablen führt, durch *learning by doing* dem technischen Fortschritt eine an-

dere Dynamik und Richtung verleihen (Goulder & Mathai 2002, Manne & Richels, 2005, Gerlagh & van der Zwaan 2003). Darüber hinaus war bislang ungeklärt, ob der induzierte technische Fortschritt in Allgemeinen Gleichgewichtsmodellen überhaupt eine kostensenkende Wirkung entfalten kann. Auch der technische Fortschritt hat volkswirtschaftliche Kosten, die in vielen Modellen bislang noch nicht berücksichtigt wurden.

Durch das jüngst abgeschlossene Innovation Modelling Comparison Project (IMCP, vgl. Edenhofer et al., 2006a) konnten diese Fragen in einigen entscheidenden Aspekten geklärt werden. So konnte gezeigt werden, dass der induzierte technische Wandel auch dann eine kostensenkende Wirkung hat, wenn seine Opportunitätskosten angemessen in Rechnung gestellt werden (Edenhofer et al. 2006b, vgl. auch Weber et al. 2005). Die Ergebnisse des IMCP zeigen zwar immer noch eine erhebliche Diversität in der Modellierung des technischen Fortschritts, doch konnten zumindest einige stilisierte Fakten identifiziert werden und die noch die offenen Forschungsfragen schärfer umrissen werden (siehe Köhler et al. 2006, Edenhofer et al. 2006a). So zeigte sich im Rahmen dieser Modelle, dass ambitionierte Klimaschutzpolitik wesentlich vorteilhafter zu sein scheint als in herkömmlichen Modellierungsansätzen angenommen. Es besteht jedoch (noch) keine Einigkeit, welches die zentralen sozio-ökonomischen Variablen sind, die die Dynamik und Richtung des technischen Fortschritts bestimmen.

Das IMCP hat gleichwohl gezeigt, dass Vermeidungskosten *und* Vermeidungsstrategien entscheidend von den Investitionserwartungen abhängen. Die Kosten des Klimaschutzes steigen an, wenn Akteure die Klimapolitik nur unzureichend antizipieren können, so dass die Rentabilität etwa der erneuerbaren Energieträger falsch eingeschätzt und diese daher nur unzureichend auf Märkten eingeführt werden. Da gerade diese Techniken die Kosten des Klimaschutzes senken könnten, führt ihre unzureichende Nutzung zu höheren Klimaschutzkosten. Wenn politische Emissionsminderungsziele daher nicht glaubwürdig angekündigt werden oder Investoren diese nur unzureichend antizipieren kann auch der technische Fortschritt nur unzureichend induziert werden; vor diesem Hintergrund sind die Erwartungsbildung als auch die Fähigkeit der Politik zu glaubwürdigen Selbstverpflichtungen (Montgomery und Smith 2006) die entscheidenden Determinanten für Strategien und Kosten des Klimaschutzes. Der quantitative Zusammenhang zwischen politischen Ankündigungen und Erwartungsbildung ist allerdings noch weitgehend unklar; hier soll unser Projekt einen Beitrag leisten.

Sämtliche IAM operieren derzeit mit grob vereinfachten und wenig empirisch fundierten Annahmen über das Entscheidungsverhalten von Individuen und Unternehmen. Sie ziehen in der Regel Rational-Choice-Ansätze heran und nehmen kaum Bezug zu verhaltensökonomischen Arbeiten. Das hier vorgestellte Vorhaben zielt wesentlich darauf ab, diese Lücke zu verkleinern, um damit auch eine realitätsnähere Modellierung und Abschätzung der Verhaltensweisen von Akteuren zu erreichen.

Es kann vermutet werden, dass die Kosten ambitionierter Emissionsverpflichtungen für Europa relativ hoch werden, wenn vor allem die Vereinigten Staaten, China und Indien sich an einem Kyoto-Plus nicht beteiligen, denn bereits die Kosten des Kyoto Protokolls steigen für die Annex-I-

Staaten beträchtlich, wenn sich die USA nicht beteiligen (Kuik & Gerlagh 2003). Der Grund liegt darin, dass die Grenzvermeidungskosten für Kohlenstoff in China und in den USA wesentlich niedriger sind als in Europa. Darüber hinaus kann aber vermutet werden, dass die Selbstverpflichtung Europas zu einem ambitionierten Klimaschutz gerade China und die USA zu einem strategischen Trittbrettfahrerverhalten einladen könnten, das sich in stark steigenden Emissionen auswirkt. Erstaunlicherweise gibt es bislang kaum Untersuchungen, welche die strategischen Optionen für China und die USA unter der Bedingung einer europäischen Selbstbindung zum ambitionierten Klimaschutz ausloten. Damit hätte Europa eine zusätzliche Last des Klimaschutzes zu tragen, der seine Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den USA und China weiter verschlechtern könnte. China wird nach Prognosen der IEA (2005) etwa 19 % des weltweiten Kohlenstoffs emittieren (Indien dagegen nur 6 %), die OECD insgesamt 42 %, innerhalb dieser Emittentengruppe werden die USA der größte Emittent bleiben. Vor diesem Hintergrund bedarf die strategische Triade USA, China und Europa einer genaueren Analyse.

Hinzu kommt, dass nach dem World Energy Investment Outlook (IEA 2003) bis 2030 weltweit ca. 16 Billionen US \$ in die Infrastruktur des Energiesektors investiert werden müssen, um die Angebotskapazitäten den Ansprüchen des weltweiten Wirtschaftswachstums anzupassen. Davon werden allein 10 Billionen US \$ in den Elektrizitätssektor fließen. Allein China wird nach dieser Schätzung 2,3 Billionen US \$ investieren, in die OECD allein ca. 4 Billionen US \$. Ohne Übertreibung kann daher gesagt werden, dass die Investitionsentscheidungen in diesen 30 Jahren das Schicksal des globalen Klimaschutzes entscheidend mitbestimmen.

Forschungsfragen

Ausgehend von den beschriebenen Forschungsbedarfen ergeben sich vier zentrale Forschungsfragen für das geplante Vorhaben:

- (1) Wie werden Investitionsentscheidungen in Unternehmen im europäischen, chinesischen und US-amerikanischen Elektrizitätssektor getroffen? Welche Methoden, Diskontierungskonzepte und welche Informationen spielen dabei eine Rolle? Welche politischen, kulturellen und unternehmensspezifischen Faktoren erklären dieses Verhalten und welche theoretischen Konzepte können die empirisch beobachteten Phänomene einfangen? (Empirische Fragestellung und Theorieentwicklung)
- (2) Welche Effekte haben diese Verhaltensweisen auf Technologiewahl und –diffusion sowie auf den technologischen Wandel in den drei Untersuchungsregionen? (Modellierungsfrage, kann historisch validiert werden)
- (3) Welche Wirkungen hat dieses Investitions- und Innovationsverhalten auf die Abschätzung der Kosten und Erträge nationaler und globaler Klimaschutzstrategien? (Modellfrage, kann historisch validiert werden)
- (4) Welche konkreten Handlungsstrategien und politischen Instrumente können entwickelt werden, die langfristige Investitionen in Klimaschutz-Technologien fördern? (Modellfrage, kann historisch validiert und im Stakeholder-Dialog weiterentwickelt werden)

