

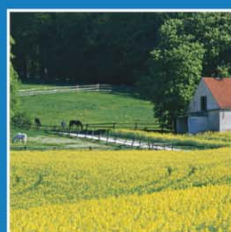
Martin Distelkamp
Bernd Meyer
Mark Meyer

GWS mbH

Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer for- cierten Ressourceneffizienzstrategie

Abschlussbericht zu AS5.2 und AS5.3

Abschlussbericht zu AS5.2 und AS5.3 des Arbeitspakets 5
des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“
(MaRes)



Kontakt zu den Autor(inn)en:

Prof. Dr. Bernd Meyer

GWS mbH
49080 Osnabrück, Heinrichstr. 30

Tel.: +49 (0) 541 40933 -140, Fax: -110
Mail: meyer@gws-os.com

***“Material Efficiency and Resource Conservation”
(MaRes) – Project on behalf of BMU | UBA***

Project Duration: 07/2007 – 12/2010

Project Coordination:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy
42103 Wuppertal, Germany, Döppersberg 19

Phone: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

E-Mail: kora.kristof@wupperinst.org
peter.hennicke@wupperinst.org

© Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy

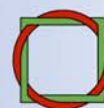
More information about the project

“Material Efficiency and Resource Conservation” (MaRes)

you will find on www.ressourcen.wupperinst.org

The project is funded within the framework of the UFOPLAN
by BMU and UBA, FKZ: 3707 93 300

The authors are responsible for the content of the paper.



Wuppertal Institute
for Climate, Environment
and Energy

**Wuppertal Institute
in Cooperation with**

BASF
Borderstep
CSCP
Daimler
demea – VDI / VDE-IT
ECN
EFA NRW
FhG IAO
FhG UMSICHT
FU Berlin
GoYa!
GWS
Hochschule Pforzheim
IFEU
Institut für Verbraucherjournalismus
IÖW
IZT
MediaCompany
Ökopol
RWTH Aachen
SRH Hochschule Calw
Stiftung Warentest
ThyssenKrupp
Trifolium
TU Berlin
TU Darmstadt
TU Dresden
Universität Kassel
Universität Lüneburg
ZEW



Federal Ministry for the
Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

**Umwelt
Bundes
Amt**
For our Environment

Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	5
2	Das Modell PANTA RHEI	8
2.1	Allgemeine Modelleigenschaften	8
2.2	Die Modellstruktur im Überblick	10
2.3	Der ökonomische Kern: Das Modell INFORGE	11
2.4	Das Materialmodell	13
3	Die Szenarien	19
3.1	Das Business-as-usual-Szenario	19
3.2	Die Alternativszenarien	22
3.2.1	Szenarien zum Einsatz ökonomischer Instrumente	22
3.2.2	Szenarien zum Einsatz von Informationsinstrumenten	23
3.2.3	Szenarien zum Einsatz von Regulierungsinstrumenten	23
4	Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen	24
4.1	Die Basisszenarien	24
4.2	Die Alternativszenarien	29
4.2.1	Simulationsergebnisse ökonomische Instrumente	29
4.2.2	Simulationsergebnisse Informationsinstrumente	32
4.2.3	Simulationsergebnisse Regulierungsinstrumente	36
4.3	Die Abschätzung des Potenzials der Ressourcenpolitik: Wirkungen eines Gesamtszenarios	38
4.3.1	Die ökonomischen Wirkungen	39
4.3.2	Die ökologischen Wirkungen	43
5	Schlussfolgerungen	49

6 Literatur _____ **51**

Abbildungen

Abb. 1:	Struktur des Modells PANTA RHEI	11
Abb. 2:	Die Materialarten des Wuppertal Datensatzes	15
Abb. 3:	Die sechs Quadranten der TMR – Matrix	15
Abb. 4:	Die Entwicklung des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts in den drei Basisszenarien	25
Abb. 5:	Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den drei Basisszenarien	26
Abb. 6:	Die Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in den drei Basisszenarien	27
Abb. 7:	Die Entwicklung des TMR in den drei Basisszenarien	27
Abb. 8:	Die Wirkungen eines Gesamtszenarios auf das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt in Mrd. € (linker Kasten) sowie als prozentuale Abweichung von der Referenz (rechter Kasten)	40
Abb. 9:	Die Wirkung des Gesamtszenarios auf die Staatsverschuldung	41
Abb. 10:	Die Wirkung eines Gesamtszenarios auf die Ersparnis der privaten Haushalte	42
Abb. 11:	Die Wirkung des Gesamtszenarios auf die Energieproduktivität	43
Abb. 12:	Die Wirkung des Gesamtszenarios auf die Materialproduktivität	44
Abb. 13:	Die Wirkung des Gesamtszenarios auf den Materialverbrauch (TMR)	45
Abb. 14:	Die Wirkung des Gesamtszenarios auf die CO ₂ -Emissionen	47

Tabellen

Tab. 1:	Materialverbrauch (TMR) nach Verwendungskategorien in Mio. Tonnen	16
Tab. 2:	Materialverbrauch (TMR) nach Materialarten in Mio. Tonnen	16
Tab. 3:	Die für den Materialverbrauch (TMR) zehn wichtigsten Produktionssektoren und Endnachfragekategorien in Mio. Tonnen	17
Tab. 4:	Eurobasierte Rohstoffpreisindices (2000=100)	18
Tab. 5:	Die Abweichungen zentraler Variablen im Jahre 2030 in den drei Basisszenarien von ihrem Wert im Jahre 2008 in v. H.	28

Tab. 6:	Die Gesamtwirkung der betrachteten ökonomischen Instrumente auf wichtige gesamtwirtschaftliche Indikatoren im Jahr 2030	32
Tab. 7:	Die Wirkung des Informations- und Beratungsprogramms auf die preisbereinigte Bruttoproduktion in ausgewählten Wirtschaftsbereichen	34
Tab. 8:	Die Wirkung der Informationsinstrumente in Deutschland auf wichtige gesamtwirtschaftliche Indikatoren im Jahr 2030	36
Tab. 9:	Die Wirkung des Recycling von NE Metallen Deutschland bei einer Verdreifachung des Einsatzes sekundärer Rohstoffe und einer Substitutionselastizität von -0,24 im Jahr 2030	37
Tab. 10:	Die Wirkung des Recycling von NE Metallen Deutschland bei einer Verdreifachung des Einsatzes sekundärer Rohstoffe und einer Substitutionselastizität von -1 im Jahr 2030	38
Tab. 11:	Die Wirkungen eines Gesamtszenarios auf die Komponenten des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts im Jahre 2030	39
Tab. 12:	Die Wirkungen eines Gesamtszenarios auf den Arbeitsmarkt im Jahre 2030	42
Tab. 13:	Die Wirkungen eines Gesamtszenarios auf die Niveaus des Materialverbrauchs nach Materialarten im Jahre 2030	44
Tab. 14:	Die Wirkungen der Instrumentengruppen auf Materialarten. Abweichungen von der baseline im Jahre 2030 in Millionen Tonnen.	46
Tab. 15:	Die Wirkungen der Instrumentengruppen auf Verwendungsarten der Materialverbräuche. Abweichungen von der baseline im Jahre 2030 in Millionen Tonnen.	46

1 Einführung

Die Anzahl der Beiträge zur Analyse der Wirkungen von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Ressourcenverbrauch ist im Vergleich zu der kaum überschaubaren Literatur zum Klimaschutz eher gering.

Im Rahmen eines Projektes der Aachener Stiftung Kathy Beys wurden mit dem Modell INFORGE (Fischer et al. 2004) erstmals die Wirkungen eines Informations- und Beratungsprogramms zur Steigerung der Ressourcenproduktivität auf die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland abgeschätzt. Mit dem Modell PANTA RHEI, das das ökonomische Modell INFORGE um ein Energiemodell, ein Wohnungsmodell, ein Verkehrsmodell und ein Ressourcenverbrauchsmodell ergänzt, wurden im Rahmen eines Folgeprojektes die Wirkungen einer Materialinputsteuer (Distelkamp et al. 2005a), die Effekte einer Veränderung des Mehrwertsteuersystems (Distelkamp et al. 2005b) sowie die Wirkungen autonomer Änderungen der Endnachfrage und der Technologie (Distelkamp et al. 2005c) auf Wirtschaft und Rohstoffverbrauch in Deutschland analysiert. Das Potenzial eines Informations- und Beratungsprogramms für die wirtschaftliche Entwicklung und den Ressourcenverbrauch in Deutschland wurde schließlich ebenfalls mit dem Modell PANTA RHEI untersucht (Meyer et al. 2007).

Diese Studien ergaben, dass ökonomische Instrumente wegen der geringen direkten und vor allem indirekten Preiselastizitäten des Ressourcenverbrauchs nur wenig Wirkung auf den Ressourcenverbrauch zeigten. Allerdings endete die Datenbasis zum Materialverbrauch des Modells PANTA RHEI zum Zeitpunkt der Erstellung der Studien (2004) bereits im Jahr 2000, weil vor allem die Rohstoffverbrauchsdaten des Wuppertal Instituts zu dem Zeitpunkt nicht aktueller verfügbar waren. Zu diesem Zeitpunkt zeichneten sich bereits kräftige Preissteigerungen für Rohstoffe ab, die aber im Beobachtungszeitraum der ökonometrischen Schätzungen noch nicht gegeben waren. Man könnte also von einem Strukturbruch sprechen und die niedrigen Preiselastizitäten darauf zurückführen, dass es im Beobachtungszeitraum kaum größere Bewegungen bei den Rohstoffpreisen gegeben hat. Insofern sind die Ergebnisse bezüglich der Wirkungen von Rohstoffsteuern zu hinterfragen. Das auf der Basis von Daten namhafter Beratungsfirmen simulierte Informations- und Beratungsprogramm (Meyer et al. 2007) zeigte ein sehr großes Potenzial sowohl für die Senkung des Ressourcenverbrauchs als auch für eine zunehmende Wertschöpfung in der Wirtschaft und damit verbundene deutliche Steigerungen von Einkommen und Beschäftigung. Der dadurch ausgelöste Mehrverbrauch von Ressourcen (Rebound-Effekt) blieb aber deutlich niedriger als die Minderung des Ressourcenverbrauchs, die durch die Verbesserung des Informationsstandes der Unternehmen erzielt wurde.

Ein drittes wichtiges Ergebnis (Distelkamp et al. 2005c) war die Identifizierung der für den Ressourcenverbrauch wichtigen Technologien. Es wurden in den Simulationsstudien alle 3481 Inputkoeffizienten der gegebenen 59*59 Input- Outputmatrix auf ihre

direkten und indirekten Wirkungen auf den Ressourcenverbrauch untersucht. Es zeigte sich dabei eine hohe Konzentration des Ressourcenverbrauchs auf wenige technologische Zusammenhänge: Eine Senkung der zehn im Hinblick auf den Rohstoffverbrauch wichtigsten Inputkoeffizienten um einen bestimmten Prozentsatz erzielt 44% der Wirkung auf den Rohstoffverbrauch, die sich ergibt, wenn alle 3481 Inputkoeffizienten um denselben Prozentsatz vermindert werden. Eine Konzentration des Rohstoffverbrauchs zeigt sich auch bei der Endnachfrage: Reduziert man die 10 wichtigsten Konsumverwendungszwecke um jeweils eine Milliarde Euro, so ergeben sich 2/3 der Wirkung auf den Rohstoffverbrauch, die durch eine Minderung aller 43 Konsumverwendungszwecke um jeweils eine Milliarde Euro erzielt werden kann.

Im Rahmen des MOSUS- Projektes (Fünftes Rahmenprogramm der EU) wurden mit dem globalen Modell GINFORS (Meyer et al. 2005, Giljum et. al. 2008, Lutz et al. 2010) die Wirkungen einer kombinierten europäischen Ressourcen- und Klimapolitik auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Ressourcenverbrauch in Europa und weltweit untersucht. Das policy mix war im Hinblick auf das Klimaziel von ökonomischen Instrumenten (EU ETS, CO₂-Steuer) und im Hinblick auf das Ressourcenziel von einem Beratungs- und Informationsprogramm und nur einzelnen steuerlichen Maßnahmen geprägt. Diese Kombination einer kostenverursachenden Klimapolitik und einer die Produktivität steigernden, also Kosten senkenden Ressourcenpolitik würde durch Vermeidung des Rebound- Effektes einen deutlichen absoluten Rückgang des Ressourcenverbrauchs in Europa bei leicht positiven Wirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt und die Beschäftigung ermöglichen.

Im Rahmen des MaRes-Projektes ist in den Arbeitspaketen 3, 4 und 12 eine Vielzahl von politischen Maßnahmen zur Steigerung der Ressourcenproduktivität diskutiert worden. Im Mittelpunkt des AP3 stand die Ressourcenpolitik zur Gestaltung der Rahmenbedingungen, AP4 hat die Ressourcenpolitik auf Unternehmensebene analysiert, und AP12 hat sich mit der den Konsumenten und Kunden nahen Ressourcenpolitik auseinandergesetzt. Dabei ging es nicht nur um abstrakte Wirkungsanalysen, sondern auch um konkrete Fragen der Implementierung solcher Maßnahmen bis hin zu juristischen Problemen, die zu klären waren.

Aufgabe des AP5 ist es, die Politikentwürfe auf ihre ökonomischen und ökologischen Wirkungen für die gesamtwirtschaftliche Ebene abzuschätzen. Ein top-down-Modell, welches die Branchenentwicklung integriert in den gesamtwirtschaftlichen Zusammenhang abbildet, ist natürlich in erster Linie zur Analyse der Folgen einer Änderung der ökonomischen Rahmenbedingungen geeignet. Insofern war von vornherein eine Nähe zu den im AP3 diskutierten Instrumenten gegeben. Dennoch wurde versucht, auch die Ergebnisse der AP4 und AP12 einzubeziehen.

Der Bereich der in AP3 angesprochenen ökonomisch-fiskalischen Anreize wurde mit Simulationsrechnungen zu den Wirkungen von differenzierten Mehrwertsteuersätzen für Bahn- und Flugreisen sowie mit einer Simulationsrechnung zur Baustoffsteuer direkt berücksichtigt. Ebenso lassen sich zwei Simulationsrechnungen zu den Wirkungen von Recycling-Maßnahmen bei der Erzeugung von Produkten aus NE-Metallen dem

Bereich „Sektorale Ansätze“ aus AP3 direkt zuordnen (Bleischwitz et al. 2009). Ein weiteres umfangreiches Analysefeld ist das der Informations- und Beratungsmaßnahmen. Hier lassen sich sowohl Maßnahmen aus AP3 als auch aus AP4 und AP12 einordnen: Es geht hier um die Feststellung, dass den Unternehmen beim Materialeinsatz nicht sämtliche Handlungsalternativen bekannt sind und ihr Informationsstand über sehr unterschiedliche Maßnahmen verbessert werden kann. Die Teilnahme an Innovationsnetzwerken (AP3) gehört dazu. Aus AP4 sind eine Fülle von Maßnahmen zu benennen: Instrumente zur Verbesserung der sozialen Interaktion, Instrumente, die informationelle Restriktionen aufheben und schließlich Instrumente, die Restriktionen in der Wahrnehmung beseitigen (Görlach et al. 2009).

Die Abschätzung der Auswirkungen der einzelnen denkbaren und in AP4 als auch in AP12 ausdiskutierten Maßnahmen auf den Ressourcenverbrauch ist unmöglich. Dafür fehlt jede empirische Basis. Wir haben aber Daten darüber, welche Änderungen beim Ressourceneinsatz möglich sind, wenn eine umfassende Information gegeben ist. Oder anders gefragt: Welche Änderung des Ressourcenverbrauchs ist bei gegebener Technologie erreichbar, wenn alle Informationshemmnisse abgebaut sind? Die Antwort geben die Erkenntnisse von namhaften Beratungsfirmen, die auf Grund einer größeren Anzahl von praktisch durchgeführten Beratungen eine Minderung der Materialkosten im Verarbeitenden Gewerbe von 20% für möglich halten (Fischer et al. 2004). Dabei werden auch Kosten der Informationsgewinnung und der Umstellung des Prozesses quantifiziert.

Instrument der Analyse ist das Modell PANTA RHEI, das im Rahmen des Projektes aktualisiert (Datenbasis 2006) und neu geschätzt worden ist. Besondere Aufmerksamkeit richtete sich dabei auf die Modellierung der Vorleistungsverflechtung und hier insbesondere derjenigen Inputkoeffizienten, die in den Vorgängerstudien als für den Ressourcenverbrauch besonders wichtig identifiziert worden waren. Ein weiterer Schwerpunkt bei der Aktualisierung war die Erstellung eines neuen Rohstoffverbrauchsmoduls auf der Basis einer neuen Zeitreihe des Wuppertal Instituts, die in tiefer Gliederung nach Arten und Branchen nunmehr bis 2004 reicht. Das Modell PANTA RHEI ist in vielen Studien zu umweltökonomischen Fragestellungen eingesetzt worden, die von energiewirtschaftlichen Themen (Lehr et al. 2008) bis hin zu Fragen des Materialverbrauchs (Meyer et al. 2007) reichen. Darüber hinaus war PANTA RHEI das Simulationsinstrument in verschiedenen Studien, die umfassende Nachhaltigkeitsstrategien für Deutschland entwickelt haben (Spangenberg 2003, Coenen / Grunwald 2003, Keimel et al. 2004, Bockermann et al. 2005). Dabei wurden im Rahmen komplexer Szenarien u. a. neben politikgetriebenen auch intrinsisch motivierte Verhaltensänderungen der Konsumenten einbezogen (Meyer et al. 2010).

Der vorliegende Abschlussbericht des AP5 stellt zunächst das Modell PANTA RHEI vor. Anschließend werden die einzelnen Szenarien diskutiert, die mit dem Modell gerechnet wurden. Im Abschnitt 4 werden die Ergebnisse der Simulationsrechnungen präsentiert. Eine zusammenfassende Wertung des empirischen Befundes leisten die Schlussfolgerungen in Abschnitt 5.

2 Das Modell PANTA RHEI

Der folgende Abschnitt stellt das Modell PANTA RHEI vor. Zunächst werden seine allgemeinen Eigenschaften kommentiert, dann folgt ein kurzer Blick auf die Struktur des Modells. Von den einzelnen Modulen werden der ökonomische Kern und das Materialmodul ausführlicher behandelt, weil die Kenntnis ihrer Zusammenhänge für die Fragestellung von besonderer Bedeutung ist.

2.1 Allgemeine Modelleigenschaften

Die besondere Leistungsfähigkeit des Modells PANTA RHEI beruht auf der INFORUM-Philosophie (Almon 1991). Sie ist durch die Konstruktionsprinzipien *Bottom-up* und *vollständige Integration* gekennzeichnet. Das Konstruktionsprinzip *Bottom-up* besagt, dass jeder Sektor der Volkswirtschaft sehr detailliert modelliert ist – PANTA RHEI enthält etwa 600 Variablen für jeden der 59 Sektoren – und die gesamtwirtschaftlichen Variablen durch explizite Aggregation im Modellzusammenhang gebildet werden. Das Konstruktionsprinzip *vollständige Integration* beinhaltet eine komplexe und simultane Modellierung, die die interindustrielle Verflechtung ebenso beschreibt wie die Entstehung und die Verteilung der Einkommen, den Energieverbrauch und die Schadstoffemissionen, die Umverteilungstätigkeit des Staates sowie die Einkommensverwendung der privaten Haushalte für die verschiedenen Güter und Dienstleistungen.

Der disaggregierte Aufbau des Modells PANTA RHEI schlägt sich in einer gewaltigen und dennoch konsistenten Informationsverarbeitung nieder: Die rund 50.000 Zeitreihen (ca. 2600 sind ökonometrisch bestimmt) sind in das Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen eingebettet. Damit ist insbesondere auch die Umverteilung der Einkommen durch den Staat endogen abgebildet.

Das Modell weist einen sehr hohen Endogenisierungsgrad auf. Exogen vorgegeben sind im Wesentlichen einige wenige Steuersätze, das Arbeitsangebot und die Weltmarktvariablen des internationalen GINFORS-Systems (Lutz / Meyer / Wolter 2010) der GWS, das eine Weiterentwicklung des globalen COMPASS-Modells darstellt (Meyer / Uno 1999, Meyer / Lutz 2002a, b, c). Die weitgehende Endogenisierung hat den Vorteil, dass bei Simulationsrechnungen die Effekte vollständig abgebildet sind.

