

Enquete-Kommission "Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität" des Deutschen Bundestages

***HERAUSFORDERUNGEN FÜR EINE TECHNISCH-
ÖKONOMISCHE ENTKOPPELUNG VON NATUR-
VERBRAUCH UND WIRTSCHAFTSWACHSTUM
UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER SYSTEMATISIERUNG VON
REBOUND-EFFEKTEN UND PROBLEMVERSCHIEBUNGEN***

Reinhard Madlener und Blake Alcott

Impressum

Im Auftrag von:

Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“ des Deutschen Bundestages

Ausgearbeitet von:

Univ.-Prof. Dr. Reinhard Madlener

Blake Alcott, MPhil

Zürich, Dezember 2011

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG.....	3
2	EINLEITUNG	5
3	DEFINITIONEN	6
3.1	Grundbegriffe.....	6
3.2	Probleme der Begriffsauslegung	7
4	HERANGEHENSWEISEN DER REBOUND-MESSUNG	12
4.1	Gesamtwirtschaftliche Betrachtungsmethoden.....	12
4.2	Produktionssektoren	15
4.3	Die Konsumentensicht.....	15
4.4	Preiselastizitäten	16
4.5	Produktionsmöglichkeiten der Gesellschaft.....	18
5	REBOUND: STAND DER FORSCHUNG	19
5.1	Ausprägungen von Rebound im Energie- und Umweltkontext	19
5.2	Ressourcen (Produktionsfaktoren) außer Energie	22
5.3	Überblick über aktuelle Ergebnisse der Reboundforschung	25
6	ENTKOPPLUNG: BEGRIFFLICHKEIT UND STAND DER FORSCHUNG	29
6.1	Das Ressourcen/BIP Verhältnis allgemein	29
6.2	Entkoppeln sich Ressourcenverbrauch und BIP?	31
6.3	Das Effizienz-Paradigma: Entkopplung als Ziel.....	35
6.4	Fazit.....	37
7	ENTKOPPLUNGSMASSNAHMEN	39
7.1	Wachstums-Maßnahmen	39
7.2	Maßnahmen gegen den Reboundeffekt.....	39
7.3	Optimierung des Maßnahmenmixes	47
8	SYSTEMÜBERGREIFENDE PROBLEMVERSCHIEBUNGEN (UNGEWOLLTE NEBENEFFEKTE VON ENTKOPPLUNGSMASSNAHMEN).....	49
8.1	Mögliche Probleme, die bei Verminderung des absoluten Ressourcenverbrauchs entstehen oder schwieriger werden.....	49
8.2	Mögliche Probleme, die bei Verminderung des absoluten Ressourcenverbrauchs verschwinden oder einfacher werden.....	50
9	FAZIT	52
	BIBLIOGRAPHIE	54

1 Zusammenfassung

Zielsetzung der vorliegenden Studie ist eine Darstellung und Analyse der verschiedenen Ausprägungen des Reboundeffekts im Energie- und Umweltkontext. Zu diesem Zweck wird auf der allgemeinen Ebene und auf Basis des Standes der Literatur eine umfassende Systematisierung der gegenläufigen Effekte von Entkopplungsmaßnahmen (BIP \Leftrightarrow Ressourcen-, Umwelt-, Biokapital; Treibhausgas-Emissionen) vorgestellt. Ausgangspunkt für die spezifischeren Ergebnisse des Gutachtens sind die bislang bei weitem am intensivsten untersuchten Rebound-Effekte im Zusammenhang mit der Steigerung der Energieeffizienz. Neue internationale Forschungsergebnisse zum direkten, indirekten und makroökonomischen Rebound-Effekt werden evaluiert und in übersichtlicher Form zusammengefasst.

Nachdem wir die Hauptbegriffe der Rebound-Forschung definieren – z.B. technische Effizienzsteigerung, erwartete Einsparungen (*engineering savings*), Rebound selbst, direkter Rebound, indirekter Rebound, Gesamtrebound, Backfire und die Energiekosten der Effizienzsteigerung – beschreiben wir die gebräuchliche Herangehensweise, nämlich: die (meist deskriptive) statistische Analyse der Gesamtwirtschaft bezüglich BIP und Ressourcenverbrauch; die Bedeutung einer technischen Effizienzsteigerung aus Produzenten- bzw. Konsumentensicht; das Verfolgen aller durch gesteigerte Effizienz ausgelösten Preisveränderungen; und die gesteigerte Produktionskapazität der Wirtschaft.