2.3 Forschungsleitende Hypothesen:

- H1: Voreingenommene Entscheidungsfindung bei Firmen:* Wir erwarten, dass Firmen im Elektrizitätssektor ähnliche Verhaltensabweichungen vom rationalen Akteursmodell zeigen, die bereits auch schon bei Individuen beobachtet wurden: Bevorzugung der Gegenwart (hyperbolische Diskontierung), kurze Zeithorizonte, und verzerrte Wahrscheinlichkeitsabschätzungen. Die Stärke dieser Abweichungen vom rationalen Akteursmodell bei Firmen hängt von der Firmenstruktur und der Standardisierung des Entscheidungsfindungsprozesses ab. Wir erwarten regionale Unterschiede zwischen der EU, den USA und China, die aus den unterschiedlichen Firmenstrukturen und regionalen Wahrnehmungsstrukturen (*frames*) herrühren.
- H2: Einflüsse voreingenommener Entscheidungsfindung auf das Investitionsverhalten:* Wir gehen davon aus, dass Firmen, die eine oder mehrere der unter H1 genannten Abweichungen zeigen, auch anders als der rationale Akteur in neue Technologien investieren werden. Firmen, deren Zeithorizont verkürzt ist, schätzen den langfristigen Nutzen von '*learning by doing*' zu gering ein. Firmen, die hyperbolisch diskontieren, sind relativ indifferent, wann Erträge aus neuen Technologien auf mittlere oder lange Frist anfallen, diese Erträge müssen aber sehr viel höher als bei kurzfristigen Projekten sein. Firmen mit verzerrter Wahrscheinlichkeitsabschätzung unterschätzen den Optionswert von Investitionen, die '*learning by doing*' stimulieren, und haben Probleme, Technologien mit hohen und geringen Erfolgsaussichten zu unterscheiden. Insgesamt erwarten wir, dass durch die genannten Abweichungen Firmen weniger Investitionen in neue Technologien tätigen, die mit leicht überdurchschnittlicher Wahrscheinlichkeit mittelfristig gute Erträge bringen könnten. Bevorzugt würden dagegen Investitionen mit sicheren und kurzfristigen Erträgen, oder zeitlich sehr ferne und unwahrscheinliche Ereignisse.
- H3: Einflüsse nicht-rationaler Investitionen auf den induzierten technologischen Wandel:* Die prognostizierte Zurückhaltung bei Investitionen, die sehr wahrscheinlich auf mittlere Frist Erträge bringen, führt letztlich dazu, dass die Potentiale durch '*learning by doing*' bei den betroffenen Technologien nicht ausgeschöpft werden, solange keine unterstützenden politischen Maßnahmen greifen. Die zu erwartenden Kosten signifikanter Emissionsreduktionen wären zwar gering im Vergleich zu Modellen, die ITC und '*learning by doing*' nicht berücksichtigen, aber größer als in Modellen, bei denen ITC und '*learning by doing*' zusammen mit perfekt rationalem Verhalten angenommen wird.
- H4: Regionale Differenzen im Investitionsverhalten aufgrund divergenter klima- und energiepolitischer Rahmensetzungen:* Die unterschiedlichen klimapolitischen Ausgangssitzungen und Zielformulierungen in den drei betrachteten Regionen EU, USA und China induzieren unterschiedliche Erwartungen und Investitionsentscheidungen der Unternehmen. Konkret erwarten wir, dass die vergleichsweise ambitionierten Zielformulierungen und umgesetzten Maßnahmen in der EU die Kostenerwartungen von Unternehmen stärker in Richtung klimaschonender Technologiewahl beeinflussen als in den USA und China. Zudem erwarten wir, dass kooperative Strategien zwischen Unternehmen und auf staatlicher Ebene zwischen allen Regionen auf-

grund fortschreitender Globalisierung zunehmen und sich die Rahmenbedingungen für unternehmerische Investitionen tendenziell angleichen.

H5: Einflüsse von suboptimalem ITC/'learning by doing' auf optimale Politikstrategien: Die Markteffekte der fundamentalen Nicht-Rationalitäten in der Entscheidungsfindung können durch spezifische Politikstrategien korrigiert werden. Im Elektrizitätsmarkt können Anreizprogramme das angenommene Unterinvestment in neue Technologien mit mittelfristiger Ertragswahrscheinlichkeit stimulieren. Die Kosten dieser Maßnahmen wären gering oder sogar negativ, weil dadurch Optimierungseffekte im Markt induziert würden, die Wohlfahrtsverluste kompensieren.

H6: Einflüsse des induzierten technischen Wandels auf die Koalitionsbildung der Hauptemittenten: Wir erwarten, dass die Chancen des induzierten technischen Wandels die Möglichkeiten der Koalitionsbildung vor allem zwischen USA, China und Europa erheblich erweitert. Durch diese Koalitionsbildung würden zum einen die Vermeidungskosten bei allen Mitgliedern der Koalition sinken, zum anderen bestehen dadurch auch Finanzierungsspielräume für Seiteneinzahlungen, die sich in der mittleren Sicht selbst für nicht-altruistische Akteure lohnen könnten.

2.4Expertise: Relevante eigene Vorarbeiten

Das antragstellende Team baut auf eine interdisziplinäre Forschungsgruppe auf, die im Sommer 2005 für die Zeit von 3 Monaten am Hanse-Wissenschaftskolleg in Delmenhorst zu Fragen der verhaltenswissenschaftlichen Grundlagen von IAM und den Auswirkungen auf endogenen technologischen Wandel arbeitete. Das Team ist daher sowohl im hier vorgestellten Verbund als auch vor dem Hintergrund der Biographien der beteiligten Forscher in der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit gut vorbereitet. Die Modellierungskompetenz ist durch die langjährige Erfahrung von Herrn Dr. Edenhofer und Herrn Dr. Barth in der Entwicklung von IA-Modellen vorhanden (Edenhofer 2005, 2006b; Weber et al. 2005, Barth 2003).

Das am PIK unter Federführung von Herrn Dr. Edenhofer entwickelte REMIND Modell kann für das hier entworfene Vorhaben verwendet werden und wird durch aktuelle Arbeiten von Herrn Dr. Barth zu agentenbasierten Modellen ergänzt. Des Weiteren profitiert die Gruppe von den Ergebnissen des jüngst abgeschlossenen „Innovation Modelling Comparison Project“ (IMCP), in das Herr Dr. Edenhofer maßgeblich involviert war (Edenhofer et al. 2006a). Hierdurch verfügt die Gruppe auch über hervorragende vergleichende Kenntnisse im Bereich von IA-Modellen.

Die Forschernachwuchsgruppe GELENA an der Universität Oldenburg unter Leitung von Prof. Dr. Siebenhüner hat Expertise in der Durchführung von vergleichenden Unternehmensfallstudien (Siebenhüner & Arnold 2006) sowie in der Konzipierung, Durchführung und wissenschaftlichen Begleitung von partizipativen Integrated Assessment Prozessen (vgl. Siebenhüner 2004, Siebenhüner & Barth 2005). Die Gruppe ist erfahren in der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit und bei der Integration von empirischen Untersuchungen in Modellierungsansätze. Herr Barth modelliert numerisch die wechselseitige Beeinflussung sozialer Systeme und ihrer Umwelt. Beispiele sind ein dynamisches IAM oder ein agentenbasiertes Modell zur Verbreitung von Umweltstandards.

Prof. Anthony Patt, Senior Researcher am International Institute for Applied Systems Analysis und bisher Assistant Professor of Environmental Policy am Department of Geography und am Center for Energy and Environmental Studies der Boston University, untersucht empirisch verhaltensökonomische Faktoren, die individuelle Reaktionen auf den Klimawandel beeinflussen, und modelliert Politikansätze, die diese Faktoren berücksichtigen. Er verfügt über langjährige Forschungserfahrungen in Fragen des Diskontierungsverhaltens wie des Umgangs von Individuen und Gruppen mit Unsicherheit (vgl. Patt & Dessai 2005; Patt et al. 2005; Patt & Schrag 2003, Patt 2001).

Herr Dr. Bayer bringt umfassende Kenntnisse und Fähigkeiten im Bereich der intergenerativen Diskontierung im Klimaschutz in das Projektteam ein (vgl. Bayer 2000, 2003).