Neben den üblichen Kreislaufinterdependenzen sind in PANTA RHEI die Mengen-Preisinterdependenzen und die Lohn-Preisinterdependenz abgebildet. Dabei ist zu beachten, dass Preise und Mengen konsistent miteinander verknüpft sind. Für die Abbildung des Strukturwandels sind diese Zusammenhänge unverzichtbar. Im Energie- und Umweltbereich sind zusätzlich zu den Angaben in konstanten Preisen auch physische Größen eingebunden. Das Modell zeichnet sich außerdem durch weitgehende Nichtlinearitäten aus, die durch multiplikative Verknüpfungen von Variablen in Definitionsgleichungen und Schätzgleichungen sowie durch doppelt-logarithmische Schätzansätze entstehen.

Der ökonomische Modellteil ist ein ökonometrisches Input-Output-Modell, das als evolutorisches Modell angesprochen werden kann (Meyer 2005). In den Verhaltensgleichungen werden Entscheidungsroutrinen modelliert, die nicht explizit aus Optimierungsverhalten der Agenten abgeleitet sind, sondern beschränkte Rationalität zum Hintergrund haben. Die Preise werden aus oligopolistischem Preissetzungsverhalten erklärt. Die Zeit ist im Modell historisch und unumkehrbar. Die Kapitalstockfortschreibung generiert Pfadabhängigkeit.

Zur Einordnung des theoretischen Ansatzes des Modells seien noch die folgenden Punkte hervorgehoben: Dem Input-Output-Ansatz wird gemeinhin eine nachfrageorientierte Modellierung zugesprochen. Dies trifft auf PANTA RHEI allerdings nicht zu. Es ist zwar richtig, dass die Nachfrage in dem Modell die Produktion bestimmt, aber alle Güter- und Faktornachfragevariablen hängen unter anderem von relativen Preisen ab, wobei die Preise wiederum durch die Stückkosten der Unternehmen in Form einer oligopolistischen Preissetzungshypothese bestimmt sind. Der Unterschied zu den allgemeinen Gleichgewichtsmodellen, in denen ein Konkurrenzmarkt modelliert wird, liegt in der unterstellten Marktform, nicht in der Betonung der einen oder der anderen Marktseite. Man kann es auch so formulieren: Die Unternehmen wählen aufgrund ihrer Kostensituation und der Preise konkurrierender Importe ihren Absatzpreis. Die Nachfrager reagieren darauf mit ihrer Entscheidung, die dann die Höhe der Produktion bestimmt. Angebots- und Nachfrageelemente sind also im gleichen Maße vorhanden.

Ökonomisch-technische Innovationen werden durch den Kostendruck ausgelöst und können somit grundsätzlich dargestellt werden. Erfasst wird dies durch die Schätzung der Preis- und Trendabhängigkeit der Inputkoeffizienten. Dabei ist der technologische Koeffizient von der Relation des Inputpreises zum Outputpreis der Branche abhängig. Der verwendete Input-Output-Ansatz ist somit technikorientiert und bietet eine angemessene Verknüpfung von Ökonomie, Ökologie und Technik. Es werden linear-limitationale Technologien unterstellt, die sich im Zeitablauf durch kostendruckinduzierten technischen Fortschritt verändern können. Das System von preis- und trendabhängigen Faktornachfragefunktionen beschreibt für jeden Zeitpunkt mit dem zugehörigen Vektor der Vorleistungs- und Arbeitsinputkoeffizienten die Technologie. Die Veränderung der Inputkoeffizienten gibt den technologischen Wandel wieder, der durch den Kostendruck der relativen Preise bestimmt wird.

Die Dynamik des Modells wird durch die Kapitalstockfortschreibung, die verzögerte Lohnanpassung an Produktivitäts- und Preisentwicklung, die verzögerte Anpassung des Staatsverbrauchs an die Entwicklung des verfügbaren Einkommens des Staates und weitere zeitliche Verzögerungen in Nachfragefunktionen hervorgerufen.

Die Parameter der Modellgleichungen wurden mit dem OLS-Verfahren über den Zeitraum 1991 bis 2007 ökonometrisch geschätzt. Bei der Auswahl alternativer Schätzansätze wurden zunächst a priori-Informationen über Vorzeichen und Größenordnungen der zu schätzenden Koeffizienten genutzt. Mit anderen Worten: Ökonomisch unsinnige Schätzergebnisse wurden verworfen. Die verbleibenden Schätzungen wurden auf Autokorrelation der Residuen anhand der Durbin-Watson-Statistik sowie auf Signifikanz

der geschätzten Parameter mit dem t-Test geprüft. War auf dieser Basis eine Diskriminierung konkurrierender Ansätze nicht möglich, wurde das Bestimmtheitsmaß der Schätzung hinzugezogen. Angesichts der Größe des Modells erscheint die OLS-Methode als die angemessene, weil einfachste Schätzmethode.

Die Spezifikation des Modells ist mit der Einzelgleichungsschätzung allerdings nicht abgeschlossen. Erst bei der Lösung des nicht-linearen interdependenten und dynamischen Modells durch den Gauß-Seidel-Algorithmus werden Schwächen des Systemzusammenhanges aufgedeckt. Das Lösungsverfahren muss konvergieren und das Modell muss in der Lage sein, in einer historischen ex-post-Basissimulation die beobachtbare Entwicklung der Volkswirtschaft zufriedenstellend zu erklären. Solange dies nicht der Fall ist, wird in einem iterativen Prozess die Phase der Spezifikation erneut durchlaufen.¹ Erst danach wird mit der Erstellung der ex-ante-Basissimulation begonnen.

2.2 Die Modellstruktur im Überblick

Abb. 1 stellt die Struktur des Modells PANTA RHEI im Überblick dar. Kern des Systems ist das nach 59 Branchen gegliederte ökonomische Modell INFORGE (Inter-industry FORecasting GERMANY), das Güternachfrage, Kapitalstöcke, Beschäftigung, Kosten und Preise in dieser tiefen Gliederung berechnet. Konsistent mit der Branchenentwicklung enthält INFORGE das gesamte Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, sodass auch die Umverteilung der Einkommen vor allem zwischen Staat, privaten Haushalten und Unternehmen auf dieser Ebene vollständig erfasst wird.

Das Energiemodell beschreibt den Zusammenhang zwischen ökonomischen Entwicklungen, Energieeinsatz und CO₂-Emissionen. Einerseits beeinflussen die Variablen des Modells INFORGE den Energieeinsatz, andererseits wirken die monetären Ausgaben für den Energieeinsatz unmittelbar auf ökonomische Größen. Die CO₂-Emissionen sind über feste Emissionsfaktoren mit dem Primärenergieeinsatz verknüpft.

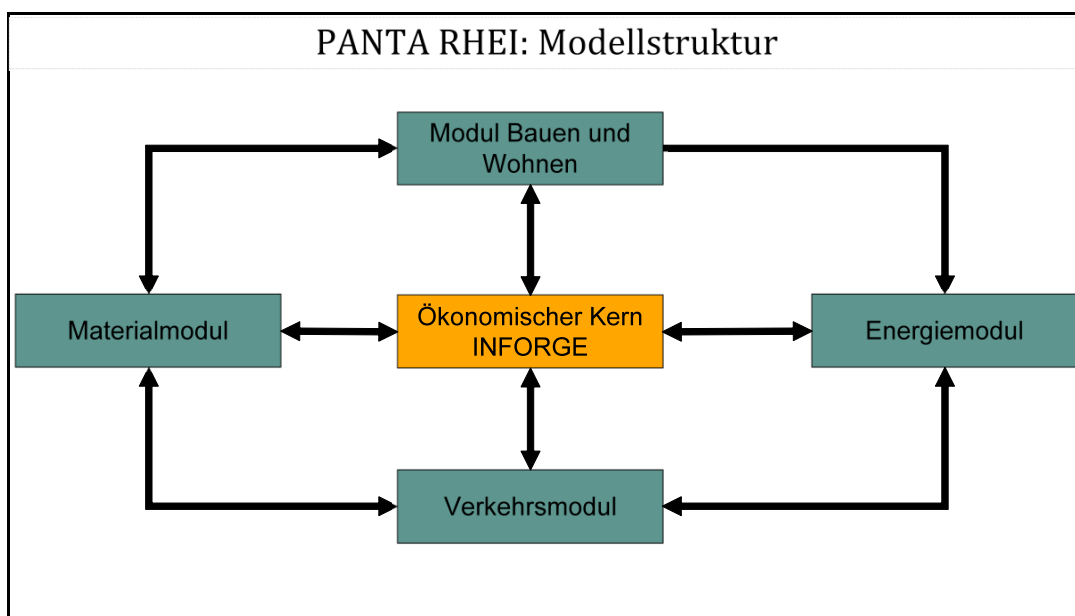
Das Verkehrsmodul erklärt die Nachfrage im Personenverkehr und im Güterverkehr gegliedert nach den Verkehrsträgern Bahn, Strasse, Flugverkehr und Wasserverkehr in physischen Einheiten. Ferner werden Fahrzeugbestände und Energieverbräuche bestimmt. Das Verkehrsmodul ist mit den Variablen des ökonomischen Kerns interdependent verknüpft: Die Einkommens- und Bevölkerungsentwicklung hat Einfluss auf die Verkehrsnachfrage, umgekehrt wirken die physischen Energieverbräuche und Verkehrsnachfragegrößen auf das ökonomische System im Bereich der Vorleistungsnachfrage und der Konsumnachfrage und das Energiemodell zurück.

¹ Die entsprechenden statistischen Prüfmaße zur Bewertung der Anpassungsqualität der modellgenerierten Variablenverläufe mit bereits vorliegenden historischen Daten wurden in der Vergangenheit wiederholt für ausgewählte makroökonomische Eckgrößen veröffentlicht (u.a. Meyer et al. 1999, 92ff; Distelkamp et al. 2003, 56ff) und von Dritten als sehr gut bewertet (Frohn et al. 1998, 145f).

Das Wohnungsmodul bildet die Entwicklung des Wohnungsbestandes und den damit verbundenen Energieverbrauch ab. Auch hier ist eine gegenseitige Verflechtung mit dem ökonomischen System und dem Energiemodul gegeben.

Das Materialmodul erklärt den direkten Materialverbrauch aus den inländischen Extraktionen und Ressourcenimporten, aber auch den indirekten, in den importierten Halb- und Fertigprodukten enthaltenen Materialverbrauch in physischen Einheiten. Der vom Wuppertal Institut entwickelte Datensatz ist auf die Input- Outputstruktur angepasst und erlaubt dadurch eine passgenaue Modellierung.

Abb. 1: Struktur des Modells PANTA RHEI



Im Folgenden werden der ökonomische Kern und das Materialmodul ausführlicher dargestellt, weil die Kenntnis des Zusammenspiels dieser beiden Teilbereiche für das Verständnis der Simulationsergebnisse wichtig ist.

2.3 Der ökonomische Kern: Das Modell INFORGE

Das Modell INFORGE ist ein sektoral tief gegliedertes Prognose- und Simulationsmodell, das seit 1996 jährlich aktualisiert wird und in vielen Anwendungen eingesetzt worden ist. Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung in Nürnberg setzt das Modell selbständig für langfristige Projektionen der Arbeitsnachfrage ein (Distelkamp et al. 2003, Schnur / Zika 2007, 2009).

Die Endnachfrage umfasst – in der Gliederung nach 59 Gütergruppen – den Konsum der privaten Haushalte, der privaten Organisationen ohne Erwerbszweck und des Staates, die Ausrüstungsinvestitionen, die Bauinvestitionen, die Vorratsveränderungen und die Exporte. Das Konsumverhalten der privaten Haushalte wird über eine aufwändige bottom-up-Modellierung nach 41 Verwendungszwecken berücksichtigt. Das Inve-

stitutionsverhalten der Wirtschaft für Ausrüstungsgüter wird im Zuge einer komplexen branchenspezifischen Kapitalstockmodellierung abgeleitet. Die von den Unternehmen gewünschten Kapitalstöcke werden dazu zunächst in Faktornachfragefunktionen ökonomisch bestimmt. Die wichtigsten Determinanten der Endnachfrage sind die Auslandsvariablen des GINFORS-Systems (zur Erklärung der Exporte), das verfügbare Einkommen der privaten und der öffentlichen Haushalte (zur Erklärung des Konsums der privaten Haushalte und des Staates), der Output (zur Erklärung der Bauinvestitionen) sowie die relativen Preise für alle Komponenten der Endnachfrage.

Der Vektor des privaten Konsums nach 41 Konsumverwendungszwecken wird einerseits durch ökonomische Variablen (Verfügbares Einkommen der Privaten Haushalte, Güterpreise, Zinssätze), aber auch durch demographische Größen (Altersstruktur und Zahl der Bevölkerung) und physische Konsumaktivitätsvariablen (z. B. gefahrene Personenkilometer nach Verkehrsträgern) bestimmt.

Auch der Vorleistungsverbund ist im Modell detailliert abgebildet. Für alle Gütergruppen werden die Lieferungen aus inländischer Produktion und die Einfuhren unterschieden. Die Inputkoeffizienten sind dabei grundsätzlich variabel und hängen von relativen Preisen und Zeittrends ab.

Bei der Bestimmung der Stückkosten werden explizit die Kostenanteile für inländische und importierte Vorleistungen, Löhne, Abschreibungen und steuerliche Größen berücksichtigt. Die Stückkosten sind dann die entscheidende Determinante der Preise. Die Herstellungspreise sind das Ergebnis einer Aufschlagskalkulation der Unternehmen. Dabei wird berücksichtigt, dass die jeweiligen Produktionspreise nicht bei jeder Veränderung der Kosten unmittelbar angepasst werden können. Vielmehr werden auch periodenübergreifende Einflüsse in die Bestimmung der Preise einbezogen. Diese Preise werden dann als Angebotspreise der Nachfrage gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der Input-Output-Modellierung gehen dann in den Arbeitsmarkt und in das Kontensystem ein, welche wiederum Einfluss auf die Kostenstruktur sowie die Endnachfrage nehmen.

Der Arbeitsmarkt besteht aus einem aggregierten und einem disaggregierten Teil. Im aggregierten Teil wird das gesamtwirtschaftliche Arbeitsangebot mittels der demographischen Entwicklung bestimmt. Zusammen mit der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage ergibt sich die Anzahl der Erwerbstätigen. Zur Ermittlung der gesamtwirtschaftlichen Arbeitsnachfrage wird in einem ersten Schritt die gesamtwirtschaftliche Lohnfunktion bestimmt: Der durchschnittliche Lohnsatz je Arbeitsstunde ist abhängig von der gesamtwirtschaftlichen Arbeitsproduktivität, der Konsumpreisentwicklung und von der Arbeitsmarktsituation, ausgedrückt als Differenz zwischen Erwerbspersonenpotential und Arbeitnehmer im Verhältnis zum Erwerbspersonenpotential. Der durchschnittliche Lohnsatz erklärt dann neben sektorspezifischen Variablen – wie der sektoralen Arbeitsproduktivität – den Vektor der Lohnsätze in den 59 Branchen. Das in Arbeitsstunden gemessene Arbeitsvolumen in jeder Branche hängt vom Reallohn und von der Bruttoproduktion der betreffenden Branche ab. Die sektoralen Lohnkosten und Ar-

beitsproduktivitäten können dann bestimmt werden. Die Zahl der Beschäftigten in jeder Branche ergibt sich aus den sektoralen Arbeitsvolumen und der jährlichen Arbeitszeit pro Beschäftigten. Die Arbeitszeiten pro Beschäftigten sind exogene Variablen.

Es schließt sich die sektoral fundierte Kreislaufanalyse: Die Ergebnisse der Endnachfrage, die gleichermaßen Aspekte des Angebotes wie der Nachfrage umfassen, bestimmen zusammen mit Produktionstechnologien das Niveau der Produktion, welches wiederum die primäre Verteilung der Einkommen beeinflusst.

Innerhalb des vollständig endogenisierten Kontensystems erfolgt die Erfassung der Entstehung, Verteilung, Umverteilung und Verwendung der Einkommen sowie die daraus resultierenden Vermögensänderungen für die fünf institutionellen Transaktoren Nichtfinanzielle Kapitalgesellschaften, Finanzielle Kapitalgesellschaften, Staat, private Haushalte & private Organisationen ohne Erwerbszweck sowie Übrige Welt. Dieses System enthält die gesamte Einkommensumverteilung einschließlich Sozialversicherung und Besteuerung zwischen Staat, privaten Haushalten und Unternehmen und ermöglicht so die Berechnung der Verfügbaren Einkommen, die wiederum wichtige Determinanten der Endnachfrage sind. Außerdem werden die Finanzierungssalden der institutionellen Transaktoren bestimmt. Damit ist insbesondere auch die staatliche Budgetrestriktion im Modell enthalten. Die Verhaltenshypothesen des Modells betreffen die Ausgaben der institutionellen Transaktoren. Die Summen der Einnahmen einer Transaktionsart sowie die Salden der Konten sind stets definitorisch gegeben. Innerhalb des Kontensystems sind die Arbeitsmarktentwicklung, die demographische Entwicklung, das Steueraufkommen (Sonstige Gütersteuern, Mehrwertsteuer etc.), die sektorale Wertschöpfung, die Konsumausgaben der privaten Haushalte und des Staates und die Investitionen wichtige Einflussfaktoren. Endogen eingebunden in dieses System ist somit die gesamte Fiskalpolitik des Staates.

2.4 Das Materialmodell

Ziel des Materialmodells ist die Erklärung des direkten und indirekten Materialverbrauchs in Deutschland in physischen Einheiten (Tonnen). Der direkte Materialverbrauch ist durch die inländische Entnahme von Rohstoffen aus der Natur und die Importe von Rohstoffen gegeben. Die inländische Entnahme ist hierbei durch die Produktionstätigkeit der entsprechenden Wirtschaftsbereiche im Inland bestimmt. Im Falle der nichtmetallischen Mineralien ist dies z. B. der Wirtschaftsbereich „Steine und Erden“, im Fall der Kohle der Wirtschaftsbereich „Kohlebergbau“. Somit ist zu erwarten, dass die preisbereinigte Bruttoproduktion gemessen in € dieser extrahierenden Branchen eine gute Erklärung der inländischen Entnahme von Rohstoffen gemessen in Tonnen ermöglicht. In analoger Weise wird ein Zusammenhang zwischen den in Tonnen gemessenen importierten Rohstoffen und den entsprechenden preisbereinigten Importen hergestellt. Das Modell enthält – wie bereits beschrieben – ein vollständiges Bild der Importe Deutschlands in tiefer Gütergruppengliederung.

Somit ist die Erklärung der Erzimporte in Tonnen durch die preisbereinigten Importe dieser Gütergruppe in € möglich.

Der indirekte Rohstoffverbrauch Deutschlands ist in den Importen von Halb- und Fertigfabrikaten enthalten. Sie werden in ihren Herkunftsländern erzeugt und sind notwendig, um die Halb- und Fertigwaren zu erzeugen. Wie schon bei den Rohstoffimporten, so erklären auch hier die entsprechenden Güterimporte den indirekten Rohstoffverbrauch.

