

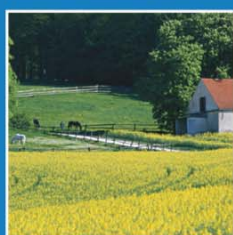
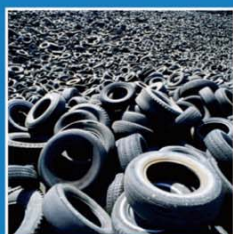
Martin Distelkamp  
Bernd Meyer  
Mark Meyer

GWS mbH

## Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie

### Abschlussbericht zu AP5

Abschlussbericht des Arbeitspakets 5 des Projekts  
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)



Wuppertal, Dezember 2010

ISSN 1867-0237

**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

*„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“  
(MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA*

**Projektlaufzeit:** 07/2007 – 12/2010

**Projektleitung:**

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145  
Mail: kora.kristof@wupperinst.org  
peter.hennicke@wupperinst.org

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)  
finden Sie unter [www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN  
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung  
liegt bei den Autor(inn)en.



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

**Wuppertal Institut  
in Kooperation mit**

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



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt

**Abschlussbericht des AP5**  
**„Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen**  
**Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie“**

**Inhaltsverzeichnis**

- A. Ressourceneffizienzpaper 5.3: „Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie“: Zusammenfassung** (Deutsche Zusammenfassung; Dezember 2010)
  
- B. Ressourceneffizienzpaper 5.4: „Quantitative and qualitative Effects of a forced Resource Efficiency Strategy: Executive Summary“** (Englische Zusammenfassung; December 2010)
  
- C. Ressourceneffizienzpaper 5.5: „Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie“** (Abschlussbericht zu AS5.2 und AS5.3; Dezember 2010)
  
- D. Ressourceneffizienzpaper 5.2: „Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie“** (Paper zur Vorlage auf der MaRes Großkonferenz, projektintern; Oktober 2010)
  
- E. Ressourceneffizienzpaper 5.1: „Die volkswirtschaftliche und ökologische Bedeutung der Materialeffizienz für Deutschland – Literaturstudie zum Stand der Forschung“** (Meilensteinpapier zu AS5.1; Dezember 2008)



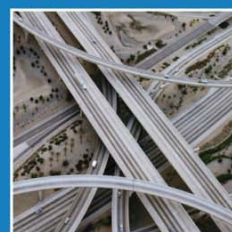
Martin Distelkamp  
Bernd Meyer  
Mark Meyer

GWS mbH

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

### Zusammenfassung

Zusammenfassung der Ergebnisse 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

**„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“  
(MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA**

**Projektlaufzeit:** 07/2007 – 12/2010

**Projektleitung:**

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

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

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

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)  
finden Sie unter [www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN  
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung  
liegt bei den Autor(inn)en.



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

**Wuppertal Institut  
in Kooperation mit**

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



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt

## **Die Fragestellung**

Welche ökonomischen Wirkungen gehen von einer forcierten Politik zur Steigerung der Ressourceneffizienz aus? Welche Wirkungszusammenhänge müssen im gesamtwirtschaftlichen Kontext bei den verschiedenen Instrumenten der Ressourcenpolitik erwartet werden? Ist eine Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch langfristig vorstellbar? Dies sind die Fragen, auf die das Arbeitspaket 5 Antworten zu geben hat.

## **Die Methode**

Das methodische Vorgehen besteht darin, mit einem nach Branchen tief gegliederten umweltökonomischen Modell, das den Zusammenhang zwischen wirtschaftlicher Entwicklung, Ressourcenverbrauch und Schadstoffemissionen abbildet, Simulationsrechnungen durchzuführen. Dabei vergleicht man eine vom Modell berechnete Entwicklung, die den Einsatz einer oder mehrerer umweltpolitischer Maßnahmen enthält, mit einer Referenz, in der diese Maßnahmen fehlen. Der Vergleich zwischen der Referenzentwicklung und der Alternativentwicklung mit Maßnahmen erlaubt dann Rückschlüsse auf die Wirkung der Maßnahmen.

Um belastbare Ergebnisse generieren zu können, empfiehlt es sich ein Modell zu verwenden, dessen Parameter durch die Anwendung ökonometrisch-statistischer Verfahren geschätzt worden sind. Das im Projekt eingesetzte Modell PANTA RHEI ist ein solches ökonometrisches Modell. Es ist ein in vielen umweltökonomischen Anwendungen erprobtes Modell, das im Rahmen des Projektes um ein Materialmodul ergänzt worden ist. Datenbasis des Materialmoduls ist ein Datensatz des Wuppertal-Instituts, der die verschiedenen Kategorien des Materialverbrauchs in tiefer Branchengliederung wiedergibt.

## **Die Referenzentwicklung**

Bei der Referenzentwicklung handelt es sich um eine Prognose, die die wirtschaftliche Entwicklung, den Ressourcenverbrauch und die Schadstoffemissionen bis zum Jahr 2030 beschreibt. Bei der Erstellung der Prognose müssen einige Einstellungen vorgegeben werden. Im Zusammenhang mit der Fragestellung sind insbesondere die zu erwartende weltwirtschaftliche Entwicklung sowie das Verhalten der Politik in Deutschland und hier insbesondere der Umweltpolitik von Bedeutung. In der Studie wird die Frage nach diesen Vorgaben sehr intensiv diskutiert, indem Sensitivitätsanalysen mit unterschiedlich kombinierten Vorgaben durchgeführt werden. Dabei hat sich zweierlei gezeigt: Zum einen ist deutlich geworden, dass die in den letzten zehn Jahren zu beobachtende Dynamik des Materialverbrauchs in Deutschland wesentlich durch die von der starken Exportentwicklung getriebenen 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 Referenzentwicklung entscheidend, welche Annahmen über

die Entwicklung der Weltwirtschaft und die Klimapolitik gesetzt werden. Wir haben ein langfristig moderates Wachstum der Weltwirtschaft unterstellt, das zu einem Wachstum der deutschen Exporte von ca. 3,2% pro Jahr führt. Hinsichtlich der Klimapolitik unterstellen wir in der Referenzentwicklung ein engagiertes Verhalten, das sich für das Jahr 2050 eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80% gegenüber dem Wert von 1990 zum Ziel setzt. Der Reduktionspfad impliziert für das Endjahr 2030 der Simulationsrechnungen eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Wert von 1990 von ca. 54%. Da noch keine endgültige Festlegung des Instrumenteneinsatzes für den gesamten Zeitraum durch die Politik erfolgt ist, unterstellen wir, dass die bisher eingesetzten Instrumente zur Förderung erneuerbarer Energien und zur Steigerung der Energieproduktivität in Unternehmen und Haushalten weiterentwickelt werden. Über die zu erreichenden Ziele der Klimapolitik herrscht in der gegenwärtigen Regierung und der Opposition weitgehende Übereinstimmung, was die Auswahl dieser Referenz stützt.

### Die untersuchten Instrumente

Die Studie ist 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 sich eine Reihe von Maßnahmen (bisher) einer Abbildung in einem makroökonomischen Modell verschließt und daher in ihren Wirkungen nicht quantifizierbar ist. Es geht hier vielmehr darum, beispielhaft aus möglichst jeder Instrumentengruppe mindestens eine konkrete Maßnahme zu modellieren.

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 Jahr 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.

Die **Informationsinstrumente** sind sehr vielfältiger Natur. Eine Wirkungsanalyse für einzelne Ausprägungen dieser Instrumentengruppe ist unmöglich, weil 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 Akteure gegenüber der Baseline erbringt. Was

sind die Kosten einer bestmöglichen Information der Unternehmen und welche Wirkung 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 Potenziale auf der Basis der Erfahrungen von Beratungsunternehmen vor. Ferner haben die Deutsche Materialeffizienzagentur 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 der Einsparung eines Jahres und bestehen zu einem Drittel aus Beratungskosten und zu zwei Dritteln aus zusätzlichen Investitionen in Ausrüstungen. In diesem Modell wird angenommen, dass es gelingt, innerhalb von 20 Jahren alle Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes einer Beratung mit diesem Erfolg zuzuführen, was bedeutet, dass jedes Jahr 5% der Unternehmen beraten werden.

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. Der Anteil von recycelten NE-Metallen in den Endprodukten steigt von 2012 von seinem heutigen Wert linear an, bis er sich bis zum Jahr 2030 verdreifacht hat.

Man kann sich vorstellen, dass hier intelligente Formen der Regulierung zum Einsatz kommen, die etwa auf Zielvereinbarungen mit den betreffenden Branchen oder dem Top-Runner-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.

Wir rechnen dieses Szenario in zwei Varianten. Die Substitution von Metallen durch Sekundärrohstoffe ist im Modell mit einer ökonomisch gemessenen Substitutionselastizität möglich, die deutlich kleiner als 1 ist. Dies bedeutet, dass die Substitution von Erzen durch Sekundärrohstoffe Kosten verursacht. Nun mag es sein, dass die Ausdehnung des Recycling 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 Substitutionselastizität für Erze versus Sekundärrohstoffe -1 beträgt.

## Die Ergebnisse

Wie bereits dargelegt, untersuchen wir bei **den ökonomischen Instrumenten** 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. Die insgesamt gegebene Anhebung der Gütersteuern hat leicht negative ökonomische Effekte, die aber durch die von der Senkung der Einkommensteuer ausgehenden positiven Effekte weitestgehend kompensiert werden. Die Änderung der Mehrwertsteuersätze für Bahn- und Flugreisen senkt den Energieverbrauch, bleibt aber relativ unbedeutend für den Materialverbrauch, weil der Rückgang der Flugreisen zwar den Einsatz von Öl mindert, auf der anderen Seite aber die Zunahme des Bahnverkehrs auch zu einem Anwachsen des Verbrauchs von Kohle und Gas für die Elektrizitätserzeugung führt. Die Einführung der Baustoffsteuer hat dagegen eine erhebliche Wirkung auf den Materialverbrauch. Die Extraktion im Inland nimmt um 9,7% ab, der Gesamtindikator Total Material Requirement (TMR), der neben der inländischen Extraktion auch die Rohstoffimporte und die in den Güterimporten direkt und indirekt enthaltenen Rohstoffe erfasst, wird um 1,5% im Vergleich zur Referenzentwicklung bis zum Jahr 2030 vermindert.

Tab. 1 stellt die Ergebnisse für die Änderung der Mehrwertsteuersätze im Verkehrsbereich und die Einführung der Baustoffsteuer noch einmal zusammenfassend dar. 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.

Tab. 1: Die Gesamtwirkung der betrachteten ökonomischen Instrumente auf wichtige gesamtwirtschaftliche Indikatoren im Jahr 2030

	Abweichungen von der Baseline				
	Bruttoinlands- produkt	Verf. Eink. der HH	Erwerbs- tätige	Endenergie- verbrauch	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

Welche Wirkungen sind zu erwarten, wenn es gelingt, in allen Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes durch ein **Informations- und Beratungsprogramm** innerhalb von zwanzig Jahren die im Hinblick auf den Materialverbrauch „best practice“ einzuführen? Die direkten Wirkungen liegen auf der Hand: Die Unternehmen, die Material im Produktionsprozess einsetzen, erfahren eine deutliche Senkung der Produktionskosten, während die Firmen, die Material erzeugen, Absatz- und Produktionseinbußen

hinnehmen müssen. Weil die Märkte nicht perfekt sind, werden die Gewinner ihre Preise im Vergleich zur Entwicklung ihrer Stückkosten weniger senken, so dass ihre Wertschöpfung steigt. Der von den Gewinnern ausgelöste expansive Effekt dominiert eindeutig: Steigende Wertschöpfung lässt Einkommen und Konsumnachfrage steigen, die Preissenkungen führen zu einer Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, die zu steigenden Exporten und fallenden Importen führt. Der Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt ist mit einer Zunahme von 14,2% im Jahre 2030 gegenüber der Referenz eindeutig expansiv.

Gleichzeitig steigt die Ressourcenproduktivität erheblich stärker an als das Bruttoinlandsprodukt, sodass der Ressourcenverbrauch (TMR) gegenüber der Referenz im Jahre 2030 um 9,2%, aber auch gegenüber dem aktuellen Niveau deutlich fällt. Auch die Energieproduktivität steigt erheblich an, wodurch der Endenergieverbrauch trotz der kräftigen wirtschaftlichen Belebung nur knapp über dem niedrigen Niveau der Referenz liegt.

Die wirtschaftliche Belebung erhöht auch das Steueraufkommen. Auf der Ausgaben-seite des Budgets des Staates findet infolge der günstigen Beschäftigungsentwicklung eine Entlastung statt. Ferner steigt der Konsum des Staates geringer an als die Einnahmen, weil die für die Gesellschaft zu erbringenden Dienstleistungen des Staates (innere und äußere Sicherheit, Rechtsprechung, Öffentliche Verwaltung, Bildung) als Folge der durch die Dematerialisierung steigenden Wertschöpfung nicht in demselben Maße expandieren wie die Privatwirtschaft. Folglich verbessert sich der Finanzierungssaldo des Staates Jahr für Jahr, was bis 2030 zu einer Verringerung der Staatsschuld um 10,2% gegenüber der Referenz führt. Insofern steht auch ein Finanzierungsspielraum für staatliche Förder- und Beratungsprogramme zur Steigerung der Ressourceneffizienz zur Verfügung.

Tab. 2 fasst die Ergebnisse der Wirkung der Informations- und Beratungsinstrumente zusammen.

Tab. 2: Die Wirkung der Informationsinstrumente in Deutschland auf wichtige gesamtwirtschaftliche Indikatoren im Jahr 2030

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

Bei den Maßnahmen zum **Recycling von NE-Metallen** wurden zwei Fälle unterschieden: Zum einen wurde unterstellt, dass die Substitution von Erzen durch Sekundärmaterial auch im Prognosezeitraum zu denselben Kosten bei der Erstellung von NE-Metallen führt, die im Stützzeitraum des Modells gemessen wurden. Zum anderen wurde unterstellt, dass infolge der im Prognosezeitraum zu erwartenden kräftigen Preissteigerungen für Erze technischer Fortschritt beim Recycling von NE-Metallen

realisiert wird, der diese Kosten vermeidet. In beiden Fällen sind die wirtschaftlichen Wirkungen auf Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigung positiv, weil jeweils Ausgaben für importierte Rohstoffe durch Wertschöpfung im Inland ersetzt werden. Im folgenden betrachten wir die Variante ohne Kosten der Substitution näher.

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. 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. 3: Die Wirkung des Recycling von NE-Metallen in Deutschland bei einer Verdreifachung des Einsatzes sekundärer Rohstoffe und einer Substitutionselastizität von -1 im Jahre 2030

Abweichungen von der Baseline

	Bruttoinlands- produkt	Staats-schuld	Erwerbs- tätige	Endenergie- verbrauch	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

### Die Abschätzung des Potenzials einer forcierten Strategie zur Steigerung der Ressourceneffizienz

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. Dies ist vielmehr Aufgabe des Arbeitspakets 7 sowie der detaillierten Instrumentenentwicklung in den Arbeitspaketen 3, 4 und 12 des MaRess-Projekts. In diesen Paketen werden auch Fragen der Durchsetzbarkeit der Instrumente und ihrer Kompatibilität mit anderen Politikfeldern usw. diskutiert. Der hier vorliegende Untersuchungsbereich hat deshalb eher den Charakter einer Sensitivitätsanalyse. Keine der im einzelnen untersuchten Politikmaßnahmen ist als undurchführbar einzuschätzen und könnte insofern Bestandteil eines policy mix sein. Deshalb 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 eine Ressourceneffizienzstrategie hat.

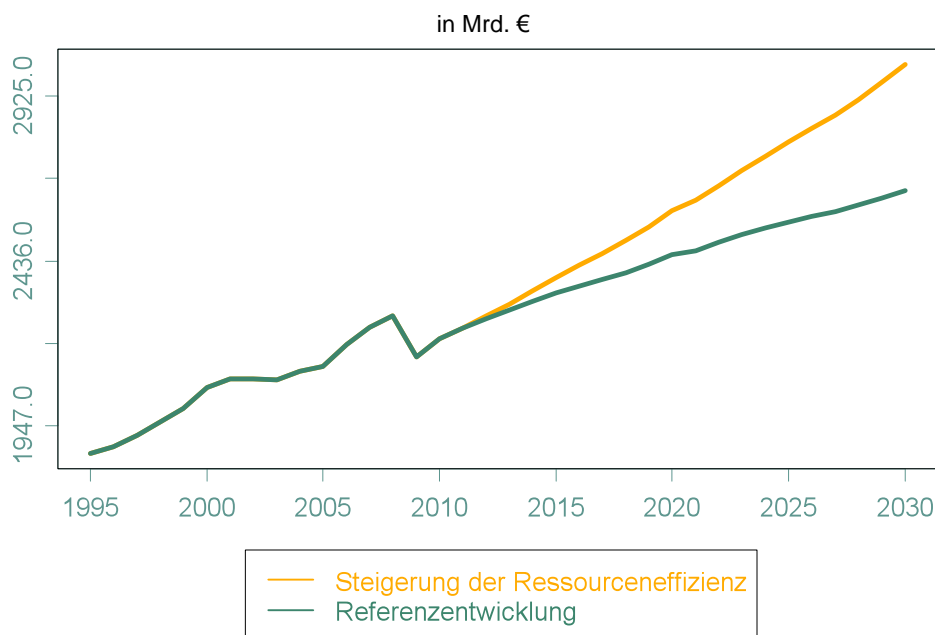
Die Wirkungsanalyse der einzelnen Instrumente hat gezeigt, dass insbesondere das Informations- und Beratungsprogramm ein sehr hohes Potenzial für eine wirtschaftliche Expansion hat. Die mit der Steigerung der Materialeffizienz einhergehende Senkung der Produktionskosten im Verarbeitenden Gewerbe steigert die internationale Wettbewerbsfähigkeit und erhöht die Wertschöpfung im Inland. Der Preisindex der Bruttopro-

duktion fällt bis 2030 gegenüber der Baseline im Durchschnitt um 4,3%. Der Nominallohn bleibt in etwa konstant, weil sich die Wirkungen der Preissenkungen und der Produktivitätssteigerungen auf die Lohnabschlüsse weitgehend kompensieren. Damit steigt der Reallohn um den Prozentsatz der Preissenkung. In den Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes werden aber wegen der steigenden Materialproduktivität die Stückkosten insgesamt deutlich gesenkt.

Die Nachfrage steigernden Effekte sind wesentlich stärker als die von der Nachfrage-minderung 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.

Abb. 1: Preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt



Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen mit dem Modell PANTA RHEI können wie folgt zusammengefasst werden: Eine engagierte Klimapolitik ermöglicht bei anhaltendem Wirtschaftswachstum bis 2030 eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 54% gegenüber dem historischen Wert des Jahres 1990 und gleichzeitig eine absolute Entkoppelung des Ressourcenverbrauchs von der Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts.

Basierend auf dieser Referenz kann ein **Potenzial** für eine forcierte Politik zur Steigerung der Ressourceneffizienz, bestehend aus ökonomischen Instrumenten, Informations- und Beratungsinstrumenten und auch Regulierungsmaßnahmen, *im Vergleich zur Referenzentwicklung ohne diese Maßnahmen* bis zum Jahre 2030 mit folgenden Ergebnissen abgeschätzt werden: Das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt nimmt um 14% (+372 Mrd. €) zu (siehe Abb. 1), die Beschäftigung steigt um 1,9% (+680.000 Personen), die Staatsverschuldung reduziert sich um 11% (-251 Mrd. €), der Ressourcenverbrauch vermindert sich um 20% (-993 Mill. t, siehe Abb. 2) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen bleiben trotz des steigenden Bruttoinlandsprodukts auf dem niedrigen Niveau der Referenz (gegenüber 1990: -54%). Die Ressourcenproduktivität verdoppelt sich in dem Zeitraum von 2010 bis 2030.

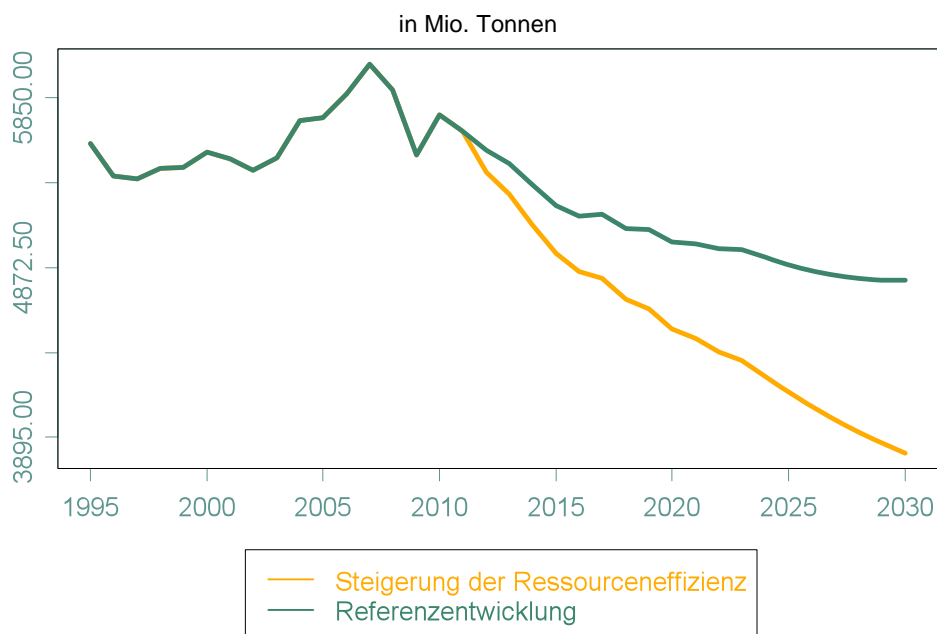
Die Zunahme der Ressourceneffizienz senkt die Produktionskosten und steigert die internationale Wettbewerbsfähigkeit. Sie bewirkt ferner eine absolute Entlastung der Naturnutzung, sofern das Wachstum der Ressourceneffizienz das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts deutlich übersteigt. Die Rechnungen belegen, dass die dargestellten Maßnahmen in geeigneter Kombination dieses Ziel erreichen können.