3Arbeitsprogramm und Methoden

3.1Design des Vorhabens im Überblick

Um die im Abschnitt 2.3 aufgeworfenen Fragen zu klären, arbeiten wir auf drei Aggregations-ebenen (vgl. Abb. 1). Erstens wollen wir auf der Mikro-Ebene untersuchen, wie ausgewählte Unternehmen im Elektrizitätssektor ihre langfristigen Investitionsentscheidungen treffen. Zweitens wollen wir auf einer Meso-Ebene herausfinden, welche Implikationen sich aus diesen Entscheidungsmustern für den Elektrizitätssektor ergeben. Als drittes sollen auf der Basis der beiden ersten Ebenen Implikationen für eine globale Klimapolitik und/oder sektorale Steuerungsmöglichkeiten auf der Makro-Ebene abgeleitet werden. Die Arbeiten zu den verschiedenen Ebenen zielen auf Beiträge zur Theorieentwicklung und laufende wissenschaftliche Diskussionen in unterschiedlichen Feldern: Verhaltensökonomik (Mikro- und Meso-Ebene), Energieökonomik (Meso-Ebene), Integrated Assessment und IAMs (Makro-Ebene).

Die erste (Mikro-)Ebene soll hauptsächlich durch empirische Tests alternativer Theorien der tatsächlichen Entscheidungsfindung bearbeitet werden. Hier soll vor allem untersucht werden, inwieweit die bei Individuen beobachteten Abweichungen vom rationalen Akteursmodell (hyperbolische Diskontierung, kurze Zeithorizonte, übersteigertes Selbstvertrauen) mit ihren möglichen massiven Auswirkungen auf das Investitionsverhalten auch bei Firmen anzutreffen sind. Um das Verhalten von Elektrizitätsunternehmen zu bestimmen ist eine empirische Untersuchung ihres Entscheidungsverhaltens nötig, die bisher aussteht. Es ist beabsichtigt, verschiedene Unternehmen im Elektrizitätssektor mit qualitativen Fallstudien zu untersuchen, um Unterschiede in der Organisationsstruktur abdecken und aufzeigen zu können. Um die Untersuchung auch international aussagekräftig zu machen, werden wir uns auf Firmen in Europa, den USA und China konzentrieren. Dies ermöglicht uns die Untersuchung sehr unterschiedlicher Firmen- und Marktstrukturen auf drei wichtigen Märkten. Wir werden dabei vor allem untersuchen, wie sich Firmen für Investitionen in neue, unerprobte Technologien entscheiden und ob sie sich dabei eher als "rationale Akteure" oder durch verhaltensökonomische Modelle beschreiben lassen. In den geplanten Interviews mit relevanten Unternehmensvertretern/innen sollen zum einen die Entscheidungsprozesse bei Lang-

frist-Investitionen und innovativen Technologien, die dabei eingesetzten Kalkulations- und Entscheidungsunterstützungsverfahren, der Umgang mit Unsicherheit, die individuellen Bewertungsspielräume und Wahrnehmungsmuster erfragt werden. Zum anderen zielen die Interviews auf die Erfassung struktureller Gegebenheiten in den Unternehmen und den jeweiligen Untersuchungsregionen.

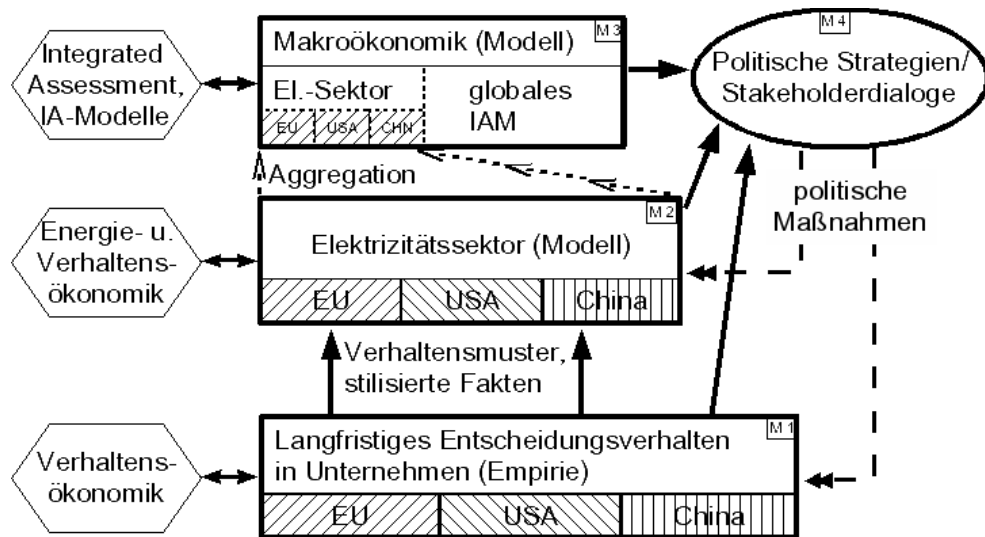


Abbildung 1: Verkopplung der Projektebenen (M1-4 = Module 1-4). Theoriebezüge sind in Sechsecken notiert.

Zur Verkopplung der empirischen Ergebnisse mit numerischen Modellen soll ein Multiskalen-Modellansatz verwendet werden. Dazu wird auf der zweiten (Meso-)Ebene zunächst ein Modell des Elektrizitätssektors für die drei betrachteten Regionen entwickelt werden, um das Verhalten der Akteure im Sektor anhand der empirischen Ergebnisse aus der ersten Säule detailliert zu simulieren. Dieses Modell soll die drei beschriebenen Abweichungen vom rationalen Akteursmodell (nicht-exponentielle Diskontierung, verzerrte Wahrscheinlichkeitsabschätzungen, framing) explizit berücksichtigen. Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung, die sich vor allem auf Fallstudien, Interviews und Marktdaten (Preise, Menge, Marktformen) stützen, gehen in das Elektrizitätsmarktmodell der Mesoebene in zweifacher Weise ein: Zum einen wird damit versucht, das Akteursverhalten zu beschreiben, zum anderen soll das Modell anhand der verfügbaren Daten der Meso-Ebene kalibriert und validiert werden. Dabei wird zu prüfen sein, ob die in Abschnitt 2.3 aufgestellten Hypothesen des Akteursverhaltens konsistent sind mit den beobachteten Marktdaten der Meso-Ebene. Auftretende Inkonsistenzen werden dabei Auslöser für eine verfeinerte Hypothesenbildung und eine Modifikation des Modelldesigns sein. Hierfür wird der Einsatz von Multi-Agenten-Modellen geprüft (vgl. Patt & Siebenhüner 2005), alternativ kann aber auch ein hochauflösendes Sektorenmodell mit repräsentativen Akteuren verwendet werden. Mit diesem Modell soll untersucht werden, wie sensitiv der technologische Wandel auf die beobachteten Entscheidungsmuster reagiert und wie groß die marginalen Effekte der drei einzelnen Abweichungen vom rationalen Akteursmodell in jeder betrachteten Region sind. Hierzu wird ein komplexeres als die bisher üblichen Modelle des Elektrizitätssektors nötig sein, dessen Schwerpunkt auf der expliziten Modellierung des Entschei-

ungsverhaltens individueller Firmen liegt. Dessen Entwicklung erscheint notwendig, obwohl bereits zahlreiche Modelle des Elektrizitäts- bzw. Energiesektors existieren. Diese lassen jedoch keine belastbaren oder gar empirisch fundierten Aussagen über das langfristige Investitionsverhalten zu. Auch die Modellierung individuellen Akteursverhaltens ist bisher lediglich in spieltheoretischen Ansätzen versucht worden.