Die ca. 30-jährige Geschichte der neueren Rebound-Forschung weist nach wie vor nur relativ bescheidene wissenschaftliche Erfolge auf: Einerseits haben die verwendeten Begriffe erst in den letzten Jahren an Klarheit gewonnen, und andererseits hat sie bis heute fast keine gesamtwirtschaftlichen Analysen der kausalen Wirkung der Effizienz auf den Ressourcenverbrauch hervorgebracht. Dutzende empirischer Studien zum Direktrebound wurden geleistet, gerade in den letzten Jahren verknüpft mit zahlreichen Versuchen, auch den zusätzlichen, indirekten Rebound und damit den Gesamtrebound abzuschätzen. Leider findet man in der empirischen Literatur aber immer noch Schätzwerte, die sehr weit auseinander liegen – zwischen ca. 30 % und über 100 % der erwarteten Einsparungen durch Effizienzsteigerungen können wegen Reboundeffekten nicht realisiert werden. Allerdings stieg die durchschnittlich geschätzte Größe stetig, und vor allem in den letzten fünf Jahren häuften sich Rufe nach direkteren Politikmaßnahmen, die Rebound entgegen wirken (z.B. Materialsteuern und/oder -verbrauchsquoten), dies weil Rebound nicht trivial ist, weil die Forschung nur unsichere Ergebnisse liefern kann und weil es noch viele Forschungslücken gibt (z.B. was die Höhe der Reboundeffekte in Schwellen- und Entwicklungsländern anlangt, oder in Bezug auf neue Technologien und Anwendungsbereiche).

Bei der Entkopplungsstrategie musste vor allem konstatiert werden, dass obwohl bei einigen Ressourcen der Verbrauch weniger schnell stieg als das BIP (*relative* Entkopplung), so gut wie nirgends eine absolute Abnahme des Ressourcenverbrauchs (*absolute* Entkopplung) stattfindet. Im letzten Jahrzehnt wurde das schwierige Unterfangen erfolgreich angegangen, für ein einzelnes Land den gesamten Ressourcenverbrauch zu messen und zu berücksichtigen, d.h. inklusive der Importe und Exporte der versteckten, ‚grauen‘ Mengen von Ressourcen (Material und Energie), die für die Herstellung von Gütern und Dienstleistungen nötig sind. Das Bewusstsein ist auch gestiegen, dass der absolute Ressourcenverbrauch – und dabei verursachte Emissionen – die für die Umwelt relevante Größe ist. Die Entkopplung misst nur den materiellen Wohlstand, den wir aus den vorhandenen Ressourcen herausholen, als Verhältniszahl.

Um den Ressourcenverbrauch absolut zu senken, gibt es neben der technischen Effizienzsteigerung auch weitere Strategien. Dazu zählen indirekte Strategien, wie der Strukturwandel in Richtung der aus Ressourcenperspektive ‚leichteren‘ Dienstleistungssektoren, das Prinzip der Suffizienz oder Genügsamkeit, die Ausweitung des Angebots an erneuerbaren Energiequellen, und der materielle Wohlstand selbst (Hypothese der *Environmental Kuznets Curve, EKC*). Weiter zählen dazu auch direkte Strategien, wie etwa Ressourcensteuern, Begrenzung des Ressourcenverbrauchs bzw. der Schadstoffemissionen (*Caps*) oder die Eliminierung von Subventionen für fossile Energieträger (vgl. Abb. 3) Die Politik muss entscheiden, ob sich eine optimale Mischung der Maßnahmen finden lässt oder ob einige der Strategien fallen gelassen werden sollten. Ebenso muss die politische Durchsetzbarkeit sorgfältig geprüft werden (Raecke, 2011).

Obwohl direkte Maßnahmen gegen den Rebound-Konsum, wie *Caps* oder Steuern, das Umweltziel der Verminderung des Verbrauchs und der Emissionen unmittelbar zu erreichen helfen, hätten sie problematische Auswirkungen in anderen Bereichen, wie z.B. im Sozialbereich, wo es die Kaufkraft der Ärmsten zu schützen gilt, oder im Bereich des internationalen Handels, wo die Konkurrenzfähigkeit darunter leiden würde. Während dies oft als Grund gegen die effektiven Umweltmaßnahmen gesehen wird, kann man auch passende Gegenmittel suchen – z.B. in der Einkommens- oder Wohlfahrtspolitik und im Rahmen von internationalen Abkommen. Deshalb würden wir es begrüßen, wenn Regierungen die Forschung über die detaillierte Ausgestaltung von Ressourcensteuern- und *Caps*-Systemen stärker als bisher fördern würden.