Die Informationsinstrumente, die im Verarbeitenden Gewerbe vorhandene Effizienzpotenziale bei gegebener Technik erschließen, haben zweifellos den Vorteil, dass sie politisch eher durchsetzbar sind als andere Instrumente. Ihr Potenzial ist beträchtlich – der positive ökonomische Effekt ist überwiegend auf ihren Einsatz zurückzuführen: Die Reduktion des Ressourcenverbrauchs um etwa 50%. Ob das Potenzial auch ausgeschöpft werden kann, hängt davon ab, ob alle Unternehmen im unterstellten Untersuchungszeitraum erfolgreich erreicht werden. 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 muss ein ressourcensparender technischer Fortschritt generiert werden. Dabei bietet das Recycling gerade für Deutschland eine interessante Perspektive. Am Beispiel der NE-Metalle konnte gezeigt werden, dass das Dematerialisierungspotenzial groß ist, weil Deutschland einen im Vergleich zu anderen Ländern besonders umfangreichen Investitionsgütersektor hat, der vor allem für die Weltwirtschaft produziert. Der Verbrauch von Metallen ist hier entsprechend hoch und folgt auch der wirtschaftlichen Dynamik dieses Sektors. Angesichts der Verknappung der Metalle und der damit ein-

hergehenden möglicherweise dramatischen Preisentwicklungen dieser Rohstoffe ist auch in der Wirtschaft die Bereitschaft zur verstärkten Nutzung des Recycling groß.

Abb. 2: Totaler Materialverbrauch (TMC) Deutschlands



Die Simulationsrechnungen mit dem Modell PANTA RHEI haben gezeigt, dass eine dauerhafte Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Rohstoffverbrauch möglich ist. Die Kombination einer engagierten Klimapolitik mit einer Politik zur Steigerung der Materialeffizienz kann die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands stärken und dabei den Ressourcenverbrauch senken.



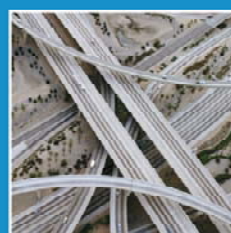
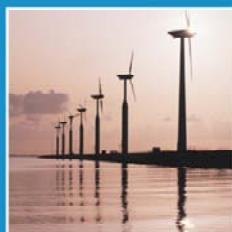
Martin Distelkamp  
Bernd Meyer  
Mark Meyer

GWS mbH

# Quantitative and qualitative Effects of a forced Resource Efficiency Strategy

## Executive Summary

Summary report of Task 5 within the framework of the  
„Material Efficiency and Resource Conservation“ (MaRes) Project



Wuppertal, December 2010

ISSN 1867-0237

**Contact to the Authors:**

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](http://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  
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

## Questions

What are the economic effects of a forced policy to raise resource efficiency? Which interrelations have to be considered in the macroeconomic context concerning the impacts of different policy instruments? Is a decoupling of economic growth and resource consumption possible in the long run? These are the questions that Task 5 has to answer.

## Methodology

The methodology is to run simulations with a sectorally deep disaggregated economic environmental model that depicts the relations between economic development, resource consumption and emissions. A comparison is drawn between a model forecast that includes one or more policy activities and a reference forecast, in which these policy activities are not implemented. The comparison between both forecasts allows for the identification of all direct and indirect effects that are induced by the policy instruments.

To obtain empirically substantiated results, it is useful to work with a model whose parameters are estimated using econometric methods. The model PANTA RHEI fulfils this requirement. It has been used in many applications answering economic environmental questions. During the project it has been completed by a material module. The data base of the material module is a data set of the Wuppertal-Institute that links the different categories of material consumption with the economy in deep sectoral disaggregation.

## The Reference

The reference is a forecast which in our case depicts the economy, resource consumption and emissions for each year till 2030. The preparation of the forecast requires assumptions about the development of variables that are not calculated by the model. In our case the further development of the world economy and the policy variables, especially the instruments of environmental policy, have to be fixed. The study discusses these questions in detail running scenarios with different assumptions. Two main results could be achieved: At first, it could be shown that the dynamic of material consumption, which could be observed in Germany during the last ten years, was driven by metals which are linked to the strong export development. Germany is exporting with big success investment goods as machinery and cars which consist preponderant of metals. Secondly, material consumption is also dependent from climate policy, which reduces the use of fossil fuels, coal, gas, and oil. Insofar the level of resource consumption in Germany in the reference is strongly depending on the assumptions about the further development of the world economy and the decisions on climate policy in Germany.

We assumed a moderate long run growth for the world economy which induces an average growth rate for German exports of about 3.2% p.a. With regard to climate policy we assume an engaged strategy that achieves a reduction of CO<sub>2</sub>-emissions of 80% (compared to the historic value of the year 1990). For the last year of our simulation this means a reduction of 54%. Of course there is no specific decision about the chosen instruments for the whole time period. So we assumed that the already established policy instruments with the aim to enforce renewable energies and energy productivity in firms and households will be further developed so that the set targets will be reached. The selection of this reference scenario is supported by the fact that the government and the opposition in Germany conclude regarding the targets even though there is no consensus yet about the policy mix.

### **The Discussed Instruments**

Analyzing all groups of instruments – economic instruments, information and consultation instruments and regulation by technical standards - the study covers a broad range. But it is not the aim of the study to discuss all instruments that play a role in the other Tasks of the MaRes project. This is not possible since many of the possible measures cannot be quantified. The idea is to include at least one instrument of each group that plays an important role in the other Tasks of the project as well.

From the group of **economic instruments** changes in value added taxes for transport services and the introduction of a resource tax for building materials have been elected.

The change of the rates of value added taxes concerns rail road transportation and air transport services. The tax rate for rail road transportation is lowered from the regular rate of 19% to the reduced rate of 7%. Contrastingly, the tax rate for air transport services is raised from 7% to 19%.

The effects of resource taxes are analysed for the extraction and import of building materials. It is assumed that in 2012 a tax of 2 € per ton of extracted and imported building material is introduced. The tax rate rises by 5% p.a. and reaches 4.80 € in 2030.

**Information instruments** are of a very different nature. An analysis of specific characteristics of such instruments is nearly impossible because the empirical information about its direct impacts is missing. Therefore, it is not possible to model these instruments. The alternative approach is to ask what are the differences between a situation in which the agents have perfect information compared to the situation of the reference scenario where, for example, many producers do not use the best practice technology concerning resource consumption because they do not know all alternatives that they have. So we ask for the potential of an information policy as a whole without relating it to a specific information instrument. For the firms there is empirical information for this potential based on the experience of consulting firms. Furthermore, the German Efficiency Agency DEMEA and the Efficiency Agency for North-Rhine-Westphalia have a

lot of information about the impact of consulting: What is the impact of the introduction of the “best practice” technology for resource consumption on material costs, capital costs and costs for consulting services? The consulting firms come to the result that in manufacturing on average 20% of material costs can be saved. To realize this potential additional costs arise which equal the savings of one year. One third of these costs are consulting services, two thirds are investments in equipment. We assume that it might be possible to introduce the best practice technology in 5% of all manufacturing firms per year so that in 2030 the potential of all manufacturing firms is exhausted.

As a **regulation instrument** we discuss the introduction of rules for the use of recycling in the production of non-ferrous metals. Here it is assumed that in final products a certain percentage of non-ferrous metals has to be of recycled material. The share of recycled non-ferrous metals rises linearly from the actual level so that it reaches factor three in relation to that level in 2030.

One can imagine that here intelligent forms of regulation come into practice which may be based on voluntary agreements or the top runner concept. Since all final products have to fulfill the standards, all imported products are included. This means that we have either branch-oriented international agreements about the production of non-ferrous metals or the importing firms have to prove that the imported products are in line with the standards.

This scenario is calculated in two variants. The econometrically estimated elasticity of substitution of non-ferrous metals by secondary products is about -0.4. This means that the substitution will cause costs. In the second variant it is assumed that in a world with permanently rising world market prices for metals there will be incentives to improve the recycling technology. Furthermore, with rising activities there will be learning effects. To catch the potential of these cost reducing factors we run the model in the second variant with an elasticity of substitution of -1 for non-ferrous metals versus secondary products.

## The Results

The impact of **economic instruments** is analysed for a change in consumer taxation of traffic services and the introduction of a resource tax on building materials. The additional tax revenue will be compensated by a reduction of income taxes so that the total tax revenue is not affected. The rise of the taxes for goods itself has negative economic effects which are completely compensated by the positive effects of the reduction of income tax. The change in the rates of the value added taxes for traffic services (higher taxation of air services, lower rates for railway service) reduces energy consumption but not material consumption. The reduction of air transport of course reduces consumption of oil, but on the other side the higher demand for electricity induces also the consumption of coal and gas. The introduction of the taxation of building materials has severe impacts on material consumption. Domestic extraction of materials reduces the consumption of non-metallic minerals by 15.6% and the total domestic

extraction of materials by 9.7%. The total material requirement indicator TMR, which measures the sum of domestic extraction, imported resources and the contents of materials given directly and indirectly with the imported goods, reduces by 1.5% compared with the reference scenario in the year 2030.

Tab. 1 summarizes the results for the change of value added taxes for traffic services, the introduction of the tax on building materials and the compensation of income taxes.

Tab. 1: The impact of the analysed economic instruments on macro indicators in the year 2030

Deviations from the reference scenario					
	real gdp	disposable income	employment	final energy demand	TMR
in percent	-0,06	0,07	-0,01	-0,3	-1,5
absolute	-1.5 bill. €	+1.5 bill. €	-5,400 Pers.	-25,784 TJ	-81.9 Mio t

Which results can be expected if all firms of the manufacturing sector will participate within the next 20 years till 2030 in an **information and consulting program** and achieve the “best practice” in respect to material consumption? The direct effects are clear: Those firms that use materials will enjoy a reduction of production costs, on the other side the producers of materials will lose shares in sales and production. Since markets are not perfect, the winners will reduce their prices but not to the same extent as the reduction of unit costs. This means that value added will rise in these firms. The extensive effect induced by the winners dominates by far: Rising value added pushes income and consumption, falling prices raise real income and improve international competitiveness with rising exports and falling imports. A further reduction of imports is given with the lower imports of resources. The total effect on real GDP is +14.2% in 2030 in comparison with the reference scenario.

Since resource productivity rises stronger than GDP, the level of TMR falls by 9.2% in 2030 compared with the reference scenario. The reduction of material consumption raises energy productivity indirectly by 13.8%. So final energy demand will in spite of the strong positive effect on GDP only be slightly above the low level of the reference scenario. The economic prosperity raises also the tax revenue. On the expenditure side of the budget of the government there will be reductions for social security payments following the higher employment. Furthermore, public consumption will grow less than the tax revenue because public services like defence, security, administration, education etc. will not rise that much as a consequence of dematerialization of the economy. These savings year by year reduce public debt. In 2030 it will be 10.2% lower than in the reference scenario. Tab. 2 summarizes the results of the impacts of the information and consulting program.

Tab. 2: The impact of the information and consulting program on macro indicators in 2030

Deviations from the reference scenario					
	real gdp	public debt	employment	final energy demand	TMR
in percent	+14.2	-10.2	+1.9	+0.42	-9.2
absolute	+374.7 bill. €	- 226.0 bill. €	+696,100 Pers	+33,147 TJ	-506.4 Mio t

In both variants of the **recycling** scenario the economic effects on GDP and employment are positive because expenditures for imported resources are substituted by domestic value added. In the following section we discuss only the further results for the variant with a elasticity of substitution of -1.

GDP rises by 0.04% or 1 bill. € and employment in 2030 is by 10,600 persons higher than in the reference scenario. Public debt falls by 2.5 bill. €.

TMR is 8.9% lower in 2030 compared with the reference scenario. In this scenario the impact is concentrating on the consumption of metals. Their TMR reduces by 23.5%. A central role is given to the huge rucksacks which lie on the indirect imports of non-ferrous metals being part of the goods imports.

Tab. 3 summarizes the impact of the recycling scenario on important indicators.

Tab. 3: The impact of the recycling of non-ferrous metals on important indicators in 2030

Deviations from the reference scenario					
	real gdp	public debt	employment	final energy demand	TMR
in percent	+0.04	-0,1	+0.03	+0.01	-8.9
absolute	+1.0 bill. €	-2.5 bill €	+10,600 Pers.	+916.0 TJ	-489.8 Mio t

### The Potential of a forced Strategy for the Improvement of Resource Efficiency

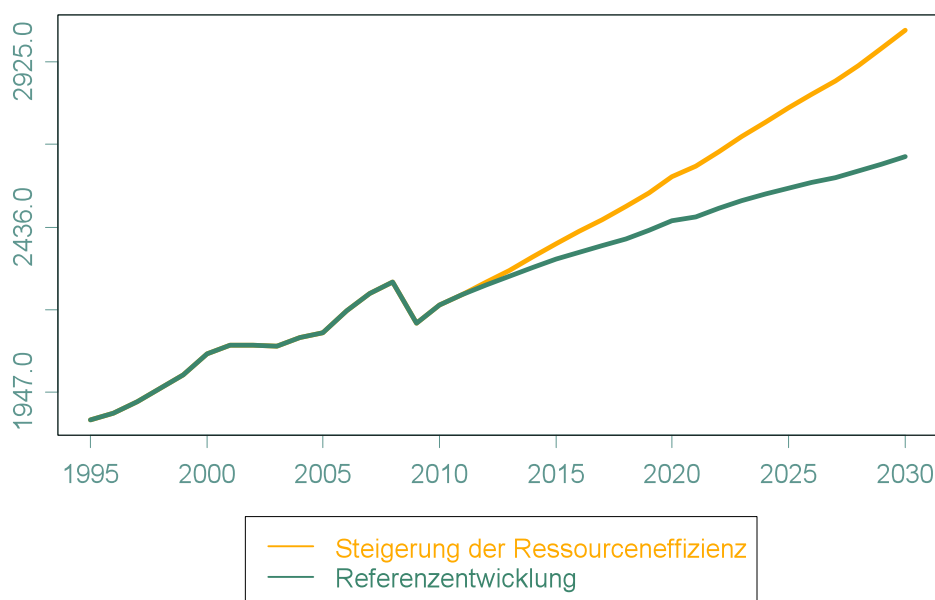
So far it could be shown which impacts the different instruments have. The study did not ask for completeness, but it intends to give examples for the groups of instruments and their effects. Insofar the aim of the following chapter is not to present a concrete policy proposal. The idea is to give an estimate for the potential that a forced strategy for the improvement of resource efficiency can have. In this respect the chapter has more the character of a sensitivity study. All discussed policy instruments could be implemented and be part of a policy proposal. Therefore, it makes sense to ask for the impacts, if all instruments are integrated in one total scenario.

The analysis of the single instruments has shown that especially the information and consulting program has a high potential for an economic expansion induced by the rebound effect of dematerialization. As already said: Rising material efficiency reduces

production costs and prices, and this development improves international competitiveness and value added in Germany. The aggregated price index of gross production falls by 4.3%. The nominal wage rate remains more or less constant because the influences of falling prices and rising productivity compensate each other in their effect on wage bargaining. Therefore, the real wage rate rises with the absolute rate of price changes. The expansive effects on demand are much stronger than the contractive effects coming from the firms which produce materials. In this context the reduction of resource imports coming also from other scenarios plays an important role.

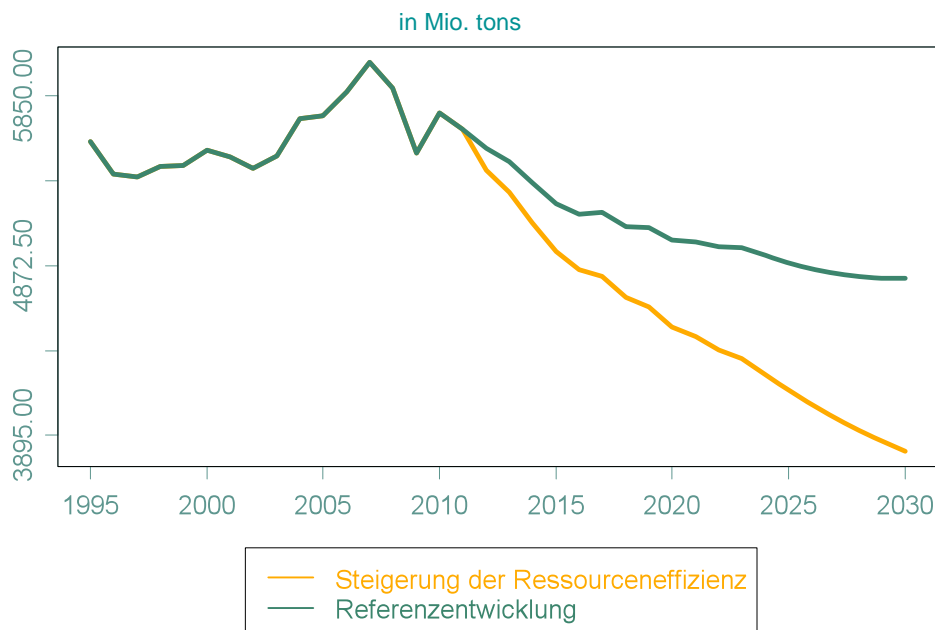
The other instruments have a smaller effect on value added, income and GDP. Tax changes are on average neutral because the rise of good taxes is completely compensated by a reduction of income taxes. The regulation of recycling of non-ferrous metals has little positive effects on GDP because imports of resources are substituted by domestic value added.

Fig. 1: GDP in billion € and constant prices



The results of the simulation studies can be summarized as follows: An engaged climate policy in Germany will be able to combine a permanent economic growth with a reduction of CO<sub>2</sub>-emissions by 54% in relation to the historic values of the year 1990 and an absolute decoupling of resource consumption from GDP can be reached in the long run. Based on this reference scenario the following **potential** for a forced resource policy consisting of economic instruments, information and consulting instruments, and regulation can be estimated in relation to the reference scenario for 2030: A rise of GDP in constant prices of 14% (+372 bill. €) will be possible (Fig. 1), employment will be 1.9% higher (+680,000 persons), public debts will shrink by 11% (-251 bill. €), total material consumption will be reduced by 20% (-993 Mill. t) (Fig. 2) and CO<sub>2</sub>-emissions remain at the low level of the reference in spite of the strong rebound effect. Resource productivity will be doubling from 2010 to 2030.

Fig. 2: Total Material Consumption (TMC) in Germany



The information instruments which realise the efficiency potentials of the given technologies in manufacturing sectors have the advantage that they prevail easier in the policy process than other instruments. Their potential is mighty. In our simulations the positive economic effects and about half of the environmental impact are related to them. Whether this potential can be fully exhausted depends on the number of firms that can be reached by the program.

In the long run the “low-hanging fruit” will not be enough. A resource-saving technical progress has to be generated. Here recycling gives an interesting perspective especially for Germany. For the example of non-ferrous metals it could be shown that the potential for dematerialization is rather high because compared to other countries Germany has a very large sector that produces investment goods mainly for the world economy. Therefore, the consumption of metals is very high in Germany and follows the economic dynamic of the world economy. Combining this situation in Germany with the scarcity of metals and the rising world market prices, recycling is also a major topic from an economic viewpoint. But there is also a high potential for the recycling of building materials.

The use of economic instruments has the advantage that price effects induce a lot of substitution effects over all stages of production and also in the sphere of consumption. But if international competitiveness is affected negatively, it is problematic to prevail it in the policy process. For the three tax instruments, which we discussed in the project, the changes of value added, tax rates for air transport and railway transport this is not the case.



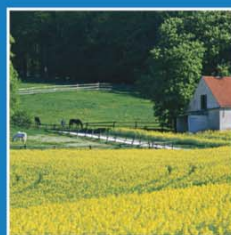
Martin Distelkamp  
Bernd Meyer  
Mark Meyer

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

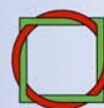
More information about the project

“Material Efficiency and Resource Conservation” (MaRes)

you will find on [www.ressourcen.wupperinst.org](http://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

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Das Modell PANTA RHEI</b>	<b>8</b>
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
<b>3</b>	<b>Die Szenarien</b>	<b>19</b>
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
<b>4</b>	<b>Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen</b>	<b>24</b>
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
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>49</b>

**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 <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -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, CO<sub>2</sub>-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.<sup>1</sup> 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen. Einerseits beeinflussen die Variablen des Modells INFORGE den Energieeinsatz, andererseits wirken die monetären Ausgaben für den Energieeinsatz unmittelbar auf ökonomische Größen. Die CO<sub>2</sub>-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.