Wie schon erwähnt, ist der Datensatz des Wuppertal-Instituts vollständig auf die Input-Outputmatrix des Statistischen Bundesamtes in der tiefen Gliederung nach 71 Sektoren abgestimmt. Abb. 2 gibt einen Überblick über die bei der inländischen Entnahme und bei den Importen unterschiedenen Materialarten:

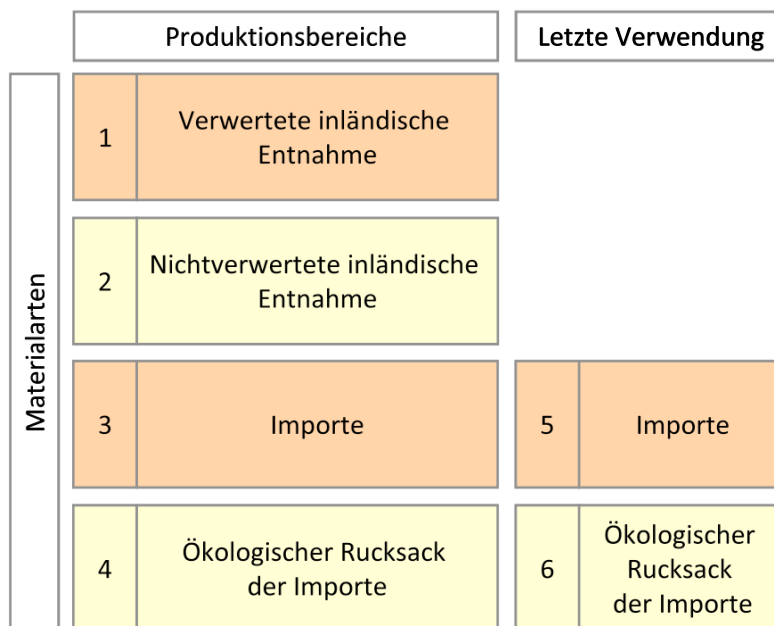
Bei der *inländischen Entnahme* werden Biomasse, Erze, Nichtmetallische Mineralien, Energieträger in einer z. T. tiefen Gliederung betrachtet, so dass hier insgesamt 14 Materialarten unterschieden werden. Bei den *Importen* ist zu beachten, dass es sich einerseits um direkte Materialimporte handelt, andererseits ist Material in importierten Halb- und Fertigprodukten enthalten. Die Übersicht stellt die besonders wichtigen Gütergruppen hervor.

Abb. 3 macht deutlich, dass der Datensatz eine weitere Dimension hat. Es werden für die inländische Entnahme und die Importe verwertete und unverwertete Entnahmen unterschieden. Die unverwertete Entnahme besteht aus Abraum. Für die Importe werden getrennt für die Vorleistungen und die Endnachfrage jeweils die in den Importen enthaltenen Materialien und außerdem die ökologischen Rucksäcke unterschieden. Bei letzteren handelt es sich um Materialentnahmen, die im Ursprungsland der Importe indirekt bei der Produktion der Güter angefallen sind. Abb. 3 stellt alle bisher genannten Gliederungskriterien des Materialverbrauchs übersichtlich dar. Das sogenannte „Total Material Requirement (TMR)“ umfasst den direkten und in dem dargestellten Sinne auch indirekten Materialverbrauch eines Landes.

Abb. 2: Die Materialarten des Wuppertal-Datensatzes

Inländische Entnahme	Importe
I. BIOMASSE	
Biomasse aus der Landwirtschaft	Erzeugnisse der Landwirtschaft und Jagd
Biomasse aus der Forstwirtschaft	Forstwirtschaftliche Erzeugnisse
Biomasse aus der Fischerei	Fische und Fischereierzeugnisse
	Andere Produkte (Nahrungsmittel, Tabak, Holz, Papier, etc)
II. METALLE	
Eisenerze	Erze
	Roheisen, Stahl, Rohre und Halbzeug daraus
	NE-Metalle und Halbzeug daraus
	Metallerzeugnisse
	Andere Produkte (Maschinen, Büromaschinen, Fahrzeuge etc)
III. NICHT-METALLISCHE MINERALIEN	
Torf für gärtnerische Zwecke	Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse
Naturwerksteine und Natursteine, a.n.g.	Glas, Keramik, bearbeitete Steine und Erden
Kies und Sand; gebrochene Natursteine	
Chemische und Düngemittelminerale	
Salz und Natriumchlorid; Meerwasser	
Steine und Erden, a.n.g.; sonstige Bergbauerzeugnisse (enthält den verwerteten Bodenaushub des Bausektors)	
IV. ENERGIETRÄGER	
Steinkohle	Kohle und Torf
Braunkohle	Erdöl / Erdgas
Torf	Kokereierzeugnisse, Mineralölerzeugnisse, Spalt- und Brutstoffe
Erdöl und Erdgas	Energie und Dienstleistungen der Energieversorgung
V. ANDERE PRODUKTE	
	Andere Produkte (Bekleidung, Leder, chemische Erzeugnisse, Gummi und Kunststoff, Messgeräte, etc)

Abb. 3: Die sechs Quadranten der TMR-Matrix



In der Tab. 1 sind für die verschiedenen Materialverwendungen die TMR-Werte für die Jahre 1995 und 2004 wiedergegeben. Die inländische Entnahme ist eindeutig rückläufig, während die Materialimporte und die mit ihnen verbundenen Rucksäcke eine deutliche Dynamik aufweisen. Hier wird sichtbar, dass Deutschland durch die zunehmende

Verflechtung mit der Weltwirtschaft immer mehr Rohstoffe direkt und vor allem indirekt aus dem Ausland entnimmt. Der Anstieg des Ökologischen Rucksacks der Importe ist mit 22,8% im Beobachtungszeitraum deutlich stärker als der Anstieg des direkt in den Importen enthaltenen Materialverbrauchs (+14,3%), was auf strukturelle Änderungen der importierten Güter schließen lässt: Es werden vermehrt solche Güter importiert, die hohe Materialentnahmen im Ausland verursachen.

Tab. 1: Materialverbrauch (TMR) nach Verwendungskategorien in Mio. Tonnen

	1995	2004
Inländische Entnahme	1282.3	1121.9
Nicht verwertete inländische Entnahme	2240.1	2223.8
Importe	463.2	529.7
Ökologischer Rucksack der Importe	1711.1	2102.7
TMR insgesamt	5696.7	5978.1

Tab. 2 gibt einen Überblick über den Materialverbrauch nach Materialarten. Allein bei den Nichtmetallischen Mineralien ist ein Rückgang zu beobachten. Der Metallverbrauch ist dagegen um 20% angestiegen, weil Deutschland in zunehmendem Maße Investitionsgüter exportiert, deren metallhaltige Vorprodukte aus dem Ausland importiert, aber auch im Inland erzeugt werden.

Tab. 2: Materialverbrauch (TMR) nach Materialarten in Mio. Tonnen

	1995	2004
Biomasse	1085.2	1151.3
Metalle	989.0	1189.4
Nichtmetallische Mineralien	1042.2	824.7
Fossile Energieträger	2447.2	2612.1
Andere Produkte	133.0	200.6
TMR insgesamt	5696.7	5978.1

Auch bei den Fossilen Energieträgern hat der Materialverbrauch deutlich zugenommen (+6,7%). Wie passt das zu dem Rückgang der CO₂-Emissionen in Deutschland um 5% im gleichen Zeitraum? Die Erklärung liegt in der außenwirtschaftlichen Entwicklung: Die Verbrennung von Fossilen Energieträgern im Inland wurde zwar vermindert, dies wurde jedoch zumindest teilweise auch dadurch erreicht, dass bestimmte CO₂-intensive Güter nicht mehr im Inland erzeugt, sondern importiert worden sind.

Tab. 3 macht dann die dritte Dimension der Materialdaten nach den produzierenden Wirtschaftsbereichen und Endnachfragekomponenten sichtbar. Im Datensatz werden 71 Wirtschaftsbereiche und 8 Endnachfragekomponenten unterschieden. Die Endnachfragekomponenten enthalten nur dann Materialverbrauch, wenn es sich um importierte Fertigprodukte handelt. Der Materialverbrauch der im Inland erzeugten Endnachfrage ist ja schon bei den Wirtschaftsbereichen erfasst. In der Tabelle sind nur die 10 wichtigsten Bereiche aufgeführt und die Summe ihres Materialverbrauchs der Gesamtsumme des TMR gegenübergestellt. Offensichtlich ist der Materialverbrauch sehr stark auf nur wenige Bereiche konzentriert. Bemerkenswert ist ferner, dass diese Konzentration im Beobachtungszeitraum noch gestiegen ist. Im Jahr 1995 entfielen 86% des Materialverbrauchs in Deutschland auf diese 10 wichtigsten Bereiche, im Jahre 2004 waren es schon 95%. Der Verbrauch von Kohle machte im Jahre 2004 fast die Hälfte des TMR aus. Eine besondere Dynamik beobachten wir wiederum in den besonders eng mit der weltwirtschaftlichen Entwicklung verflochtenen Bereichen, während der Verbrauch der in erster Linie im Inland entnommenen Steine und Erden sich deutlich vermindert hat. Die in den Exporten enthaltenen importierten Fertigprodukte haben ihren Materialverbrauch um fast 250% gesteigert. Der Materialverbrauch bei der Erzeugung von Eisen ist um 50% gestiegen. Lediglich im Bereich der NE-Metalle ist ein Rückgang zu verzeichnen, der vermutlich durch höhere Importe von Fertigprodukten erklärt werden kann.

Tab. 3: Die für den Materialverbrauch (TMR) zehn wichtigsten Produktionssektoren und Endnachfragekategorien in Mio. Tonnen

	1995	2004
1 Kohle und Torf	2165.6	2730.1
2 Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	939.6	768.9
3 Erzeugnisse der Landwirtschaft und Jagd	509.1	541.9
4 Konsumausgaben privater Haushalte im Inland	338.5	405.1
5 NE-Metalle und Halbzeug daraus	344.1	290.8
6 Roheisen, Stahl, Rohre und Halbzeug daraus	173.0	263.7
7 Exporte	107.9	258.1
8 Nahrungs- und Futtermittel	171.5	150.2
9 Metallerzeugnisse	118.8	135.3
10 Kraftwagen und Kraftwagenteile	52.9	105.8
Summe	4920.9	5649.8
TMR insgesamt	5696.7	5978.1

Nach diesem kurzen Blick auf den Inhalt des Datensatzes nun zurück zur Modellierung

Die Materialintensität eines im Inland entnehmenden Sektors ist im Materialmodul von PANTA RHEI als Quotient aus der inländischen verwerteten Entnahme in Tonnen und dem Bruttoproduktionswert des entnehmenden Sektors in konstanten Preisen definiert. Diese Materialintensität wird jeweils durch Trends und die Relation des Rohstoffpreises zu den Preisen des extrahierenden Sektors erklärt. Durch Multiplikation der Materialintensität mit der Bruttoproduktion in konstanten Preisen ergibt sich der Materialverbrauch. Die nicht verwertete inländische Entnahme ergibt sich durch einen konstanten

Faktor zur verwerteten inländischen Entnahme des betrachteten Materials in dem jeweiligen Sektor. Der ökologische Rucksack wird auch hier durch einen konstanten Aufschlagsfaktor auf den Materialimport der betreffenden Materialart und des betrachteten Importgutes modelliert. Die Modellierung der in der Endnachfrage enthaltenen Materialimporte entspricht derjenigen der importierten Vorleistungen.

Die Weltmarktpreisindizes der verschiedenen Materialarten sind den Commodity Prices des International Monetary Fund entnommen. Tab. 4 gibt einen Überblick über ihre Entwicklung, wobei die ursprünglich in US-Dollar dimensionierten Indizes in EURO umgerechnet wurden.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
All primary commodities	58.2	65.3	72.3	56.7	65.2	100.0	93.7	89.3	84.1	96.7	124.8	150.6
Non-fuel primary commodities	85.0	87.7	98.5	85.4	82.6	100.0	98.0	94.7	84.4	90.9	100.1	127.2
Food	85.5	97.4	103.1	92.7	84.5	100.0	103.1	101.5	88.9	92.4	92.0	100.0
Beverages	104.3	93.1	141.4	124.1	101.9	100.0	86.5	95.7	83.7	78.3	94.7	99.6
Agricultural raw materials	83.6	84.5	93.2	78.5	82.9	100.0	98.0	94.7	82.0	78.6	79.7	86.9
Metals	82.5	76.8	90.0	74.7	77.1	100.0	92.9	85.9	80.4	99.4	125.5	194.5
Energy	43.2	52.8	57.8	40.8	55.5	100.0	91.2	86.2	83.9	99.9	138.5	163.6
Coal (Australia)	101.2	102.7	109.6	92.1	85.2	100.0	91.3	101.0	86.9	160.0	143.7	146.7
Natural Gas (Russian Federation)	52.8	56.4	63.5	53.9	45.3	100.0	115.6	75.7	82.4	80.7	126.9	174.5
Petroleum, spot (Average crude price)	41.2	51.3	56.2	38.5	55.2	100.0	88.8	86.9	83.7	99.5	140.3	167.3

Tab. 4: Eurobasierte Rohstoffpreisindices (2000=100)

Offensichtlich haben sich im Beobachtungszeitraum vor allem die Metalle und die Energieträger erheblich verteuert. Der Rohölpreis betrug im Jahre 2006 das Vierfache seines Wertes im Jahre 1995, der Preisindex für Metalle betrug in 2006 das Zweieinhalbfache seines Wertes im Jahre 1995.

Diese Weltmarktpreisindizes werden exogen vorgegeben. Die Preisindizes der importierten Güter werden durch die Entwicklung der Rohstoffpreise erklärt.

3 Die Szenarien

Die Szenarien enthalten die Vorgaben für die zeitliche Entwicklung der nicht im Modell bestimmten exogenen Variablen und weitere Einstellungen. Das Business-As-Usual-Szenario (BAU) generiert im technischen Sinne eine Prognose, die von einem gegenüber dem Status quo unveränderten Verhalten der Politik ausgeht. In den Alternativszenarien werden einzelne oder auch mehrere Einstellungen vorgenommen, die gegenüber dem BAU-Szenario abweichen. Es kann sich dabei um veränderte Vorgaben der exogenen Variablen, aber auch um Änderungen der in den Gleichungen des Modells abgebildeten Verhaltensweisen der Akteure handeln. In unserem Fall sind es die Verhaltensweisen der Produzenten, die in den Alternativszenarien nachhaltigere Entscheidungen als im BAU-Szenario treffen. Unterschiede in der Entwicklung einer Variablen im BAU- und in einem Alternativszenario sind dann auf die Summe aller direkten und indirekten Wirkungen zurückzuführen, die von dieser Verhaltensänderung ausgehen.

Das Business-As-Usual-Szenario wurde nicht in der Absicht erstellt, eine Prognose im Sinne der wahrscheinlichsten künftigen wirtschaftlichen Entwicklung zu geben. Dazu wäre eine ausführlichere Abschätzung der exogenen Variablen – z. B. die außenwirtschaftliche Entwicklung betreffend – notwendig. Der Sinn des Szenarios ist es, einen plausiblen Referenzrahmen für die Analyse der Wirkungen der Politikmaßnahmen herzustellen.

3.1 Das Business-as-usual-Szenario

Was ist nun ein plausibler Referenzrahmen für die Analyse der Wirkungen der Ressourcenpolitik in den nächsten zwanzig Jahren? Es sind insbesondere Vorgaben für zwei Felder zu machen, die einen entscheidenden Einfluss auf den Ressourcenverbrauch haben werden und für die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland weitgehend exogen sind. Gemeint sind die weltwirtschaftliche Entwicklung und die von der Politik gewählte Klimaschutzpolitik. Um deren Bedeutung für den Ressourcenverbrauch erfahren zu können, werden wir zunächst nicht nur ein Referenzszenario vorgeben, sondern im Sinne einer Sensitivitätsanalyse insgesamt drei Referenzen rechnen und ihre Ergebnisse vergleichen. Anschließend werden wir uns dann für ein BAU-Szenario entscheiden.

Im Folgenden lehnen wir die zu wählenden Einstellungen bezüglich der Klimapolitik an zwei Szenarienrechnungen an, die im Auftrag des Umweltbundesamtes bereits einmal gerechnet worden sind. Es handelt sich um das so genannte „Mit-Maßnahmen-Szenario“ der Politikszenerien V und das „Strukturwandel-Szenario“ der Politikszenerien V, die im Auftrag des Umweltbundesamtes (2009) von einer gemeinsamen Arbeitsgruppe des Öko-Instituts, des Forschungszentrums Jülich, des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung und des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsfor-

schung gerechnet worden sind. Wenn wir eingangs gesagt haben, dass wir die Einstellungen an die genannten Rechnungen „anlehnen“, dann haben wir damit zweierlei gemeint. Erstens ist eine unmittelbare Übernahme von Einstellungen in das Modell PANTA RHEI nicht möglich, weil die bei den Politikszenerarien verwendeten Modelle und PANTA RHEI ganz unterschiedliche Strukturen haben. In den Politikszenerarien werden Energiesystemmodelle und andere so genannte bottom-up-Modelle eingesetzt, die in großem Detail die energierelevanten Märkte abbilden, aber partialanalytisch konstruiert sind, weil sie die Rückkoppelung mit der wirtschaftlichen Entwicklung nicht erfassen. PANTA RHEI ist dagegen ein so genanntes top-down-Modell in dem der Energiemarkt nur einer von vielen Märkten ist, die im Zusammenspiel interdependent die gesamtwirtschaftliche Entwicklung ergeben. Man kann sich also nur für einen gemeinsamen Katalog von Politikmaßnahmen entscheiden. Deren Abbildungen im Modell können dann schon wegen der unterschiedlichen Detailliertheit voneinander abweichen. Zweitens darf man schon aus diesem Grund, aber auch wegen der unterschiedlichen Endogenitäten nicht erwarten, dass PANTA RHEI genau dieselben Ergebnisse mit diesen Einstellungen generiert wie in den Politikszenerarien nachzulesen ist. Gleichwohl werden die Einstellungen so gewählt, dass im Hinblick auf Energieverbrauch und CO₂-Emissionen in etwa die Ergebnisse der beiden Szenarien erzielt werden.

Die Grundeinstellung ist durch die folgenden Maßnahmen charakterisiert: Das für die Grundstoffindustrien und die Stromerzeugung existierende Europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS) wird auf den Flugverkehr ausgedehnt. Der Anteil der vom Staat versteigerten CO₂-Zertifikate in der Stromerzeugung steigt bis 2020 von derzeit 10% auf 100%. Auch die Zertifikate im Flugverkehr sollen zu einem steigenden Anteil (2020: 50%) versteigert werden. Der Zertifikatspreis wird von 23,86 € pro Tonne im Jahre 2008 auf 44 € pro Tonne im Jahre 2030 zunehmen (in Preisen des Jahres 2000 ca. 30 €). Die bestehenden Gesetze und staatlichen Förderprogramme (Kraft-Wärme-Kopplung, Gebäudesanierung, Erneuerbare-Energien-Gesetz) werden in der Referenzentwicklung fortgeschrieben und es wird unterstellt, dass die dort formulierten Ziele erreicht werden. Von den vielen Maßnahmen des Integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP) können hier explizit nur einige angesprochen werden.

Durch das Gebäudesanierungsprogramm sollen über zinsgünstige Kredite und Zuschüsse erhöhte Sanierungsmaßnahmen in Gebäuden ausgelöst und so der Energiebedarf für Raumwärme abgesenkt werden. Das Fördervolumen und die mit dem Fördervolumen induzierten zusätzlichen Investitionen sowie die Energieeinsparungen pro investiertem Euro sind vorgegeben. Das EEG vom 25.10.2008 ist in seiner Grundstruktur gegenüber Vorgängerregelungen beibehalten worden. Der Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung ist im Modell durch einen exogenen Entwicklungspfad abgebildet. Am 01.01.2009 ist das Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz in Kraft getreten. Es schreibt vor, dass Eigentümer künftiger Gebäude einen Teil ihres Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energien decken müssen. Der Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärme-erzeugung ist im Modell durch einen exogenen Entwicklungspfad abgebildet, der unterstellt, dass das Ziel der Bundesregierung erreicht wird. Der Einsatz von

Kernenergie geht gemäß Ausstiegsszenario bis 2022 weiter zurück. Diese Vorgabe ist inzwischen durch die aktuellen Entscheidungen überholt.

Die ehrgeizigere Variante der Klimapolitik ist durch die folgenden Verstärkungen gekennzeichnet: Es werden zusätzliche Maßnahmen zur weiteren Senkung des Stromverbrauchs der Haushalte und zur weiteren Effizienzsteigerung im Energieverbrauch der Industrie unterstellt. Ferner wird das Gebäudesanierungsprogramm drastisch aufgestockt und die Fördersumme für die Kraft-Wärme-Kopplung erhöht. Der durchschnittliche Energieverbrauch der LKW sinkt und der Verbrauch der neu zugelassenen PKW kann noch weiter vermindert werden.

Kommen wir nun zu dem zweiten wichtigen Bereich, in dem wir Vorgaben machen müssen: Die weltwirtschaftliche Entwicklung.