Während sich sektorale Steuerungsfragen bereits auf der Basis dieser beiden Ebenen beantworten lassen, ist für klimapolitische Fragen auf der dritten (Makro-)Ebene der Einsatz eines makroökonomischen Modells nötig, das sowohl die dynamischen Wachstumsmuster unterschiedlicher Regionen als auch die Dynamik des Außenhandels erfasst. In das Makromodell sollen die Ergebnisse des Mesomodells und damit die Ergebnisse der empirischen Erhebung entweder in Form von geeigneten Parametrisierungen¹ oder direkt in Form einer Laufzeit-Koppelung des Mesomodells in das Makromodell eingehen, d.h. das Mesomodell wird zur Laufzeit des Makromodells ausgewertet und in das Makromodell eingespeist. Ob eine Parametrisierung oder eine Laufzeit-Koppelung möglich und sinnvoll ist, kann zum derzeitigen Stand der Forschung noch nicht beantwortet werden, da sowohl modelltechnische Probleme als auch Probleme mit der modelltechnischen Umsetzung der empirischen Daten auftreten können. Durch die angestrebte Kopplung von Meso- und Makromodell kann für das Makromodell zweierlei erreicht werden: Zum einen ist ein zentraler Teilmarkt so repräsentiert, dass zumindest zentrale stilisierte Fakten auf der Meso-Ebene reproduziert werden können. Zum anderen können mit Hilfe des Makromodells damit auch die makroökonomischen Wirkungen von Marktunvollkommenheiten ausgelotet werden. Damit wird ein weiterer Schritt hin zur oft geforderten Mikrofundierung der Makroökonomik getan. So sollen regionale Unterschiede im Innovationsverhalten überprüft werden und ergründet werden, von welchen Parametern diese Unterschiede abhängen. Um dies zu erreichen soll das sektorale Modell dazu genutzt werden, das Energiesystemmodell des globalen IA-Modells REMIND (Edenhofer et al. 2005) zu verbessern. Das REMIND-Modell soll dazu benutzt werden, verschiedene mögliche makroökonomische Szenarien zu beschreiben, die als Randbedingungen für die Analyse des Elektrizitätssektors dienen..

In die Analyse von REMIND gehen empirisch ermittelte Annahmen über langfristige Investitionsentscheidungen ein. Die Analyse auf der Sektorebene wird unter Berücksichtigung verhaltensökonomischer Analysen unter Umständen ein Abweichen von intertemporalen optimalen Ent-

¹ Zur Parametrisierung soll vorzugsweise aus Simulationen des sektoralen Modells eine Verhaltensfunktion abgeleitet werden, mit deren Hilfe die Investitionsentscheidungen im Elektrizitätsmodul in geeigneter Weise parametrisiert werden sollen. Falls dies nicht mit geschlossenen Funktionen möglich ist, kann hier ein Impuls-Antwort-Verfahren eingesetzt werden. Dabei wird zunächst die Antwortfunktion des sektoralen Modells auf kleine, kurze (delta-artige) Störungen ermittelt. Reale Störungen lassen sich in gewissen Grenzen als Überlagerung solcher Delta-Störungen auffassen, so dass die reale Antwort als Überlagerung (Faltung) der Delta-Antworten berechnet werden kann. Falls auch dies nicht möglich sein sollte, etwa weil die Antwortfunktion zu schnell nichtlinear wird, ließe sich auch das sektorale Modell direkt als Elektrizitätsmodul in das IAM integrieren, was jedoch einen zusätzlichen Aufwand darstellen würde.

scheidungen konstatieren. Diese Analysen können dazu benutzt werden, durch geeignete Parametrisierungen diese Friktionen auf Märkten zu berücksichtigen. Damit entsteht zwischen der makroökonomischen Analyse und der sektorspezifischen Analyse eine zweifache Rückkoppelung. Zum einen wird das Makromodell REMIND dazu benutzt, geeignete Randbedingungen für die sektorspezifische Analyse zu formulieren. Zum anderen gehen die Analysen des Elektrizitätssektors als geeignete Parametrisierungen in das Makromodell ein.

Mit diesem verbesserten Modell ist auch eine Basis gegeben, um den Einfluss des technischen Fortschritts auf die Koalitionsbildung zwischen den drei Hauptemittenten USA, China und Europa zu analysieren. Dabei kann auf die Literatur zur Koalitionsbildung genutzt werden (Carraro & Marchiori 2002, Tulkens 1998, Carraro et.al. 2005), die jedoch bislang den Einfluss des induzierten technischen Wandels auf Koalitionsbildung bislang weitgehend vernachlässigt hat.

3.2 Arbeitspakete, Zuständigkeiten und Ressourcen

(in Klammern: Monate, in denen das Arbeitspaket bearbeitet wird; Legende: MS: Meilenstein; V = Hauptverantwortung; M = Mitarbeit; PIK = Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, UOL = Universität Oldenburg, IIASA = International Institute for Applied Systems Analysis)

Modul 1: Langfristiges Entscheidungsverhalten von Unternehmen

Arbeitspaket (AP) 1 – Vorstudien (Monate 1-6): Aufbauend auf umfassenden Literaturrecherchen soll zunächst der bisherige Forschungsstand zu folgenden Themenfeldern projektspezifisch in survey-artig angelegten Vorstudien aufbereitet werden: (a) „Investitionsentscheidungen und endogener technologischer Wandel im Rahmen von IAM“, (b) „Konzepte intertemporaler Entscheidungen von Individuen und Unternehmen“, (c) „Beeinflussungsfaktoren des unternehmerischen Investitionsverhaltens“, (d) „Rahmenbedingungen und Trends des Elektrizitätssektors in Europa, den USA und China“. Diese dienen sowohl der Aufbereitung der relevanten wissenschaftlichen Diskussionen als auch der Generierung und Verfeinerung zentraler Forschungshypothesen und ihrer Operationalisierung für die empirische Forschung. Ein Ausbau zu Übersichtsartikeln oder konzeptionell ausgerichteten Beiträgen in Fachzeitschriften ist geplant. Zudem soll ein Projekt-Flyer erstellt werden. (V: PIK für Vorstudie a; UOL für Vorstudie c; IIASA für Vorstudien b, d)

AP 2 – Erster Experten- und Stakeholderworkshop (Monat 7): Die Forschungsfragen, Hypothesen und Theorieansätze dieses ersten Schrittes sollen mit Experten und relevanten Stakeholdern auf ihre Relevanz, Zuverlässigkeit und forschungspraktische Umsetzbarkeit überprüft und angepasst werden. Hier sollen auch Zugangsmöglichkeiten zu anderen relevanten Akteuren im Feld geschaffen werden. (V: PIK)

AP 3 – Empirische Fallstudien (Monate 8-14): Durch Fallstudien, telefonischen Experteninterviews und Marktanalysen sollen typische Muster langfristiger Investitionsentscheidungen in Kraftwerke für fossile, nukleare und erneuerbare Energieträger im europäischen und amerikanischen Elektrizitätssektor erhoben werden. Hierfür sollen verfügbare Datenbestände der statistischen Ämter und Branchen-Daten herangezogen und ökonometrisch ausgewertet werden, die durch Tiefen-

fallstudien bei neun in diesem Bereich tätigen Großunternehmen (je drei in Europa, den USA und China) ergänzt werden, welche sowohl auf verfügbaren Unternehmensdaten als auch auf Interviewdaten aus persönlichen Interviews mit jeweils bis zu 5 zentralen Unternehmensvertretern in ausgewählten Fallstudien-Unternehmen beruhen sollen. Dabei mit einem semi-strukturierten Interviewleitfaden zum einen die Diskontierungspraxis (Erwartungsbildung, Diskontierungsmethoden, Entscheidungsverfahren und ex-post-Bewertungen) und zum anderen die wichtigsten Determinanten des Investitionsverhaltens identifiziert werden, z.B. strukturelle und kulturelle organisationale Bedingungen, soziale Netze, Marktformen Regulierungsrahmen und technischer Fortschritt. (V: UOL für Fallstudien in EU und China; IIASA für Fallstudien in den USA)

AP 4 – Auswertung, Ergebnisverdichtung, Theorieentwicklung (Monate 14-24): Die empirischen Daten sollen vor dem Hintergrund der Forschungshypothesen theoriegeleitet ausgewertet werden. Dabei steht vor allem die Verdichtung im Hinblick auf stilisierte Fakten des langfristigen Investitionsverhaltens von Individuen und Unternehmen im Zentrum. Diese stilisierten Fakten sollen zur weitergehenden Theorieentwicklung im Rahmen der Verhaltensökonomik und der Theorie der Erwartungsbildung herangezogen werden. Zudem sollen sie als Grundlage für das Elektrizitätssektormodell und die Weiterentwicklung des IA-Modells REMIND in Modul 3 dienen. (V: UOL, M: IIASA, PIK)