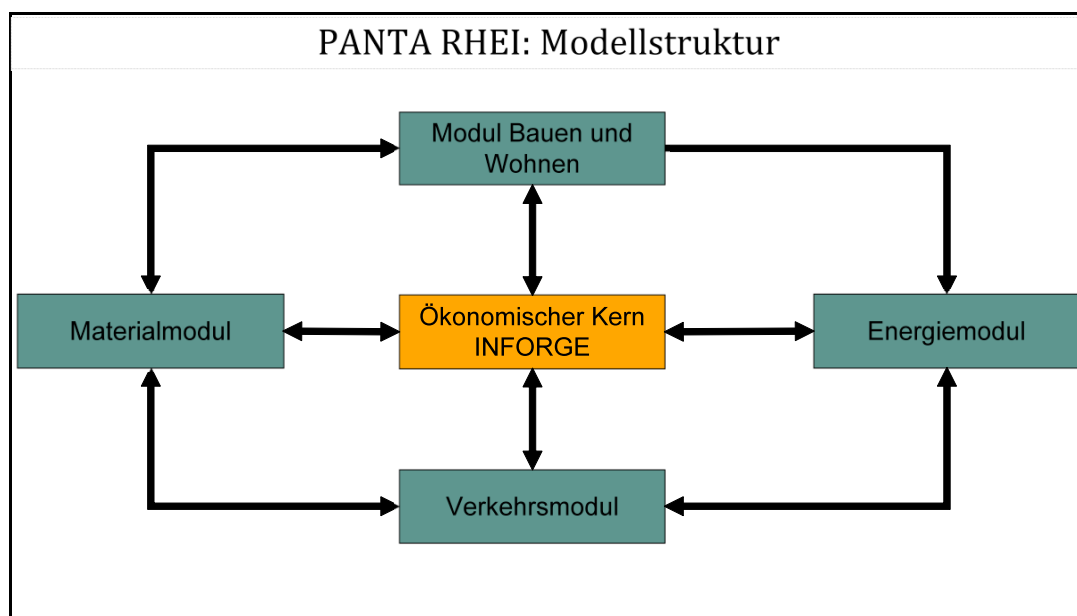
---

<sup>1</sup> 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:

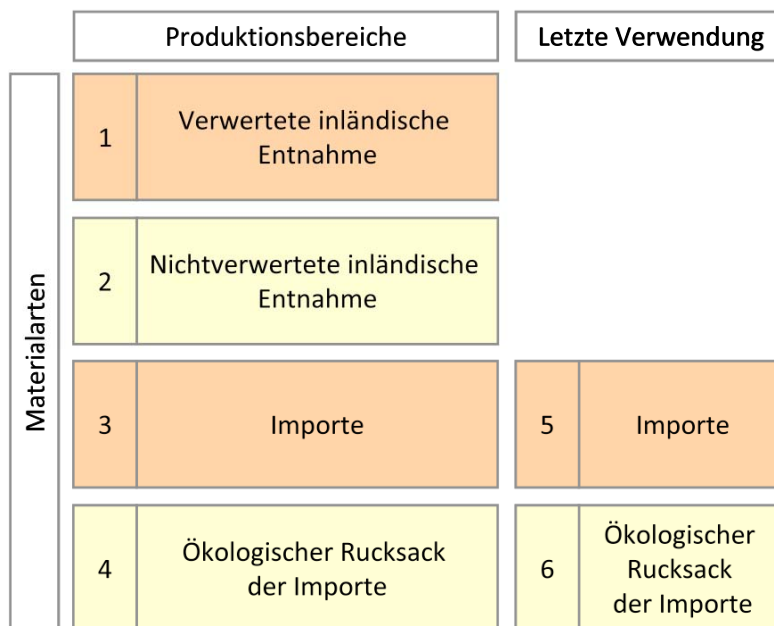
Bei der *inländischen Entnahme* werden Biomasse, Erze, Nichtmetallische Mineralien, Energieträger in einer z. T. tiefen Gliederung betrachtet, so dass hier insgesamt 14 Materialarten unterschieden werden. Bei den *Importen* ist zu beachten, dass es sich einerseits um direkte Materialimporte handelt, 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
<b>I. BIOMASSE</b>	
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)
<b>II. METALLE</b>	
Eisenerze	Erze
	Roheisen, Stahl, Rohre und Halbzeug daraus
	NE-Metalle und Halbzeug daraus
	Metallerzeugnisse
	Andere Produkte (Maschinen, Büromaschinen, Fahrzeuge etc)
<b>III. NICHT-METALLISCHE MINERALIEN</b>	
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)	
<b>IV. ENERGIETRÄGER</b>	
Steinkohle	Kohle und Torf
Braunkohle	Erdöl / Erdgas
Torf	Kokereierzeugnisse, Mineralölerzeugnisse, Spalt- und Brutstoffe
Erdöl und Erdgas	Energie und Dienstleistungen der Energieversorgung
<b>V. ANDERE PRODUKTE</b>	
	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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 Politikscenarien verwendeten Modelle und PANTA RHEI ganz unterschiedliche Strukturen haben. In den Politikscenarien 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 Politikscenarien nachzulesen ist. Gleichwohl werden die Einstellungen so gewählt, dass im Hinblick auf Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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-Wärmegesetz in Kraft getreten. Es schreibt vor, dass Eigentümer künftiger Gebäude einen Teil ihres Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energien decken müssen. Der Ausbau erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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-Runner-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 CO<sub>2</sub>-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:

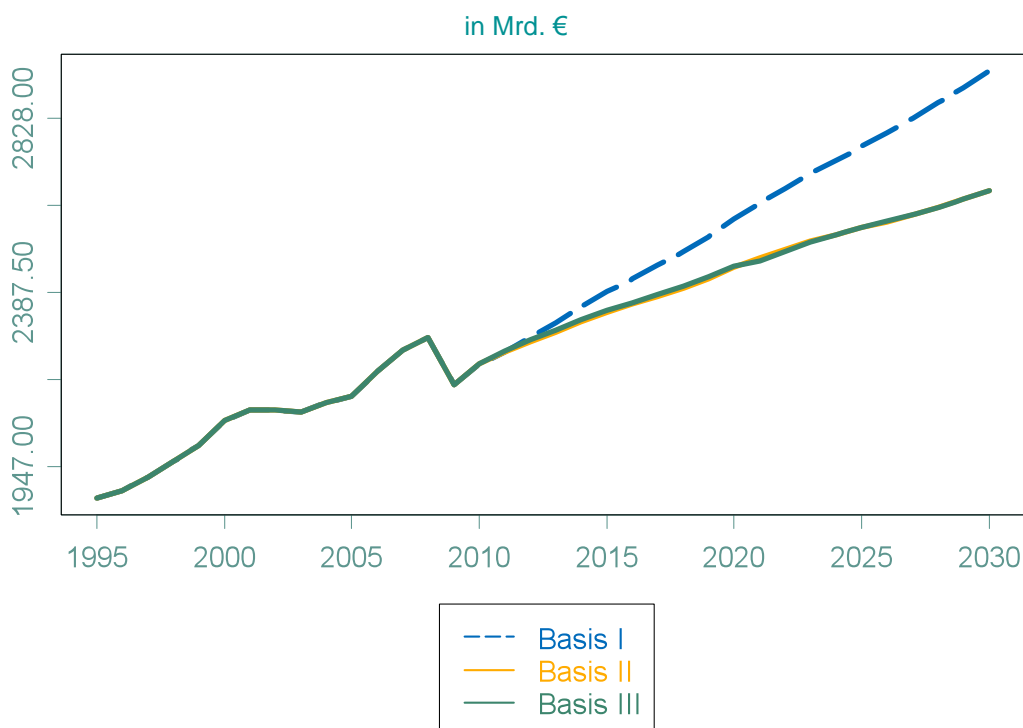
Basis I: moderate Klimapolitik, starkes weltwirtschaftliches Wachstum.

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, CO<sub>2</sub>-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.

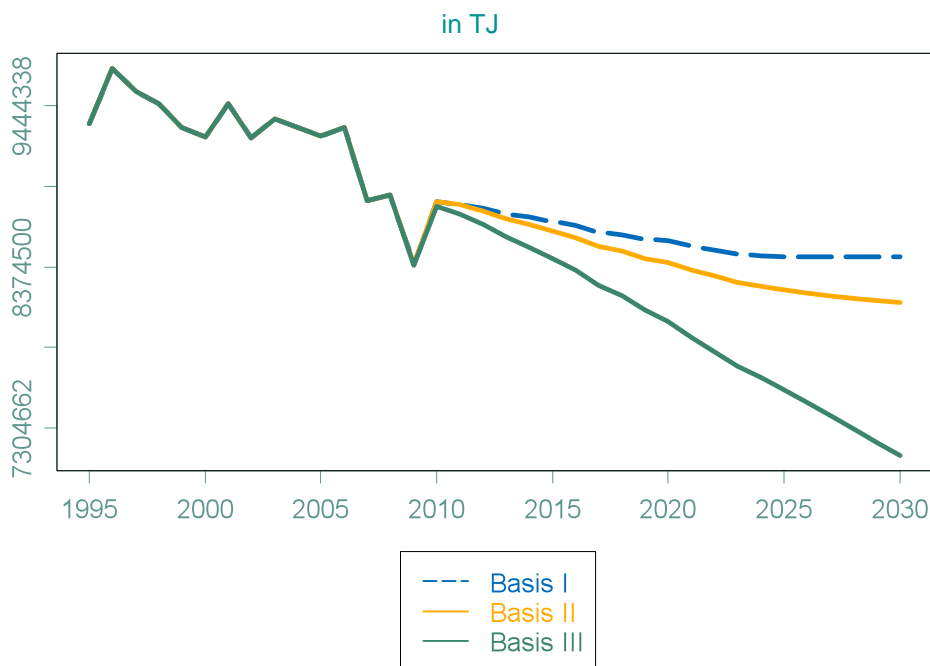
Abb. 4: Die Entwicklung des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts in den drei Basisszenarien



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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionen um 54% unter dem Wert des Jahres 1990.

Abb. 6: Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den drei Basisszenarien

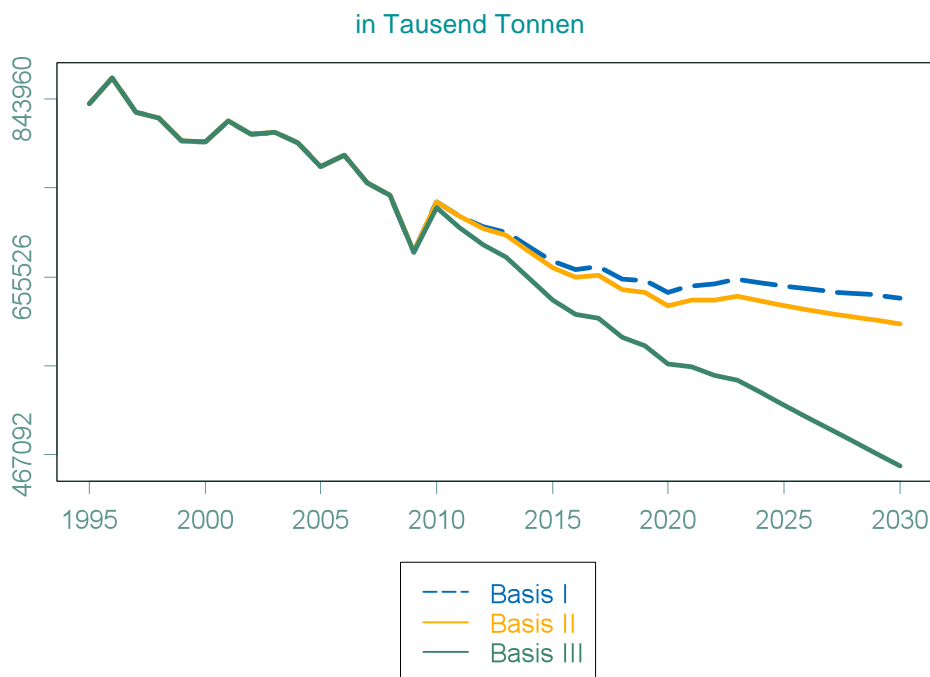
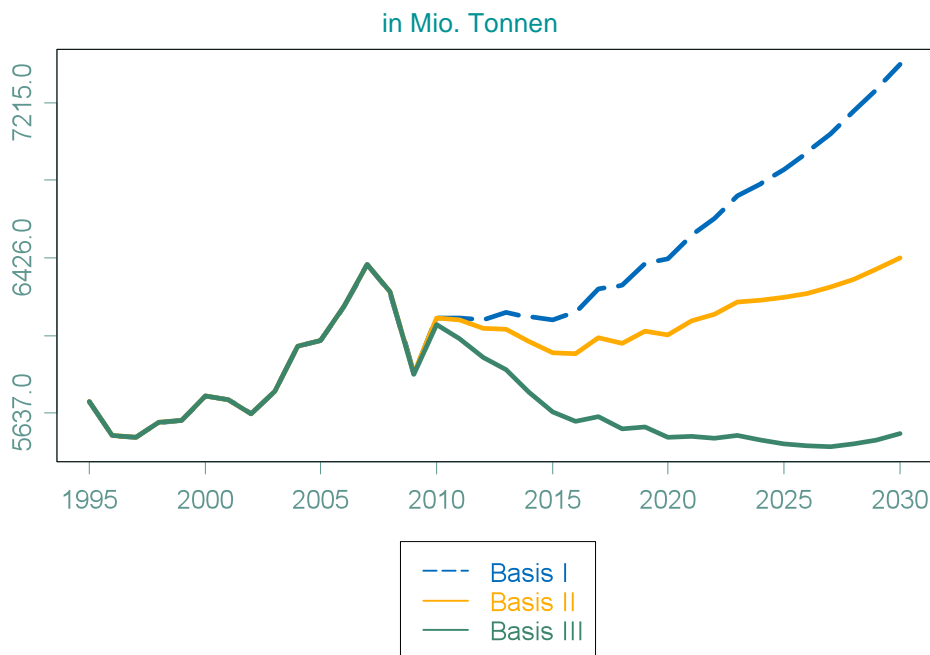


Abb. 7: Die Entwicklung des TMR in den drei Basisszenarien



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 <sub>2</sub>	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 CO<sub>2</sub>-Emissionen vermindern sich wesentlich stärker als der Endenergieverbrauch, was auf die Substitution CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 Bruttonproduktion 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 Bruttonominalproduktion 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 Preisrückgang 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 Bruttonproduktion 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.

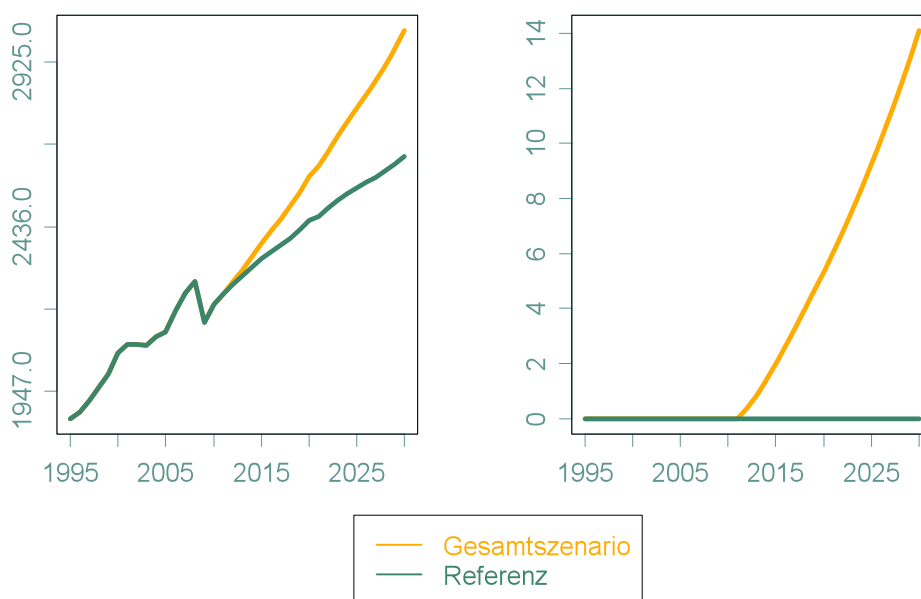
Tab. 11 gibt einen Überblick über die Wirkungen auf die einzelnen Komponenten des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts:

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)

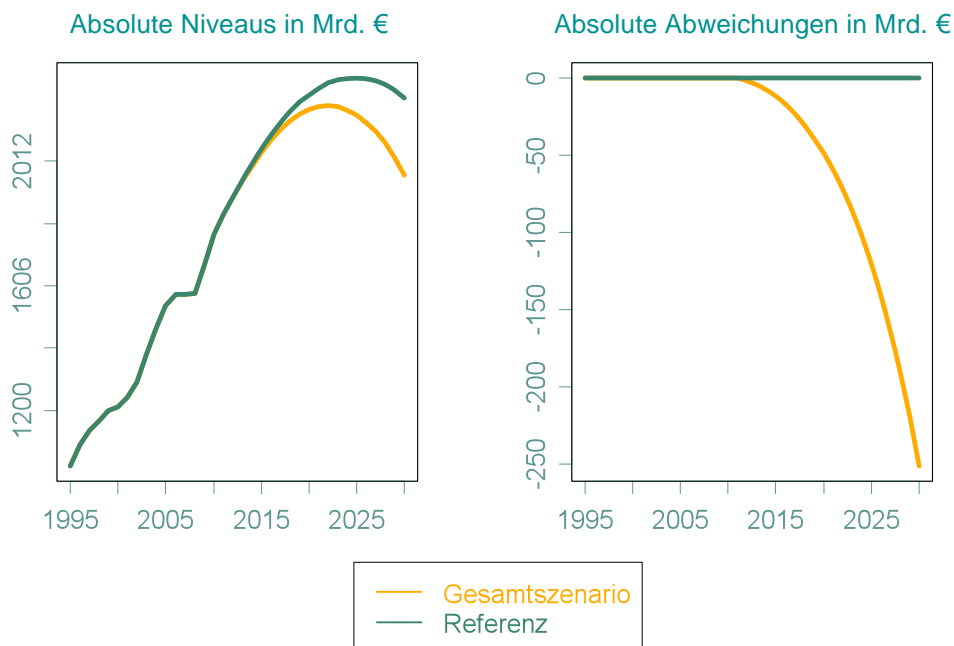


Der private Konsum steigt infolge der zunehmenden Wertschöpfung und der damit einhergehenden Verbesserung der verfügbaren Einkommen der privaten Haushalte. Der öffentliche Konsum nimmt im Vergleich dazu relativ schwach zu, weil die vom Staat unentgeltlich an die Gesellschaft abgegebenen Dienstleistungen (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.