2 Einleitung

Weil die Politik Umweltprobleme lösen möchte, ohne materielle Wohlstandseinbußen zu verursachen, wurde die ökologische Modernisierung der Wirtschaft als Ziel gesetzt. Nicht mehr das quantitative Wachstum, sondern das qualitative, wäre anzustreben (Jänicke et al., 1989; Paech, 2005). Wie die Enquete-Kommission in der Auftragsbeschreibung für dieses Gutachtens treffend festhält: es gilt, bei steigendem Wohlstand – gemessen mit Hilfe des BIPs – den Ressourcenverbrauch der Wirtschaft absolut zu senken. Anstrengungen in diese Richtung haben oftmals das Ziel eines höheren BIPs erreicht, das Umweltziel aber nicht. Es gab höchstens eine relative Entkopplung des BIPs vom Ressourcenverbrauch und vielfach eine Erhöhung der Lebensqualität in zahlreichen Bereichen. Angesichts der kleiner werdenden Mengen von nicht-erneuerbaren Ressourcen und der größer werdenden Mengen an schädlichen Emissionen – sowohl lokal als auch global wie im Falle des Klimawandels – stellt sich die Frage, ob diese Entwicklung der Nachhaltigkeit Rechnung trägt, oder ob wir auf Kosten künftiger Generationen leben.

In der Zusammenfassung (oben) haben wir bereits kurz dargestellt, wie dieses Gutachten die Hauptstrategie der ökologischen Modernisierung kritisch analysiert. Die Einsicht hat sich in den letzten Jahren gefestigt – und dies ist der Grund für die Erstellung dieses Gutachtens überhaupt – dass gesteigerte Ressourceneffizienz (vgl. EEA, 2011) nie jene Ressourcenersparnisse bringt, die aufgrund einfacher Rechnungen erhofft werden (Khazzoom, 1980). Ob dieser sogenannte ‚Rebound-Konsum‘ die Effizienzstrategie ganz, nur teilweise, oder nur ganz wenig schwächt, wurde schon vielfach untersucht, ohne dass daraus bislang ein genereller Konsens entstanden wäre. Dieses Gutachten bietet keine neue Messung der Größe des Gesamtrebounds an, sondern fasst die Forschung zusammen und stellt die Entkopplung selbst – aus Umweltsicht – in Frage: die Stimmen mehren sich nämlich, dass wahrscheinlich ‚härtere‘ Umweltmaßnahmen nötig sind, die vielleicht das Wirtschaftswachstum – wie einst in den 1970er-Jahren! – beeinträchtigen würden. Wenn unsere Einschätzung tatsächlich zutrifft, auch wenn es gegenteilige Meinungen dazu gibt (z.B. UNEP, 2011), muss die Politik Abwägungen zwischen Nachhaltigkeit und weiterem Wirtschaftswachstum treffen. Obwohl wir unsere eigenen Ansichten natürlich nicht als gesichertes Wissen betrachten, sind wir der Überzeugung, dass wir der Enquete-Kommission am besten dienen können, indem wir unsere z.T. kontroverse Betrachtungsweise in einer relativ direkten Form zur Diskussion stellen.

3 Definitionen

3.1 GRUNDBEGRIFFE

Rebound („Zurückspringen“) ist eine in Prozenten ausgedrückte theoretische Menge von *engineering savings* (möglichen Einsparungen). Am Anfang der Betrachtungen steht jeweils eine technische *Effizienzsteigerung* – z.B. bei einer Leuchte, die eine gegebene Helligkeit mit weniger Strom erzeugt oder bei einem Motor, der ein Fahrzeug mit einem bestimmten Gewicht einen Kilometer weit mit weniger Benzin befördert. Solche technischen Verbesserungen finden beispielsweise statt, wenn Produzenten versuchen, durch modifizierte Prozesse kostengünstiger zu produzieren und somit durch gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit mehr zu verkaufen, aber auch durch staatliche Verordnungen oder Appelle mit dem Zweck Energieinputs (im Falle von Energie-Rebound) einzusparen.

Einsparungen beim Einsatz von Inputfaktoren sind nur *theoretisch*, weil dabei angenommen wird, dass nicht mehr oder heller beleuchtet und nicht häufiger oder weiter gefahren wird. Im Falle der Beheizung von Gebäuden liegt die Annahme zugrunde, dass die Gebäude im betrachteten Gesamtsystem (im Durchschnitt) gut wärmeisoliert sind, die pro Kubikmeter Wohnraum bei einer bestimmten Raumtemperatur benötigte Menge Heizöl sinkt, *und* dass weder die Anzahl und Grösse der Gebäude zunimmt noch die Bewohner die Raumtemperatur erhöhen. So lässt sich ausrechnen, wie viel Energie gespart werden *könnte*, wenn ‚das System‘ sich nicht vergrössern *würde*. Oder wie die Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“ in der Ausschreibung für das gegenständliche Gutachten schreibt, diese Einsparungen sind nur ‚erwartet‘ (auch UNEP, 2011, S. 68)¹.