AP 5 – Zweiter Experten- und Stakeholderworkshop (Monat 13): Auch die empirischen Ergebnisse sollen mit Experten aus den relevanten wissenschaftlichen Communities, insbesondere der Verhaltensökonomik, und einigen Stakeholdern im Rahmen eines Workshops erörtert und auf ihre theoretische Passfähigkeit, politische und praktische Relevanz sowie hinsichtlich der Modellbildung überprüft werden. Der Workshop dient vor allem der Ausrichtung der Auswertung der empirischen Daten an theoretischen Debatten. (V: UOL)

MS 1: Die Vorstudien sind erstellt und die empirischen Fallstudien und weiteren Datenerhebungen sind abgeschlossen. Auf dem 2. Workshop wurden die Untersuchungsergebnisse vorgestellt und Leitlinien für die Auswertung festgelegt. (Monat 13)

Modul 2: Modellierung des Elektrizitätssektors

AP 6 – Literaturstudie Elektrizitätssektormodelle (Monate 7-11): Aufbauend auf umfassenden Literaturrecherchen soll zunächst der bisherige Forschungsstand zur Modellierung des Elektrizitätssektors projektspezifisch aufbereitet werden. Hier sollen vor allem Ansatzpunkte, an denen modifizierte Verhaltensannahmen greifen, gefunden und Ideen für eine Neumodellierung entwickelt werden. (V: UOL, M: PIK)

AP 7 – Modellierung des Elektrizitätssektors (Monate 12-17): Unter Bezug auf die Erkenntnisse aus AP 6 soll ein generisches Modell des Elektrizitätssektors entwickelt werden, bei dem beschränkt rationale Entscheidungsfindungsprozesse einzelner Firmen berücksichtigt werden. Die Art des Modells wird auf Basis der Literaturstudien aus AP 6 festgelegt. (V: UOL, M: PIK)

AP 8 – Regionale Anpassung (Monate 18-24): Das generische Modell aus AP 7 wird für die drei Untersuchungsregionen (EU, USA, China) angepasst. Diese Regionalmodelle sollen dann so kalibriert werden, dass die in AP 3 und 4 generierten stilisierten Fakten auf Sektorebene reproduziert werden und so Aspekte des langfristigen Investitionsverhaltens von Firmen im jeweiligen regionalen Elektrizitätssektor erklärt werden können. (V: UOL, M: PIK, IIASA)

MS 2: Es sind drei regional angepasste Modelle der Elektrizitätsmärkte der USA, Chinas und der EU erstellt, die auf die empirischen Daten aus Modul 1 zurückgreifen. (Monat 24)

AP 9 – Aggregation der sektoralen Ergebnisse (Monate 20-24): Hier sollen die sektoralen Modelle so aggregiert und aufbereitet werden, dass sie in das globale IAM integriert werden können. Dies soll vorzugsweise über eine funktionale Beschreibung des Investitionsverhaltens erfolgen. Weiter sollen die Ergebnisse für die energieökonomische Diskussion aufbereitet werden. (V: PIK, M: UOL)

Modul 3: Makroökonomische Modellierung:

AP 10 – Anpassung des IAM REMIND (Monate 18-24): Hier werden die technischen Voraussetzungen geschaffen, um die modifizierten Verhaltensannahmen aus den regionalen Elektrizitätssektormodellen in das globale IA-Modell REMIND zu integrieren. Mit diesem Modell soll dann untersucht werden, welche konkreten Auswirkungen dieses Investitionsverhalten sowie alternative Diskontierungsverfahren auf der globalen Ebene haben. (V: PIK)

MS 3: Es wird entschieden, ob eine Laufzeit-Koppelung des Meso- und des Makromodells möglich ist oder ob eine Parametrisierung durchgeführt werden muss. (Monat 22)

AP 11 – Auswertung der Modellergebnisse (Monate 24-30): Die Simulationsläufe des weiterentwickelten Modells sollen hinsichtlich der Implikationen des Unternehmensverhaltens auf einer makro-(ökonomischen) Ebene untersucht werden. (V: PIK, M: UOL, IIASA)

AP 12 – Analyse von Politikoptionen und der Koalitionsbildung (Monate 28-32): Mit Hilfe dieses Modells sollen die in Schritt eins und zwei gewonnenen Hypothesen hinsichtlich der resultierenden Klimaschutzkosten und die Vermeidungsstrategien untersucht werden. Zudem soll der Einfluss des technischen Wandels auf die Möglichkeiten und Grenzen der Koalitionsbildung zwischen China, USA und Europa analysiert werden. Da für die Beteiligung Chinas und der USA an einem Kyoto-Plus Regime die Dynamik der Vermeidungskosten von entscheidender Bedeutung ist, sollen diese im Modell konkret untersucht werden. Um diese realistisch abzuschätzen, bedarf es einer sinnvollen Definition von Baseline Szenarien, die in Kooperation mit den chinesischen Partnern entwickelt werden sollen. Auf dieser Basis sollen dann verschiedene „Klimapolitiksznarien“ gerechnet werden, die zeigen sollen, wie vorteilhaft es für China ist, sich an einer Klimaschutzkoalition zu beteiligen. Da induzierter technischer Wandel wiederum entscheidend von den langfristigen Investitionsentscheidungen abhängt, ist ein Verständnis für diese Frage von grundlegender Bedeutung. (V: PIK, M: UOL, IIASA)

MS 4: Es sind Politikoptionen auf Basis von Modellsimulationen entwickelt worden, die auf induzierten technischen Wandel und die im Projekt gewonnenen verhaltensökonomischen Erkenntnisse zurückgreifen. (Monat 32)

Modul 4: Politische und ökonomische Handlungsstrategien/Stakeholder-Dialoge

AP 13 – Ausarbeitung von Handlungsstrategien (Monate 30-36): Politische Handlungsmöglichkeiten sollen sowohl im Meso-Bereich des Unternehmenshandelns im Elektrizitätssektor als auch auf der Makro-Ebene identifiziert und ausgearbeitet werden. Hierfür werden sowohl die verdichteten empirischen Erkenntnisse wie auch die Ergebnisse der Modellsimulationen herangezogen. Im Ergebnis sollen politische Maßnahmenbündel und innovative Handlungsstrategien für politische und andere gesellschaftliche Akteure konkret ausgearbeitet werden. (V: PIK, M: UOL, IIASA)

AP 14 – Dritter Stakeholder- und Expertenworkshop (Monat 33): Die ausgearbeiteten Handlungsstrategien sollen mit Stakeholdern dialogisch erörtert werden. Hierbei sollen in Kooperation mit dem European Climate Forum (ECF) vor allem Entscheidungsträger aus Politik, Nichtregierungsorganisationen und Unternehmen aus den drei Untersuchungsregionen einbezogen werden, um kooperative Handlungsstrategien unter expliziter Zielsetzung der Förderung technologischen Wandels im Rahmen des Klimaschutzes handlungsorientiert weiter zu entwickeln und umzusetzen. Um die Ergebnisse in die Forschung einzuspeisen werden auch einige Wissenschaftler teilnehmen. (V: PIK)

AP 15 – Endberichtslegung (Monate 34-36): In der Endphase sollen drei Monate für die Ausarbeitung des Endberichts und die Fertigstellung der Abschlusspublikationen vorgesehen werden. (V: UOL, M: PIK, IIASA)

4 Verwertungsplan

Durch die stete und umfassende Verbreitung der Ergebnisse in die Zielgruppen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik/Zivilgesellschaft soll Sorge dafür getragen werden, dass das Projekt auch praktisch-politische Veränderungen in Richtung einer nachhaltigeren Entwicklung anregen kann. Der (entwicklungsoffene) Verwertungsplan des Vorhabens sieht die folgenden projektbegleitenden Aktivitäten vor: Erstellung und Verteilung eines Projekt-Flyers (AP 1), Internet-Darstellung über die Webseiten der Institutionen, drei internationale Workshops mit Experten und Stakeholdern (AP 2, AP 5, AP 13), englischsprachige Arbeitspapiere (z.B. PIK Reports) und Publikationen in referierten Fachzeitschriften sowie Vorträge auf einschlägigen Konferenzen, sowie den Endbericht (AP 15).