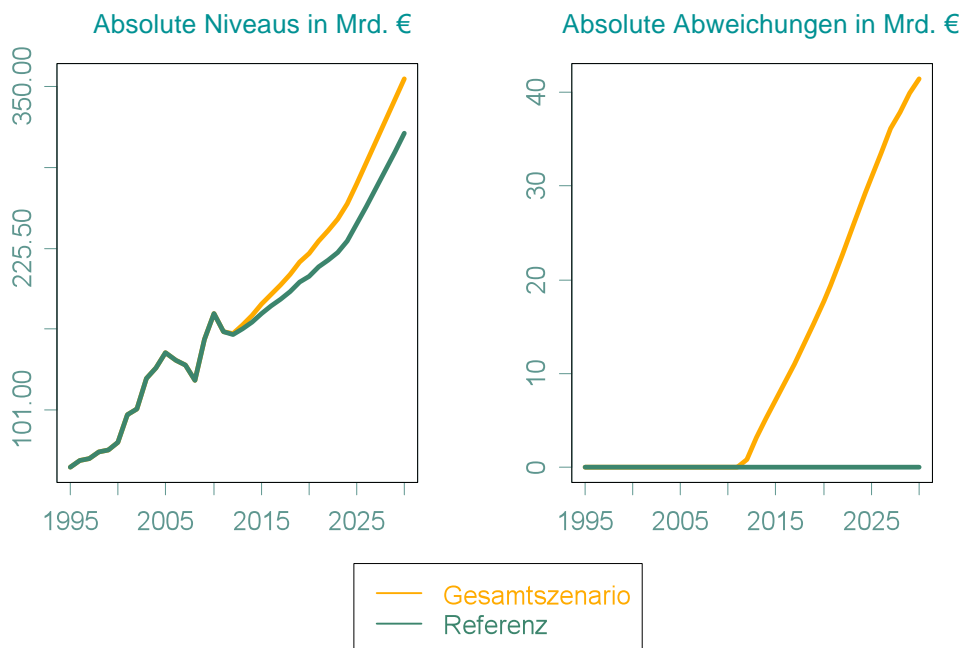
Die Zunahme der Wertschöpfung regt die Entwicklung des Steueraufkommens an, während auf der Ausgabenseite des Budgets des Staates die Dynamik geringer ist, weil – wie bereits erläutert – insbesondere der Konsum des Staates nicht in demselben Maße wächst. Folglich wird der Finanzierungssaldo des Staates 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

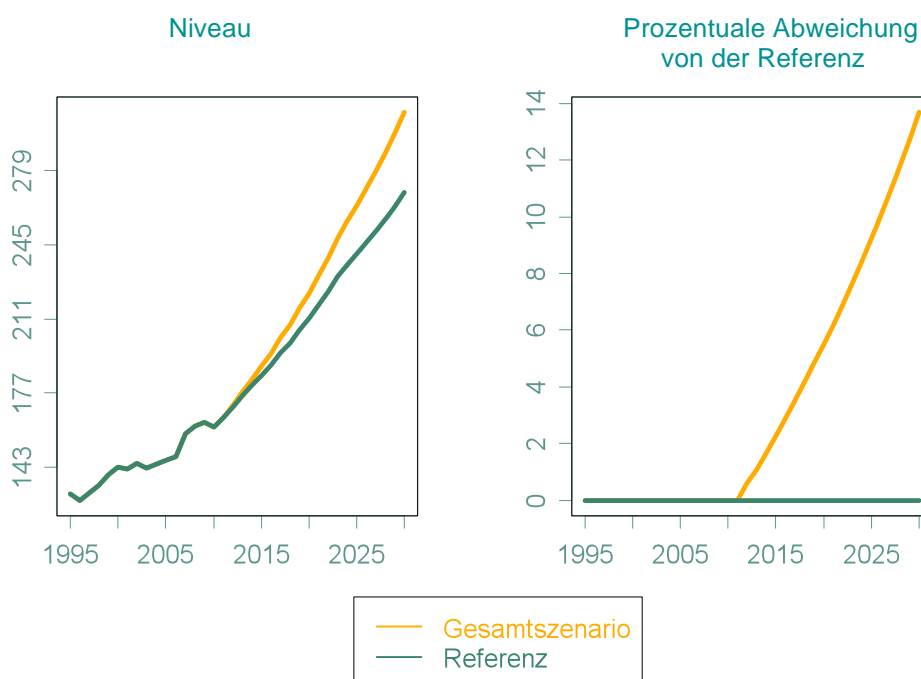
Der Anstieg der Arbeitsnachfrage der Unternehmen (Erwerbstätige) um 1,9% entspricht einer Zunahme der Zahl der Erwerbstätigen um ca. 680.800 Personen. Der allgemeine Preisrückgang bedeutet bei gegebenem Nominallohnsatz einen Anstieg des Reallohnes. Die Arbeitnehmer orientieren sich an den Konsumgüterpreisen, 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

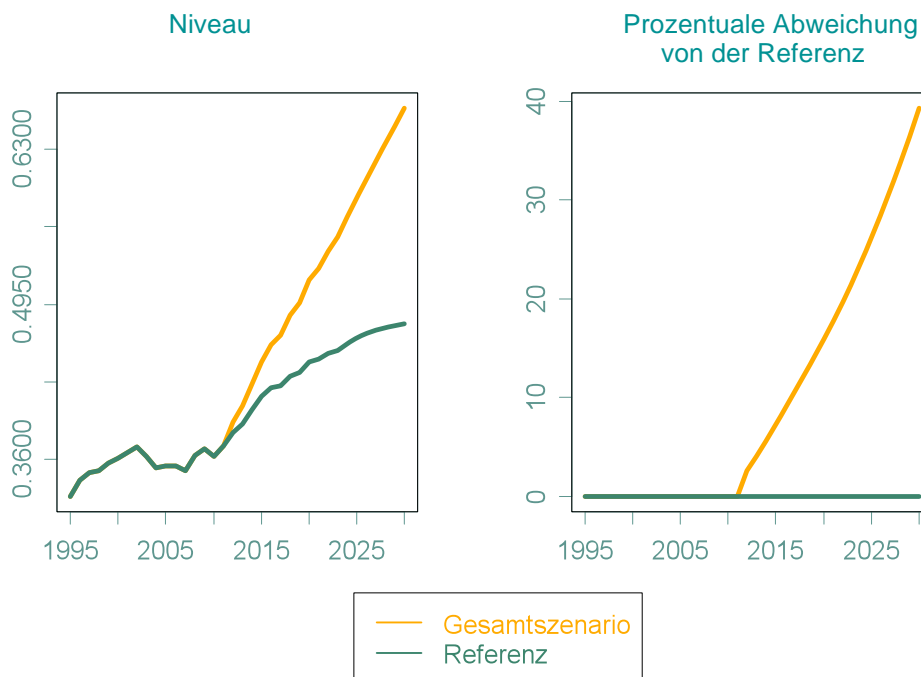
Die verschiedenen Maßnahmen bewirken allgemein eine Steigerung der Ressourceneffizienz. Abb. 11 stellt die Wirkung auf die Energieproduktivität dar, die als Relation zwischen dem preisbereinigten Bruttoinlandsprodukt und dem Primärenergieverbrauch gemessen wird.

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 CO<sub>2</sub>-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



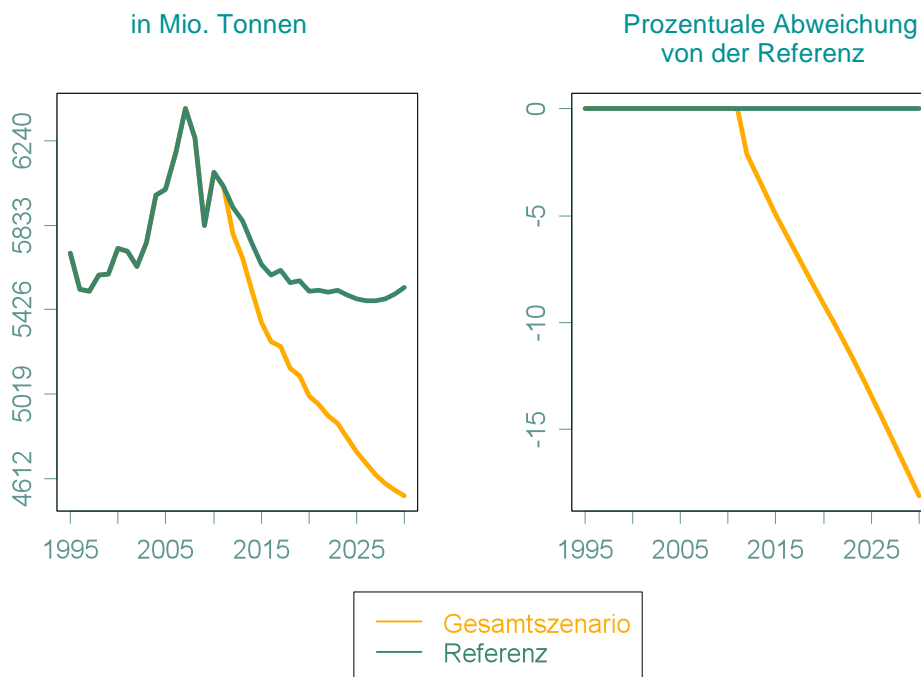
Die Entwicklung der Materialproduktivität gemessen als TMR pro preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt ist in Abb. 12 dargestellt. Auch hier zeigt sich eine Wechselwirkung zwischen Energiepolitik und Rohstoffverbrauch: In der Baseline steigt die Materialproduktivität als Ergebnis der anspruchsvollen Energiepolitik 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.

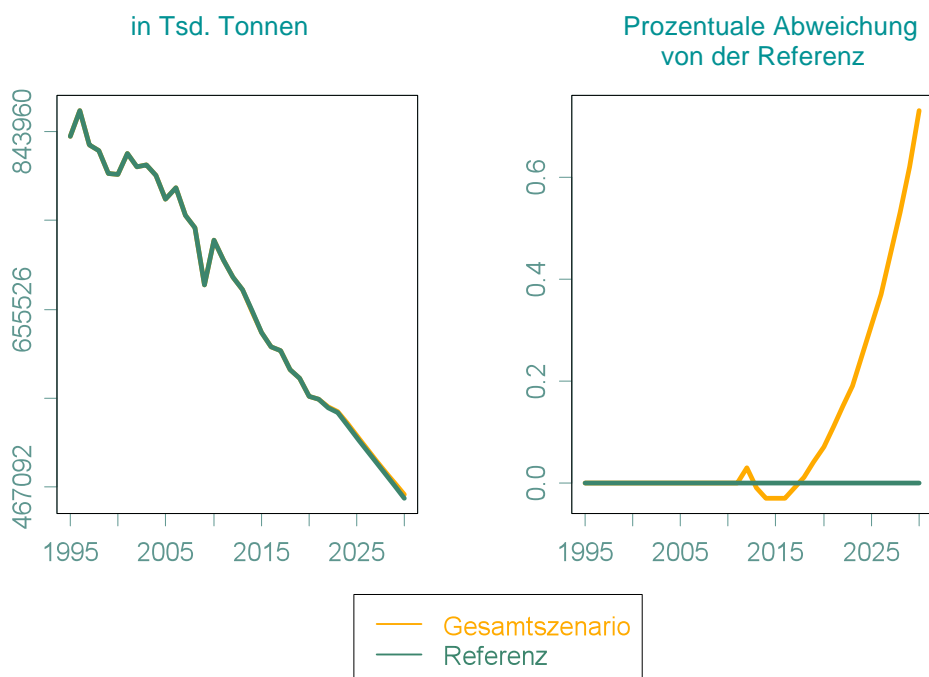
	Information	Recycling	Baustoff- und Mehrwertsteuer
Inländische Entnahme	-73,2	+0,2	-67,3
Nicht verw. inländische Entnahme	-31,7	+0,2	-12,2
Importe	-45,5	-11,5	-2,7
Ökologischer Rucksack der Importe	-356	-478,7	-0,8
TMR insgesamt	-506,4	-489,9	-83,4

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 CO<sub>2</sub>- 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 CO<sub>2</sub>- 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80% gegenüber dem Wert von 1990 zum Ziel setzt. Der Reduktionspfad impliziert für das Endjahr 2030 der Simulationsrechnungen eine Minderung der CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-

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 CO<sub>2</sub>- 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., Leuchtman, 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 CO<sub>2</sub>-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): Politikszenerien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas- Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Dessau-Roßlau.

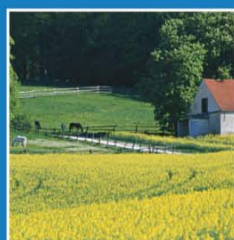
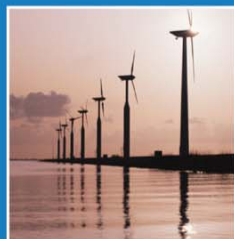


Florian Hartmann  
Martin Distelkamp

GWS mbH

## Die volkswirtschaftliche und ökologische Bedeutung der Materialeffizienz für Deutschland – Literaturstudie zum Stand der Forschung

Arbeitspapier zu Arbeitspaket 5 des Projekts  
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)



**Kontakt zu den Autor(inn)en:**

Martin Distelkamp

GWS mbH  
49080 Osnabrück, Heinrichstraße 30

Tel.: +49 (0) 541 40933 -160, Fax: -110

Mail: distelkamp@gws-os

**„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“  
(MaRes) – Projekt im Auftrag des BMU | UBA**

**Projektlaufzeit:** 07/2007 – 12/2010

**Projektleitung:**

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

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

Mail: kora.kristof@wupperinst.org

peter.hennicke@wupperinst.org

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

finden Sie unter [www.ressourcen.wupperinst.org](http://www.ressourcen.wupperinst.org)

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor(inn)en.



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

**Wuppertal Institut  
in Kooperation mit**

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



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**Umwelt  
Bundes  
Amt**  
Für Mensch und Umwelt

# Die volkswirtschaftliche und ökologische Bedeutung der Materialeffizienz für Deutschland – Literaturstudie zum Stand der Forschung im Arbeitspaket 5 des Projekts MaRes

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Der Markt für Rohstoffe	3
1.2	Materialeffizienz	6
<b>2</b>	<b>Indikatoren zur Messung von Materialeffizienz</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Modellierung ökologisch-ökonomischer Zusammenhänge</b>	<b>9</b>
3.1	Input-Output Modellierung	9
3.2	Anwendungen von PANTA RHEI und INFORGE	11
3.3	Ein europäisches Modellszenario	16
3.4	Weitere Anwendungen der Input-Output-Methodik	17
<b>4</b>	<b>Ansatzpunkte &amp; Instrumente zur Erhöhung der Materialproduktivität</b>	<b>18</b>
4.1	Das Ressourceneffizienzforschungsprogramm des Wuppertal Instituts	19
4.2	Die Dematerialisierungsstrategie Japans als Vorbild für Deutschland	23
<b>5</b>	<b>Politik- Konzeptionen zur Materialeffizienz</b>	<b>24</b>
5.1	Programme und Initiativen	24
5.2	Strategien	26
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>27</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Der Markt für Rohstoffe

Die Arbeit liefert einen Überblick zum derzeitigen Stand der Forschung zum Thema Materialeffizienz und deren Bedeutung für Deutschland im Hinblick auf volkswirtschaftliche und ökologische Aspekte.

Die ökologische und ökonomische Bedeutung der Materialeffizienz für Deutschland resultiert zunächst einmal aus der globalen Angebots- und Nachfragesituation für Rohstoffe. Sinkt allgemein das Angebot an Rohstoffen oder steigt die weltweite Nachfrage, wird das nach ökonomischer Theorie für einen Preisanstieg bei Rohstoffen sorgen.

Möglicherweise verschleiert eine hohe Preisvolatilität bei bestimmten Rohstoffen kurzfristig diesen zu erwartenden Trend, doch sollte er zumindest langfristig zu beobachten sein, wenn entsprechende Zeitreihen der Preise geglättet werden.

Falls eine Tendenz zu globalen Preissteigerungen zu erkennen sein sollte, wird dies Konsequenzen für die deutsche Wirtschaft haben. Rohstoffe sind neben Kapital und Arbeit Inputs zur Erzeugung von End-, Zwischen- und Vorprodukten. Steigen nun die Kosten für einen dieser Inputs, hat das direkte Konsequenzen für die Profitabilität der Unternehmen und damit auf die Höhe des Outputs und die Nachfrage nach den anderen Produktionsfaktoren. Im Fokus unseres Interesses stehen Rohmaterialien als Produktionsfaktor. Im Verarbeitenden Gewerbe liegt der Kostenanteil für Materialinputs bei 50%, Arbeitskosten machen hier lediglich 25% aus. Dies zeigt die fundamentale Bedeutung der Rohstoffpreise für die deutsche Industrie. Daraus lässt sich direkt ablesen, dass betriebswirtschaftliche Maßnahmen mit dem Ziel einer Kostenreduktion, welche sich ausschließlich auf die Personalkosten fokussieren, einen bedeutsamen Kostenaspekt außen vor lassen: die Materialkosten. Denn brachliegende Einsparpotentiale an dieser Stelle versprechen einen wesentlich höheren Rationalisierungsgewinn. Daher sollte vermehrt das Augenmerk auf die Materialeffizienz gerichtet werden. Rohstoffpreise stellen für die einzelnen Firmen ein Datum dar und großenteils auch für die Volkswirtschaft Deutschland als Ganzes. Diese Zusammenhänge deuten darauf hin, dass es neben dem Nachhaltigkeitsargument auch aus rein ökonomischer Sichtweise gute Gründe für Bemühungen gibt, die Produktivität der Materialinputs zu steigern, um mit weniger Kosten den gleichen Output erzeugen zu können oder zu gleichen Kosten die Produktion zu steigern. Bevor der Stand der Forschung zur Auswirkung von Materialeffizienzsteigerungen auf den absoluten Materialverbrauch, die Beschäftigung und das Sozialprodukt in Deutschland im einzelnen dargestellt wird, soll vorab etwas über die Marktsituation bei Rohstoffen gesagt werden.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) beschreibt in ihrem jährlichen Bericht zur Rohstoffsituation (BGR 2006), dass die im Spätsommer 2008 im

Rahmen der internationalen Finanzmarktkrise abrupt zu Ende gegangene Hausse bei Rohstoffpreisen nicht mit einer akuten Verknappung des Angebots der Ressourcen zu begründen sei, sondern Veränderungen in der Nachfragestruktur hierfür verantwortlich seien. Für mineralische Rohstoffe sei ein Ende des Preisbooms zu erwarten, wobei dies trotzdem ein weiterhin hohes Preisniveau bedeute. Die extreme Preisvolatilität in den Rohstoffmärkten gehe meistens mit einer Marktstruktur einher, die durch nur wenige Anbieter gekennzeichnet ist. Dies bedinge weiterhin ein Ungleichgewicht zwischen Produktion von Rohstoffen und Nachfrage nach diesen. Da die Nachfrage von der rohstoffproduzierenden Industrie als stabil eingeschätzt wird, unternimmt diese nun erhebliche Investitionen zum Ausbau ihrer Kapazitäten. Bis zur Wirkung dieser Maßnahmen ging die BGR von einer anhaltend angespannten Marktlage und daher hohen Preisen aus. In einer weiteren Studie der BGR werden Reserven, Ressourcen, Produktion und Verbrauch der Energierohstoffe Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran und Thorium analysiert (BGR 2007).

Beim Erdöl wird der Höchststand der Förderung für das Jahr 2020 erwartet. Nach dem sogenannten „Peak Oil“ wird die Fördermenge zurückgehen. Erdgas dagegen sei noch in ausreichender Menge vorhanden, um den antizipierten Bedarf der nächsten Jahrzehnte zu decken. Ebenso ist bei Kernbrennstoffen keine angebotsseitige Verknappung in Sicht. Das größte Potenzial schließlich wird bei den Kohleressourcen verortet, die durch neu- berücksichtigte Vorkommen in China und den GUS-Staaten höher bewertet werden und ohnehin den Bedarf für Jahrzehnte decken können.

Dagegen analysieren Schindler/Zittel/Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (2008) im Bericht „Zukunft der weltweiten Erdölversorgung“ der Energy Watch Group, dass der weltweite Höhepunkt der Ölförderung schon 2006 erreicht wurde und die globale Ölförderung in den nächsten Jahren stetig zurückgehen wird. Hiermit greifen sie auch die Ergebnisse der Internationalen Energieagentur (IEA) an, die weiterhin von einem kontinuierlichen Wachstum der Ölversorgung ausgeht (IEA, 2008).

Da Rohstoffe aber nicht gleichmäßig über die Welt verteilt sind, muss gezielt betrachtet werden, bei welchen Ressourcen Deutschland von Importen abhängig ist und bei welchen die Gewinnung im Inland stattfindet. Ein Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) zu Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen attestiert Deutschland eine enorme Importabhängigkeit bei vielen Rohstoffen (Fronde et al. 2006).

Besonders groß ist die Abhängigkeit bei den Energierohstoffen wie Erdöl und Erdgas. Politische Instabilitäten in einigen Exportländern lassen diese Rohstoffe immer wieder ins Zentrum der Diskussion über Versorgungssicherheit treten. Auch ökonomisch haben sie die größte Bedeutung. Im Jahr 2004 machten Energierohstoffe 71,3% des Wertes der Gesamtrohstoffimporte Deutschlands aus. Braunkohle als Energierohstoff ist im Gegensatz dazu reichlich in Deutschland vorzufinden. Die deutsche Braunkohleförderung ist die größte weltweit, der Anteil von Weichbraunkohlereserven übersteigt 20% des Weltvorkommens.

Auch bei anderen Rohstoffen besteht teils eine massive Importabhängigkeit der deutschen Wirtschaft. Wichtige metallische Rohstoffe wie Eisen- und Kupfererz sind inländisch nicht vorzufinden und müssen auf dem Weltmarkt eingekauft werden. Es gibt aber auch Industrieminerale wie zum Beispiel Kalisalz, die in einer solchen Menge vorkommen, dass sie exportiert werden können. Die Studie von Frondel et al. versucht fußend auf empirischen Tatbeständen Rohstoffe zu identifizieren, die für Deutschland als potenziell kritisch bezüglich ihrer Verfügbarkeit einzuschätzen sind.

Ferner wird thematisiert, ob Rohstoffpreise sinnvoll prognostizierbar sind. Das Resultat an dieser Stelle lautet allerdings, dass die Preise in aller Regel kurzfristig Random Walks folgen, also aufgrund fundamentaler Daten zu Angebot und Nachfrage keine Aussage über die kurz- und mittelfristige Preisentwicklung gemacht werden kann und diese rein zufällig erscheint. Ursache hierfür ist, dass jede Information von den Rohstoffmärkten sofort eingepreist wird. In der Vergangenheit sind die realen Preise der meisten Rohstoffe gefallen. Problematischer ist die hohe Schwankungsbreite der Preise. Häufig wechselten sich Phasen hoher Preise mit Perioden von verhältnismäßig günstigen Preisen ab. Grund könnte ein zyklisches Investitionsverhalten sein. Treiber der jüngst zu Ende gegangenen Hausse ist Chinas hoher Importbedarf an Ressourcen.