Für die Weltwirtschaft wird sich ab 2010 und verstärkt in 2011 nach der Überwindung der Krise eine Normalisierung der Entwicklung einstellen. Die Stärke der künftigen Expansion der Weltwirtschaft ist aber bis zum Jahr 2030 schwierig einzuschätzen. Um die Bedeutung dieser Unsicherheit für den Ressourcenverbrauch abschätzen zu können, betrachten wir im Hinblick auf die weltwirtschaftlichen Vorgaben zwei Varianten, die sich im Hinblick auf die Entwicklung der Rohstoffpreise und die Exportnachfrage unterscheiden. In der Variante I wird ein schwächeres Wachstum der Rohstoffpreise und ein stärkeres Exportwachstum als in der Variante II unterstellt.

Der Ölpreis und auch die anderen Rohstoffpreise werden nach ihrem dramatischen Fall in der Krise wieder zunehmen. In der Variante I nimmt der Weltmarktpreis des Öls von 2009 bis 2030 real um 50%, der der Metalle um 60% und der Weltmarktpreis der Nahrungsmittel um 30% zu. Insgesamt werden 8 Weltmarktpreise für die Rohstoffe food, beverages, agricultural raw materials, metals, crude oil, natural gas, coal, non-metallic minerals unterschieden. Die Exportnachfrage steigt real um ca. 4,1% pro Jahr.

In der Variante II ist die Wachstumsdynamik der Weltwirtschaft schwächer, so dass die deutschen Exporte nur um ca. 3,2% pro Jahr steigen. Die Rohstoffpreise werden dagegen stärker steigen als in der Variante I: Im Vergleich zu 2009 ergeben sich bis 2030 reale Veränderungsrate um 60% (Öl), 71% (Metalle) bzw. 42% (Nahrungsmittel). Die Preisindizes in Euro zur Basis 2000 erreichen dann über die Vorgabe konstanter Wachstumsraten im Jahre 2030 die folgenden Werte: Öl, 280; Gas 295; Metalle 281; Nahrungsmittel 167.

Der Wechselkurs des Euro zum Dollar wird für den gesamten Simulationszeitraum in beiden Varianten 0,68 betragen, es ist also unterstellt, dass die Euro-Krise dauerhaft überwunden sein wird.

In der weiteren Analyse werden wir nun folgende Kombinationen der Einstellungen in den Referenzszenarien diskutieren:

Basis I: moderate Klimapolitik, starkes weltwirtschaftliches Wachstum.

Basis II: moderate Klimapolitik, moderates weltwirtschaftliches Wachstum.

Basis III: engagierte Klimapolitik, moderates weltwirtschaftliches Wachstum.

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen der Rechnungen von Basis II und Basis I wird Rückschlüsse auf die Bedeutung der weltwirtschaftlichen Entwicklung auf den Ressourcenverbrauch in Deutschland ermöglichen. Der Vergleich zwischen Basis III und Basis II wird uns im Abschnitt 4 zeigen, welche Wirkungen die Klimapolitik auf den Ressourcenverbrauch in Deutschland hat.

Welche der drei Referenzen soll nun aber das Business-As-Usual-Szenario für den Vergleich mit den Alternativszenarien sein? Für Basis III spricht, dass angesichts knapper werdender Rohstoffe und entsprechend hoher Rohstoffpreise ein moderates Wachstum der Weltwirtschaft als plausibel erscheint. Ferner ist zu erwarten, dass die zurzeit dynamischste und inzwischen zweitgrößte Volkswirtschaft – China – auf Dauer keine zweistelligen Zuwachsraten mehr haben dürfte. Für Basis III spricht ferner, dass die Bundesregierung für das Jahr 2050 eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 80% gegenüber dem Wert von 1990 anstrebt. Dies bedeutet, dass bis zum Endjahr unserer Rechnungen – 2030 – eine Reduktion von mehr als 50% erreicht werden muss. Dem entspricht unsere Vorgabe, denn in der Basis III wird – wie im Einzelnen noch im Abschnitt 4 zu zeigen sein wird – eine CO₂-Minderung von 54% erzielt. Wir gehen allerdings mit dieser Entscheidung etwas über die übliche Definition eines BAU-Szenarios hinaus. Üblicherweise werden in einem BAU-Szenario nur bereits gesetzlich beschlossene Politikmaßnahmen eingestellt. Davon sind wir noch weit entfernt, denn bislang steht nur das Ziel fest. Gleichwohl gibt es ein gutes Argument, gegen diese übliche Praxis zu verfahren. Wenn wir Basis III als BAU-Szenario auswählen, können wir im Alternativszenario die Wirkungen einer kombinierten engagierten Klima- und Ressourcenpolitik abbilden und im Vergleich zwischen BAU-Szenario und Alternativszenario die Wirkungen der Ressourcenpolitik identifizieren.

3.2 Die Alternativszenarien

Wie bereits eingangs dargelegt, ist die Studie breit angelegt, indem sie Instrumente aus allen drei wichtigen Instrumentengruppen – ökonomische Instrumente, Informationsinstrumente und Regulierung durch das Setzen technischer Standards – auswählt. Sinn der Rechnungen ist allerdings nicht, flächendeckend alle im Rahmen des MaRess-Projektes diskutierten Instrumente abzubilden. Das ist schon deshalb nicht möglich, weil sicherlich eine Reihe von Maßnahmen nicht quantifizierbar ist. Es geht hier vielmehr darum, beispielhaft möglichst aus jeder Instrumentengruppe mindestens eine konkrete Maßnahme zu modellieren.

3.2.1 Szenarien zum Einsatz ökonomischer Instrumente

Aus dem Bereich der ökonomischen Instrumente wurden Steuern auf den Verbrauch und eine Steuer auf den Ressourceneinsatz betrachtet.

Bei den Verbrauchssteuern variieren wir die Mehrwertsteuersätze auf Verkehrsleistungen der Bahn und des Flugverkehrs. Der Mehrwertsteuersatz für Leistungen der Bahn wird von dem Regelsatz 19% auf den ermäßigten Satz von 7% reduziert, während der Mehrwertsteuersatz für Leistungen des Flugverkehrs vom ermäßigten Satz auf den regulären Satz angehoben wird.

Die Wirkungen von Steuern auf den Einsatz der Ressourcen untersuchen wir exemplarisch für die Baustoffe. Es wird ab dem Jahre 2012 eine Steuer auf die Extraktion und die Einfuhr von Baustoffen erhoben. Der Steuersatz beträgt bei der Einführung im Jahr 2012 2 € pro Tonne und wird bis zum Jahr 2030 pro Jahr um 5% erhöht, sodass er im Jahr 2030 den Wert von 4,80 € erreicht.

3.2.2 Szenarien zum Einsatz von Informationsinstrumenten

Die Informationsinstrumente sind sehr vielfältiger Natur. Eine Wirkungsanalyse für einzelne Ausprägungen dieser Instrumentengruppe ist unmöglich, weil (bisher) dafür die empirischen Belege fehlen und sich somit kaum Anhaltspunkte für eine Modellierung ergeben. Der Ausweg besteht darin, dass eine Abschätzung der Wirkungen versucht wird, die eine bestmögliche Information der Agenten gegenüber der Baseline erbringt. Was sind die Kosten einer bestmöglichen Information der Unternehmen und welche Wirkungen hat sie auf den Rohstoffverbrauch? Auf diese Weise ist es möglich, zumindest das Potenzial von Informationsinstrumenten abzuschätzen, ohne sie jetzt konkreten Maßnahmen zurechnen zu müssen. Für den Unternehmensbereich liegen empirische Belege für diese Potenzial auf der Basis der Erfahrungen von Beratungsunternehmen vor (Fischer et al. 2004). Ferner haben die Deutsche Effizienzagentur DEMA und die Effizienz-Agentur NRW umfangreiche Erfahrungen über die Wirkung von Beratungsleistungen auf die Technologie und die dabei entstehenden Kosten sammeln können. Die Beratungsunternehmen kommen zu dem Ergebnis, dass in den Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes im Durchschnitt ein Einsparpotenzial von 20% der Materialkosten besteht. Die Kosten zur Ausschöpfung des Potenzials entsprechen demnach der Einsparung eines Jahres und bestehen zu einem Drittel aus Beratungskosten und zu zwei Dritteln aus zusätzlichen Investitionen in Ausrüstungen. Dies sind keine Annahmen, sondern die Erfahrungswerte, die Consultingunternehmen erarbeitet haben. Wir unterstellen in unseren Rechnungen, dass es gelingt, in 20 Jahren alle Unternehmen des Verarbeitenden Gewebes einer Beratung mit diesem Erfolg zuzuführen, was bedeutet, dass jedes Jahr 5% der Unternehmen beraten werden.

3.2.3 Szenarien zum Einsatz von Regulierungsinstrumenten

Als Regulierungsmaßnahme betrachten wir die Einführung von Vorschriften zum Einsatz von Sekundärrohstoffen bei der Erzeugung von NE-Metallen. Hier wird unterstellt, dass in den Endprodukten ein bestimmter Anteil von wiederverwendeten NE-Metallen enthalten sein muss. Man kann sich vorstellen, dass hier intelligente Formen der Regulierung zum Einsatz kommen, die etwa auf Zielvereinbarungen mit den betreffenden

Branchen oder dem Top-Renner-Konzept beruhen. Da alle Endprodukte dem Standard genügen müssen, schließt dies auch die importierten Güter ein. Dies bedeutet, dass hier entweder internationale branchenbezogene Vereinbarungen über die Produktion von NE-Metallen gefordert sind, oder bei den importierten Endprodukten der Nachweis erbracht werden muss, dass der gewünschte Anteil an Sekundärrohstoffen im Endprodukt enthalten ist.

Bei unseren Simulationsrechnungen können wir Substitutionsprozesse nur auf der Ebene der 71 Branchen der Input-Output-Rechnung in der Dimension preisbereinigter monetärer Zusammenhänge beobachten. Wir unterstellen nun, dass der Inputkoeffizient der Sekundärrohstoffe sich innerhalb von zwanzig Jahren von 1,7% auf 5,1% verdreifacht. Was bedeutet dies nun für den Einsatz von Metallen?

Wir rechnen dieses Szenario in zwei Varianten. Die Substitution von Metallen durch Sekundärrohstoffe ist im Modell mit einer ökonomisch gemessenen Substitutionselastizität möglich, die etwa bei -0,4 liegt. Dies bedeutet, dass die Substitution von Metallen durch Sekundärrohstoffe Kosten verursacht. Nun mag es sein, dass die Ausdehnung des Recyclings in diesem Bereich die Verfahren verbessert, so dass die Kosten sich vermindern. Um das Potenzial einer solchen Entwicklung abzuschätzen, unterstellen wir in der Variante II, dass die Substitution ohne zusätzliche Kosten, d. h. mit einer Substitutionselastizität von -1 möglich ist.

Die Modellrechnung ergibt nun, dass im ersten Fall der Metalleinsatz in der NE-Metallindustrie sich um 24% und im zweiten Fall um ca. 60% vermindert. Diese Veränderung des Gehaltes von primären Rohstoffen unterstellen wir dann auch in den importierten Halb- und Fertigfabrikaten.

4 Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen

Wir betrachten zunächst die Ergebnisse für die drei Basisszenarien, um zu erfahren, welche Wirkungen das Exportwachstum und eine engagierte Klimapolitik auf die wirtschaftliche Entwicklung, den Energieverbrauch, die CO₂-Emissionen und den Ressourcenverbrauch haben. Erst im Anschluss daran wird es beim Vergleich zwischen den verschiedenen Alternativszenarien und dem BAU-Szenario (Basis III) um die Wirkungen der umweltpolitischen Maßnahmen zur Senkung des Ressourcenverbrauchs gehen.

4.1 Die Basisszenarien

Wir erinnern uns: Die drei Basisszenarien unterscheiden sich im Hinblick auf die weltwirtschaftliche Entwicklung und die unterstellte Klimapolitik wie folgt:

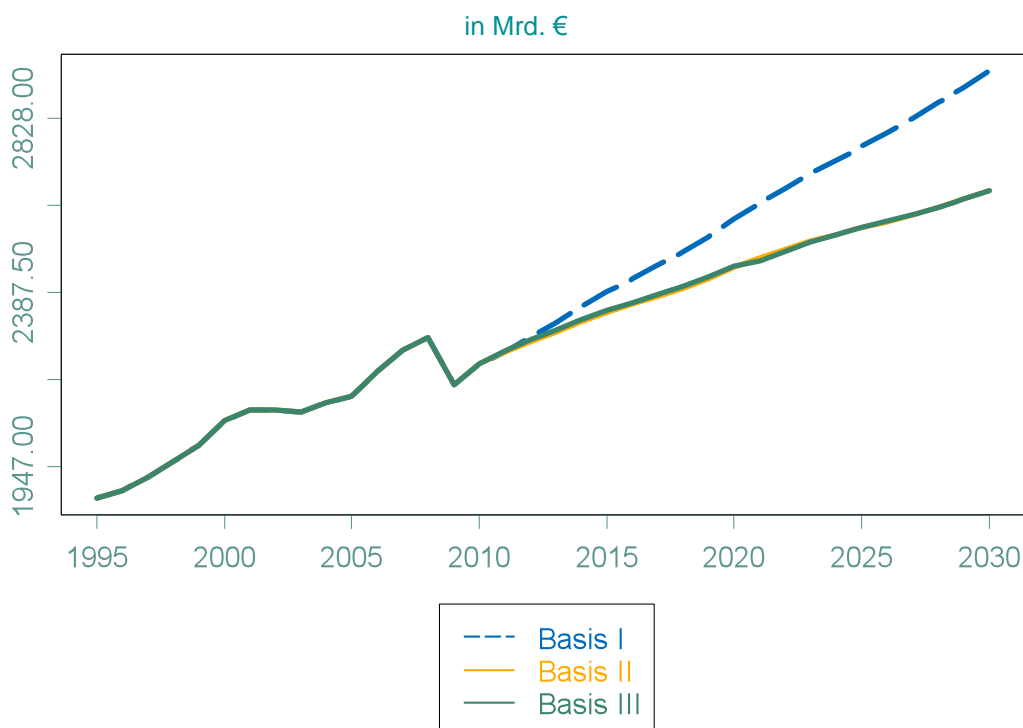
Basis I: moderate Klimapolitik, starkes weltwirtschaftliches Wachstum.

Basis II: moderate Klimapolitik, moderates weltwirtschaftliches Wachstum.

Basis III: engagierte Klimapolitik, moderates weltwirtschaftliches Wachstum.

Der Vergleich zwischen Basis I und Basis II gibt somit Informationen über die Wirkung der Exporte, und der Vergleich zwischen Basis II und Basis III zeigt die Wirkung einer Forcierung der Klimapolitik. In den Abbildungen 4,5,6 und 7 sind die Entwicklungen für die zentralen Variablen preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt, Endenergieverbrauch, CO₂-Emissionen und Ressourcenverbrauch (TMR: Total Material Requirement) jeweils für die drei Basisszenarien dargestellt. Der Indikator TMR misst den Ressourcenverbrauch inklusive der in den importierten Gütern enthaltenen Rohstoffe.

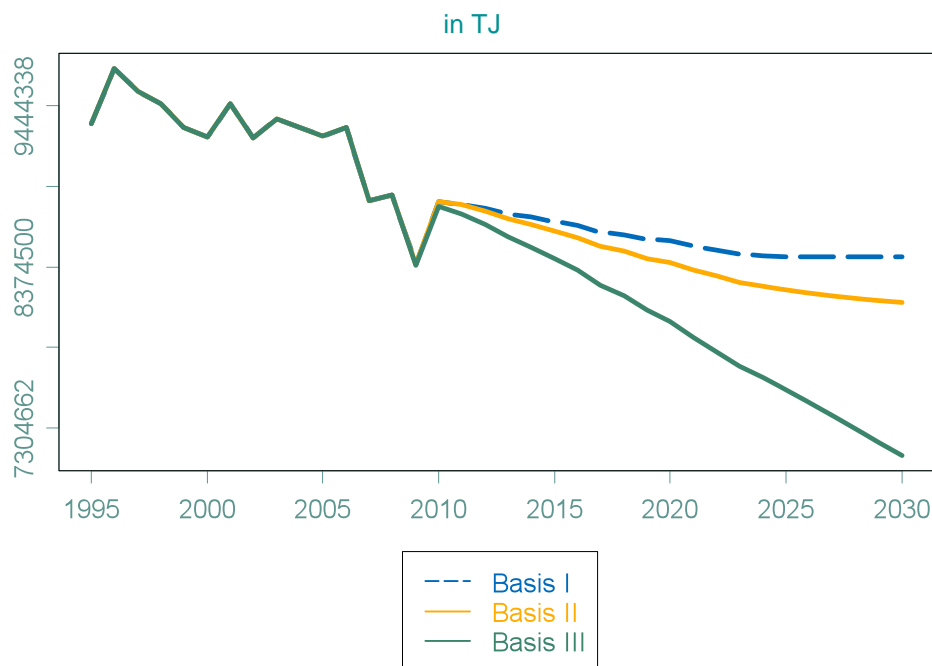
Abb. 4: Die Entwicklung des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts in den drei Basisszenarien



Offenbar zeigt Basis I im Prognosezeitraum mit durchschnittlichen Wachstumsraten um 1,5% eine leichte Steigerung gegenüber der historischen Entwicklung. Basis II und Basis III entsprechen sich weitgehend und erreichen nur noch durchschnittliche Zuwachsraten von etwa 1%. Die forcierte Klimapolitik hat somit keine negativen Effekte auf die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts.

Der Endenergieverbrauch geht in Basis I nur geringfügig zurück, während er in Basis II in etwa dem Trend der historischen Entwicklung folgt. In Basis III ist durch die forcierte Klimapolitik offenbar ein kräftiger Rückgang zu beobachten.

Abb. 5: Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den drei Basisszenarien



In der Basis I folgen die CO₂-Emissionen bis 2020 etwa dem langjährigen Trend, bleiben dann aber etwa stabil. Die Abschwächung des Wachstums in Basis II bestärkt über den gesamten Zeitraum den Rückgang der Emissionen im Rahmen des langjährigen Trends. Die Forcierung der Klimapolitik in Basis III führt zu einem deutlichen Unterschreiten des Trends. Im Jahr 2030 liegen die CO₂-Emissionen um 54% unter dem Wert des Jahres 1990.