4.1 Wissenschaftliche Erfolgsaussichten und Anschlussfähigkeit

Aufbauend auf einschlägigen Vorarbeiten aller beteiligten Institutionen kann die Anschlussfähigkeit der Projektarbeiten an die wissenschaftliche Öffentlichkeit und auch innerhalb der beteiligten Einrichtungen als gegeben eingeschätzt werden. Im Rahmen des Vorhabens kommen die spezifischen Kompetenzfelder der Partnerinstitutionen zum wechselseitigen Vorteil zum Einsatz. Damit können auch spezifische Lücken in der Forschungslandschaft, wie z.B. die verhaltensökonomische Fun-

dierung von IAMs erfolgversprechend angegangen werden. Die Partner verfügen über einschlägige Publikationserfahrungen und entsprechende Zugänge zu hochrangigen Publikationsmöglichkeiten, so dass eine breite Streuung der Ergebnisse in international und national relevanten, referierten Fachzeitschriften erreicht werden kann (z.B. Energy Journal, Energy Modelling, Ecological Economics, Environmental and Resource Economics, Journal of Environmental Economics and Management, Journal of Risk and Uncertainty) sowie über aktive Tagungsteilnahmen und Bekanntmachungen auf Listservern im Rahmen einschlägiger wissenschaftlicher Vereinigungen und Netzwerke.

4.2 Anwendungsorientierte Erfolgsaussichten und Anschlussfähigkeit

Die projektbegleitende Ergebniskommunikation soll auch über Publikationen in stärker politisch orientierten Zeitschriften sowie über die Tages- und Wochenpresse, z.B. über Interviews und bestehende Pressekontakte erfolgen und so die weitere Öffentlichkeit erreichen. Durch die aktive und frühzeitige Einbeziehung von relevanten Stakeholdern aus dem Umkreis des European Climate Forum (ECF) soll die anwendungsorientierte Ausrichtung der Projektarbeiten sichergestellt werden.

Die politikorientierte Aufbereitung und Ausarbeitung von Politikoptionen (AP 12 – 14) soll politische Prozesse vor allem auch in der internationalen bi- und multilateralen Klimapolitik anstoßen. Vor allem im Hinblick auf die Entwicklung der Diskussion um Kyoto-Plus und auf die Kooperation zwischen China, Europa und den USA sollen die Projektergebnisse gestaltungsorientierte Beiträge liefern, die auch über das Projektende hinaus wirken sollen.

5 Arbeitsteilung/Zusammenarbeit mit Dritten

5.1 Kooperation im Verbund

Der Projektverbund bringt ausgewiesene Forschungseinrichtungen mit komplementären Kernkompetenzen in der Volks- und Betriebswirtschaftslehre sowie in der Nachhaltigkeitsforschung zusammen (eine konkrete Beschreibung der Institutionen wie der Personen findet sich im Anhang). Die Module und Arbeitspakete sind so konzipiert, dass eine wechselseitige Befruchtung und Weiterentwicklung sowohl auf theoretisch-konzeptioneller, wie auf methodischer Ebene möglich wird. Die zentralen Projektergebnissen und Publikationen werden in der Regel in übergreifenden Teams erstellt. Die Projektleitung liegt bei der Universität Oldenburg während die Verantwortung für die Arbeitspakete entlang der Kernkompetenzen verteilt ist. Die enge Verzahnung der Projektarbeiten erfordert regelmäßige Arbeitstreffen, die viermal jährlich stattfinden sollen. Zudem findet eine laufende Abstimmung per Email und Telefon statt. Zur Vereinfachung der organisatorischen Abwicklung des Projektes soll der/die Professor Patt zugeordnete Mitarbeiter/in mit einer halben Stelle am PIK angesiedelt werden. Die Betreuung findet durch Herrn Patt in inhaltlicher und durch Herrn Edenhofer in organisatorischer Hinsicht statt. Herr Patt wird zur Abwicklung der Projektarbeit und zur engen Abstimmung mit seiner/m Mitarbeiter/in zweimal jährlich Forschungsaufenthalte am PIK durchführen. Die Arbeitsteilung unter den Projektpartnern ist in Anhang 2 im Detail aufgeführt.

5.2 Kooperation mit Praxispartnern/Stakeholder-Dialoge

Im Projekt ist eine enge Kooperation mit den Unternehmen und anderen Einrichtungen im European Climate Forum (ECF) vorgesehen, das als Partner vor allem bei der Durchführung der Stakeholder-Dialoge fungieren soll (s. beiliegende Interessenbekundung). Des Weiteren bestehen Kooperationen mit folgenden Partnern, die im Laufe des Projektverlaufs ausgebaut werden sollen und von denen drei für die Europäischen Tiefenfallstudien gewonnen werden sollen: (1) RWE, (2) Vattenfall, (3) BP, (4) E.On, (5) Electricité de France (EDF), (6) EnBW, (7) British Energy

5.3 Notwendigkeit der Zuwendung

Für das Vorhaben ist eine Laufzeit von drei Jahren vorgesehen. Der Gesamtmittelbedarf wird auf ##### Euro veranschlagt. Die Antragstellenden sind gemeinnützige staatliche und nicht-staatliche Forschungseinrichtungen. Ohne (zusätzliche) Drittmittel-Förderung sind die im Projektzusammenhang erforderlichen personellen Kapazitäten und Sachmittel nicht zu erbringen. Die Forschung des grundgeförderten Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung folgt einer langfristigen, mit dem Scientific Advisory Board sowie den zuständigen Landes- und Bundesministerien abgestimmten Agenda. Die im Rahmen des Vorhabens vorgesehenen Arbeiten sind bislang nicht in dieser Forschungsplanung vorgesehen und erfordern daher zusätzliche Ressourcen. Die Zielstellung der Theorieentwicklung ist nicht über Unternehmensbeiträge finanzierbar, da sie kein marktfähiges Produkt für die Praxispartner darstellt.

Anhang 1: Literatur

- Baker, Malcolm, Ruback, Richard, and Jeffrey Wurgler (2004): Behavioral Corporate Finance: A survey, NYU working paper.
- Barber, B. und Odean, T., 2001. Boys will be boys: gender, overconfidence, and common stock investment. *Quarterly Journal of Economics*, 116(1): 261-292.
- Baron, J. und Ritov, I., 2004. Omission bias, individual differences, and normality. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 94: 74-85.
- Barth, V. (2003): Integrated Assessment of Climate Change Using Structural Dynamic Models, Doktorarbeit, Universität Hamburg/Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg
- Bayer, S. 2003. Generation Adjusted Discounting in Long-term Decision-Making, *International Journal of Sustainable Development*, Vol. 6, pp. 133-149.
- Bayer, S., 2000. Intergenerationelle Diskontierung am Beispiel des Klimaschutzes, Marburg: Metropolis.
- Bebczuk, R., 2003. Asymmetric information in Financial Markets. Cambridge University Press, Cambridge
- Beschorner T, Behrens T, Hoffmann E, Lindenthal A, Hage M, Thierfelder B, Siebenhüner B, 2005. Institutionalisierung von Nachhaltigkeit, Metropolis, Marburg
- Bolton, G. E., E. Katok, and R. Zwick. 1998. Dictator game giving: Rules of fairness versus acts of kindness. *International Journal of Game Theory*, 27, 269-299
- Camerer, C. 2001. Prospect theory in the wild: evidence from the field. Pages 288-300 in A. Tversky, editor. *Choices, Values, and Frames*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Camerer, C., Issacharoff, S., Loewenstein, G., O'Donoghue, T. und Rabin, M., 2003. Regulation for conservatives: behavioral economics and the case for asymmetrical paternalism. *University of Pennsylvania Law Review*, 151: 1211-1254.
- Cansier, D. 1998. Volkswirtschaftliche Grundlagen der Nachhaltigkeit. Pages 47-56 in BMU, editor. *Ökologie. Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland, Tagungsband zum Fachgespräch*. BMU, Bonn.
- Carraro, C., Eyckmans, J., Finus, M., 2005. Optimal Transfers and Participation Decision in International Agreements. Working Paper
- Carraro, C., Marchiori, C., 2002, Stable Coalitions. FEEM Working Paper
- Carraro, C. und Galeotti, M., 2004. Does Endogenous Technical Change Make a Difference in Climate Change Policy Analysis? A Robustness Exercise with the FEEM-RICE Model, Milan, Fondazione Eni Enrico Mattei, Nota di Lavoro 152.04.
- CEU (Council of the European Union), 1996. 1939th Council Meeting, Luxembourg, 25 June 1996.
- CEU (Council of the European Union), 2004. 2632nd Council Meeting, Brussels, 20 December 2004.
- Chesson, H. und Viscusi, W.K., 2000. The heterogeneity of time-risk tradeoffs. *Journal of Risk and Uncertainty*, 13(2): 251-258.
- Chu, P. C., E. Spires, and T. Sueyoshi. 1999. Cross-cultural differences in choice behavior and use of decision aids: a comparison of Japan and the United States. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 77:147-170.