Schließlich wird in der Studie darauf abgezielt, den Einfluss der technologischen Entwicklung auf die Nachfrageseite abzuschätzen. Denn Fortschritte beim Recycling und der technischen Effizienz bei der Umwandlung von Rohmaterialien in Produkte können die Nachfragestruktur massiv verändern und sind auch plausibel zu erwarten. Die später zu diskutierenden Strategien der Materialeffizienz haben gerade zum Ziel, den Verbrauch an nicht-erneuerbaren Ressourcen zu reduzieren.

Die globale Rohstoffsituation wird auch in Bleischwitz (2006) bewertet. Eine allgemeine absolute Verknappung an Rohstoffen wird nicht befürchtet. Jedoch ist eine eingeschränkte Reichweite der Verfügbarkeit bei Blei, Kupfer, Zinn und Zink zu erwarten. Bei Metallen und im speziellen seltenen Metallen, die momentan in Schlüsselindustrien nicht substituierbar sind, ist Deutschland auf die Einfuhr aus dem Ausland angewiesen und sieht sich mit den in letzter Zeit beobachtbaren enormen Preissteigerungen konfrontiert. Diese deuten auf eine wirtschaftliche Angebotsverknappung hin. Die Preisanstiege werden zwar durch das für Deutschland günstige Euro-Dollar-Verhältnis abgemildert, doch erhöhte sich der Gesamtpreisindex für Rohstoffe auf US-Dollarbasis von 2000 bis 2005 um mehr als die Hälfte für mineralische Rohstoffe und um mehr als das Doppelte für Energierohstoffe. Aber auch Bleischwitz resümiert, dass bisher kein langfristiger globaler Trend erkennbar ist, der Preiserhöhungen als Folge von absoluten Verknappungen belegen würden. Vielmehr wird ebenfalls der Hunger Chinas nach Rohstoffen als Hauptursache für den jüngsten Preisverlauf ausgemacht. Allerdings findet auch Bleischwitz keine empirischen Belege für die These, dass steigende Wirtschaftsleistungen mit einer Reduktion des Rohstoffverbrauchs einhergingen. Dies zeigt die Notwendigkeit vermehrter Anstrengungen auf dem Gebiet der Materialeffizienz.

## 1.2 Materialeffizienz

Materialeffizienz ist gleichbedeutend mit Materialproduktivität. Es wird das Verhältnis von Output und eingesetzten natürlichen Ressourcen betrachtet. Ziel sollte es sein, entweder die zur Produktion von erwünschten Gütern und Dienstleistungen benötigten Entnahmen aus der Biosphäre zu minimieren, oder mit der gleichen Menge an Materialinput mehr nützlichen Output zu erzeugen. Der Ansatz der Materialeffizienz als Mittel nachhaltigkeitsorientierter Politik setzt direkt bei der Entnahme von Stoffen aus der Natur an und folgt der Logik, dass wenn weniger Stoffe der Biosphäre entnommen werden, auch weniger Emissionen an sie abgegeben werden müssen. Es ist also eine Politik der Vorsorge und nicht der Nachsorge.

Für ein grundlegend neues Produktivitätsverständnis plädiert Bleischwitz (1998). Das herkömmliche Produktivitätsverständnis ist reduziert auf den Produktionsfaktor Arbeit. Produktivitätssteigerungen dieser Art haben eine geringere Beschäftigung und eine höhere Naturentnahme zur Folge. Er stellt die Frage, ob andere Faktoren Träger der Produktivitätsentwicklung werden könnten. Das Ziel eines intakten Naturhaushaltes verlangt die Erwirtschaftung von Wohlstand mit sinkendem Einsatz von Energie und Material. Daher ist eine Innovationsdynamik nötig, die zur Steigerung der Ressourcenproduktivität beiträgt. Dies würde sich für Umwelt und Beschäftigung positiv auswirken. Als Ursache für die bisherige Skepsis gegenüber diesem Ansatz macht er Fehldeutungen der herrschenden Umweltökonomik und falsche dogmengeschichtliche Weichenstellungen aus. Die umweltökonomische Theorie geht von externen Effekten mit begrenztem Schadenspotenzial aus und versucht diese durch Strategien der Preisinternalisierung zu beheben. Stoffströme dagegen werden nicht berücksichtigt.

Was Materialeffizienz leisten kann und welche Bedeutung sie für die deutsche Volkswirtschaft hat, haben zahlreiche Forschungsprojekte untersucht.

Der folgende Überblick über die Forschung zur Materialeffizienz erfolgt durch die Darstellung einer Reihe von Arbeiten, die der Thematik zuzurechnen sind. Die Präsentation der einzelnen Forschungsbeiträge orientiert sich an der nachfolgenden Fragestruktur.

Aus welchem Blickwinkel wurde die Thematik betrachtet, welche Fragen sollten beantwortet werden und wie sahen die Forschungsergebnisse der jeweiligen Studien aus?

Um die vorliegende Auswertung des Standes der Forschung zu systematisieren werden die Arbeiten in vier Bereiche unterteilt.

Zunächst ist eine begriffliche Klärung vorzunehmen und zu beleuchten, wie Materialeffizienz gemessen werden kann. Dazu sind von verschiedenen Instituten und Forschern Indikatoren und Konzepte entwickelt worden, die versuchen, zum einen ein Maß für den physischen Durchsatz in der Wirtschaft zu geben, und zum anderen die

Ressourcenentnahme aus der Natur in ein Verhältnis zum gestifteten Nutzen oder zur ökologischen Nachhaltigkeit zu setzen.

Aufbauend auf den Möglichkeiten der Beobachtung von Materialentnahme, Nachhaltigkeitsbewertung und Nutzenstiftung werden im zweiten Teil die Arbeiten zusammengefasst, die ökologisch-ökonomische Wirkungszusammenhänge erforschen und modellieren.

Im dritten Teil werden Instrumente reflektiert, getestet und bewertet, die der Beeinflussung von Materialeffizienz und damit der ökologischen Nachhaltigkeit dienen sollen.

Im vierten Abschnitt schließlich werden Beiträge erfasst, die sich mit der konkreten Umsetzung von Vorschlägen und Instrumenten zur Verbesserung der Materialeffizienz in der Politik beschäftigen. Dabei geht es sowohl um Unternehmenspolitiken als auch um Maßnahmen des Staates, wie die Steuergesetzgebung oder das Setzen von Rahmenvorschriften.

## **2 Indikatoren zur Messung von Materialeffizienz**

Schmidt-Bleek (2000) legt einen Indikator zur Operationalisierung seines Faktor-10Konzeptes vor. Der Indikator wird MIPS genannt, Material-Input pro ServiceEinheit. Er erfasst die Material- und Energieströme, die zur Herstellung und während des Lebenszyklus eines Produktes anfallen. Es wird der Nutzen, den ein Produkt stiftet, ins Verhältnis zur materiellen Erfordernis der Nutzenstiftung gesetzt. Es wird also die Umweltschädigung als Entnahme aus der Umwelt betrachtet und nicht in Form von Emissionen an das Ökosystem. Der Materialinput wird in physischen Einheiten gemessen. Die Inputs werden weiter in fünf Kategorien unterteilt, die nicht gegeneinander aufgerechnet werden können: Abiotisches Material, Biotisches Material, Bodenbewegung in der Land- und Forstwirtschaft, Wasser und Luft. Die Trennung der Kategorien wird unter anderem damit begründet, dass die Inputs sehr unterschiedlich sind und beispielsweise Effizienzfortschritte nicht einfach durch die Vermeidung von Wasserverschwendung gemacht werden können ohne Bemühungen bei den anderen Inputs. Wenn vom Materialaufwand das ökologische Eigengewicht des betrachteten Produktes abgezogen wird, dann kommt es zum ökologischen Rucksack, der misst wieviel Material zur Herstellung des Produktes entnommen wurde, ohne wirtschaftlich genutzt zu werden. Dies sind also die Ressourcen, die bei Herstellung, Gebrauch und Entsorgung zusätzlich benötigt werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt aufgeschlüsselt nach verschiedenen Energieträgern beispielhaft die Material-Input-Faktoren für die Stromerzeugung in Deutschland.

Tab. 1: Material-Input-Faktoren für die Stromerzeugung

Strom aus	Abiotische Rohstoffe [t/MWh]	Biotische Rohstoffe [t/MWh]	Bodenbewegung [t/MWh]	Wasser [t/MWh]	Luft [t/MWh]
Kernenergie	0,31	-	-	79,5	0,005
Braunkohle	14	-	-	88,2	1,13
heimische Steinkohle	0,77	-	-	80,3	0,81
Erdgas	0,32	-	-	79,4	0,847
Laufwasser	0,13	-	-	0,1	0,005

Quelle: Ritthoff / Rohn / Liedtke 2002, S. 16

MIPS und das Konzept des ökologischen Rucksacks stellen die Betrachtung eines einzelnen Gutes in den Mittelpunkt. Es ist aber auch möglich den Materialbedarf einer ganzen Volkswirtschaft zu messen. Werden nur die ersten drei der oben aufgelisteten Kategorien des Materialinputs für die Produktion eines gesamten Landes zusammengefasst, ergeben sie die Total Material Requirements (TMR), den globalen Materialaufwand. Die problematischeren Kategorien Luft und Wasser werden außen vor gelassen. Ihre spezifische Nutzung oder Entnahme ist teilweise schwer zu erfassen und zuzurechnen. TMR gibt die Rohstoffentnahme im Inland, die physische Menge der Importe und die damit verbundenen Naturentnahmen an. TMR misst somit auch alle für die Produktion notwendigen Entnahmen aus der Natur, die zusätzlich zum ökologischen Eigengewicht der Endproduktion anfallen, während der vom Statistischen Bundesamt erhobene direkte Materialinput (DMI) nur das Eigengewicht der Produktion wiedergibt.

Ein weiteres Maß ist der ökologische Fußabdruck, bei dem die Fläche von Land berechnet wird, die für die Erzeugung von Rohstoffen notwendig ist, die ein Land für seinen momentan herrschenden Lebensstil in Anspruch nimmt. Weltweit wird die zur Verfügung stehende Fläche laut Global Footprint Network um ca. 23% überschritten.

Systematisch werden Daten vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie und vom Sustainable Europe Research Institute (SERI) gesammelt. Beide Einrichtungen benutzen physische Accounting-Methoden, die z.B. das MIPS Konzept von der Produktebene auf Regionen oder Länder übertragen. Ihre Datenbanken erlauben die Berechnung verschiedenster Umwelt- und Nachhaltigkeitsindikatoren.

Neben Accountingsystemen für Landnutzung und Energieflüsse ist vor allem die Stoffstromanalyse „Material flow accounting and analysis“ (MFA) wichtig. Sie misst die Materialentnahme aus der Natur und den Ausstoß zurück in die Biosphäre.

Die SERI-Datenbank zur Ressourcenentnahme enthält Daten für beinahe 200 Länder und 270 Arten von Ressourcen für die Jahre 1980 bis 2005. Laut SERI wuchs die Materialextraktion innerhalb der letzten 25 Jahre von 40 Milliarden Tonnen p.a. auf 58 Milliarden Tonnen p.a. an und stellt somit eine absolute Erhöhung von weltweit ungefähr 45% dar. Die Pro-Kopf-Entnahme blieb allerdings sehr stabil bei 9 Tonnen im Durchschnitt. Die SERI-Datenbank ist frei zugänglich und ermöglicht eine Visualisierung von vielen Indikatoren in Form von Weltkarten.

Das Wuppertal Institut stellt Daten für Deutschland zur Verfügung und beteiligt sich am Netzwerk ConAccount. Das Netzwerk verbindet Institutionen, die MFA nutzen, und will dazu beitragen, die Verwendung in Statistiken und Politik zu fördern, sowie für die Weiterentwicklung der MFA-Methodologie eine Basis und einen Rahmen bereitzustellen.

Eine gute Übersicht zur Entwicklung von Stoffstrom-Indikatoren im deutsch-japanischen Vergleich liefert Bahn-Walowiak et al. (2007). Es werden die verschiedenen Anwendungsebenen der MFA-Methodologie geschildert, vom Makro-Level über die Meso-Ebene, wie Industrien oder Sektoren bis hin zu prozessbezogenen Materialflüssen oder produktorientierten Betrachtungen.

Einen aktuellen Überblick zur Begriffsbestimmung und Definition von Kennzahlen zum Rohstoffverbrauch gibt ein Forschungsbericht des Umweltbundesamtes (Schütz/Bringezu 2008).

### **3 Modellierung ökologisch-ökonomischer Zusammenhänge**

#### **3.1 Input-Output-Modellierung**

Explizite Modellierungen von ökonomisch-ökologischen Wirkungszusammenhängen auf gesamtwirtschaftlicher Ebene werden von der Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) vorgenommen.

Tief disaggregierte Input-Output-Modelle liefern Aufschluss über die zu erwartende Entwicklung von ökonomischen und ökologischen Größen. Mit dem Instrumentarium können Sektoren identifiziert werden, die einen besonders hohen Anteil am Materialverbrauch haben und als Ansatzpunkt für Anstrengungen zu Materialeffizienzsteigerungen dienen sollten. Ebenso können verschiedene Politikmaßnahmen simuliert und auf ihre Wirksamkeit überprüft werden.

Kern der Modellierungen ist das INFORGE-Modell (Interindustry Forecasting Germany), ein sektoral tief gegliedertes Prognose- und Simulationsmodell für Deutschland, das seit 1996 regelmäßig aktualisiert wird und in vielen Anwendungen eingesetzt worden ist (vgl. z. B. Lichtblau/Meyer/Ewerhart 1996; Meyer/Ewerhart 2001; Lutz et al. 2002, Distelkamp et al. 2003, Ahlert 2006, Meyer/Wolter 2007, Meyer 2008). Die aktuelle Version basiert auf der neuen „Allgemeinen Systematik der

Wirtschaftszweige in den Europäischen Gemeinschaften“ (NACE-Gliederung, WZ 2003) der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes.

Die besondere Leistungsfähigkeit des Modells INFORGE 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 der 59 Sektoren der Volkswirtschaft sehr detailliert modelliert ist 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, die Umverteilungstätigkeit des Staates sowie die Einkommensverwendung der Privaten Haushalte für die verschiedenen Güter und Dienstleistungen. Der disaggregierte Aufbau des Modells INFORGE ist in das vollständig endogenisierte Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen eingebettet. Damit ist insbesondere auch die Umverteilung der Einkommen durch den Staat endogen abgebildet.

INFORGE ist ein ökonometrisches Input-Output-Modell, das als evolutorisches Modell bezeichnet werden kann. In den Verhaltensgleichungen werden Entscheidungsroutrinen modelliert, die nicht explizit aus Optimierungsverhalten der Agenten abgeleitet sind, sondern beschränkte Rationalität zum Hintergrund haben. Die Herstellungspreise sind das Ergebnis einer Aufschlagskalkulation der Unternehmen. Die Zeit ist im Modell historisch und unumkehrbar. Die Kapitalstockfortschreibung generiert Pfadabhängigkeit.

Dem Input-Output-Ansatz wird gemeinhin eine nachfrageorientierte Modellierung zugesprochen. Dies trifft auf INFORGE allerdings nicht zu. Es ist zwar richtig, dass die Nachfrage in INFORGE 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 Preissetzungshypothese bestimmt sind. Der Unterschied zu den allgemeinen Gleichgewichtsmodellen, in denen ein Konkurrenzmarkt modelliert wird, liegt in diesem Punkt 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.

Der ökonomische Teil wird durch Umwelt-Module ergänzt, wodurch Abschätzungen zu Energieverbräuchen, Luftschadstoffemissionen oder Flächenverbrauch möglich werden. Dieses umweltökonomische Gesamtmodell wird PANTA RHEI genannt und enthält unter anderem ein tiefgegliedertes Energie- und Luftschadstoffmodell mit dem Energieeinsatz und den Emissionen der wesentlichen Luftschadstoffe für die 59 Sektoren und die privaten Haushalte differenziert nach 29 Energieträgern sowie ein

Materialinputmodell. Der Material-Input-Teil berechnet die Entnahme von Biomasse, metallischen Mineralen, nicht-metallischen Mineralen und fossilen Brennstoffen wie Öl, Erdgas und Kohle in Deutschland und berücksichtigt die importierten Materialien, die in anderen Ländern der Natur entnommen worden sind.

PANTA RHEI wird in etlichen Studien benutzt, um die Effektivität von Politikinstrumenten zu beurteilen, und hat sich nach Frohn et al. (1998) als besonders geeignet für die Abschätzung umweltpolitischer Maßnahmen erwiesen.

In Frohn et al. (2003) wurden initiiert vom Umweltbundesamt das Modell PANTA RHEI und ein disaggregiertes makroökonomisches Modell des RWI-Essen parallel verwendet, was die Zuverlässigkeit der Prognosen erhöht hat und neuralgische Punkte in der Modellierung aufzeigen konnte. Beide Modelle wurden um die Umweltbereiche Wasser, Klima, Luft und Boden erweitert und dann zur Simulation von Ökosteuer, Flächensteuer, Flächenangebots-Beschränkung und CO<sub>2</sub>-Steuer verwendet. Die Ergebnisse bestätigten sich in der Tendenz gegenseitig und konnten aufgrund der Modellstruktur über die makroökonomischen Variablen hinaus Einsichten über sektorale Veränderungen geben.

### **3.2 Anwendungen von PANTA RHEI und INFORGE**

Eine Studie von Meyer und Lutz (2002) untersucht mit PANTA RHEI einzelwirtschaftlich kostenneutrale Dematerialisierungsbemühungen. Die Berechnungen zeigen, dass in den neunziger Jahren im Vergleich zu den Achtzigern der Materialeinsatz durch vermehrte ökoefiziente Dienstleistungen um 10% gesunken ist. Weiter konnte eine positive Wirkung auf das BIP und die Lohnsumme festgestellt werden sowie eine minimale Beschäftigungssteigerung.

In Fischer et al. (2004) wird die Frage gestellt, welche gesamtwirtschaftlichen Effekte von einzelwirtschaftlichen Materialeinsparungen aus Rentabilitätsgründen zu erwarten sind und unter welchen Bedingungen daraus eine höhere Beschäftigung resultiert. Es gäbe bei der industriellen Wertschöpfung einen Trend zur „rentablen Dematerialisierung“, wie die Autoren konstatieren. Die Unternehmensberatung Arthur D. Little GmbH senkt bei den von ihr beratenen Unternehmen die Materialdurchsatzkosten mittels „Zero Loss Management“ und „Design-to-Cost“ regelmäßig um 20%. Beim „Zero Loss Management“ werden Material- und Energieverluste in der Produktion um 5% reduziert, und das „Design-to-Cost“ ermöglicht Einsparungen von bis zu 15% der Herstellkosten im Produktlebenszyklus durch ein Produktdesign, das im Voraus im Life Cycle des Produktes anfallende Kosten minimiert. Die Aufwendungen für die Einsparungen amortisieren in der Regel binnen eines Jahres. Auf Basis der Annahme, dass Materialeffizienzsteigerungen im Umfang von 20% im Verarbeitenden Gewerbe und der Öffentlichen Verwaltung realisierbar sind, werden drei Szenarien mittels INFORGE simuliert, wobei sich die Materialeffizienzsteigerungen als Materialkostensenkungen zeigen. Konservative wird

eine 20%-ige Reduktion der Materialkosten angenommen und nicht, wie empirisch meist festzustellen, eine 20%-ige Reduktion der gesamten Herstellkosten.

Verglichen werden die Dematerialisierungsszenarien mit einem Referenzszenario ohne Materialeinsparungen. Betrachtet wird der Zeitraum von 2004 bis 2015. Im ersten Szenario werden imperfekte Märkte angenommen, was bedeutet, dass von einer wie bisher praktizierten Lohn- und Preisbildung in Deutschland ausgegangen wird. Durch die Ressourcenproduktivitätserhöhung nimmt das reale BIP im Vergleich zur Basisprognose um 10% zu, die Beschäftigung sinkt allerdings um fast eine halbe Million. Szenario 2 geht von einem intensivierten Lohnwettbewerb aus, der verhindert, dass sich die Produktivitätssteigerungen in höhere Löhne umsetzen. Die Steigerung des Bruttoinlandsproduktes ist annähernd so hoch wie in Szenario 1, die Beschäftigung erhöht sich nun aber um 760 000 verglichen mit der Referenzprognose. Das dritte Szenario unterstellt einen verschärften Preiswettbewerb, der die Materialkostenreduktionen voll an die Kunden weitergibt, Lohnbildung geschieht wieder wie im ersten Fall. Resultat ist ein um 13% gewachsenes BIP, aber ein Beschäftigungsrückgang in Höhe von 300 000 aufgrund des starken Reallohnanstieges. Die Reaktion des Staatsbudgets hängt in allen drei Fällen von der Lohnbildung ab. Je weniger stark die Löhne ansteigen, umso geringer die Belastung der Sozialversicherungen durch mehr Arbeitslosigkeit, umso positiver der Finanzierungssaldo des Staates. Die Verfasser der Studie folgern, dass eine erfolgreiche Dematerialisierung mit positiven Effekten für Wachstum, Beschäftigung und Staatshaushaltskonsolidierung entscheidend von der konkreten Ausgestaltung abhängt und Maßnahmen der Lohnmoderation bedarf.