Abb. 6: Die Entwicklung der CO₂-Emissionen in den drei Basisszenarien

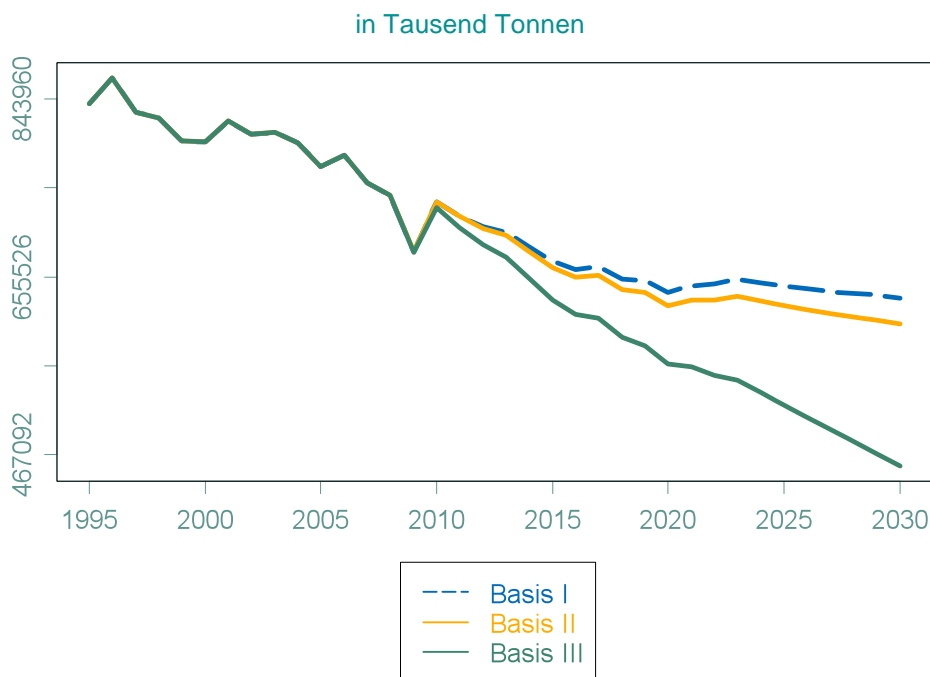
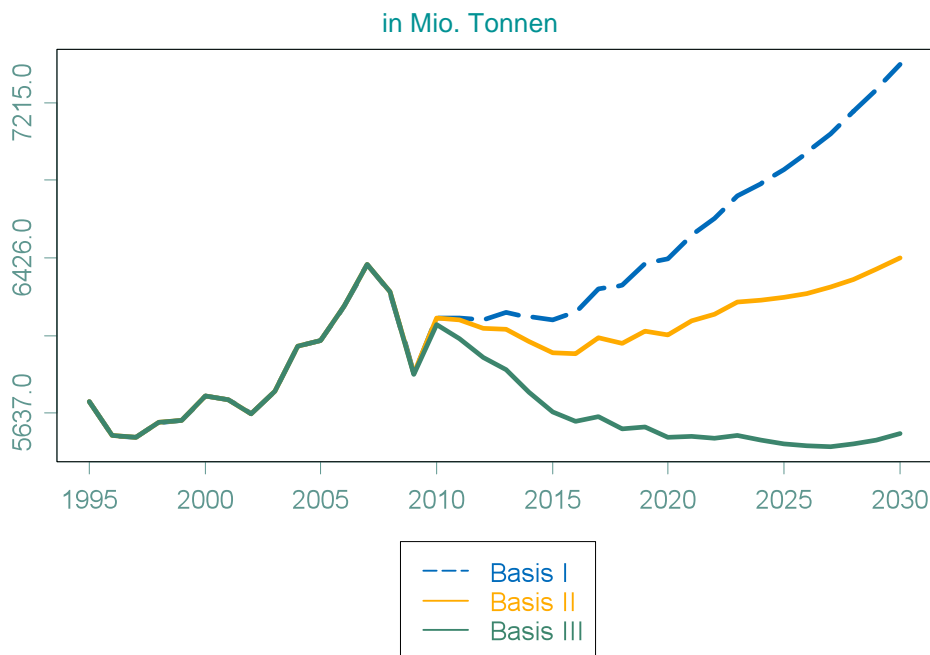


Abb. 7: Die Entwicklung des TMR in den drei Basisszenarien



In der Baseline I steigt der Ressourcenverbrauch nach der Überwindung der Krise im Jahr 2010 wieder kontinuierlich an und liegt im Jahre 2030 deutlich über dem Wert des Jahres 2008 unmittelbar vor der Krise. In der Basis II bleibt dieser Anstieg moderater, so dass in etwa das Niveau des Jahres 2008 wieder erreicht wird. In der Basis III un-

terstützt die forcierte Klimapolitik offenbar die Bemühungen zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs.

In der Tab. 5 sind die Abweichungen der zentralen Variablen im Jahre 2030 von dem Wert des Jahres 2008 für alle drei Basisszenarien dargestellt:

Tab. 5: Die Abweichungen zentraler Variablen im Jahre 2030 in den drei Basisszenarien von ihrem Wert im Jahre 2008 in v. H.

	Bruttoinlandsprodukt	Endenergieverbrauch	CO ₂	TMR
Basis I	+29,5	-4,7	-14,7	+18,5
Basis II	+16,3	-8,1	-18,3	+2,8
Basis III	+16,3	-19,5	-38,6	-11,5

Bei einem starken Wachstum der Weltwirtschaft und einer moderaten Klimapolitik in Deutschland (Basis I) wird das Bruttoinlandsprodukt im Jahre 2030 um fast 30% über dem Wert vor der Weltwirtschaftskrise liegen. Der Endenergieverbrauch wird nur geringfügig zurückgehen, was eine kräftige Zunahme der Energieeffizienz um etwa ein Drittel impliziert. Die CO₂-Emissionen vermindern sich wesentlich stärker als der Endenergieverbrauch, was auf die Substitution CO₂-intensiver Energieträger insbesondere durch erneuerbare Energien schließen lässt. Der Verbrauch von Ressourcen inklusive der in den importierten Gütern enthaltenen Materialströme (TMR: Total Material Requirement) steigt mit +18,5% kräftig an. Zieht man vom Wachstum des Bruttoinlandsprodukts die Wachstumsrate des Ressourcenverbrauchs ab, so erhält man die Zuwachsrate der Ressourcenproduktivität von 11%.

Bei moderatem Wirtschaftswachstum und gegenüber Basis I unveränderter Klimapolitik erhält man in Basis II eine Abschwächung der Wachstumsrate des Bruttoinlandsprodukts und, wie zu erwarten, eine Minderung beim Endenergieverbrauch, den CO₂-Emissionen und dem Ressourcenverbrauch. Interessant sind die Wirkungen auf die Wachstumsrate der Energieproduktivität (Differenz der Wachstumsraten von Bruttoinlandsprodukt und Endenergieverbrauch) und Ressourcenproduktivität (Differenz der Wachstumsraten von Bruttoinlandsprodukt und Ressourcenverbrauch): Die Zuwachsrate der Energieproduktivität geht deutlich von 34,4% auf 24,4% zurück, während die Zuwachsrate der Ressourcenproduktivität von 11% auf 13,5% ansteigt. Die Erklärung für den Ressourcenverbrauch liegt auf der Hand: Die exportierten Güter sind zu einem beträchtlichen Teil die materialintensiven Investitionsgüter. Der Rückgang der Wachstumsrate der Energieproduktivität ist darauf zurückzuführen, dass ein großer Teil der Energienachfrage, wie z. B. die Heizung für den Wohnbereich, unabhängig vom Produktionsniveau der Volkswirtschaft ist.

Die Forcierung der Klimapolitik (Übergang von Basis II auf Basis III) lässt das Bruttoinlandsprodukt weitgehend unverändert, weil Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zwar Kosten verursachen, gleichzeitig aber auch Mehrnachfrage und Beschäftigung bedeu-

ten. Ferner nimmt im Zeitablauf die Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien zu. Die Wachstumsrate des Endenergieverbrauchs sinkt um 11,4%-Punkte auf -19,5%. Die CO₂-Emissionen gehen um 20,3%-Punkte auf -38,6% zurück. Die Forcierung der Klimapolitik hat also gleichzeitig die Energieproduktivität und den Anteil erneuerbarer Energien erhöht. Im Kontext des Projektes ist der Rückgang des Ressourcenverbrauchs um 14,3% außerordentlich bemerkenswert. Die Erklärung liegt in dem geringeren Einsatz fossiler Energieträger, insbesondere der Kohle.

4.2 Die Alternativszenarien

4.2.1 Simulationsergebnisse ökonomische Instrumente

Wie bereits dargelegt, untersuchen wir zum einen die Wirkungen von Änderungen der Mehrwertsteuer im Verkehrsbereich, zum anderen wird eine Baustoffsteuer als Beispiel für eine Ressourcensteuer simuliert. Hinsichtlich der Verwendung des zusätzlichen Steueraufkommens unterstellen wir, dass eine Entlastung bei den anderen Steuern – wir wählen die Einkommensteuer – erfolgt, so dass die Steuerbelastung insgesamt unverändert bleibt. In der Darstellung werden wir uns zunächst allein mit der Wirkung der Mehrwertsteueränderungen und der Einführung der Baustoffsteuer befassen. Dies bedeutet, dass in diesen Simulationen die Steuerbelastung der Bürger und auch das Budget des Staates nicht neutral gestellt sind. Erst abschließend diskutieren wir dann den Gesamteffekt, der die Senkung der Einkommensteuer einschließt.

Mehrwertsteuersatz für Verkehrsdienstleistungen der Bahn

Betrachten wir zunächst die Wirkungen einer Senkung des Mehrwertsteuersatzes für Verkehrsdienstleistungen der Bahn von 19% auf den reduzierten Satz von 7%. Auf dieses Preissignal reagieren die Verbraucher mit einer Minderung des motorisierten Individualverkehrs (-0,1%) und des Flugverkehrs (-2,5%). Da Bahn- und Busleistungen häufig komplementär nachgefragt werden, nimmt nicht nur der Schienenverkehr (+1,6%), sondern auch der öffentliche Straßenverkehr (+2,1%) im Jahre 2030 gegenüber der Baseline, gemessen jeweils in Personenkilometern, zu.

Die preisbereinigten Konsumausgaben der privaten Haushalte für den Landverkehr sind im Jahre 2030 um 2,4% höher und für den Flugverkehr um 1,7% niedriger als in der Baseline. Im Landverkehr nimmt die Beschäftigung um 1500 Personen zu, in der Luftfahrt ergibt sich keine nennenswerte Auswirkung auf die Beschäftigung.

Die Preissenkung bei Verkehrsleistungen der Bahn bewirkt im Jahr 2030 gesamtwirtschaftlich eine Senkung der Lebenshaltungskosten gegenüber der Baseline. Dies bewirkt eine – wenn auch geringfügige – Zunahme des preisbereinigten privaten Konsums (+0,026%) und des Bruttoinlandsprodukts (+0,016%) und somit auch der Beschäftigung (+0,019%).

Der Energieverbrauch der Schiene nimmt um 0,9% zu. Im Straßenverkehr gibt es im öffentlichen Bereich eine Zunahme des Energieverbrauchs, die aber durch die Minderung des motorisierten Individualverkehrs überkompensiert wird. Per Saldo nimmt der Energieverbrauch im Straßenverkehr geringfügig ab. Die entscheidende Änderung wird durch die Reduktion des energieintensiven Flugverkehrs (-1,9%) erzielt, die per Saldo eine Verringerung des Endenergieverbrauchs in Deutschland um 0,1% bzw. 6867 TJ bewirkt.

Die Wirkungen auf den Materialverbrauch sind nicht so eindeutig wie beim Energieverbrauch. Dies liegt zum einen daran, dass der Mehreinsatz der Bahn zwar energieeffizienter ist als der substituierte Flug- und PKW-Verkehr, dass aber die von der Bahn verbrauchte Energie zum Teil aus materialintensiver Braunkohle hergestellt wird. Ferner löst die – wenn auch geringfügige – Senkung der Lebenshaltungskosten einen Rebound-Effekt aus, der die Güternachfrage und damit den Materialverbrauch anhebt. Per Saldo bleibt der Materialverbrauch (TMR) unverändert.

Mehrwertsteuersatz für Flugverkehrsleistungen

Betrachten wir nun die Wirkungen der Anhebung des zurzeit reduzierten Mehrwertsteuersatzes von 7% für inländische Flugverkehrsleistungen auf den Normalsatz von 19%.

Auf dieses Preissignal reagieren die Verbraucher im Jahre 2030 mit einer Steigerung des motorisierten Individualverkehrs um 0,5% und des Schienenfernverkehrs um 3%. Der Flugverkehr mindert sich deutlich um 8,9%. Da Schienennahverkehr und Flugverkehr häufig komplementär nachgefragt werden, reduziert sich auch der Schienennahverkehr um 2,8% gemessen in Personenkilometern. Dies mag auf den ersten Blick als zu heftige Reaktion eingeschätzt werden. In absoluten Relationen vermindert sich der Flugverkehr um 5,7 Milliarden Personenkilometer, der Schienennahverkehr um 1,1 Milliarden Personenkilometer. Die Aussage wäre demzufolge, dass z. B. ein Flug von 500 km Distanz in Deutschland zu Schienennahverkehr in der Größenordnung von knapp 100 Kilometern führt. Bedenkt man, dass sich dies auf die Anfahrt zum Flughafen und die Fahrt vom Flughafen zum Bestimmungsort auf jeweils etwa 50 km verteilt, erscheint dies als plausibel.

Die Konsumausgaben der privaten Haushalte für den Flugverkehr sind im Jahre 2030 um 7,6% deutlich niedriger und für den Landverkehr um 0,8% höher als in der Baseline. Dort steigt auch die Beschäftigung an, während beim Flugverkehr keine nennenswerte Auswirkung auf die Beschäftigung erfolgt. Die Anpassung der Kosten an den Nachfragerückgang erfolgt beim Luftverkehr durch eine Lohnanpassung und nicht durch eine Reduktion der Beschäftigung.

Die Preiserhöhung für die Flugverkehrsleistungen bewirkt im Jahre 2030 eine Anhebung der Lebenshaltungskosten der privaten Haushalte um 0,15%. Dies reduziert die Güternachfrage und damit das Bruttoinlandsprodukt leicht um 0,05%. Die Beschäftigung nimmt insgesamt um denselben Prozentsatz ab. Allerdings sollte bedacht wer-

den, dass dabei die expansive Wirkung der Einkommensteuersenkung noch nicht berücksichtigt ist.

Der Endenergieverbrauch des Luftverkehrs nimmt bis zum Jahr 2030 um 6,8% gegenüber der Baseline ab. Wie bereits dargelegt, kompensieren sich die Wirkungen auf den Schienenverkehr weitgehend, weil der zum Flugverkehr substitutive Schienenfernverkehr mit IC und ICE zunimmt, dafür aber der zum Flugverkehr komplementäre Schiennahverkehr, der u. a. die Fluggäste zu den Flughäfen bringt, sich vermindert. Beim Straßenverkehr ergibt sich eine leichte Zunahme des Endenergieverbrauchs. Der Endenergieverbrauch insgesamt würde im Jahr 2030 um 0,3% bzw. 19700 TJ deutlich unter dem Wert der Baseline liegen. Da die gesamtwirtschaftlichen Effekte die mit der Politikmaßnahme beabsichtigte Minderung des Materialverbrauchs beim Flugverkehr unterstützen, sind die Wirkungen auf den TMR Indikator eindeutig: Der Materialverbrauch reduziert sich um 1,2 Mio. t (-0,023%).

Einführung einer Baustoffsteuer

Betrachten wir nun die Einführung einer Ressourcensteuer: Es wird angenommen, dass in Europa im Jahre 2012 eine Baustoffsteuer mit einem Steuersatz von 2 € pro Tonne eingeführt wird. Der Steuersatz steigt pro Jahr um 5% und erreicht im Jahre 2030 einen Wert von 4,80 €. Die Steuer ist jeweils vom inländischen Produzenten bzw. vom Importeur zu zahlen. Da diese Steuer auch im europäischen Ausland erhoben wird, steigen auch die Importpreise der aus diesen Stoffen gefertigten Produkte der Gütergruppe „Steine und Erden“. Die Wirkung der Steuer auf den Inlandspreis der Gütergruppe „Steine und Erden“ und alle nachgelagerten Gütergruppen berechnet das Modell endogen.

Bis zum Jahr 2030 liegt der inländische Erzeugerpreis der Gütergruppe „Steine und Erden“ um 43% über dem Wert der Baseline. Der Absatz der Branche vermindert sich preisbereinigt um 16,8%. Die wichtigste abnehmende Branche „Glas, Keramik“ reduziert den Einsatz von „Steinen und Erden“ um 5,5%, das „Baugewerbe“ gar um 16,5%. Beide Branchen müssen wiederum ihre Preise erhöhen („Baugewerbe“: +0,4%, „Glas, Keramik“: +1,2%) und verlieren preisbereinigten Absatz („Baugewerbe“: -0,3%, „Glas, Keramik“: -0,6%). Die Baustoffsteuer bewirkt also in erster Linie eine technologische Änderung und nur zu geringen Anteilen eine Änderung in der Endnachfrage. Es wird kaum weniger gebaut, aber es wird weniger materialintensiv gebaut.

Die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der Baustoffsteuer sind sehr gering: Der Preisindex der Bruttoproduktion steigt im gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt um 0,07%, der Preisindex der Lebenshaltung der privaten Haushalte um 0,02%. Demgemäß gibt es nur sehr geringe Wirkungen auf die Güternachfrage: Das Bruttoinlandsprodukt vermindert sich um 0,09%, die Beschäftigung ist um 0,03% niedriger. Allerdings ist dies nur die isolierte Wirkung der Baustoffsteuer ohne Berücksichtigung der expansiven Wirkung der Senkung der Einkommensteuer.

Der Endenergieverbrauch sinkt um 0,01%. Die inländische Entnahme von Material sinkt deutlich um 9,7%, Der gesamtwirtschaftliche Indikator TMR vermindert sich um 1,5%. Die Wirkungen der Baustoffsteuer haben also durchaus ein attraktives Profil.

Kompensation der Steuererhöhungen durch eine Senkung der Einkommensteuer

Zu den angeführten Wirkungen der drei Steuern kommt die Wirkung der Minderung der Einkommensteuer hinzu. Diese regt die Konsumnachfrage an, wodurch Produktion und Beschäftigung und auch Energieverbrauch und Materialverbrauch zunehmen. Die Ergebnisse insgesamt sind für das Bruttoinlandsprodukt und das Verfügbare Einkommen der privaten Haushalte jeweils in konstanten Preisen sowie die Zahl der Erwerbstätigen, den Endenergieverbrauch in TJ und den Materialverbrauch in Tonnen in Tab. 6 zusammengefasst.

Tab. 6: Die Gesamtwirkung der betrachteten ökonomischen Instrumente auf wichtige gesamtwirtschaftliche Indikatoren im Jahr 2030

Abweichungen von der baseline	Bruttoinlandsprodukt	Verf. Eink. der HH	Erwerbstätige	Endenergieverbrauch	TMR
in v.H.	-0,06	0,07	-0,01	-0,3	-1,5
absolut	-1,5 Mrd. €	+1,5 Mrd. €	-5.400 Pers.	-25.784 TJ	-81,9 Mio t

Die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen sind offensichtlich weitgehend neutral, es ergeben sich aber die gewünschten Minderungen des Endenergieverbrauchs und des Total Material Requirement. Die ausgewiesenen Abweichungen im Promille-Bereich sind natürlich nicht mehr signifikant und sollten deshalb auch nicht als „positiv“ oder „negativ“ interpretiert werden.

Die Minderung der Einkommensteuer ist natürlich eine einfache Annahme zur Herstellung der Budgetneutralität. Darüber hinaus ist es ja durchaus möglich, die Steuereinnahmen noch wesentlich gezielter einzusetzen um damit Arbeitsmarkt-, Wachstums- oder Umweltpolitik zu betreiben. Bei einem gezielteren Einsatz des Steueraufkommens sollten die positiven wirtschaftlichen Effekte deutlicher werden

4.2.2 Simulationsergebnisse Informationsinstrumente

Wie bereits dargestellt, lassen sich die Wirkungen einzelner Informationsinstrumente derzeit noch nicht modellieren, weil die dazu erforderlichen Daten fehlen. Wir können aber für das Verarbeitende Gewerbe abschätzen, welche Wirkungen dort gegenüber der Baseline erreichbar sind, wenn die Unternehmen im Hinblick auf die Kenntnis ihrer Handlungsalternativen in einen perfekten Stand gesetzt werden. Es geht also um die Abschätzung eines Potenzials, das die Politik durch konkretere Maßnahmen abschöpfen kann.

Im Durchschnitt können ca. 20% der Materialkosten der Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe reduziert werden. Den Unternehmen entstehen für die Realisierung dieser Effizienzpotentiale einmalige Kosten in Höhe der Einsparung eines Jahres. Ein Drittel der Kosten entstehen durch einzuholende Beratungsleistungen, zwei Drittel werden durch zusätzliche Kapitalkosten verursacht. Dies sind die Aussagen namhafter Unternehmensberater (Fischer et al. 2004). Mit Blick auf die Fragestellung des Projektes unterstellen wir abweichend von früheren Studien (Meyer et al. 2007), dass die Maßnahmen sich nur auf den Material- und nicht auf den Energieeinsatz beziehen. Ferner werden die Maßnahmen auf die Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes und der Land- und Forstwirtschaft beschränkt.

Das Szenario unterstellt, dass die Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes und der Land- und Forstwirtschaft nach und nach auf diesen Informationsstand gebracht werden, indem die Maßnahmen jedes Jahr 5% der Unternehmen erreichen. Die Maßnahmen starten im Jahr 2012, steigen linear an und erreichen im Jahr 2030 ihre maximale Wirkung. Wir betrachten die Wirkungen eines aus heutiger Sicht perfekten Informationsstandes für Deutschland im Jahr 2030. Eine Ausdehnung auf Europa würde eine Analyse für jedes der 27 europäischen Länder erfordern, was mit dem im Projekt eingesetzten Modell PANTA RHEI nicht möglich ist. In der Studie von Meyer et al. (2007), die auf den Annahmen von Fischer et al. (2004) aufbaut, wurde unterstellt, dass weltweit eine Verbesserung des Informationsstandes der Unternehmen gegeben ist.