- Clarke, L.E. und Weyant, J.P., 2002. Modeling Induced Technical Change: An Overview, in A. Grübler, N. Nakicenovic, and W.D. Nordhaus (eds.), *Technological Change and the Environment*, Washington D.C.: Resources for the Future Press.
- Cline, W.R., 1992. *The Economics of Global Warming*, Inst. for Internat. Economics, Washington D.C.
- Cropper, M., Aydede, S. und Portney, P., 1994. Preferences for life savings programs: how the public discounts time and age. *Journal of Risk and Uncertainty*, 8: 243-265.
- De Bondt, Werner F. M., and Richard Thaler (1985): Does the Stock Market overreact?, *Journal of Finance*, Vol. 40, pp. 793-805.
- Edenhofer, O, Carraro, C., Köhler, J., and Grubb, M. (Eds.), 2006a, *Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation*, Special Issue of *The Energy Journal*
- Edenhofer, O, Kemfert, C., Lessmann, K., Grubb M., Koehler J., 2006b. *Induced Technological Change: Exploring its Implication for the Economics of Stabilisation. Insights from the Innovation Modelling Comparison Project. The Energy Journal (Special Issue: Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilization)*, 57-108
- Edenhofer, O., Bauer, N., Kriegler, E. 2005. The Impact of Technological Change on Climate Protection and Welfare: Insights from the Model MIND. *Ecological Economics* 54, 277-292
- Eichenberger, R., and F. Oberholzer-Gee. 1998. Rational moralists: The role of fairness in democratic economic politics. *Public Choice* 94:191-210.
- Endres, A., and V. Radke, editors. 1998. *Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung. Elemente ihrer wirtschaftstheoretischen Fundierung*. Duncker & Humblot, Berlin.
- Enquete Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages (Eds.), 1998. *Konzept Nachhaltigkeit - vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlußbericht*, Deutscher Bundestag, Bonn
- Ensminger, J., 2000. Experimental economics in the bush: how institutions matter. In: C. Menard (Editor), *Institutions and Organizations*. Edward Elgar, London.
- Frank, R. H., editor. 1988. *Passions with Reason*. Norton, New York.
- Frederick, S., Loewenstein, G. und O'Donoghue, 2002. Time discounting and time preference: a critical review. *Journal of Economic Literature*, 40: 351-401.
- Frey, B. S. 1992. Tertium datur: pricing, regulating and intrinsic motivation. *Kyklos* 45:161-184.
- Frey, B. S., editor. 1997. *Markt und Motivation. Wie ökonomische Anreize die (Arbeits-)Moral verdrängen*. Vahlen, München.
- Gerlagh, R. und van der Zwaan, B., 2003. Gross world product and consumption in a global warming model with endogenous technological change, *Resource and Energy Economics*, 25, 35-57
- Gigerenzer, G., 2000. *Adaptive thinking: rationality in the real world*. Oxford University Press, Oxford UK.
- Gintis, H. 2000. Beyond Homo economicus: evidence from experimental economics. *Ecological Economics* 35:311-322.
- Gordon, D. und Kammen, D., 1996. Uncertainty and overconfidence in time-series forecasts: application to the Standard & Poor's 500 stock index. *Applied Financial Economics*, 6: 189-198.
- Goulder, L.H. und Mathai, K., 2002, Optimal CO2 abatement in the presence of induced technological change. In: A. Grübler, N. Nakicenovic und W. D. Nordhaus (eds), *Technological Change and the Environment*. Resources for the Future, Washington DC, USA, 210-250.

- Goulder, L.H. und Schneider, S.H., 1999. Induced technological change and the attractiveness of CO₂ abatement policies. *Resource and Energy Economics*, 21, 211-253.
- Gowda, R. und Fox, J. (Editors), 2002. Judgments, decisions, and public policy. Cambridge Series on Judgment and Decision Making. Cambridge University Press, Cambridge UK.
- Grübler, A., Nakicenovic, N. und Nordhaus, W.D. (eds), 2002. Technological Change and the Environment. Resources for the Future, Washington DC, USA
- Hare, B., und Meinshausen, M., 2004. How Much Warming Are We Committed To and How Much Can Be Avoided?, PIK Report 93, Potsdam
- Homann K, 1996. Sustainability: Politikvorgabe oder regulative Idee? . in: L Gerken (Eds.): Ordnungspolitische Grundfragen einer Politik der Nachhaltigkeit, Baden-Baden, pp. 33-47
- Idson, L., Krantz, D., Osherson, D. und Bonini, N., 2001. The relation between probability and evidence judgment: an extension of support theory. *Journal of Risk and Uncertainty*, 22(3): 227-249.
- IEA (International Energy Agency), 2003, World Energy Investment Outlook, Paris
- IEA (International Energy Agency), 2005. World Energy Outlook 2005 – Middle East and North Africa Insights, Paris
- Kahneman, D. und Tversky, A., 1979. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk, *Econometrica*, 47(2), 263-292.
- Kahneman, D., Diener, E., und Schwarz, N. (eds.) 1999. Well-being: the foundations of hedonic psychology. Russell Sage Foundation, New York.
- Kahneman, D., Knetsch, J., und Thaler, R., 1986. Fairness and the assumptions of economics. *Journal of Business*, 59, 285-300.
- Klemisch-Ahlert, M. 1996. Bargaining in Economic and Ethical Environments: An Experimental Study and Normative Solution Concepts. Springer, Berlin u. a.
- Köhler, J., Grubb M., Popp, D., and Edenhofer, O., 2006. The Transition to Endogenous Technical Change in Climate-Economy Models, *The Energy Journal* (Special Issue: Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilization), 17-56
- Kopfmüller J, Brandl V, Jörisen J, Paetau M, Banse G, Coenen R, Grunwald A, 2001. Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet. Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren, Edition Sigma, Berlin
- Kuik, O., Gerlagh, R., 2003. Trade Liberalisation and Carbon Leakage. *The Energy Journal*, 24(3), 97-120
- Laibson, D., 1997. Golden eggs and hyperbolic discounting. *Quarterly Journal of Economics*, 112(2): 443-478.
- Laibson, D., Repetto, A. und Tobacman, J., 2004. Estimating discount functions from lifecycle consumption choices, Harvard University Department of Economics, Cambridge, MA, pp. 44.
- Loewenstein, G. und Prelec, D., 1992. Anomalies in Intertemporal Choice: Evidence and an Interpretation, *The Quarterly Journal of Economics*, 107, 573-597.
- Loewenstein, G. und Thaler R.H., 1989. Anomalies, Intertemporal Choice, *Journal of Economic Perspectives*, 3, 181-193.
- Manne, A., und Richels, R., 2005. The impact of learning-by-doing on the timing and costs of CO₂ abatement, *Energy Economics*, 26(4), 603-619.
- McClure, S., Laibson, D., Loewenstein, G. und Cohen, J., 2004. Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science*, 306, 503-507.