Die Aachener Stiftung Kathy Beys stellte im Jahr 2005 die Ergebnisse eines Forschungsprogramms über die volkswirtschaftlichen Effekte von Verbesserungen der Ressourcenproduktivität in Deutschland vor. Untersucht wurden die Wirkungen eines möglichen Informations- und Beratungsprogramms im Verarbeitenden Gewerbe und im Öffentlichen Dienst, welches einzelbetriebliche Potenziale der Materialeinsparung durch den Abbau von Hemmnissen und Maßnahmen wie „Design-to-Cost“ und „Zero Loss Management“ besser auszuschöpfen hilft. Mithilfe einer solchen Kommunikationsoffensive sollte es nach Einschätzung der Unternehmensberatung Arthur D. Little möglich sein, 20% der eingesetzten Materialien zu reduzieren. Diese Materialeffizienzsteigerungsvariante wird als Aachener Szenario bezeichnet. Untersucht wurden desweiteren Anstrengungen dieses Aachener Szenarios, eine 20%-ige Ressourcenproduktivitätserhöhung durch ein modifiziertes Mehrwertsteuersystem oder eine Materialinputsteuer zu flankieren. Die folgenden Beiträge sind im Rahmen des Projektes „Ressourcenproduktivität als Chance – Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland“ entstanden.

Behrens et al. diskutieren in der Aachener Stiftung Kathy Beys (Hg.) (2005) eine Materialinputsteuer als ökonomischen Anreizmechanismus, um die Materialentnahme aus der Umwelt zu reduzieren. Besteuert werden sollen alle Stoffströme, die in den „industriellen Metabolismus der Ökonomie hineingehen“. Die Materialinputs stellen

dann nicht nur einen Umweltbelastungsindikator dar, sondern dienen auch als Bemessungsgrundlage der spezifischen Besteuerung. Eine monetäre Belastung des Produktionsfaktors Material sollte Entlastungen des Inputfaktors Arbeit gestatten und damit die Beschäftigung erhöhen.

Die Einführung einer Ressourcensteuer wurde mit PANTA RHEI von der GWS simuliert. Distelkamp/Meyer/Wolter (2005a) versuchen zu beantworten, ob eine Politik der Ressourceneffizienzsteigerung mittels Materialinputsteuer in der Lage ist, eine nachhaltige Konsolidierung des Staatsetats, eine Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und Beschäftigungszuwächse zu befördern.

Die Autoren diagnostizieren, dass das deutsche System an einer zu hohen Belastung des Faktors Arbeit mit Sozialversicherungsabgaben krankt. Die Lohnkosten für Unternehmen sind doppelt so hoch wie die Nettolöhne und lassen Arbeitskraft in großem Umfang ungenutzt. Hierunter haben auch die Staatseinnahmen zu leiden.

Auch in puncto Nachhaltigkeit bestehen Defizite. Die Rohstoffproduktivität im Materialbereich reicht bisher nicht aus, um Wirtschaftswachstum und den Bedarf an nicht-energetischen Ressourcen zu entkoppeln. Die Entkoppelung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Wachstum ist zu einem guten Teil dem Ende der Braunkohleförderung in Ostdeutschland zu verdanken. Das ursprüngliche Aachener Szenario vermochte in den Modellrechnungen zwar äußerst günstig auf die ökonomischen Variablen einzuwirken, aber der Materialverbrauch blieb durch das gesteigerte Wachstum nahezu konstant.

Wird eine Materialinputsteuer in die Modellkalkulationen mit einbezogen, ergibt sich im Hinblick auf die ökologische Zielvariable ein anderes Bild. Die Ressourcenproduktivität wird gesteigert und der absolute Ressourcenverbrauch reduziert. Wobei die Ressourcen einsparende Wirkung geringer als theoretisch erwartet ist. Dies liegt daran, dass der Einfluss von Preissignalen im Bereich der Materialinputs im Beobachtungszeitraum, der in der Studie bereits im Jahr 2000 endet, häufig schwach gewesen ist, da sich Zeiten extremer Preisanstiege mit Phasen sinkender Rohstoffkosten abwechselten und die Rohstoffpreise real sogar leicht gefallen sind. Unternehmen zögern somit sehr lange, um aufwändig Ressourceneinsparungen zu bewerkstelligen. Aus diesem Grunde sind die geschätzten Preiselastizitäten sehr gering. Im Modell wird die Einführung der Materialinputsteuer durch eine im Gegenzug gesenkte Einkommenssteuer kompensiert. Die Wirkungen der Ressourcensteuer auf die makroökonomischen Variablen sind gering. Aber in Kombination mit dem Aachener Szenario ergeben sich positive Effekte für die Konsolidierung des Staatshaushaltes, den Abbau der Arbeitslosigkeit und die globale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen.

Alternativ zur Einführung einer Materialinputsteuer diskutieren Diestelkamp/Meyer/Wolter (2005b) die Wachstums- und Beschäftigungswirkungen eines veränderten Mehrwertsteuersystems. Die Veränderung des Mehrwertsteuersystems soll aufkommensneutral sein. Arbeit und Dienstleistungen

werden entlastet, Waren entsprechend belastet, da ihre Herstellung natürliche Ressourcen beansprucht. Das Untersuchungsszenario nimmt an, dass der Mehrwertsteuersatz auf Dienstleistungen im Jahr 2005 halbiert und 2010 gänzlich abgeschafft wird. Die staatlichen Einnahmeausfälle werden durch eine kompensierende Belastung von materiellen Gütern aufgefangen, die Mehrwertsteuersätze für normale Waren steigen um 3 Prozentpunkte in der ersten bzw. um 6 Prozentpunkte in der zweiten Erhöhungsstufe. Ein erfreulicher Nebeneffekt könnte hier auch die Verringerung von Schwarzarbeit sein, die aber im Modell nicht quantifiziert werden kann, da keine verlässlichen statistischen Daten vorliegen. Als Ergebnis der Simulationsstudie mit dem Modell PANTA RHEI ist eine Veränderung der Endverbraucherpreise festzustellen. Die Preise für Dienstleistungen fallen um 13,5%, die Preise für Waren und Ressourcen steigen dagegen um durchschnittlich 4% an. Die Beschaffungspreise für Unternehmen sind nicht betroffen, da diese vorsteuerabzugsberechtigt sind und ein erhöhter Mehrwertsteuersatz für sie nur einen durchlaufenden Posten darstellt. Die Preisverschiebungen führen zu einer gütermäßig neu zusammengesetzten Nachfrage der Verbraucher, die ihrerseits Veränderungen in der volkswirtschaftlichen Produktionsstruktur induziert. Gewinner ist der Dienstleistungssektor, im Besonderen der Handel und der Bereich Verkehr und Nachrichtenübermittlung. Verlierer dieser Entwicklung wären in erster Linie das Baugewerbe, die Energie- und Wasserversorgung, das Verarbeitende Gewerbe und auch die Landwirtschaft. Unter dem Strich steigt die Anzahl der Beschäftigten um 150 000. Die bevorteilten Wirtschaftsbereiche können den Verlust von Jobs in den Sektoren mit Produktionsrückgang kompensieren und schaffen noch ein zusätzliches Plus an Arbeitsplätzen. Dies wird durch eine im Verhältnis zum Produzierenden Gewerbe niedrigere Arbeitsproduktivität im Dienstleistungssektor möglich. Es werden also mehr Beschäftigte benötigt um dieselbe Wertschöpfung zu erzeugen. Das BIP wird kaum beeinflusst und die Ressourcenverwendung sinkt leicht um 1%.

Die Bedeutung der privaten Endnachfrage für die Wirtschaftsstruktur und damit den Materialverbrauch wurde in der gerade vorgestellten Studie hervorgehoben. Natürlich ist auch die Nachfrage der 59 Produktionsbereiche der Volkswirtschaft von Bedeutung. Soll eine Strategie der Dematerialisierung maximal effizient sein, müssen Maßnahmen dort ansetzen, wo sie den größten Hebeleffekt in Bezug auf Materialeinsparungen haben. Dazu müssen die Bereiche identifiziert werden, in denen mit verhältnismäßig wenig Aufwand viel erreicht werden kann. In Distelkamp/Meyer/Wolter (2005c) wird mit Hilfe einer Matrix der Materialinputs, die aus Daten des Wuppertal Instituts für das Jahr 2000 besteht, die Endnachfrage der privaten Haushalte für alle 43 Verwendungszwecke nacheinander um eine Milliarde abgesenkt. So kann isoliert werden, welche Reduktion wie viel Auswirkung auf den Total Material Requirement (TMR) hat. In der Realität würde nicht, wie bisher in der Modellierung des Aachener Szenarios unterstellt, die Ressourcenproduktivität gleichmäßig über alle Wirtschaftssektoren ansteigen, sondern das vom Staat moderierte und von privaten Beratungsfirmen durchgeführte Informationsprogramm würde in den einzelnen Bereichen die Einsparungen unterschiedlich stark ausfallen lassen, beziehungsweise

es könnte dort forciert werden, wo es am erfolgversprechendsten ist. Die Suche nach den Technologien und Gütergruppen, die die stärksten Einsparungen nach Berücksichtigung aller direkten und indirekten Effekte erlauben, ist Gegenstand der Untersuchung. Welche Verwendungszwecke des Konsums der privaten Haushalte haben einen besonders hohen Materialverbrauch bis zu ihrer Bereitstellung? Der Verwendungszweck „Feste Brennstoffe“ erfordert einen hohen Einsatz von Kohle und ist Spitzenreiter der materialintensiven Verwendungszwecke, gefolgt vom Verwendungszweck „Strom“. Reduziert man die Endnachfrage der Privaten Haushalte sukzessive um eine Milliarde Euro, wird durch die Materialeinsparung in den beiden vorher genannten Konsumverwendungszwecken bereits über 60% der Einsparungen realisiert, die auftreten würden, wenn alle Konsumverwendungszwecke um 1 Mrd. € reduziert werden. Die Gesamteinsparung würde in absoluten Zahlen etwa 150 Mio. Tonnen TMR für 2001 bedeuten.

Bei der Frage nach der ressourcenproduktivsten Technologie zeigt sich, dass wenige Inputkoeffizienten in der Produktionsverflechtungsmatrix für eine übergroße Menge an Materialaufwand verantwortlich sind. Die Produktionsverflechtung besteht aus 59 Produktionssektoren. Theoretisch kann jeder Sektor an jeden anderen Vorleistungsinputs liefern. Somit erhält man 59 x 59 Inputkoeffizienten. Eine Senkung der zehn wichtigsten Inputkoeffizienten um 1% macht die Hälfte der Wirkung der Senkung aller 3481 Inputkoeffizienten um 1% aus. Dies zeigt Bereiche auf, in denen es außerordentlich vernünftig wäre Investitionen in Forschung und Entwicklung konzentriert zu unternehmen. Die Autoren konstatieren, dass eine mit der „Rasensmähermethode“ arbeitende Politik als ineffizient abzulehnen sei. Die als für den Ressourcenbedarf identifizierten Schlüsseltechnologien sind diejenigen in den Produktionsbereichen Energieerzeugung, Metallverarbeitung, Bausektor und Nahrungsmittel. Diese ineffizienten Technologien sollten als Ansatzpunkt für einen Dialog mit Technikexperten zur Substitution durch ressourcensparendere Technologien dienen.

Eine breitere Untersuchung des Beratungs- und Informationsprogramms zur Reduktion des Materialaufwands wird in Meyer/Distelkamp/Wolter (2006) unternommen. Die ökonomischen Zielvariablen werden um ökologische Indikatoren ergänzt. Die Wirkungen des Aachener Szenarios werden mit dem umwelt-ökonomischen Model PANTA RHEI simuliert. Erst wird ein Basisszenario ohne Politikveränderungen durchgespielt, welches zeigt, dass es eine große Nachhaltigkeitslücke bei der Nutzung von Land und beim Verbrauch von Ressourcen gibt. Einzig das Ziel der Reduktion von Treibhausgasen, wie im Kyoto-Abkommen vereinbart, kann bei rigoroser Anwendung von eigens dafür geschaffenen Instrumenten bis 2020 erreicht werden. Bei einer alternativen Simulation der Entwicklung bis 2020 wird angenommen, dass das Consulting-Programm zur Materialeffizienzsteigerung 20% beim Ressourcenenput einsparen kann. Unnütze schwere Konstruktionen werden vermieden, unnötige Materialverschwendung in der Produktion minimiert, die Recyclingraten erhöht. Eine Entkoppelung vom BIP-Wachstum und Ressourcenverbrauch wird möglich. Das

Informationsprogramm erhöht das Wirtschaftswachstum und hält die Materialentnahme aus der Natur konstant. Ein starker Rebound-Effekt verhindert eine absolute Abnahme der Materialaufwendungen. Die Erhöhung der Materialproduktivität bleibt allerdings hinter den Zielen des Nachhaltigkeitsrates zurück. Bessere Resultate bezüglich der ökologischen Indikatoren könnten nach Ansicht der Forscher erzielt werden, wenn die Dematerialisierungspolitik verstärkt in den Sektoren ansetzen würde, von denen die größte direkte und indirekte Wirkung auf den Materialverbrauch ausgeht.

### 3.3 Ein europäisches Modellszenario

Wenn es darum geht die Bedeutung der Materialeffizienz für Deutschland abzuschätzen, muss natürlich berücksichtigt werden, dass die Bundesrepublik inzwischen Teil eines größeren politischen Gebildes ist. Dies gilt insbesondere für die Wirtschaft, die Teil des europäischen Binnenmarktes ist. In den bislang vorgestellten Arbeiten wurden die Wirkungen von Ressourceneffizienzprogrammen nur isoliert für Deutschland modelliert und die Welt Daten als exogen angenommen. Giljum et al. (2007) modellieren verschiedene Nachhaltigkeitsszenarien auf europäischer Ebene unter Verwendung des Global Interindustry Forecasting System (GINFORS) der GWS. GINFORS ist ein Weltmodell, in dem Interdependenzen von Ökonomie, Energieeinsatz und Umwelt abgebildet werden. Bestehend aus 54 sektoral disaggregierten Ländern und zwei Weltregionen arbeitet es wie INFORGE und PANTA RHEI entsprechend der INFORUM-Philosophie. Die 25 EU-Mitgliedsstaaten sind explizit mit eigenen Ländermodellen repräsentiert. Zur Simulation werden internationale Zeitreihendaten von 1980 bis 2002 eingesetzt. Die Parameter der Verhaltensgleichungen werden ökonometrisch unter Annahme von beschränkt rationalem Verhalten der ökonomischen Agenten und myopischer Voraussicht geschätzt.

Die zu beantwortende Frage lautet: Wie verändert sich die innereuropäische Ressourcenextraktion unter verschiedenen Politikoptionen. Mit dem Modell können zwar auch ökonomische Variablen abgeschätzt werden, im Zentrum des referierten Forschungspapiers wird aber auf die Vorhersage von Materialentnahmepatternen abgezielt.

Das Referenzszenario extrapoliert die momentanen Trends der wirtschaftlichen Entwicklung ohne zusätzliche politische Interventionen bis 2020. Das Ergebnis sind ein unverändertes Niveau von verwendeter heimischer Materialentnahme in der EU und eine abnehmende Entnahme nicht verwendeter Ressourcen. Das Wirtschaftswachstum entkoppelt sich aber nicht vom Materialbedarf, sondern wird durch die Materialextraktion in anderen Weltregionen gespeist. Das zweite Szenario repräsentiert die in Dokumenten der Europäischen Union vereinbarte Strategie nachhaltiger Politik (6<sup>th</sup> Environmental Action Programme). Das letzte Szenario geht über die von der EU avisierten Ziele hinaus, wobei die gleichen Politikmaßnahmen, nur mit höherer Intensität angenommen werden. Diese Maßnahmen beinhalten Steuern auf CO<sub>2</sub>-Emissionen, Anstrengungen die Metall-Recyclingraten zu erhöhen und ein

Beratungsprogramm zur Erhöhung der Materialeffizienz in der Industrie, vergleichbar mit dem Aachener Szenario.

Die beiden Nachhaltigkeitsszenarien ermöglichen eine leichte absolute Verringerung der heimischen Ressourcenentnahme in allen europäischen Staaten durch eine signifikant gestiegene Ressourcenproduktivität. Ergänzend merken die Autoren an, dass ein guter Policy-Mix eine Win-Win Situation für Umwelt und Wirtschaft schaffen kann. Ressourceneffizienz-Strategien auf der Mikro-Ebene machen die europäischen Unternehmen wettbewerbsfähiger und generieren zusätzliche Arbeitsplätze. Jedoch befördert dies zusätzliches Wachstum, was eventuell zu negativen Rebound-Effekten beim Materialverbrauch führen kann. Daher empfehlen sie flankierende Maßnahmen zur Preisbeeinflussung von Energie und Material.

### **3.4 Weitere Anwendungen der Input-Output-Methodik**

Grundlegender integriert Voßkamp (2002) die Perspektiven von Mikro-, Meso- und Makroökonomie in einem Input-Output-Ansatz. Er zeigt, wie in einem solchen Modellrahmen auch der Ressourcenverbrauch als Inputfaktor neben Kapital und Arbeit angesehen werden kann. Dies geschieht am Beispiel der Wirkungen von Innovationen. Innovationen spielen sich zunächst auf der Unternehmensebene ab und sind damit ein mikroökonomisches Phänomen. Da es eine Vorleistungs- und Investitionsverflechtung zwischen den Unternehmen gibt, erzeugen die Innovationen auf der sektoralen Ebene Preis- und Mengenwirkungen, Spillovers sowie Diffusionsprozesse inner- und interindustriell. Hierdurch wird die Wirtschaftsstruktur verändert, eine Aggregation der sektoralen Geschehnisse führt dann zum gesamtwirtschaftlichen Level. Um ein solches Micro-to-Macro-Modell empirisch einzusetzen wird die Input-Output-Analyse, die Meso- und Makroebene miteinander verbindet, mit semi-artifiziellen Marktsimulationsmodellen gekoppelt, die detaillierte Untersuchungen einzelner Märkte auf Mikroebene zulassen, denn Datensätze sind häufig nur für die Makro- und Mesoebene vorhanden. Diese Art Micro-to-Macro-Modelle sind in der Lage „compositional effects“ zu berücksichtigen und gleichzeitig Aussagen über makroökonomische Variablen zu machen.

Moll/Bringezu/Femia/Hinterberger (2002) analysieren den stofflichen Ressourcenverbrauch einer Volkswirtschaft ebenfalls mit der Input-Output-Methodik. Ausgehend vom Faktum, dass in Industrieländern jährliche Stoffumsätze (ohne Luft und Wasser) von 45 bis 80 Tonnen pro Person festzustellen sind und dies für eine Weltbevölkerung von über 6 Mrd. nicht dauerhaft tragfähig sei, sollen Entkopplungstendenzen von Wachstum und Naturverbrauch der deutschen Volkswirtschaft untersucht und Schlüsse für zukünftige Strategien einer weiteren Entkopplung gezogen werden. Basierend auf der Annahme einer realen makroökonomischen Produktionsfunktion mit den für die Wertschöpfung bestimmenden primären Produktionsfaktoren Arbeit und Natur, wobei der Kapitalstock aus den primären Faktoren geschaffen wird, konzentriert sich das Forschungsinteresse auf den Produktionsfaktor Natur. Der technische

Fortschritt bestimmt das Einsatzverhältnis der beiden primären Faktoren und wird nicht als eigenständiger Faktor betrachtet.

In der Untersuchung sollte herausgefunden werden, welche wirtschaftlichen Aktivitäten in welchem Maße in der Vergangenheit den stofflichen Ressourcenbedarf der deutschen Volkswirtschaft bestimmt haben. War die Triebkraft der Entwicklung die Produktion, der Konsum, die Importe oder die inländische Extraktion?

Es werden drei Komponenten identifiziert, die für einen Strukturwandel in Richtung Entkopplung sorgen könnten: Die technische Ressourceneffizienz der Produktion, die Struktur der Zusammensetzung des Konsums und das Niveau der gesamten Wirtschaftsleistung. In der Input-Output-Analyse der Komponenten für den Zeitraum von 1980 bis 1990 geht es darum die Sektoren, die endnachgefragten Güter und Kategorien des Konsums zu finden, die den Trend der Entkopplung verstärkt bzw. behindert haben. Als Indikator der Ressourcenentnahme dient der TMR (Total Material Requirement), der die abhängige Variable der Untersuchungen darstellt. Mittels der Technik der Dekomposition werden die ökonomischen Variablen ermittelt, die am meisten zur Veränderung des totalen Materialerfordernisses beitragen.

Ressourcenverbrauchssteigernd wirkte hauptsächlich die gestiegene letzte Verwendung folgender Gütergruppen: NE-Metalle und NE-Metallhalbezeug, Straßenfahrzeuge und Elektrizität, Dampf, Warmwasser. Ressourcenverbrauchsschonend wirkte dagegen die reduzierte letzte Verwendung der Gütergruppen Kohle, Erzeugnisse des Kohlebergbaus, Eisen und Stahl, Hoch- und Tiefbauleistungen sowie Bergbauerzeugnisse.