Der Lohnsatz ist eine endogene Variable des Modells PANTA RHEI. Eine wichtige Frage ist, ob die für Phasen moderater Preis- und Produktivitätssteigerungen beobachtete Verhaltensweise der Tarifparteien auch nach Einführung des Beratungsprogramms gilt, oder ob ein Strukturbruch bei den Lohnverhandlungen zu erwarten ist. Im Schätzzeitraum des Modells sind die Produktivitätssteigerungen des Faktors Arbeit vor allem auf die Zunahme der Kapitalintensität der Arbeit zurückzuführen gewesen. Im Schätzzeitraum hat es ferner keine Preissenkungen gegeben. Für die These eines Strukturbruchs spricht, dass nunmehr kräftige Produktivitätssteigerungen infolge der Steigerung der Materialproduktivität erzielt werden, die mit deutlichen Preissenkungen (im Vergleich zum Referenzszenario) einhergehen. Natürlich bezieht sich dies auf den Vergleich mit der Referenz. Tatsächlich steigen die Preise auch in diesem Szenario an, aber die Inflationsraten werden deutlich niedriger sein. Wir gehen im folgenden davon aus, dass die Tarifparteien ihr Verhalten ändern und sowohl die negativen (fallende Preise) als auch die positiven (steigende Produktivität) Auswirkungen des Beratungsprogramms auf die Höhe des Lohnes bei ihren Verhandlungen unberücksichtigt lassen. Dies bedeutet, dass sich der Lohnsatz mit denselben Zuwachsraten wie in der Baseline entwickelt.

Die Dematerialisierung der Produktion hat bezogen auf den Materialverbrauch einen klaren direkten Effekt: Der Materialverbrauch sinkt. Ökonomisch ist die Situation etwas unübersichtlicher. Zum einen sinkt der Absatz der Firmen, die Material herstellen, zum anderen fallen die Kosten derjenigen Firmen, die Material einsetzen.

Die Kostensenkungen bei den Firmen, die Material einsetzen, haben vielfältige indirekte Effekte. Da auf den unvollkommenen Märkten die Preise i. d. R. weniger stark fallen als die Kosten, ergibt sich zusätzliche Wertschöpfung. Damit steigt die Produktivität der Unternehmen. Die niedrigeren Preise induzieren zusätzliche Nachfrage durch steigende Exporte und fallende Importe aber auch zunehmende Inlandsnachfrage durch die steigende Wertschöpfung in den von der Dematerialisierung profitierenden Branchen. Damit nimmt in diesen Branchen die Produktion zu, was sich wiederum positiv auf die Beschäftigung dort auswirkt. Wir haben also in der positiven ökonomischen Wirkung, die auch als Rebound-Effekt angesprochen wird, eine starke indirekte Wirkung auf den Ressourcenverbrauch zu erwarten, die ihn wiederum anhebt. Der Absatzrückgang in den Branchen, die Rohstoffe verarbeiten und das Material produzieren, führt dort natürlich zu deutlichen Beschäftigungseinbußen.

Die Wirkungen auf die einzelnen Branchen der Volkswirtschaft sind also sehr unterschiedlich. Betrachten wir dazu in Tab. 7 einige Beispiele von Branchen, die typisch für die unterschiedliche Betroffenheit sind. Der Maschinenbau und die Elektrotechnik sind Branchen, die sehr stark im internationalen Wettbewerb stehen, der Wirtschaftsbereich Steine und Erden, die Metallerzeugung und -bearbeitung sowie die Mineralölverarbeitung stehen für typische Materiallieferanten, das Baugewerbe, das Gastgewerbe, der Einzelhandel und die Nachrichtenübermittlung sind vor allem von der inländischen Nachfrage abhängig.

Tab. 7: Die Wirkung des Informations- und Beratungsprogramms auf die preisbereinigte Bruttonproduktion in ausgewählten Wirtschaftsbereichen

	Abweichungen von der Baseline im Jahr 2030 in %
Maschinenbau	+11,2
Baugewerbe	+10,4
Elektrotechnik	+9,2
Einzelhandel	+4,7
Nachrichtenübermittlung	+4,0
Metallerzeugung	-7,6
Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	-11,3
Mineralölverarbeitung	-11,8

Der Maschinenbau erfährt seine Nachfragebelebung und Beschäftigungssteigerung vor allem durch die Verbesserung seiner Position im internationalen Wettbewerb, die durch den kräftigen Preisrückgang erzielt wird. Die vorgelagerte Produktionsstufe der Metallerzeugung ist unmittelbar von der Dematerialisierung betroffen, kann aber ihrerseits die Gesamtkosten und damit den Preis deutlich weniger senken als der Maschi-

nenbau – mit der Folge, dass Produktion und Beschäftigung fallen. Im Gastgewerbe gibt es nur sehr schwache Effekte durch die Dematerialisierung, wie der geringe Preisrückgang zeigt. Aber dieser Sektor profitiert offensichtlich von der steigenden gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung, die die Inlandsnachfrage antreibt.

Die Steigerung der Wertschöpfung – preisbereinigt um ca. 10,1% – ist für das Verständnis der gesamtwirtschaftlichen Vorgänge zentral. Weil ein Teil der zusätzlichen Gewinne nicht ausgeschüttet wird und ferner die Konsumgüterpreise weniger stark fallen als der Preisindex der Wertschöpfung, steigt das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte preisbereinigt um nur 8,5%, was wiederum den privaten Konsum preisbereinigt um 7% anhebt. Das verfügbare Einkommen des Staates steigt preisbereinigt um ca. 7,7% an, weil das Steueraufkommen an der zunehmenden Wertschöpfung und der allgemeinen wirtschaftlichen Expansion partizipiert. Der Staatskonsum erhöht sich preisbereinigt mit 3,1% aber nur wenig, weil die vom Staat bereitgestellten Dienstleistungen (Innere und Äußere Sicherheit, Rechtsprechung, Verwaltung, Bildung) in ihrem Leistungsvolumen durch die wirtschaftliche Belebung nicht notwendigerweise gegenüber der Baseline angehoben werden. Folglich kann der Staat in zunehmendem Umfang sparen, was dazu führt, dass die Staatsverschuldung im Jahr 2030 um 10,2% oder 226 Mrd. € niedriger ist als in der Baseline.

Die reale Lohnsumme steigt mit knapp 4,3% deutlich schwächer als die gesamte preisbereinigte Wertschöpfung (+10,1%). Das kann nicht überraschen, denn wir haben unterstellt, dass sich der nominale Lohnsatz gegenüber der Baseline nicht verändert, sodass die reale Lohnsumme nur über den Beschäftigungszuwachs und die durch die Preissteigerung induzierte Erhöhung des Reallohnes steigen kann.

Die Produktion steigt mit +2,2% deutlich an, weil Produktionssteigerungen in exportorientierten und konsumnahen Branchen die Minderungen in den Material erzeugenden Branchen überkompensieren. Der Kapitalstock steigt mit etwa demselben Prozentsatz (+1,5%) wie die Produktion. Die Erwerbstätigkeit nimmt etwa im Umfang der Produktionssteigerung um 1,9% gegenüber der Baseline zu, was knapp 700.000 neuen Arbeitsplätzen entspricht. Dabei ist ein erheblicher Strukturwandel festzustellen. Das Verarbeitende Gewerbe verliert etwa 120.000 Arbeitsplätze, was aber durch entsprechende Gewinne im Dienstleistungsbereich weit überkompensiert wird.

Trotz des kräftigen Anstiegs des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts um 14,2% nimmt der Ressourcenverbrauch gemessen durch den Indikator TMR um -9,2% ab, was etwa 506 Millionen Tonnen entspricht. Bei den Nichtmetallischen Mineralien beträgt die Minderung -12,2%, bei den Metallen sind es -13,7%, bei der Biomasse -8,5%, bei den fossilen Energieträgern wird keine Minderung erzielt, weil in dem Szenario keine direkten Minderungen durch das Informationsprogramm unterstellt sind. Endogene Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch sind infolge des Rebound-Effektes leicht positiv. Allerdings kann mit Blick auf den kräftigen Zuwachs des Bruttoinlandsprodukts festgestellt werden, dass die Energieproduktivität um 13,7% steigt, was allein auf die indirekten endogenen Zusammenhänge zwischen Materialverbrauch und Energieverbrauch zurückzuführen ist.

Eine Zusammenfassung des Ergebnisses bietet Tab. 8.

Tab. 8: Die Wirkung der Informationsinstrumente auf wichtige gesamtwirtschaftliche Indikatoren in Deutschland im Jahr 2030

Abweichungen von der baseline	Bruttoinlandsprodukt	Staatsschuld	Erwerbs-tätige	Endenergieverbrauch	TMR
in v.H.	+ 14,2	-10,2	+ 1,9	+ 0,42	-9,2
absolut	+374,7Mrd. €	- 226,0 Mrd. €	+696.100 Pers	+33147TJ	-506,4 Mio t

4.2.3 Simulationsergebnisse Regulierungsinstrumente

Im folgenden werden die Ergebnisse zweier Simulationen zum Recycling von NE-Metallen dargestellt. Die Szenarien gehen jeweils davon aus, dass die in den Endprodukten enthaltenen NE-Metalle zu einem bestimmten Prozentsatz aus Sekundärrohstoffen bestehen müssen. Für beide Szenarien wird eine Verdreifachung des Anteils der Sekundärrohstoffe an den NE-Metallen der Endprodukte bis 2030 vorgegeben. Dabei sieht die Zielvereinbarung einen steigenden Sekundärrohstoffanteil vor, der in 2011 vom heutigem Niveau auf den Faktor drei bis 2030 linear ansteigt. Die Szenarien unterscheiden sich im Hinblick auf die Frage, welche Kosten durch das Recycling entstehen. Zunächst wird diese Frage beantwortet, indem die Substitutionsbeziehung zwischen dem Einsatz von Erzen und den Sekundärrohstoffen in der NE-Metallerzeugung ökonomisch geschätzt wird. Es stellt sich dabei eine Elastizität des preisbereinigten Inputkoeffizienten von Erzen in Bezug auf den preisbereinigten Inputkoeffizienten von Sekundärrohstoffen heraus, die im Absolutbetrag deutlich kleiner als -1 ist. Dies bedeutet, dass die Substitution von Erzen durch Sekundärrohstoffe Kosten verursacht, die wir mit dem Ergebnis der Schätzung quantifizieren können. In einer weiteren Simulationsrechnung unterstellen wir, dass die Substitution mit einer Elastizität von -1, also ohne zusätzliche Kosten möglich ist. Eine solche zweite Rechnung ist zweckmäßig, weil die ökonomische Schätzung der Elastizität auf einem Zeitraum beruht, in dem der Relativpreis der Erze weitaus niedriger war als im Prognose- und Simulationszeitraum. Wir gehen hier davon aus, dass die Materialpreise erheblich kräftiger zunehmen werden als das allgemeine Preisniveau. Deshalb kann es als sehr wahrscheinlich gelten, dass die Suche nach neuen Verfahren zum Recycling von NE-Metallen sehr viel intensiver betrieben wird, was sich dann in einer entsprechend höheren Substitutionselastizität niederschlägt.

Ökonometrisch geschätzte Substitutionselastizität

Betrachten wir zunächst die Ergebnisse für den Fall, in dem die Substitution von Erzen Kosten verursacht. Auf der Basis des geschilderten Regressionsergebnisses wird zunächst die Materialintensität der Erze berechnet, die sich in Deutschland bei der Erzeugung von NE-Metallen ergibt. In einem nächsten Schritt wird unterstellt, dass im

Ausland dieselben Verhältnisse gegeben sind, so dass die importierten Güter dieselben Änderungen der Materialintensitäten erfahren.

Der preisbereinigte Inputkoeffizient der Erze im Sektor Metallerzeugung sinkt (Einsatz von Erzen in v. H. des Bruttoproduktionswertes der Metallerzeugung) von 5,5 auf 4,2, er reduziert sich also um ca. 25%. Wir übertragen diese Relation auf den Ressourceneinsatz im NE-Metallbereich allgemein und unterstellen, dass auch die Materialintensitäten aller NE-Metalle und Halbzeuge, die von den Investitionsgüterbranchen importiert werden, diese Minderung der Ressourcenintensität erfahren.

Im Sektor Metallerzeugung und -bearbeitung, der neben der Erzeugung von NE-Metallen auch die Stahlerzeugung umfasst, nehmen die Produktionskosten zu, so dass der Preisindex der Bruttoproduktion bis 2030 um 0,1% steigt, wodurch die Nachfrage und Produktion preisbereinigt um 0,08% und die Beschäftigung um 0,06% (ca. 130 Personen) fallen.

Im Sektor Recycling steigen Nachfrage und Produktion um 18,1%. Die Mehrauslastung ermöglicht einen Preistrückgang um 6,3%. Die Beschäftigung steigt um 5,1% (ca. 1200 Personen).

Gesamtwirtschaftlich ist neben den geschilderten Brancheneffekten der Rückgang der Erzimporte um 5,1% bzw. ca. 0,4 Mrd. € von Bedeutung. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die unterstellten Recyclingmaßnahmen nicht die Importe von Metallen und Halbzeug daraus vermindern, sondern nur deren Materialintensität. Um den Betrag der Importminderung der Erze steigt etwa auch das Bruttoinlandsprodukt an, wodurch über die Beschäftigungseffekte in den direkt betroffenen Branchen hinaus weitere positive Auswirkungen auf die Zahl der Erwerbstätigen erzielt werden: Die gesamtwirtschaftliche Beschäftigung steigt insgesamt um ca. 7.000 Personen an.

Der Indikator TMR würde sich in Deutschland um 3,6% bzw. um annähernd 197 Millionen Tonnen vermindern, die sich erwartungsgemäß auf die Metalle mit einem Rückgang von -9,5% konzentrieren.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse bietet Tab. 9.

Tab. 9: Die Wirkung des Recycling von NE Metallen Deutschland bei einer Verdreifachung des Einsatzes sekundärer Rohstoffe und einer Substitutionselastizität von -0,24 im Jahr 2030

Abweichungen von der baseline	Bruttoinlandsprodukt	Staats-schuld	Erwerbs-tätige	Endenergie-verbrauch	TMR
in v.H.	+ 0,01	-0,05	+ 0,024	+ 0,006	-3,3
absolut	+ 0,33 Mrd. €	- 1,0 Mrd. €	+ 7.000 Pers.	+ 534,0 TJ	- 196,8 Mio. t

Substitutionselastizität -1

Wir betrachten nun die Ergebnisse einer Simulation, bei der wiederum der Einsatz der Sekundärrohstoffe verdreifacht wird, bei dem nun aber eine Substitutionselastizität von

-1 gegeben ist, was bedeutet, dass für die NE-Metallerzeugung durch die Substitution keine Kosten entstehen.

Beide Szenarien unterscheiden sich in der Stärke des Substitutionseffektes. Der Inputkoeffizient der Erze in der NE-Metallerzeugung fällt nun von 5,5 im Jahre 2011 auf 2,2 im Jahre 2030. Die Erzimporte vermindern sich im Jahre 2030 gegenüber der Baseline um 1 Mrd. €. Die Wirkungen auf die Metallerzeugung werden zum einen durch die stärkere Substitutionswirkung, aber auch durch die stärkere gesamtwirtschaftliche Wirkung beeinflusst. Die Preise des Sektors steigen nun nicht an, sondern er vermindert sich infolge der niedrigeren Kosten geringfügig um 0,1%. Dadurch wird ein leichter Anstieg von Produktion (+0,07%) und Beschäftigung (+0,06%) induziert.

Das Bruttoinlandsprodukt steigt um 0,04% bzw. 1 Mrd. € preisbereinigt an, die gesamtwirtschaftliche Beschäftigung verbessert sich um 0,03% bzw. 10.600 Personen. Die Staatsverschuldung reduziert sich um 2,5 Mrd. € oder 0,1%.

Der Indikator TMR liegt im Jahre 2030 um -8,9% (- 490 Mill. t) unter dem Wert der Baseline. Auch in diesem Szenario konzentrieren sich die Wirkungen fast vollständig auf die Metalle, deren TMR im Jahre 2030 um 23,5% unter dem Wert der Baseline liegt. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die gewaltigen Rucksäcke, die auf den in den Güterimporten enthaltenen NE-Metallen liegen.

Tab. 10: Die Wirkung des Recycling von NE Metallen Deutschland bei einer Verdreifachung des Einsatzes sekundärer Rohstoffe und einer Substitutionselastizität von -1 im Jahr 2030

Abweichungen von der baseline	Bruttoinlandsprodukt	Staatsverschuldung	Erwerbstätige	Endenergieverbrauch	TMR
in v.H.	+ 0,04	-0,1	+ 0,03	+ 0,01	-8,9
absolut	+ 1,0 Mrd. €	- 2,5 Mrd. €	+ 10.600 Pers	+ 916,0 TJ	-489,8 Mio t

4.3 Die Abschätzung des Potenzials der Ressourcenpolitik: Wirkungen eines Gesamtszenarios

Die bisherigen Analysen haben gezeigt, welche Wirkungen von den einzelnen in der Studie betrachteten Instrumenten ausgehen. Dabei ging es nicht um Vollständigkeit, sondern um Beispiele für Instrumente aus den einzelnen Politikfeldern. Insofern ist die Absicht dieses Abschnitts auch nicht, einen konkreten Politikvorschlag zu entwickeln. Der folgende Abschnitt hat deshalb eher den Charakter einer Sensitivitätsanalyse. Keine der im einzelnen untersuchten Politikmaßnahmen ist als undurchführbar einzuschätzen. Insofern macht es trotz der genannten Einschränkungen Sinn danach zu fragen, welche Wirkungen insgesamt für die wirtschaftliche, ökologische und soziale Entwicklung zu erwarten sind, um eine Einschätzung der Potenziale zu entwickeln, die die Politik hat. Wir unterstellen im folgenden, dass die Substitution von NE-Erzen durch Sekundärrohstoffe mit einer Elastizität von -1 möglich ist. Wir wählen diese optimistische Variante, weil zu erwarten ist, dass in Zukunft unter dem Druck ständig steigender Rohstoffpreise in diesem Feld technischer Fortschritt realisiert wird.

4.3.1 Die ökonomischen Wirkungen

Die Wirkungsanalyse der einzelnen Instrumente hat gezeigt, dass insbesondere das Informations- und Beratungsprogramm ein sehr hohes Potenzial für eine positive wirtschaftliche Nebenwirkung hat. Die mit der Steigerung der Materialeffizienz einhergehende Senkung der Produktionskosten im Verarbeitenden Gewerbe steigert die internationale Wettbewerbsfähigkeit und erhöht die Wertschöpfung im Inland. Der Preisindex der Bruttoproduktion fällt bis 2030 gegenüber der Baseline im Durchschnitt um 4,3%. Der Nominallohnsatz bleibt in etwa konstant, weil die Preissenkungen und die Produktivitätssteigerungen sich in ihren Wirkungen auf die Lohnabschlüsse kompensieren. Damit steigt der Reallohn um den Prozentsatz der Preissenkung. In den Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes werden aber wegen der Dominanz der Steigerung der Materialproduktivität die Stückkosten insgesamt deutlich gesenkt.

Die Nachfrage steigernden Effekte sind wesentlich stärker als die von der Nachfrageminderung bei den Material erzeugenden Unternehmen bewirkte Reduktion von Wertschöpfung. In diesem Zusammenhang spielt insbesondere die Senkung der Rohstoffimporte eine wichtige Rolle.

Die anderen Maßnahmen haben nur eine geringfügige Wirkung auf Wertschöpfung und Bruttoinlandsprodukt. Die steuerlichen Maßnahmen sind in der Summe neutral, weil das Aufkommen aus der Erhöhung des Mehrwertsteuersatzes für Flugreisen, der Senkung des Mehrwertsteuersatzes für Bahnreisen und der Einführung der Baustoffsteuer durch die Senkung der Einkommensteuer kompensiert wird. Die Regulierungsmaßnahmen zum Recycling von NE-Metallen haben leicht positive Wirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt, weil Importe von Rohstoffen durch inländische zusätzliche Wertschöpfung im Sektor „Sekundärrohstoffe“ substituiert werden.