- Meffert, H., and M. Kirchgeorg. 1989. Umweltschutz als Unternehmensziel. Wissenschaftliche Gesellschaft für Marketing und Unternehmensführung, Münster.
- Minsch J, Feindt P-H, Meister H-P, Schneidewind U, Schulz T, 1998. Institutionelle Reformen für eine Politik der Nachhaltigkeit, Springer, Berlin
- Montgomery, W.D. und Smith, A.E., 2006. Price, Quantity, and Technology Strategies for Climate Change Policy. In: M. E. Schlesinger (Ed.), Human-Induced Climate Change: An Interdisciplinary Assessment. Cambridge Univ. Press (i.E.).
- Nordhaus, W. D., 2002, Modelling Induced Innovation in Climate-Change Policy. In: A. Grubler, N. Nakicenovic und W. D. Nordhaus (eds), Technological Change and the Environment. Resources for the Future, Washington DC, USA, 182-209.
- Nordhaus, W., 1994. Managing the Global Commons. MIT Press, Cambridge, MA.
- Nordhaus, W.D., 1993. Rolling the "DICE": An optimal transition path for controlling greenhouse gases, *Resource Energy Econ*, 15, 27-50
- Nutzinger, H. G. 1995. Von der Durchflußwirtschaft zur Nachhaltigkeit: Zur Nutzung endlicher Ressourcen in der Zeit. Pages 207-235 in B. Biervert, and M. H. Held, editors. *Zeit in der Ökonomi*. Campus, Frankfurt/M., New York.
- Odean, T., 1999. Do investors trade too much? *American Economic Review*, 89(5): 1279-1298.
- O'Donoghue, T. und Rabin, M., 1999. Doing it now or later. *American Economic Review*, 89: 103-124.
- Ott, K., und Döring, R., 2004, Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit. Metropolis Verlag
- Patt, A. G., R. Klein, und A. de la Vega-Leinert. 2005. Taking the uncertainties in climate change vulnerability assessment seriously. *Comptes Rendus Geosciences* 337, 411-424.
- Patt, A. und D. Schrag, 2003. Using specific language to describe risk and probability. *Climatic Change* 61: 17-30
- Patt, A. und Siebenhüner, B., 2005.: Agent Based Modeling and Adaptation to Climate Change. In: DIW-Vierteljahresheft Vol. 74, No. 2, pp. 310–320.
- Patt, A., 2001. Understanding uncertainty: forecasting seasonal climate for farmers in Zimbabwe. *Risk, Decision and Policy* 6: 105-119.
- Patt, A.G. und Dessai, S., 2005. Communicating uncertainty: lessons learned and suggestions for climate change assessment. *Comptes Rendus Geosciences*, 337: 425 – 441.
- Patt, A.G. und Zeckhauser, R., 2000. Action bias and environmental decisions. *Journal of Risk and Uncertainty*, 21(1): 45-72.
- Petry, N., Bickel, W. und Arnett, M., 1998. Shortened time horizons and insensitivity to future consequences in heroin addicts. *Addiction*, 93(5): 729-738.
- Popp, D., 2005. Comparison of Climate Policies in the ENTICE-BR Model. *The Energy Journal* (submitted)
- Price, C., 1993. Time, Discounting, and Value, Oxford and Cambridge, Mass.: Blackwell.
- Rabin, M., 1998. Psychology and economics. *Journal of Economic Literature*, 36(1): 11-46.
- Radke, V. 1995. Sustainable Development - Eine ökonomische Interpretation. *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht (ZfU)* 8, 532-543
- Raffée, H., and W. Fritz. 1990. Unternehmensführung und Unternehmenserfolg : Grundlagen und Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Institut für Marketing, Universität Mannheim, Mannheim.
- Raffée, H., and W. Fritz. 1991. Die Führungskonzeption erfolgreicher und weniger erfolgreicher Industrieunternehmen im Vergleich : Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft : ZfB* 61, 1211-1226.

- Ritov, I. und Baron, J., 1992. Status quo and omission biases. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 49-61.
- Ronen, S. 1986. Comparative and multinational management. Wiley, New York.
- Ross, L. und Schaal, D., 2002. Time of supplemental feeding alters the effects of cocaine on lever pressing of rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 77, 199-208.
- Samuelson, W. und Zeckhauser, R., 1988. Status quo bias in decision making. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1, 7-59.
- Schanz, G. 1979. Betriebswirtschaftslehre als Sozialwissenschaft. Kohlhammer, Stuttgart u.a.
- Schanz, G. 1990. Wissenschaftsprogramme der Betriebswirtschaftslehre. Pages 55-137 in F. X. Bea, E. Dichtl, and M. H. Schweizer, (Hg.): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Grundfragen*. Gustav Fischer, Stuttgart u.a.
- Schotter, A. und Weigelt, K., 1992. Behavioral consequences of corporate incentives and long-term bonuses: an experimental study. *Management Science*, 38(9): 1280-1298.
- Shleifer, Andrei (2000): *Inefficient Markets: An Introduction to Behavioural Finance*, Oxford: Oxford University Press.
- Siebenhüner B., 2001. *Homo sustinens: Auf dem Weg zu einem Menschenbild der Nachhaltigkeit*, Metropolis, Marburg
- Siebenhüner, B. & Arnold, M., 2006. Organisationales Lernen zur Realisierung nachhaltiger Innovationen, in: Pfriem, R./Antes, R./Fichter, K./Müller, M./Paech, N./Seuring, S. & Siebenhüner, B. (Hrsg.): *Innovationen für Nachhaltige Entwicklung*, Wiesbaden: Dt. Universitätsverlag, 20 S. (im Erscheinen).
- Siebenhüner, B. & Barth, V., 2005. The Role of Computer Modeling in Participatory Integrated Assessments, in: *Environmental Impact Assessment Review* 25(4), S. 367-389.
- Siebenhüner, B., 2004. Social Learning and Sustainability Science: Which role can stakeholder participation play? in: *International Journal of Sustainable Development*, Vol. 7, No. 2, S. 146-163.
- Simon, H. A. 1957. *Models of Man. Social and Rational*. John Wiley & Sons, New York/London.
- Simon, H. A. 1987. Behavioural economics. Pages 221-225 in J. Eatwell, M. Milgate, and P. H. Newmann, editors. *The New Palgrave. A Dictionary of Economics*. Macmillan Press, London.
- Staehle, W. 1999. *Management - eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive*. Vahlen, München.
- Stracca, L. 2004. Behavioral finance and asset price: where do we stand? *Journal of Economic Psychology* 25:373-405.
- Strotz, R. H., 1955. Myopia and Inconsistency in Dynamic Utility Maximization, *Review of Economic Studies*, Vol. 23, pp. 165-180.
- Suarez, P., 2005. Present-biased discounting and extreme poverty: an experimental study. Boston University PhD Thesis, Department of Geography and Environment.
- Thaler, R. (Ed.), 1991. *Quasi-rational economics*. Russel Sage Foundation, New York.
- Thaler, R., 1981. Some Empirical Evidence on Dynamic Inconsistency, *Economic Letters*, 8, 201-207.
- Thomas, D. C. 2002. *Essentials of international management : a cross-cultural perspective*. Sage, Thousand Oaks.
- Tulkens, H., 1998. Cooperation versus free-riding in international environmental affairs: Two approaches. In: Hanley, N., Folmer, H., *Game Theory and the Environment*.
- Tversky, A. und Koehler, D.J., 1994. Support theory: a nonexistential representation of subjective probability. *Psychological Review*, 101: 547-567.

- Tversky, A. und Thaler, R.H., 1990. Anomalies, Preference Reversals, Journal of Economic Perspectives, Vol. 4, 201-211.
- Vollebergh, H.R.J. und Kemfert, C., 2005. The role of technological change for a sustainable development – Editorial, Ecological Economics 54, 133-147
- Weber, M, Barth, V. und Hasselmann, K., 2005. A multi-actor dynamic integrated assessment model (MADIAM) of induced technological change and sustainable economic growth, Ecological Economics 54, 306-327