Der private Verbrauch, die Ausrüstungsinvestitionen und der Export sorgten für einen Anstieg der Gesamtendnachfrage, die ihrerseits ressourcenverbrauchssteigernd wirkte. Die Veränderungen intersektoraler Verflechtungen trugen zu einer Erhöhung der Ressourceneffizienz bei, die Effizienz der rohstoffgewinnenden Sektoren nahm allerdings ab.

In Moll und Acosta (2006) werden 10 Produktketten identifiziert und gerankt, die für 2/3 der gesamten deutschen Materialerfordernisse und umweltrelevanten Emissionen verantwortlich sind. Die mit Hilfe einer umweltökonomischen Input-Output-Analyse und Verwendung von NAMEA-Tabellen (volkswirtschaftliche Gesamtrechnungsmatrizen mit Umweltkonten) identifizierten Produktgruppen sind u.a. Bauleistungen, Nahrungsmittel, Kraftfahrzeuge, Metalle und Strom. Da die meiste Umweltbelastung sowohl mit Hinblick auf Naturentnahme als auch in Bezug auf Emissionen auf das Konto dieser Produktgruppen geht, sollte sich eine integrierte Produktpolitik zunächst auf diese Produktketten richten.

## **4 Ansatzpunkte & Instrumente zur Erhöhung der Materialproduktivität**

Einige Instrumente zur Erhöhung der Ressourceneffizienz sind schon im Rahmen der angeführten Input-Output-Modellierungen analysiert worden, allen voran der Ansatz, mit einem Informations- und Kommunikationsprogramm auf betrieblicher Ebene Materialproduktivitätspotenziale zu erschließen. Ebenso wurde die Möglichkeit eines direkteren Eingreifens in den Markt mit Instrumenten der Besteuerung diskutiert. Beispiele waren die Modifizierung des Mehrwertsteuersatzes und eine Materialinputsteuer. Die Möglichkeit im Hinblick auf die Effekte der Einführung einer Materialinputsteuer auf internationale Erfahrungen zurückzugreifen ist eingeschränkt, da dieses Instrument bisher in anderen Ländern nur vereinzelt und auf einzelne Materialkategorien beschränkt eingeführt wurde. Zu verweisen ist diesbezüglich auf die „Aggregates Levy“ in Großbritannien, einer Steuer auf die inländische Gewinnung von Baustoffen, auf die schwedische Steuer auf Kies und Schotter sowie auf die (sehr geringe) dänische Steuer auf Rohmaterialien (vgl. Behrens et al., 2005).

Besonders aber Japan ist Vorreiter auf dem Gebiet der Ressourcenproduktivität und hat eine ganze Reihe von Maßnahmen zur Sicherung der Nachhaltigkeit seines Wirtschaftens implementiert. Deshalb wird im Anschluss an die Darstellung des Forschungsprogramms des Wuppertal Institutes zu Ansätzen der Verbesserung der Ressourcenproduktivität die japanische Dematerialisierungsstrategie als eine Art Benchmark für Deutschland vorgestellt.

### **4.1 Das Ressourceneffizienzforschungsprogramm des Wuppertal Instituts**

Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung hat das Wuppertal Institut sich in einem Projekt mit dem Titel „Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“ mit vier Schwerpunkten der Materialeffizienzdebatte befasst. Ziel des Projektes war die Weiterentwicklung von Informationssystemen, die Identifizierung so genannter Hot Spots, die Erfolgsfaktoren, Hemmnisse oder Potenziale aufzeigen, die Entwicklung von Anreizstrukturen, die einen effizienten Umgang mit Ressourcen befördern, sowie die Abschätzung sektoraler Verbesserungsmöglichkeiten.

Acosta-Fernandez (2007) versucht prioritäre Aktionsfelder für die Steigerung gesamtwirtschaftlicher Ressourcenproduktivität auszumachen. Die Kenngröße hierfür ist die absolute Höhe der direkten und indirekten Auswirkung der jeweiligen Produktion auf den globalen Materialaufwand. Es wird nach den Wirtschaftssektoren mit den größten Einsparpotenzialen gefragt. Hierzu betrachtet der Verfasser die in Deutschland zwischen 1991 und 2000 stattgefundenen Veränderungen bei der verwendeten sektoralen Produktionstechnik und Verschiebungen in der Branchenzusammensetzung. Unterschieden werden muss im Hinblick auf die

gesamtwirtschaftliche Ressourcenproduktivitätserhöhung durch Reduktion des Verbrauchs an Inputs, ob die Branchenzusammensetzung konstant bleibt und sich die Produktionstechnik verbessert, oder ob die Produktionstechnik unverändert bleibt und die Branchenzusammensetzung durch den Aufbau oder Abbau von Kapazitäten variiert. Mittels Input-Output-Analyse wird der Geldwert der für die Konsumnachfrage produzierten Waren ermittelt und mit dem physischen Materialaufwand verknüpft. Aufbauend auf der für die inländisch produzierten Güter ermittelten direkten und indirekten TMR-Intensität wird der Ressourcenaufwand berechnet, den die inländischen Sektoren durch ihre Produktion für die Endnachfrage induzieren, der Ressourcenverbrauchs-Gehalt untergliedert nach Sektoren, die Organisationsstruktur der Materialflüsse ermittelt und der Effekt einer hypothetischen Reduzierung der Produktionsmenge eines Sektors auf den gesamtwirtschaftlichen Ressourcenverbrauch simuliert. Die Aktionsfelder können durch die stufenweise herausgefilterten Kernsektoren, mit Hinblick auf ihre Multiplikatoreigenschaften bezüglich des gesamtwirtschaftlichen Ressourcenaufwandes, bestimmt werden. Die unter diesem Aspekt wichtigsten Sektoren sind „Bauleistungen“, „Nahrungs- und Futtermittel“ sowie „Metalle“ und „Energie“. Eine starke gesamtwirtschaftliche Abhängigkeit des Ressourcenverbrauchs geht von den Bereichen „Kohle und Torf“ sowie „Steine und Erden“ aus. Im Gegensatz zu den erstgenannten Sektoren ist für diese keine Steigerung der Ressourcenproduktivität im Beobachtungszeitraum erkennbar. Daher sollte der Vorleistungsbezug aus diesen beiden Sektoren reduziert werden.

Acosta-Fernandez und Bringezu (2007) untersuchen sektorale Potenziale zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs der deutschen Wirtschaft und ihre Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung. Für ausgewählte Sektoren mit besonders starkem Ressourcenaufwand, die bereits in der vorhergehenden Studie identifiziert worden sind, wird die Ausgangslage der direkten und indirekten Effekte auf den gesamtwirtschaftlichen Ressourcenverbrauch quantifiziert. Darauf basierend wird versucht theoretische Potenziale durch Veränderungen in der angewandten Produktionstechnik in den einzelnen Sektoren und der Zusammensetzung der Sektoren zur Erhöhung der Ressourceneffizienz aufzudecken. Außer dem totalen Materialaufwand, der von diesen Veränderungen beeinflusst wird, werden die Effekte auf die Emissionsseite, Treibhausgase und die ökonomischen Variablen Bruttowertschöpfung und Erwerbstätigkeit berücksichtigt. Die Daten für das totale Materialerfordernis stammen aus der MFA-Datenbank des Wuppertal Instituts; die sektorale wirtschaftliche Verflechtung wird mit Hilfe einer monetären Input-Output-Tabelle analysiert. Für eine gleichbleibende Endnachfragezusammensetzung werden die sektoralen direkten Vorleistungen der 12 ressourcenintensivsten Branchen hypothetisch um 10% reduziert. Ergebnis einer solchen technischen Verbesserung könnte eine 20%-ige Verminderung des Gesamtressourcenverbrauchs der deutschen Wirtschaft sein. Die Bruttowertschöpfung würde leicht ansteigen, positive Wirkungen auf die Erwerbstätigkeit könnten mit einer adäquaten Beschäftigungspolitik erzielt werden. Der Rückgang der Treibhausgase wird

auf 15% geschätzt. Bleibt das Volumen der Endnachfrage konstant, verändert sich aber die Zusammensetzung in der Art, dass 10% der Endnachfrage von den 12 ressourcenintensivsten Bereichen in die anderen Sektoren umgelenkt werden, sind folgende Ergebnisse zu betrachten: Der globale Ressourcenaufwand sinkt um 6%, die Treibhausgas-Emissionen werden um 4% gemindert, die Bruttowertschöpfung bleibt unverändert und eine geringfügige Beschäftigungszunahme könnte erreicht werden. Es wird konstatiert, dass eine Dematerialisierung der Wirtschaft synergetisch mit positiven Effekten für Ressourcen- und Klimaschutz einherginge und Bruttowertschöpfung und Beschäftigung positiv oder neutral beeinflusst würden.

Ein weiterer Forschungsreport (Ritthoff et al. 2007) analysiert die Technologien zur Ressourceneffizienzsteigerung genauer. Es wird nach neuralgischen Punkten innerhalb der Wertschöpfungskette gesucht, an denen durch die Verwendung bestehender oder noch zu entwickelnder Technologien Verbesserungen der Materialeffizienz zu bewerkstelligen wären. Anhand von Beispielen werden „Hot Spots“ entlang der Wertschöpfungskette aufgezeigt, die eine möglichst langreichende Wirkung auf die Kette in puncto Ressourceneffizienz haben. Hier wird die Mikroebene betrachtet, die Einsparungen in der oben angenommenen Größenordnung auf der Mesoebene induzieren kann. Ansatzpunkte werden in sieben Bereichen gesehen. Erstens sollte bei der Auswahl der Rohstoffe sehr genau abgewogen werden, ob Produkte mit hoher Recyclingfähigkeit oder geringem ökologischen Rucksack verwendet werden, da es nicht selten zu einem Trade-Off zwischen verschiedenen Nachhaltigkeitsvariablen kommt. Zweitens sollte es einen gezielten Einsatz neuer maßgeschneiderter Werkstoffe geben. Drittens haben die Fertigungsverfahren einen nicht geringen Einfluss auf die Ressourceneffizienz. Viertens hat die Produktgestaltung Auswirkung auf Lebensdauer und Leistungsfähigkeit und damit auf die Materialbilanz. Für neue Querschnittstechnologien als fünften Punkt kann eine breite Einsetzbarkeit mit großen Chancen verbunden sein, es bestehen aber auch Gefahren von Reboundeffekten. Sechstens bietet der Transfer von Forschung in die betriebliche Praxis etliche ungenutzte Potenziale und der Forschungsoutput im Bereich technischer Ressourceneffizienz könnte durch mehr Gelder auch entsprechend erhöht werden. Siebtens schließlich bestimmt die Konstruktion von Infrastrukturen erheblich über den Ressourcenbedarf bei Produktions-, Siedlungs- und Versorgungsstrukturen und der Bedarf zum Bau und Unterhalt dieser Infrastrukturen ist ebenfalls von Belang.

Die Kernfrage von Kristof et al. (2007) ist: „Welche zentralen Ansatzpunkte für organisatorische und institutionelle Innovationen finden sich im unternehmerischen Handeln, die die Ressourceneffizienz erfolgreich steigern können?“ Die Antwort der Autoren lautet, dass viele Managementtechniken, die für andere Zwecke entwickelt wurden, das Potenzial haben, im Unternehmen und in Wertschöpfungsketten die Ressourceneffizienz zu steigern. Sie identifizieren sieben wichtige Ansatzpunkte, die in der Untersuchung als Stellschrauben bezeichnet werden. Status-Quo-Analysen schaffen Kenntnis über den Ausgangspunkt und wirken handlungsleitend. Datenbasiertes Informationsmanagement liefert den betrieblichen Entscheidern

komprimierte Information über die Umweltauswirkungen von Betriebsprozessen. Eine weitere Stellschraube ist die Zielausrichtung von Unternehmen im Umweltbereich, die, wenn sie über den gesetzlichen Mindeststandards liegt, zusätzliche kostenintensivere gesetzliche Regelungen vermeiden kann. Ebenfalls stellt die Produktbewertung und -entwicklung aus Umweltgesichtspunkten ein wichtiges Feld zur Verbesserung von Produkten hinsichtlich ihrer Ressourceneffizienz dar. Beim Qualitätsmanagement ist von Bedeutung, dass Ressourceneffizienz explizit betrachtet wird und dass wertschöpfungskettenübergreifend optimiert wird. Lernprozesse im und ums Unternehmen spielen eine Rolle, wenn Materialeffizienz strategisch erschlossen und langfristig realisiert werden soll. Die letzte Stellschraube ist die Berücksichtigung von Effizienz beim Input von Ressourcen und Vermeidung von negativen Umweltauswirkungen in integrierten Managementsystemen.

Nachdem Ansatzpunkte der Ressourceneffizienzsteigerung auf der Mikroebene vorgestellt wurden, sollen nun die Ergebnisse der Studie von Bahn-Wolkowiak et al. (2007) zu Anreizinstrumenten auf der Makro- und Mesoebene referiert werden.

Es wird eine Vielzahl von Instrumenten diskutiert, die nicht alle als Instrumente zur Ressourceneffizienzsteigerung konzipiert worden sind. So zum Beispiel fiskalpolitische Maßnahmen wie Steuern, Subventionen oder Steuervergünstigungen, Mengenregelungen wie Emissionshandel, regulatorisch-ordnungsrechtliche Instrumente wie Verordnungen und Kennzeichnungen, Technologie- und Innovationsinstrumente wie Förderinitiativen, Markteinführungsprogramme oder Diffusionsberatung, sowie politische Langfriststrategien auf europäischer oder Bundesebene. Nicht betrachtet werden Verbotsregelungen.

Es kann festgestellt werden, dass ökonomische Instrumente in der Realität häufig unter ihrer eigentlichen Leistungsfähigkeit zurückbleiben, da sie nicht strikt angewendet werden. Regulatorische Maßnahmen dagegen sind nicht selten flexibler als erwartet und bieten Raum für Weiterentwicklungen. Innovationsfördernde und informationsorientierte Instrumente sind mit den beiden erstgenannten Arten von Instrumenten kompatibel. Dies ist von Bedeutung, da Instrumente meistens in einem Policy-Mix wirken und komplexe Wechselwirkungen auftreten können. Ferner werden die Impulsrichtung und -stärke der Instrumente abgeschätzt. Bei fossilen Energieträgern besteht Bedarf an der Erhöhung der Impulsstärke der hinreichend vorhandenen Instrumente. Für Metalle und Baustoffe sollte nach zusätzlichen Instrumenten gesucht werden, um bisherige durch exogene Faktoren hervorgerufene Erfolge bei der Ressourceneffizienz zu steigern. Vermehrt werden Instrumente im Bereich der biotischen Stoffe eingesetzt, die teilweise aber negative nicht-intendierte Folgen hatten: Die Förderung von Biokraftstoffen verdrängte andere umweltfreundliche Alternativen und führte international zu Engpässen in der Nahrungsmittelversorgung. Hier und bei der Lebensmittelerzeugung, für die bislang keine Instrumente zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität vorhanden sind, besteht Nachbesserungsbedarf. Desweiteren sollte die Instrumentendebatte den Bereich der

Industriemetalle berücksichtigen, da dieser mengenmäßig zwar klein, aber von immenser ökonomischer Bedeutung ist.

#### **4.2 Die Dematerialisierungsstrategie Japans als Vorbild für Deutschland**

Das Wuppertal Institut hat in einem Forschungsprogramm untersucht, welche Ressourceneffizienzpolitiken und -instrumente Japan im Rahmen seiner 3R-Strategie (Reduce, Reuse, Recycle) verwendet und welche Möglichkeiten für eine Implementation in Deutschland bestehen.

Deutschland und Japan sind strukturell vergleichbare Länder in Bezug auf Exportorientierung der Wirtschaft, Importabhängigkeit von Ressourcen und Beheimatung von Hochtechnologie-Industrien. Von besonderem Interesse sind die breitangelegte 3R-Strategie und die japanischen Governance-Strukturen im Bereich Umweltpolitik.

Bahn-Walkowiak et al. (2008) schildern zunächst die Besonderheiten der japanischen Dematerialisierungsstrategie. Japans Vision einer Recycling-orientierten Gesellschaft wird konsequent durch legislative Maßnahmen und konzertierte Politiken der Ministerien für Umwelt und Wirtschaft befördert. Das Fundament ist das Rahmengesetz zum Aufbau einer Materialkreislaufgesellschaft aus dem Jahr 2000. Das japanische Umweltministerium hat 2003 einen grundlegenden Plan mit quantitativen Zielen zur Erreichung der sogenannten „Sound Material-Cycle Society“ veröffentlicht. Beim Materialinput soll die Ressourcenproduktivität – gemessen als Bruttoinlandsprodukt über direktem Materialverbrauch – bis 2010 um 40% gesteigert werden. Das Referenzjahr ist 2000. Die Recyclingrate soll ebenfalls um 40% gesteigert werden, wobei der Anteil des recycelten Inputs am direkten Gesamtmaterialinput dann bei 14% liegen würde. Das Reduktionsziel für die Menge an nicht wiederverwendbarem Müll liegt bei 50%.

Im japanischen Gesetzgebungsprozess werden zumeist im Vorfeld Entwürfe mit institutionalisierten Beratergremien abgestimmt, um Entscheidungen auf einen größtmöglichen gesellschaftlichen Konsens zu stellen. Im Umweltbereich sind vor allem drei Gremien relevant. Der „Central Environment Council“, das „Environmental Committee of the Industrial Structure Council“, sowie das „Advisory Committee for Natural Resources and Energy. Sie alle sind unabhängig und bestehen aus akademischen und nicht-akademischen Experten. Die Einführung neuer Umweltgesetze verläuft so sehr reibungslos und mit einer starken Orientierung an den Bedürfnissen der Wirtschaft. Die Autoren kritisieren allerdings die Konzentration von Einfluss bei wenigen Fachleuten und die mangelnde Beteiligung von Stakeholdern.

Im Kern werden vier Politikinstrumente hervorgehoben. Im „Top Runner“-Programm setzt die Regierung das energieeffizienteste Produkt in einer Sparte als Standard für alle anderen Produkte dieser Kategorie fest. In einer bestimmten Zeitspanne müssen dann alle Produkte diesen Benchmark erfüllen. Das Programm existiert bereits für 21 Produktkategorien. Der Vorteil gegenüber konventionellen Zertifizierungen ist eine

dynamische Anpassung an den Stand der Technik und die Förderung kontinuierlicher Innovationen. Das „Eco Town“-Programm gibt finanzielle Anreize für Städte, Gemeinden und Siedlungen, ein integriertes Umwelt- und Ressourcenmanagement zu betreiben und zusammen mit der ansässigen Industrie eine möglichst weitgehende Reduktion des nicht-wiederverwendbaren Mülls zu erreichen.

Besonders erfolgreich ist die Politik der grünen öffentlichen Beschaffung. Die Richtlinien der Berücksichtigung von ökologischen Qualitätsmerkmalen sind für alle öffentlichen Behörden bindend, wobei der Umweltminister entsprechende Maßnahmen bei Nichteinhaltung einfordern kann.

Die Stromfluss-Analyse MFA sorgt für eine permanente Evaluation der 3R-Strategie auf nationaler Ebene und wird fortwährend weiterentwickelt.

Konsequenz der nähere Untersuchung der japanischen Umweltpolitik ist die Forderung nach verstärkter Kooperation zwischen Deutschland und Japan, um beispielsweise Indikatoren zu harmonisieren oder technische Benchmarks abzugleichen. Deutschland könnte Elemente der japanischen Strategie übernehmen und beobachtbare Fehler von vornherein vermeiden.

## **5 Politik- Konzeptionen zur Materialeffizienz**

### **5.1 Programme und Initiativen**

In Kristof et al. (2006) wird Ressourceneffizienz als gemeinsame Aufgabe von Wirtschaft, Gesellschaft und Politik gesehen.

Die Steigerung der Ressourceneffizienz kann als kommendes Topthema in der Politik ausgemacht werden. Deutschland hat eine Nachhaltigkeitsstrategie formuliert, die die Rohstoffproduktivität bis 2020 im Verhältnis zu 1994 verdoppeln will. Exemplarisch werden erfolgreiche Initiativen aus Wirtschaft und Gesellschaft vorgestellt, wie das Modell Hohenlohe. Ein Unternehmensnetzwerk aus 200 Unternehmen, welches Selbsthilfe zur Verwirklichung von Ideen zu betrieblichem Umweltschutz und nachhaltigem Wirtschaften bietet. Die Startphase wurde aus öffentlichen Geldern finanziert, inzwischen ist es finanziell selbsttragend.

Einige große Unternehmen sind Vorreiter einer auf Ressourceneffizienz ausgerichteten Produktion. Canon hat als Unternehmensziel die Verdoppelung der Umwelteffizienz bis 2010, Panasonic verfolgt einen Factor X Ansatz, der aus dem Quotienten „Improvement of Quality of Life“ im Verhältnis zu „Minimizing Environmental Impact“ besteht. Bei Sony werden die Produkte einer aufwendigen Life Cycle Beurteilung unterzogen. In Deutschland betreibt beispielsweise BASF einen produktintegrierten Umweltschutz (vgl. Mersiowsky (2005) und Kicherer (2005)).

Ein in ADL /Wuppertal Institut/ ISI (2005) und Wuppertal Institut/ ADL (2005) entworfenes Programm zur Materialeffizienzsteigerung in kleinen und

mittelständischen Unternehmen (KMU) ist inzwischen in konkrete Politik umgesetzt worden.