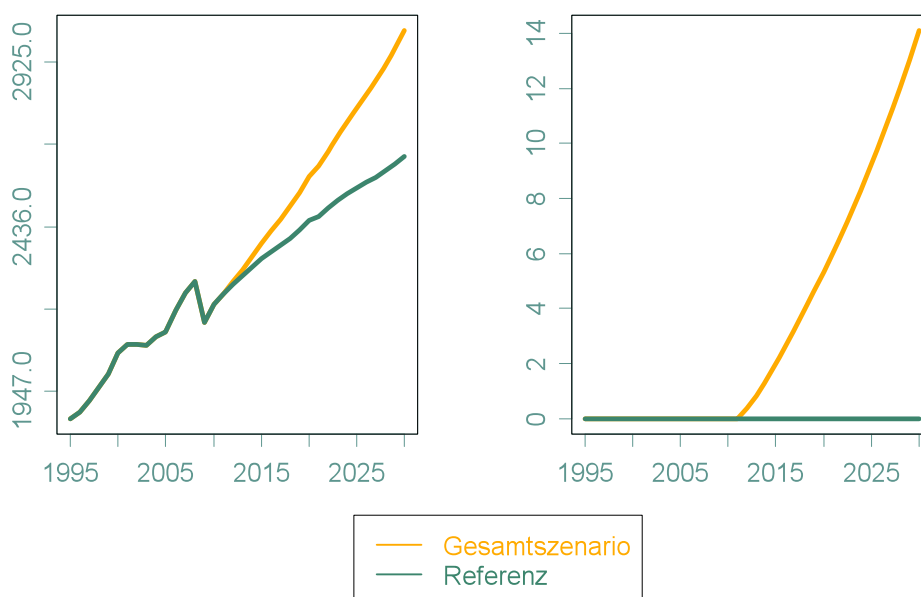
Tab. 11 gibt einen Überblick über die Wirkungen auf die einzelnen Komponenten des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts:

Tab. 11: Die Wirkungen eines Gesamtszenarios auf die Komponenten des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts im Jahre 2030

Abweichungen von der baseline	Exporte	Importe	Priv. Konsum	Öff. Konsum	Ausrüstungen	Bauten
in v. H.	+4,6	-10,7	+6,9	+3,0	+3,3	+1,0
Mrd. €	+82,2	-171,4	+82,2	+14,1	+12,6	+2,2

Die steigenden Exporte sind auf die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit durch die mit der Steigerung der Materialeffizienz gegebenen niedrigeren Güterpreise in Deutschland zurückzuführen. Hier muss bedacht werden, dass die Preissenkungen bei den Gütergruppen, die wichtig für den Export sind, wesentlich größer sind als im Durchschnitt. So vermindern sich die Preise für deutsche Maschinenbauprodukte um ca. 14% und für Fahrzeuge um knapp 10%. Die allgemein niedrigeren Preise in Deutschland drücken auch die Importe, wobei allerdings hier noch der direkte Effekt der niedrigeren Rohstoffimporte hinzukommt.

Abb. 8: Die Wirkungen eines Gesamtszenarios auf das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt in Mrd. € (linker Kasten) sowie als prozentuale Abweichung von der Referenz (rechter Kasten)

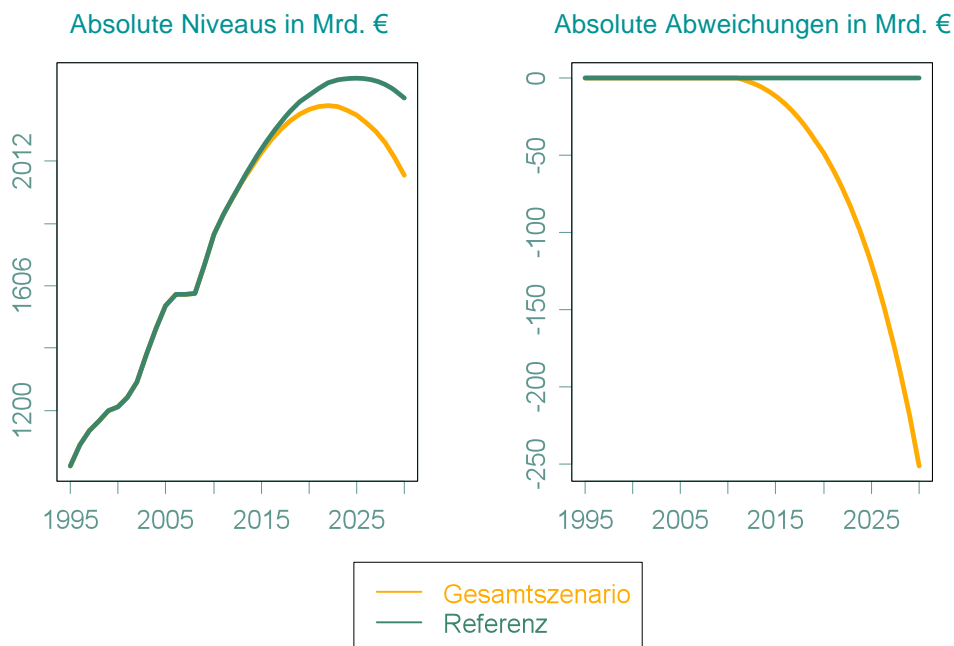


Der private Konsum steigt infolge der zunehmenden Wertschöpfung und der damit einhergehenden Verbesserung der verfügbaren Einkommen der privaten Haushalte. Der öffentliche Konsum nimmt im Vergleich dazu relativ schwach zu, weil die vom Staat unentgeltlich an die Gesellschaft abgegebenen Dienstleistungen (innere und äußere Sicherheit, Rechtsprechung, öffentliche Verwaltung, Bildung etc.) von eher langfristig sich entwickelnden Bedürfnissen der Bevölkerung bestimmt sind. Auch Ausrüstungen und Bauten werden nur unterdurchschnittlich angeregt, weil die Entwicklung des Kapitalstocks mit der Bruttonproduktion und nicht mit der Wertschöpfung korreliert ist. Die Bruttonproduktion steigt nur um 2,0% an. Der Bestand an Ausrüstungen ist im Jahre 2030 preisbereinigt um 1,4% höher als in der Baseline. Mit einem Zuwachs von 1,3% liegt auch die Veränderung des Arbeitseinsatzes gemessen in Arbeitsstunden in dieser Größenordnung.

Abb. 8 zeigt die Entwicklung des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts in den beiden Szenarien sowie die der relativen Abweichungen.

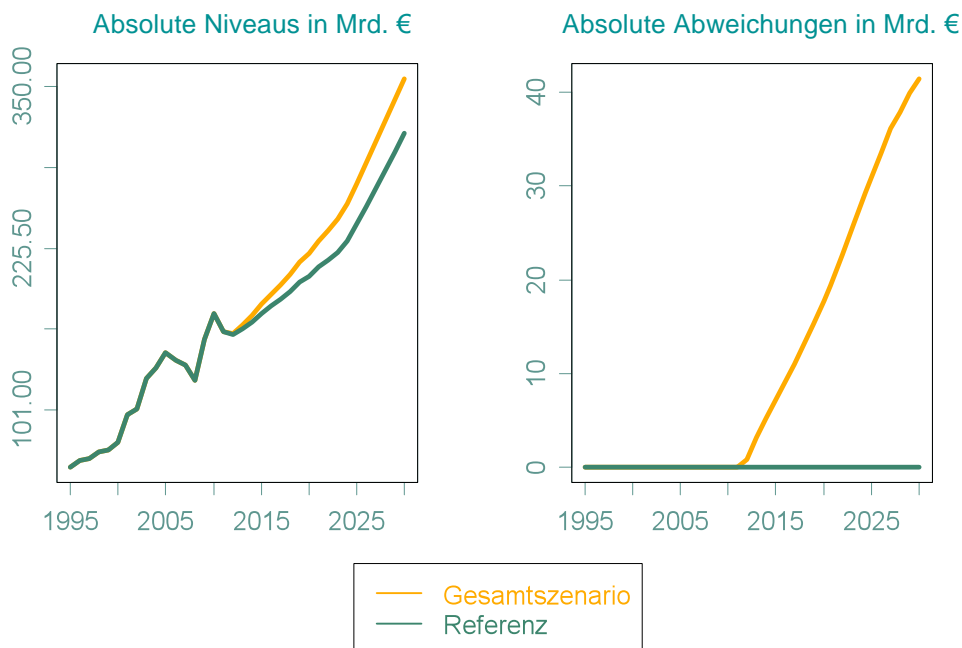
Die Zunahme der Wertschöpfung regt die Entwicklung des Steueraufkommens an, während auf der Ausgabenseite des Budgets des Staates die Dynamik geringer ist, weil – wie bereits erläutert – insbesondere der Konsum des Staates nicht in demselben Maße wächst. Folglich wird der Finanzierungssaldo des Staates positiv beeinflusst und die Staatsverschuldung sinkt bis zum Jahr 2030 um ca. 251 Mrd. €.

Abb. 9: Die Wirkung des Gesamtszenarios auf die Staatsverschuldung



Auch die privaten Haushalte erleben infolge der allgemeinen wirtschaftlichen Belebung eine Zunahme ihrer Einkommen und ihres Konsums. Da die Konsumquote kleiner als 1 ist, nimmt auch die Ersparnis der Haushalte und damit ihr Vermögen zu.

Abb. 10: Die Wirkung eines Gesamtszenarios auf die Ersparnis der privaten Haushalte



Wie schon die Entwicklung des Außenhandelsbeitrags erahnen lässt, wird die positive Wirkung auf das Vermögen der Öffentlichen und der privaten Haushalte durch das Ausland finanziert.

Das Arbeitsvolumen gemessen in Stunden steigt – wie bereits dargestellt – um 1,4% auf Grund der steigenden Produktion. Für die Erwerbstätigkeit ergibt sich ein Anstieg um 1,9%. Dies bedeutet, dass die Arbeitszeit pro Erwerbstätigen um 0,5% zurückgeht. Die Ursache dieses Effektes ist der größere Anteil der Dienstleistungsunternehmen an der Beschäftigung, bei denen Teilzeitbeschäftigung eine größere Bedeutung hat als im Verarbeitenden Gewerbe. Folglich ist ein Teil der zusätzlichen Beschäftigung auf Teilzeit zurückzuführen. Tab. 12 fasst die Bewegungen auf dem Arbeitsmarkt zusammen.

Tab. 12: Die Wirkungen eines Gesamtszenarios auf den Arbeitsmarkt im Jahre 2030

Abweichungen von der baseline	Erwerbspersonen	Erwerbstätige	Erwerbslose
in v. H.	+0,6	+1,9	-13,6
absolut	+251.800	+683.900	-432.100

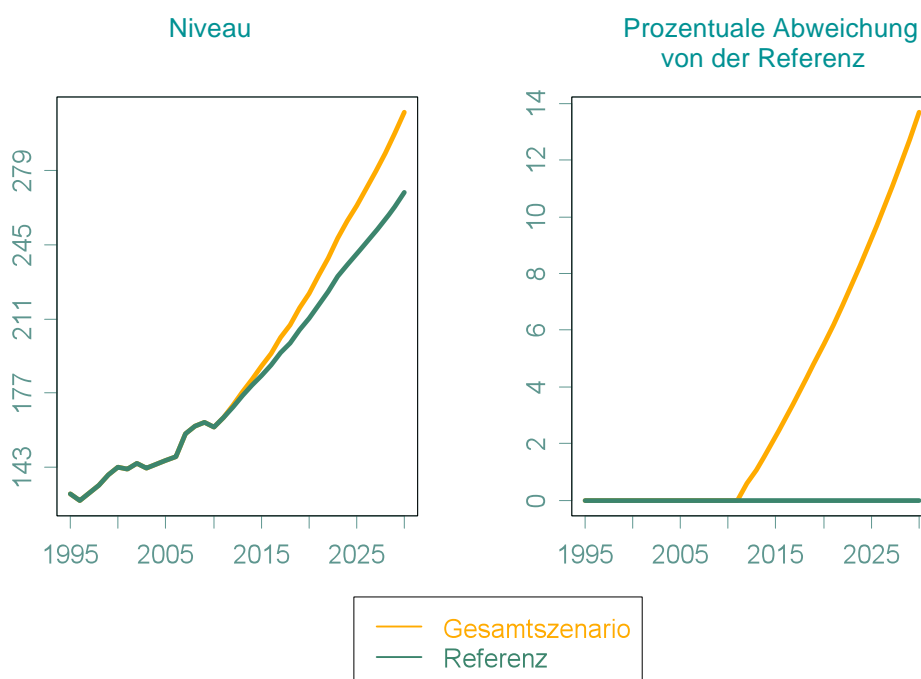
Der Anstieg der Arbeitsnachfrage der Unternehmen (Erwerbstätige) um 1,9% entspricht einer Zunahme der Zahl der Erwerbstätigen um ca. 680.800 Personen. Der allgemeine Preisrückgang bedeutet bei gegebenem Nominallohnsatz einen Anstieg des Reallohnes. Die Arbeitnehmer orientieren sich an den Konsumgüterpreisen, um die Kaufkraft des Arbeitseinsatzes zu bestimmen. Bei einem Rückgang des Preisindex der Lebenshaltung von 3,4% ergibt sich ein ebenso großer Anstieg des Reallohnes bis zum Jahre 2030. Dieser bewirkt eine Zunahme des Arbeitsangebotes (Erwerbsperso-

nen) um 251.800 Personen. Somit kann die Erwerbslosigkeit per Saldo um 432.100 Personen vermindert werden.

4.3.2 Die ökologischen Wirkungen

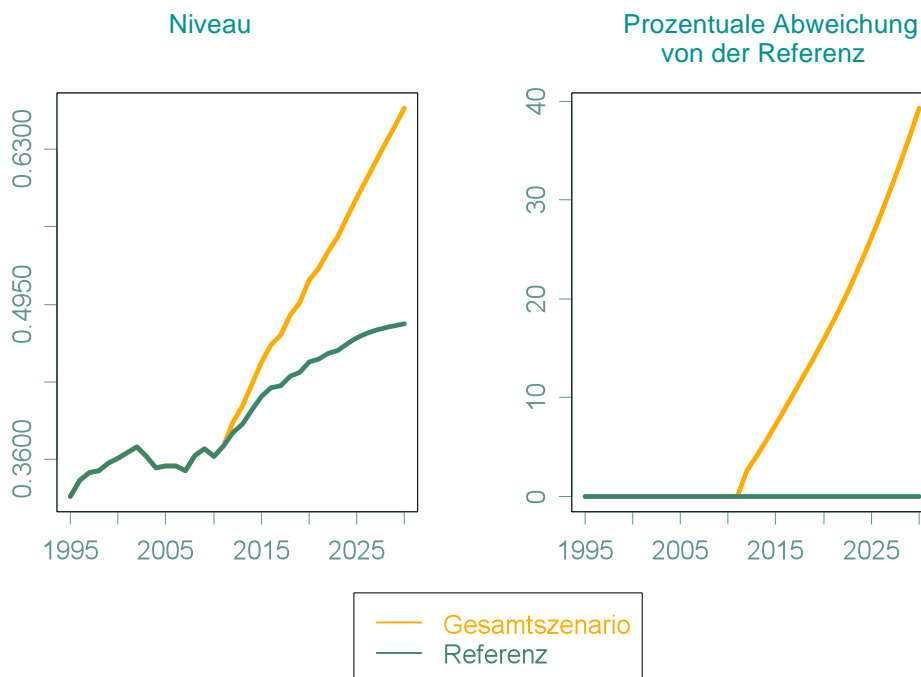
Die verschiedenen Maßnahmen bewirken allgemein eine Steigerung der Ressourceneffizienz. Abb. 11 stellt die Wirkung auf die Energieproduktivität dar, die als Relation zwischen dem preisbereinigten Bruttoinlandsprodukt und dem Primärenergieverbrauch gemessen wird.

Abb. 11: Die Wirkung des Gesamtszenarios auf die Energieproduktivität



Die Baseline weist bereits gegenüber dem historischen Zeitraum eine kräftige Beschleunigung der Zuwachsrates der Energieproduktivität auf, weil hier bereits die Erreichung eines anspruchsvollen CO₂-Reduktionsziels unterstellt worden ist (-54% in 2030 gegenüber 1990). Die Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz, die keinen direkten Einfluss auf den Energieverbrauch nehmen, verstärken diese Entwicklung noch einmal kräftig: Im Jahre 2030 liegt die Energieproduktivität um 13,7%-Punkte über dem Wert der Baseline.

Abb. 12: Die Wirkung des Gesamtszenarios auf die Materialproduktivität



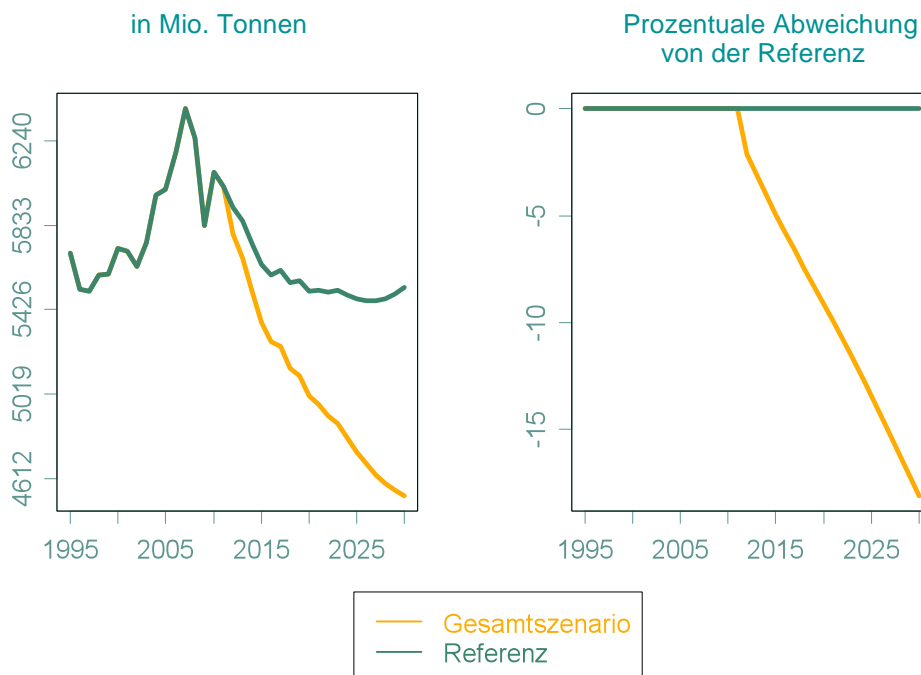
Die Entwicklung der Materialproduktivität gemessen als TMR pro preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt ist in Abb. 12 dargestellt. Auch hier zeigt sich eine Wechselwirkung zwischen Energiepolitik und Rohstoffverbrauch: In der Baseline steigt die Materialproduktivität als Ergebnis der anspruchsvollen Energiepolitik deutlich gegenüber der historischen Entwicklung an, in der die Materialproduktivität eher stagnierte. Im Alternativszenario nimmt die Zuwachsrate kräftig zu, so dass das Niveau der Materialproduktivität im Jahre 2030 um 39,3% über dem der Baseline liegt.

Tab. 13 zeigt die Wirkungen auf die Niveaus des Verbrauchs nach Materialarten im Jahre 2030. Die stärksten Effekte ergeben sich offensichtlich bei den Metallen. Hier greift sowohl das Beratungsprogramm als auch das Recycling von NE-Metallen. Das Recycling von NE-Metallen erzielt allein durch die Minderung der den importierten Gütern anhaftenden Rucksäcke eine Reduktion des TMR um 480 Mio. Tonnen. Dies sind Rohstoffentnahmen, die im Ausland vermieden werden.