Aktivitäten in anderen Ländern wurden ausgewertet und haben gezeigt, dass die Programme aus einem Mix verschiedener Maßnahmen bestanden. Grundideen für das Materialeffizienzprogramm waren, dass ein Agenda-Setting bei verschiedenen Zielgruppen für das Thema erforderlich ist, dass Beratungsleistungen für technische und nicht-technische Lösungen Teil der Umsetzung sein sollten und ein quantitatives Ziel formuliert werden sollte. Schlussfolgerungen für KMU in Deutschland sind die spezifische Unterstützung auf die jeweiligen Erfordernisse zuzuschneiden, Hemmnisse für Diffusionsprozesse zu beseitigen und eine Institution zu schaffen, welche die Umsetzung des Programms betreibt. Letzteres ist mit der Einrichtung der deutschen Materialeffizienzagentur geschehen. Weitere Bausteine des realisierten Programmes sind ein Beratungspool, ein Materialeffizienz-Förderprogramm und die Ausschreibung eines Materialeffizienzpreises, der innovative Best-Practice-Beispiele für rentable Steigerungen der Materialeffizienz bei KMU mit jeweils 10 000 € auszeichnet (s. auch Kristof und Liedtke (2005) und (2005a)). Alle Maßnahmen werden regelmäßig evaluiert und damit auf den Prüfstand der Effektivität gestellt.

Experten und Praktiker diskutieren in Liedtke und Busch (2005), wie Materialeffizienz zum Erfolgsfaktor für innovative Produkte und Wettbewerbsfähigkeit werden kann.

Im ersten Teil werden ökologisch-ökonomische Effizienz-Steigerungen unter dem Aspekt einer normativen Handlungsstrategie betrachtet. Verschiedene Beiträge argumentieren, dass Materialeffizienz Teil des grundlegenden Managementverständnisses werden müsse, als Instrument zur Erhöhung von Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit dienen könne und auch zentrales Motiv in der Öffentlichen Beschaffung werden müsse. Der zweite Teil beschäftigt sich mit empirischen Erfahrungen von Ökoeffizienz-Konzepten in Unternehmen und liefert eine Bestandsaufnahme der Verbreitung des Materialeffizienz-Gedankens in der Wirtschaft.

Im abschließenden Teil werden Ideen gesammelt, wie Material- und Energieeffizienz in Unternehmen umgesetzt werden können und die Akzeptanz von bestehenden Konzepten erhöht werden kann. Unter anderem wird eine Erweiterung der Energieeffizienz-Klassifizierung von Produkten um weitere Aspekte der Ökoeffizienz skizziert, um Kunden eine Beurteilung der ökologischen Eigenschaften von Produkten und Dienstleistungen zu ermöglichen und damit die Nachfrage nach ökoeffizienten Angeboten zu stimulieren. Dieser Vorschlag wird auch in Dosch (2005) näher beschrieben.

Für die jüngst in Berlin stattgefundene 3. Innovationskonferenz „Faktor X: Eine dritte industrielle Revolution“ wurde von Rohn et al. (2008) ein aktueller Überblick zur Bedeutung der Ressourceneffizienz und erste Ergebnisse zu Ressourceneffizienzpotentialen durch Technologien, Produkte und Strategien zusammengestellt.

## 5.2 Strategien

Eine enge Kooperation zwischen Bundesregierung und dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI), also zwischen Politik und Wirtschaft, findet auch bei der Formulierung einer Rohstoffstrategie für Deutschland statt (BMW 2007). Die Rohstoffversorgung wird dort in erster Linie als privatwirtschaftliche Aufgabe der Unternehmen in Deutschland gesehen. Wichtige Bestandteile sind die Erhöhung der Materialeffizienz und die Erschließung von Substitutionsmöglichkeiten für Rohstoffe.

In einem Memorandum des Bundesumweltministeriums (BMU 2006) zur ökologischen Industriepolitik wird ein „New Deal“ für Umwelt, Wirtschaft und Beschäftigung gefordert. Die Agenda einer ökologischen Industriepolitik soll in eine übergreifende Modernisierungsstrategie für Deutschland und Europa münden. Im Mittelpunkt der Agenda stehen technologische Fragen und Entwicklungen einer globalen Effizienzrevolution. Die Märkte der Zukunft sind nach politischer Einschätzung grün. Der Staat sollte daher Pionier dieser Entwicklung sein und Innovationen mit staatlicher Nachfrage, der Gestaltung eines ökologisch-intelligenten Ordnungsrahmens und ambitionierten Grenzwerten für Umweltschädigungen frühzeitig antreiben. Effizienztechnologien werden als ein Leitmarkt der Zukunft identifiziert. Besonderes Potenzial wird bei der materialeffizienten Konstruktion von Produkten, dem „Green Design“ verortet.

Die Europäische Kommission verfasste im Jahr 2001 das 6. Umweltaktionsprogramm (6<sup>th</sup> Environmental Action Programme) der EU als langfristiges Rahmenwerk der Umweltpolitik mit der wesentlichen Zielsetzung einer Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch. Konkrete Zielwerte und Zeitvorgaben zur Realisierung sollten in thematischen Strategien innerhalb von fünf Jahren folgen (vgl. Schepelmann 2006).

Die Thematische Strategie für die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen wurde Ende 2005 veröffentlicht (EU-Europäische Kommission 2005) und beinhaltet drei Hauptkomponenten zur Entkopplung wirtschaftlichen Wachstums und Umweltschädigung. Erstens soll mehr Wert bei geringerer Ressourcennutzung geschaffen werden, das Ziel der Ressourceneffizienz. Zweitens soll weniger Umweltschädigung je eingesetzter Einheit natürlicher Ressource auftreten, Ökoeffizienz durch sauberere Technologien und nachhaltigere Konsummuster. Und drittens sollen die momentan eingesetzten Ressourcen durch bessere Alternativen ersetzt werden. Desweiteren soll eine lebenszyklusorientierte Betrachtungsweise gewählt werden, um zu verhindern, dass negative Auswirkungen einfach auf andere Ebenen verschoben werden. Die Strategie hat einen Zeitrahmen von 25 Jahren und soll bei der effizienten und kohärenten Integration in alle Politikmaßnahmen und Entscheidungsprozesse eine koordinierende Funktion erfüllen.

Unmittelbar soll die Einrichtung eines Instituts zur Ermittlung ressourcenbezogener Daten umgesetzt werden, die Entwicklung von Fortschrittsindikatoren, die Einbeziehung von Wirtschaftssektoren, um konkrete Maßnahmen umzusetzen, die

Erstellung nationaler Ressourcenmanagementpläne und die Einrichtung eines Internationalen Entkopplungspanels, das sich mit Fragen der Rohstoffgewinnung beschäftigen soll.

Schepelmann et al. (2006) urteilen in einer Einschätzung für das Europäische Parlament, dass die Thematische Strategie, im Gegensatz zu den im Aktionsprogramm geweckten Erwartungen, keine spezifischen Politikmaßnahmen identifiziert oder implementiert, wobei Indikatoren zur Operationalisierung der Entkopplungsstrategie bereits verfügbar sind. Weiter sollte die Thematische Strategie quantitative Ziele zur Verbesserung der Ressourcenproduktivität setzen und klare Zeitvorgaben zur Erreichung dieser vorgeben.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU 2005) sieht in der Thematischen Strategie zu Ressourcen eine gute Basis für eine effizientere und zielgerichtetere Umweltpolitik. Ressourcenpolitik wird als heuristischer Ansatz für effizientere Umweltpolitik betrachtet, als Suchverfahren entlang eines Stofflebenswegs um Belastungen für die Umwelt in einem frühen Stadium zu erkennen und Ansatzpunkte zur Lösung stoffbezogener Umweltprobleme kenntlich zu machen. Die Life CyclePerspektive wird also begrüßt, wobei zunächst eine Konzentration auf wenige besonders wichtige Stoffe empfohlen wird. Priorität hat in den Augen des SRU die Erhöhung von Recyclingprozessen und die Bereitstellung oder Findung adäquater Senken für nicht-recyclebaren Abfall. Die Wirksamkeit einer Dematerialisierungsstrategie als pauschales Instrument der Ressourcenpolitik wird angezweifelt, da Stoffgruppen verschieden sind und Massenflüsse möglicher Schadstoffe im Prozentbereich des gesamten Stoffumsatzes liegen.



## 6 Literatur

- Aachener Stiftung Kathy Beys (Hg.) (2005): Ressourcenproduktivität als Chance – Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland. Norderstedt.
- Acosta-Fernández, J. (2007): Identifikation prioritärer Handlungsfelder für die Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Ressourcenproduktivität in Deutschland. Paper-Reihe des Wuppertal Instituts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“, [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)
- Acosta-Fernández, J. / Bringezu, S. (2007): Sektorale Potenziale zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs der deutschen Wirtschaft und ihre Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung. Paper-Reihe des Wuppertal Instituts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“, [www.ressourcenproduktivitaet.de](http://www.ressourcenproduktivitaet.de)
- ADL [Arthur D. Little GmbH] / Wuppertal Institute / ISI [Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung] (2005): Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in Mittelständischen Unternehmen, Abschlussbericht; [www.materialeffizienz.de](http://www.materialeffizienz.de)
- Ahlert, G. (2006): Hosting the FIFA World Cup Germany 2006 Macroeconomic and Regional Economic Impacts; *Journal of Convention and Event Tourism*, Vol. 8(2), S. 57-77.
- Almon, C. (1991): The INFORUM Approach to Interindustry Modeling; *Economic Systems Research*, Vol. 3, S. 1-7.
- Bahn-Walkowiak, B. / Bleischwitz, R. / Kristof, K. (2007): Ressourceneffizienzsteigerungen durch Anreizinstrumente auf Makro- und Meso-Ebene: Status Quo Analyse, Kritik, Politikempfehlungen. Paper-Reihe des Wuppertal Instituts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“, Wuppertal.
- Bahn-Walkowiak, B. / Bleischwitz, R. / Bringezu, S. / Bunse, M. / Herrndorf, M. / Irrek, W. / Kuhndt, M. / Lemken, T. / Liedtke, C. / Machiba, T. (2008): Resource Efficiency: Japan and Europe at the Forefront. Synopsis of the project and conference results and outlook on a Japanese-German cooperation. Commissioned by the Federal Environment Agency. Dessau/Wuppertal. Paper-Reihe des Wuppertal Instituts „Ressourcenstrategien in Japan“, Wuppertal.
- BGR [Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe] (2005): Bundesrepublik Deutschland, Rohstoffsituation 2005. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Band XXXIV. Stuttgart.
- Bleischwitz, R. (1998): Ressourcenproduktivität. Innovationen für Umwelt und Beschäftigung, Springer Verlag, Berlin / Heidelberg.
- Bleischwitz, R. (2006): Internationale Rohstoffmärkte: steigende Preise, wachsendes Konfliktpotenzial und neue Formen von Governance, in: „Globale Trends 2007“, hg. von der Stiftung Entwicklung und Frieden / Debiel, T. u.a., Frankfurt a.M. 2006, S. 305–321.
- BMU (2006): Ökologische Industriepolitik – Memorandum für einen „New Deal“ von Wirtschaft, Umwelt und Beschäftigung, Berlin.
- BMU / IG Metall / Wuppertal Institut (2006): Tagungsdokumentation Ressourceneffizienz – Innovation für Umwelt und Arbeit.
- BMWi (2007): Elemente einer Rohstoffstrategie der Bundesregierung, Berlin.

- Distelkamp, M., Hohmann, F., Lutz, C., Meyer, B. & Wolter, M. I. (2003): Das IAB/INFORGE-Modell: Ein neuer ökonomischer Ansatz gesamtwirtschaftlicher und länderspezifischer Szenarien. In: Beiträge zur Arbeitsmarkt - und Berufsforschung (BeitrAB), Band 275, Nürnberg.
- Distelkamp, M. / Meyer, B. / Wolter, M. I. (2005a): Wirkung einer Materialinputsteuer auf Ressourcenbedarf, Wachstum und Beschäftigung. In: Aachener Stiftung Kathy Beys (Hg.): 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 (Hg.): 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 (Hg.): Ressourcenproduktivität als Chance – Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland, Aachen, S. 143–170.
- Dosch, K. (2005): Ressourceneffizienz-Klassifizierung als Pullfaktor; in: Materialeffizienz: Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern; München: oekom Verlag, S.177-189.
- Dosch, K. (2005): Einkaufen mit dem kleinen ökologischen Rucksack; in: factorY – Magazin für Nachhaltiges Wirtschaften, 1. Jg., 03 / 2005, S. 12-13.
- EEA (2006): Using the market for cost-effective environmental policy, Market-based instruments in Europe, EEA Report No 1 / 2006. Kopenhagen.
- EU – Europäische Kommission (2005): Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources, Brussels, 21.12.2005, COM (2005) 670 final.
- Fischer, H. / Lichtblau, K. / Meyer, B. / Scheelhaase, J. (2004): Wachstums- und Beschäftigungsimpulse rentabler Materialeinsparungen. Wirtschaftsdienst 2004, Heft Nr. 4, S. 247–254.
- Frohn, J. et al. (2003): Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen. Abschätzung mit zwei ökonomischen Modellen. Heidelberg.
- Frondel, M. et al. (2006): Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen. Studie von BGR, RWI, ISI im Auftrag des BMWi, Forschungsprojekt Nr. 09 / 05.
- Giljum, S. / Behrens, A. / Hinterberger, F. / Lutz, C. / Meyer, B. (2007): Modelling scenarios towards a sustainable use of natural resources in Europe; SERI Working Paper, Nr. 04 / 2007, Vienna.
- Hinterberger, F. / Schnabel, H. (Hg.) (2002): Arbeit – Umwelt – Wachstum. Nachhaltigkeitsaspekte des sektoralen Strukturwandels, Norderstedt.
- International Energy Agency (2008): World Energy Outlook 2008, Paris.
- Kicherer, A. (2005): Die Ökoeffizienz-Analyse der BASF – Erfolgsfaktoren für eine breite Anwendung; in: Materialeffizienz: Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern; München: oekom Verlag, S.123-129.

- Kristof, K. / Bleischwitz, R. / Liedtke, C. / Türk, V. / Bringezu, S. / Ritthoff, M. / Schweinfurth, A. (2006): Ressourceneffizienz – eine Herausforderung für Politik und Wirtschaft, Hintergrundpapier des Wuppertal Instituts zur Tagung des Bundesumweltministeriums und der IG Metall „Ressourceneffizienz – Innovationen für Umwelt und Arbeitsplätze“, 31.08.2006, Berlin.
- Kristof, K., Liedtke, C. (2005): Wie könnte eine erfolgreiche Materialeffizienzpolitik für den Mittelstand aussehen? In: Liedtke, Christa / Busch, Timo (2005): Materialeffizienz: Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern; München: oekom Verlag, S. 47–61.
- Kristof, K. / Liedtke, C. (2005a): Materialeffizienzprogramm für Deutschland; factorY – Magazin für Nachhaltiges Wirtschaften, 1. Jg., 03 / 2005, S. 9.
- Kristof, K. / Türk, V. (2006): Ressourceneffizienzsteigerungen durch unternehmensübergreifende Instrumente: Status-Quo Analyse, Kritik, Politikempfehlungen; Paper-Reihe des Wuppertal Instituts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“, Wuppertal.
- Kristof, Kora / Türk, Volker / Welfens, Jola / Walliczek, Katharina (2006a): Ressourceneffizienzsteigerungen durch organisatorische und institutionelle Innovationen; Paper-Reihe des Wuppertal Instituts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“, Wuppertal.
- Liedtke, C. / Busch, T. (Hg.) (2005): Materialeffizienz: Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern. München.
- Lichtblau, K. / Meyer, B. / Ewerhart, G. (1996): Komplementäres Beziehungsgeflecht zwischen Industrie und Dienstleistungen. In: iw-trends. 4/96. S. 1-24. Köln.
- Lutz, C. / Meyer, B. / Schnur, P. / Zika, G. (2002): Projektionen des Arbeitskräftebedarfs bis 2015. In: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Jahrgang 35. Nr. 3. Nürnberg.
- Mersiowsky, I. (2005): Ganzheitliche Effizienzbetrachtungen - Herausforderungen und Chancen am Beispiel Chemie und Kunststoffe, in: Materialeffizienz: Potenziale bewerten, Innovationen fördern, Beschäftigung sichern; München: oekom Verlag, S. 111-121.
- Meyer, B. (2008): Wirkung eines Anstiegs der Öl- und Gaspreise auf die deutsche Wirtschaft. In: Wirtschaft und Statistik, 2/2008, S.173-176.
- 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, Forthcoming.
- Meyer, B. / Ewerhart, G. (2001): INFORGE. Ein disaggregiertes Simulations- und Prognosemodell für Deutschland. In: Lorenz, H.-W. / Meyer, B. (Hrsg.): Studien zur Evolutorischen Ökonomik IV. Evolutorische Makroökonomik, Nachhaltigkeit und Institutionenökonomik. Schriften des Vereins für Socialpolitik, Neue Folge, Bd. 195 IV, Berlin.
- Meyer, B. / Lutz, C. (2002): Ökoeffiziente Dienstleistungen und Materialverbrauch. Eine Simulationsstudie mit dem disaggregierten Modell PANTA RHEI; in: Hinterberger, F. / Schnabel, H. (2002): Arbeit – Umwelt – Wachstum. Nachhaltigkeitsaspekte des sektoralen Strukturwandels, Norderstedt, S. 190–228.

- Meyer, B. / Wolter, M. I. (2007): Demographische Entwicklung und wirtschaftlicher Strukturwandel - Auswirkungen auf die Qualifikation am Arbeitsmarkt. In: Statistisches Bundesamt [Hrsg.]: Neue Wege statistischer Berichterstattung - Mikro- und Makrodaten als Grundlage sozioökonomischer Modellierungen. Statistik und Wissenschaft, Band 10, S. 70-96, Wiesbaden.
- Moll, S. / Acosta, J. (2006): Environmental Implications of Ressource Use: Environmental Input-Output Analyses for Germany. Journal of Industrial Ecology, 2006, Volume 10, No. 3, S. 25 -40.
- Moll, S. / Bringezu, S. / Femia, A. / Hinterberger, F. (2002): Ein Input-Output-Ansatz zur Analyse des stofflichen Ressourcenverbrauchs einer Nationalökonomie. Ein Beitrag zur Methodik der volkswirtschaftlichen Materialintensitätsanalyse, in: Hinterberger, F. / Schnabel, H. (2002): Arbeit – Umwelt – Wachstum. Nachhaltigkeitsaspekte des sektoralen Strukturwandels, Norderstedt, S. 129–189.
- Ritthoff, M. / Liedtke, C. / Kaiser, C. (2007): Technologien zur Ressourceneffizienzsteigerung: Hot Spots und Ansatzpunkte; Paper-Reihe des Wuppertal Instituts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“, Wuppertal.
- Ritthoff, M. / Rohn, H. / Liedtke, C. (2002) unter Mitarbeit von T. Merten: MIPS berechnen. Ressourcenproduktivität von Ressourcen und Dienstleistungen; Paperreihe des Wuppertal Instituts, Wuppertal Spezial Nr. 27.
- Rohn, H. / Lang-Coetz, C. / Pastewski, N. / Lettenmeier, M. (2008): Ressourceneffizienzpotenziale durch Technologien, Produkte und Strategien – Erste Ergebnisse – Paper zu Arbeitspaket 1 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes), Wuppertal.
- Schepelmann, P. et al. (2006): Assessment of the EC Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources. Commissioned by the European Parliament, DG Internal Affairs, Department A – Environment and Food safety, IP/A/ENVI/ST/2006–99, WI-Stellungnahme.
- Schindler, J. / Zittel, W. / Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (2008): Zukunft der weltweiten Erdölversorgung, Report der Energy Watch Group, Berlin.
- Schmidt-Bleek, F. (2000): Das MIPS-Konzept. Weniger Naturverbrauch, mehr Lebensqualität durch Faktor Zehn, München.
- Schütz, H.; Bringezu, S. (2008): Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen – Erstellung eines Glossars zum „Ressourcenbegriff“ und Berechnung von fehlenden Kennzahlen des Ressourcenverbrauchs für die weitere politische Analyse. Dessau-Roßlau.
- SRU [Sachverständigenrat für Umweltfragen] (2005): Auf dem Weg zur Europäischen Ressourcenstrategie: Orientierung durch ein Konzept für eine stoffbezogene Umweltpolitik, Stellungnahme.
- Voßkamp, R. (2006): Zum Beitrag der Input-Output-Analyse zur Entwicklung von Micro-to-macro-Modellen gezeigt am Beispiel der Wirkungen von Innovationen; in Hinterberger, F. / Schnabel, H. (2002): Arbeit – Umwelt – Wachstum. Nachhaltigkeitsaspekte des sektoralen Strukturwandels, Norderstedt, S. 11–34.
- Wuppertal Institut / ADL [Arthur D. Little GmbH] (2005): Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in KMU, Abschlussbericht Anhang B: Programmlandkarte – Analyseraster, Case Studies / Akteurs- / Strukturlandkarte: Förderlandschaft; Wuppertal.