Tab. 13: Die Wirkungen eines Gesamtszenarios auf die Niveaus des Materialverbrauchs nach Materialarten im Jahre 2030

Abweichungen von der baseline	Energie-träger	Metalle	Nichtm. Mineralien	Biomasse	Andere
in v. H.	+0,5	-33,7	-26,6	-8,4	-6,7
in Mio. Tonnen	+4,9	-701,3	-143,8	-119,4	-41,0

Abb. 13: Die Wirkung des Gesamtszenarios auf den Materialverbrauch (TMR)



Minderung bei den nichtmetallischen Mineralien ist auf die Einführung der Baustoffsteuer und das Beratungsprogramm zurückzuführen. Abb. 13 stellt die Wirkung des Gesamtszenarios auf den gesamten Materialverbrauch (TMR: inländische Entnahme + in den importierten Gütern enthaltene Rohstoffe + Rucksäcke der Importe) in Mio. Tonnen dar.

In der Baseline wird der bis zum Jahr 2008 historisch zu beobachtende Anstieg des Materialverbrauchs durch die engagierte Energiepolitik bis zum Jahr 2030 wieder auf das Niveau des Jahres 1996 zurückgeführt. Das Gesamtszenario ermöglicht bis zum Jahr 2030 einen weiteren Rückgang um 18% bzw. 1.000 Mio. Tonnen. Das Maximum des Materialverbrauchs im Jahre 2007 wird damit im Jahre 2030 um fast 30% unterschritten.

In der Tab. 14 sind die Wirkungen auf die Materialarten noch einmal den drei großen Instrumentengruppen Information, Recycling und Baustoff- und Mehrwertsteuer zugeordnet. Die bereits im Gesamtkontext vermuteten Zusammenhänge werden hier sehr deutlich. Das Informationsprogramm hat zwar eine Schwerpunktbildung in seiner Wirkung auf den Metallverbrauch, es wirkt aber grundsätzlich auf alle Materialien, weil die Maßnahmen auf alle Vorleistungsinputs von Material gerichtet sind.

Tab. 14: Die Wirkungen der Instrumentengruppen auf Materialarten. Abweichungen von der baseline im Jahre 2030 in Millionen Tonnen.

	Information	Recycling	Baustoff- und Mehrwertsteuer
Biomasse	-119,6	+0,3	-0,1
Metalle	-285,2	-490,4	+2,1
Nichtmetallische Mineralien	-66,1	+0,1	-84,7
Fossile Energieträger	+5,4	+0,1	-0,7
Andere Produkte	-40,9	0,0	0,0
TMR insgesamt	-506,4	-489,9	-83,4

Interessant ist der Vergleich mit den Verwendungsarten des Materialverbrauchs in Tab. 15. Die Baustoffsteuer wirkt sich natürlich im Schwerpunkt auf die inländische Extraktion aus. Hinsichtlich des Recycling wird noch einmal bestätigt, dass sich das Recycling von NE-Metallen nahezu vollständig auf die Rucksäcke der Importe, also auf die Extraktion im Ausland auswirkt. Aber auch das Informationsprogramm hat eine nur bescheidene Wirkung auf die inländische Extraktion und die direkt in den Importen enthaltenen Materialien. Auch hier dominiert eindeutig das Zurückdrängen der ökologischen Rucksäcke.

Tab. 15: Die Wirkungen der Instrumentengruppen auf Verwendungsarten der Materialverbräuche. Abweichungen von der Baseline im Jahre 2030 in Millionen Tonnen.

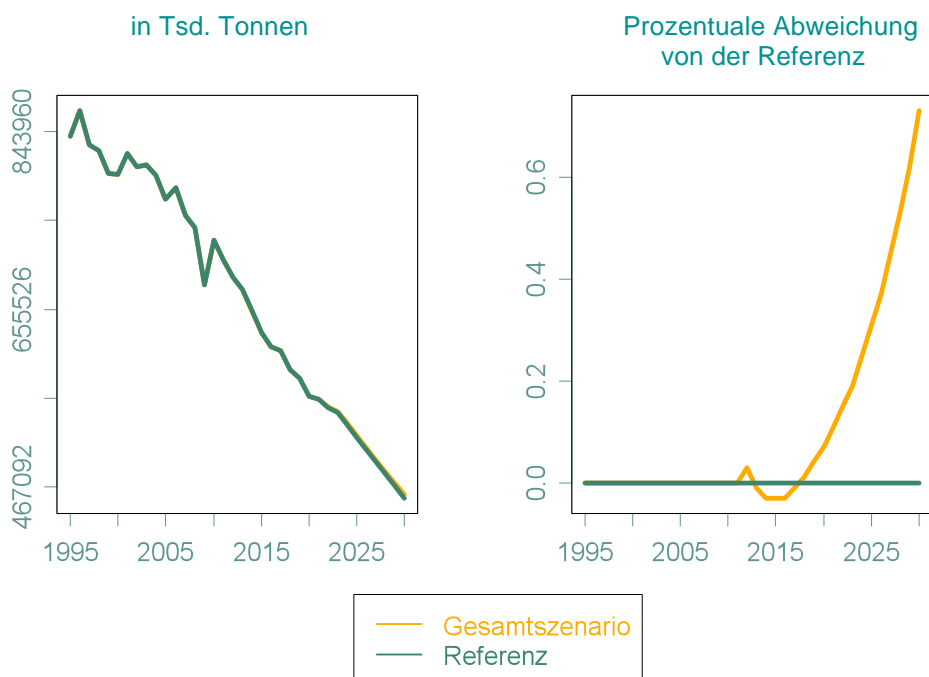
	Information	Recycling	Baustoff- und Mehrwertsteuer
Inländische Entnahme	-73,2	+0,2	-67,3
Nicht verw. inländische Entnahme	-31,7	+0,2	-12,2
Importe	-45,5	-11,5	-2,7
Ökologischer Rucksack der Importe	-356	-478,7	-0,8
TMR insgesamt	-506,4	-489,9	-83,4

In den Tabellen Tab. 14 und Tab. 15 sind noch einmal Ergebnisse von Einzelszenarien eingeblendet. Die Summen können von denen des Gesamtszenarios geringfügig abweichen, weil sich Effekte im Gesamtszenario abschwächen aber auch gegenseitig verstärken können.

Die im Gesamtszenario zusammengefassten Maßnahmen sind also nicht nur im Gesamteffekt bemerkenswert im Sinne einer absoluten Entkoppelung von Materialverbrauch und Bruttoinlandsprodukt, sie wirken auch auf den Bereich, den wir eingangs als besonders dynamisch in der bisher beobachteten Entwicklung geschildert haben – die ökologischen Rucksäcke der Importe.

Die CO₂- Emissionen (Abb. 14) bleiben im Gesamtszenario gegenüber der Baseline nahezu unverändert. Man muss dies in zweierlei Hinsicht kommentieren: Zum einen wird bereits in der Baseline bis 2030 eine Minderung von 54% gegenüber dem Wert von 1990 erreicht. Ferner bleibt trotz des kräftigen Anstiegs des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts um 14% ein Anstieg der CO₂- Emissionen aus. Auch hier wird also durch das Gesamtszenario eine Effizienzsteigerung erzielt, die der Zunahme der Energieproduktivität entspricht.

Abb. 14: Die Wirkung des Gesamtszenarios auf die CO₂-Emissionen



5 Schlussfolgerungen

Die zu Beginn der Simulationsrechnungen durchgeführten Sensitivitätsanalysen zur Referenzentwicklung haben zweierlei gezeigt: Zum einen ist deutlich geworden, dass die in den letzten zehn Jahren zu beobachtende Dynamik des Materialverbrauchs in Deutschland durch die von der starken Exportentwicklung getriebene Metalle bestimmt ist. Deutschland exportiert vor allem und mit großem Erfolg Investitionsgüter, die wie etwa Maschinen und Fahrzeuge überwiegend aus Metallen bestehen. Zum anderen wird der Materialverbrauch in starkem Maße durch die Klimapolitik bestimmt, die den Einsatz der fossilen Energieträger Kohle, Gas und Erdöl zurückdrängt. Insofern ist es für das Niveau des Materialverbrauchs in der Baseline entscheidend, welche Annahmen über die Exportentwicklung und die Klimapolitik gesetzt werden. Wir haben ein langfristig moderates Wachstum der Weltwirtschaft unterstellt, das zu einem Wachstum der preisbereinigten deutschen Exporte von ca. 3,2% pro Jahr führt. Hinsichtlich der Klimapolitik unterstellen wir in der Baseline ein engagiertes Verhalten, das sich für das Jahr 2050 eine Minderung der CO₂-Emissionen um 80% gegenüber dem Wert von 1990 zum Ziel setzt. Der Reduktionspfad impliziert für das Endjahr 2030 der Simulationsrechnungen eine Minderung der CO₂-Emissionen gegenüber dem Wert von 1990 von ca. 50%. Zwar ist noch keine endgültige Festlegung des Instrumenteneinsatzes erfolgt, aber über die zu erreichenden Ziele der Klimapolitik herrscht in der gegenwärtigen Regierung und der Opposition weitgehende Übereinstimmung.

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen mit den Alternativszenarien haben gezeigt, dass eine engagierte Klimapolitik, die mit einer konsequenten Politik zur Steigerung der Ressourceneffizienz kombiniert wird, eine deutliche absolute Senkung des Materialverbrauchs bei gleichzeitiger Zunahme des Bruttoinlandsprodukts in Deutschland ermöglicht. „Green growth“ im Sinne einer absoluten Entkoppelung von Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum ist also bei den hier unterstellten Modellannahmen möglich. Die Zunahme der Ressourceneffizienz bewirkt eine Verbesserung der ökonomischen Effizienz und eine absolute Entlastung der Naturnutzung. Letzteres wird aber nur erreicht, wenn das Wachstum der Ressourceneffizienz das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts deutlich übersteigt. Die Rechnungen belegen, dass die dargestellten Maßnahmen in geeigneter Kombination dieses Ziel erreichen können. Die ökonomische Bilanz ist eindeutig: Die internationale Wettbewerbsfähigkeit wird gestärkt, die Staatsverschuldung nimmt absolut ab, die Einkommen nehmen zu. Eine positive Beschäftigungswirkung dürfte gleichfalls zu erwarten sein.

Bemerkenswert ist die gegenseitige unterstützende Wirkung von Klimapolitik und Ressourcenpolitik. Es wurde schon bei der Diskussion der Baseline darauf hingewiesen, dass die engagierte Klimapolitik den Ressourcenverbrauch deutlich vermindert. Umgekehrt zeigt sich bei der Betrachtung der Alternativszenarien, dass die Ressourcenpolitik nicht nur die Ressourcenproduktivität, sondern auch die Energieproduktivität beträchtlich steigert. Im Ergebnis verbleiben deshalb Energieverbrauch und CO₂-

Emissionen trotz eines starken Reboundeffektes mit einer Steigerung des Bruttoinlandsprodukts um 14% auf der Ziellinie des langfristigen Reduktionspfades der Baseline.

Befürchtungen mancher Kritiker der Vorstellung einer Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch (z. B. Jackson 2009) haben sich in den Simulationsrechnungen nicht bestätigt. Der Wachstumseffekt („Reboundeffekt“) ist zwar kräftig, bleibt aber deutlich unter der Steigerung der Ressourcenproduktivität zurück, so dass tatsächlich ein absoluter Rückgang des Ressourcenverbrauchs sowohl gegenüber der Baseline als auch gegenüber dem aktuellen Niveau des Ressourcenverbrauchs gelingt.

Sowohl der Einsatz ökonomischer Instrumente, die Nutzung von Informationsinstrumenten, als auch Regulierungsmaßnahmen ermöglichen diesen Erfolg. Die Informationsinstrumente tragen zur Diffusion des gegebenen technischen Wissens bei und zeigen den Produzenten Handlungsalternativen zur Steigerung der Effizienz des Rohstoffverbrauchs. Sie haben zweifellos den Vorteil, dass sie politisch eher durchsetzbar sind als andere Instrumente. Ihr Potenzial ist wohl beträchtlich, ob es auch ausgeschöpft werden kann, muss sich im konkreten Einzelfall zeigen. Natürlich ist es nicht mit der Einrichtung von Beratungsstellen und Werbung für diese Maßnahmen getan. Zur Ausschöpfung dieser Potenziale müssen auch Anreize gesetzt werden. Ein Informationsprogramm könnte durch eine Besteuerung des Materialeinsatzes begleitet werden. Angesichts der zu erwartenden positiven Wirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Dematerialisierung werden bei einer angemessenen Dosierung insgesamt keine negativen ökonomischen Effekte damit verbunden sein. Der Einsatz ökonomischer Instrumente hat den Vorteil, dass über Preiswirkungen vielfältige Anreize zur Substitution von materialintensiven Prozessen auf der Unternehmensebene und auch zur Substitution von materialintensiven Konsumgütern auf der Ebene der Konsumenten ausgelöst werden. Das Beispiel der Baustoffsteuer hat gezeigt, dass die Wirksamkeit der Ressourcensteuern beträchtlich ist.

Langfristig müssen grundlegende technologische Änderungen erfolgen. In diesem Bereich bietet z.B. das Recycling gerade für Deutschland eine interessante Perspektive. Am Beispiel der NE-Metalle konnte gezeigt werden, dass das Dematerialisierungspotential sehr groß ist, weil Deutschland einen im Vergleich zu anderen Ländern sehr großen Investitionsgütersektor hat, der vor allem für die Weltwirtschaft produziert. Der Verbrauch von Metallen ist hier entsprechend und folgt auch der wirtschaftlichen Dynamik dieses Sektors. Angesichts der Verknappung der Metalle und der damit einhergehenden dramatischen Preisentwicklungen dieser Rohstoffe ist auch in der Wirtschaft die Bereitschaft zur verstärkten Nutzung des Recyclings groß.

6 Literatur

- Acosta - Fernandez, J. (2008): Zur Messung der Ressourcenproduktivität von Wirtschaftseinheiten. In: Hartard, Susanne (Hrsg.): Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte. Baden-Baden: Nomos-Verl.-Ges.
- Almon, C. (1991): The INFORUM Approach to Interindustry Modeling. *Economic Systems Research*, 3, S. 1-7.
- Bleischwitz, R., Jacob, K., Bahn-Walkowiak, B., Petruschke, T., Rennings, K. (2009): Ressourcenpolitik zur Gestaltung der Rahmenbedingungen. Materialeffizienz und Ressourcenschonung, Paper 3.1. Wuppertal.
- Bockermann, A., Meyer, B., Omann, I. & Spangenberg, J.H. (2005): Modelling sustainability: Comparing an econometric (PANTA RHEI) and a systems dynamics model (SuE). *Journal of Policy Modelling*, 27 (2), S. 189-210.
- Coenen, R., Grunwald, A. (2003): Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland. Analyse und Lösungsstrategien. Edition Sigma, Berlin.
- Distelkamp, M., Meyer, B. & Wolter, M. I. (2005a): Wirkung einer Materialinputsteuer auf Ressourcenbedarf, Wachstum und Beschäftigung. In: Aachener Stiftung Kathy Beys (Hrsg.): Ressourcenproduktivität als Chance - Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland. Aachen, S. 63-130.
- Distelkamp, M., Meyer, B. & Wolter, M. I. (2005b): Wachstums- und Beschäftigungswirkungen einer Veränderung des Mehrwertsteuersystems. In: Aachener Stiftung Kathy Beys (Hrsg.): Ressourcenproduktivität als Chance - Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland. Aachen, S. 131-142.
- Distelkamp, M., Meyer, B. & Wolter, M. I. (2005c): Der Einfluss von Endnachfrage und der Technologie auf die Ressourcenverbräuche in Deutschland. In: Aachener Stiftung Kathy Beys (Hrsg.): Ressourcenproduktivität als Chance - Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland. Aachen, S. 143-170.
- Distelkamp, M., Hohmann, F., Lutz, C., Meyer, B. & Wolter, M. I. (2003): PANTA RHEI V: Modelldarstellung und Prognose der CO₂- Emissionen. GWS Discussion Paper 2003/1, Os-nabrück.
- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Prognos AG (2005): Energiereport IV. Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Energiewirtschaftliche Referenzprognose. München.
- Fischer, H., Lichtblau, K., Meyer, B. & Scheelhaase, J. (2004): Wachstums- und Beschäftigungsimpulse rentabler Materialeinsparungen. *Wirtschaftsdienst* 2004, Heft Nr. 4, S. 247-254.
- Frohn, J., Leuchtmann, U., Kräussl, R (1998): Fünf makroökonomische Modelle zur Erfassung der Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen – eine vergleichende Betrachtung. Band 7 der Schriftenreihe „Beiträge zu den umweltökonomischen Gesamtrechnungen“, Wiesbaden.
- Giljum, S., Behrens, A., Hinterberger, F., Lutz, C. & Meyer B. (2008): Modelling scenarios towards a sustainable use of natural resources in Europe. *Environmental Science and Policy*, 11, S. 204-216.

- Görlach, S., Lemken, T., Liedtke, C., Onischka, M., Schmidt, M., Viere, T. (2009): Unternehmensnahe Instrumente. Materialeffizienz und Ressourcenschonung. Paper 4.1. Wuppertal.
- Jackson, T. (2009): Prosperity without Growth. Economics for a Finite Planet, London.
- Keimel, H., Berghof, J., Klann, U. (2004): Nachhaltige Mobilität integrativ betrachtet. Edition Sigma, Berlin.
- Lehr, U., Nitsch, J., Kratzat, M., Lutz, C. & Edler, D. (2008): Renewable Energy and Employment in Germany. Energy Policy, 36, S. 108-117
- Lutz, C., Meyer, B. & Wolter, M.I. (2010): The Global Multisector/Multicountry 3E-Model GINFORS. A Description of the Model and a Baseline Forecast for Global Energy Demand and CO₂-Emissions. International Journal of Global Environmental Issues, 10(1-2), S. 25-45.
- Lutz, C., Meyer, B., Schleich, J. & Walz, R. (2005): Policy Impacts on Macroeconomic Sustainability Indicators when Technical Change is Endogenous. In: Horbach, J. (Hrsg.): Indicator Systems for Sustainable Innovation. Heidelberg, pp. 95-106.
- Meyer, B., Meyer, M., Meyer zu Holte, I. (2010): Die ökonomischen und ökologischen Wirkungen eines nachhaltigeren Konsums in Deutschland. Studie im Auftrag der Träger der Initiative „Mut zur Nachhaltigkeit“. Bad Vilbel.
- Meyer, B., Distelkamp, M. & Wolter, M.I. (2007): Material Efficiency and Economic-Environmental Sustainability. Results of Simulations for Germany with the Model PANTA RHEI. Ecological Economics, 63(1), S. 192-200.
- Meyer, B., Lutz, C. & Wolter, M. I. (2005): Global Multisector/Multicountry 3-E Modelling: From COMPASS to GINFORS. Revista de Economia Mundial, 13, S. 77-97.
- Meyer, B. & Lutz, C. (2002a): IO, macro-finance, and trade model specification. In: Uno, K. (Hrsg.): Economy-Energy-Environment Simulation: Beyond the Kyoto Protocol. Dordrecht, Boston, London, S. 55-68.
- Meyer, B. & Lutz, C. (2002b): Endogenized trade shares in a global model. In: Uno, K. (Hrsg.): Economy-Energy-Environment Simulation: Beyond the Kyoto Protocol. Dordrecht, Boston, London, S. 69-80.
- Meyer, B. & Lutz, C. (2002c): Carbon tax and labour compensation - a simulation for G7. In: Uno, K. (Hrsg.): Economy-Energy-Environment Simulation: Beyond the Kyoto Protocol. Dordrecht, Boston, London, S. 185-190.
- Meyer, B. & Uno, K. (1999): COMPASS: Ein globales Energie-Wirtschaftsmodell. ifo-Studien, 45, S. 703-718.
- Meyer, B., Bockermann, A., Ewerhart, G. & Lutz, C. (1999): Marktkonforme Umweltpolitik: Wirkungen auf Luftschadstoffemissionen, Wachstum und Struktur der Wirtschaft. Reihe: Umwelt und Ökonomie 28, Physica-Verlag, Heidelberg.
- Spangenberg, J. H. (Hrsg.) (2003): Vision 2020. Arbeit, Umwelt, Gerechtigkeit – Strategien für ein zukunftsfähiges Deutschland. Ökom Verlag, München.
- Umweltbundesamt (2008): Politikszenerarien für den Klimaschutz IV. Szenarien bis 2030. Dessau- Roßlau.

Umweltbundesamt (2009): Politiksznarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas- Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Dessau-Roßlau.