Das Problem dabei ist, dass sich in Wirklichkeit das System vergrössert: Es gibt immer mehr Beleuchtung, Fahrzeuge und Häuser (und Menschen). Natürlich erfolgt die Vermehrung der Bevölkerung, Güter, und Dienstleistungen nicht *wegen* der technischen Effizienzsteigerungen allein. Es gibt weitere Faktoren, z.B. andere Effizienzsteigerungen, die dazu beitragen. Die technische Effizienzsteigerung aber *ermöglicht* es uns, uns zu vermehren, mehr Güter herzustellen und dadurch auch mehr Energieinputs zu verbrauchen. Es ist eine der *notwendigen* Bedingungen für das Wachstums des Systems (d.h. der Wirtschaft bzw. Gesellschaft), nicht aber eine *hinreichende* Bedingung, denn wenn unsere Bedürfnisse vollständig gesättigt wären, würden wir mehr Helligkeit, Mobilität, Platz oder Raumwärme gar nicht konsumieren *wollen*.

¹ Aber warum misst man *erwartete* Einsparungen und *von wem* werden diese erwartet? D.h. man kann auch diese Fragestellung und den wissenschaftlichen Wert des Begriffs ‚Rebound‘ selbst hinterfragen. Es steht eine normative Annahme dahinter, nämlich dass man Ressourcen sparen will. Die Menge der in einer Volkswirtschaft konsumierten Energie könnte ebenso nur mit dem Begriff ‚Effizienz‘ (Produktivität) untersucht werden, ohne die Konzepte *engineering savings* bzw. Rebound einzusetzen.

Rebound bezeichnet jedenfalls den gesteigerten Konsum von Ressourcen-Inputs, der (1) diesen Effizienzsteigerungen ‚folgt‘ und (2) von diesen irgendwie verursacht oder zumindest ermöglicht wird. Die Einsicht ist, dass eine technische Veränderung in Herstellungsprozessen nicht ohne *mögliche* Vergrößerung des Ressourcenverbrauchs vor sich geht, und in der Realität nicht ohne *wirkliche* Ausweitung. Wenn die Umweltpolitik dies nicht erkennt, und *engineering savings* 1:1 als echte Einsparungen betrachtet, bleibt sie realitätsfremd. Leider tut die Politik aber heute noch weitestgehend so, als ob es keinen Rebound gibt – d.h. keinen Mehrkonsum von natürlichen Ressourcen *als Folge* von Effizienzsteigerungen.

Ersichtlich ist das bei Wirkungsanalysen (z.B. EnergieSchweiz, 2010), dem Stern-Report (Stern et al., 2006), globalen Übersichten (z.B. IEA, 2011) und umfassenden Berichten der Vereinten Nationen (z.B. UNEP, 2011) – alle diese genannten Bereiche erwähnen Rebound entweder gar nicht oder nur flüchtig, ohne einen Versuch einer Quantifizierung und vielfach sehr ungenau. Eine Ausnahme bildet neuerdings die britische Regierung (Sorrell, 2007). An einer Tagung sagte uns ein Ökonom des schweizerischen Bundesamts für Energie, dass bis sie Rebound genau messen können, sie ihn als Null behandeln. Deshalb begrüßen wir diese Gelegenheit sehr, Rebound im Umriss darzustellen. Auch der Versuch der Europäischen Kommission, Rebound besser verstehen zu lernen, ist begrüßenswert (Maxwell et al., 2011).

3.2 PROBLEME DER BEGRIFFSAUSLEGUNG

3.2.1 *Direktrebound versus Gesamtrebound*

Der Begriff „Rebound“ deckt alle Auswirkungen einer technischen Effizienzsteigerung auf die Nachfrage in einer Wirtschaft ab, nicht nur jene bei den direkt betroffenen Produkten (Güter und Dienstleistungen), die durch den technischen Fortschritt effizienter geworden sind. Sehr viele Studien untersuchen z.B. das Konsumverhalten, nachdem jemand ein ‚sparsames‘ Fahrzeug kauft, nämlich die zusätzlich gefahrenen Kilometern oder vielleicht auch den Kauf eines zusätzlichen Fahrzeugs. Andere messen, wie viel mehr geheizt wird, nachdem ein Wohnhaus besser isoliert und die Beheizung dadurch kostengünstiger geworden ist. Dieser Rebound wird als *Direktrebound* bezeichnet (vgl. Abb. 1 links). *Indirekter* Rebound hingegen bezeichnet alle anderen Auswirkungen: nach der Effizienzsteigerung hat z.B. der Konsument Kaufkraft übrig, die für alle nur denkbaren Produkte bzw. Dienstleistungen ausgegeben werden kann (vgl. Abb. 1 rechts); zudem wird der Energieinput selbst billiger, weil die Effizienzsteigerung einer (temporären) Senkung der Nachfrage gleichkommt, was die Nachfrage wiederum ankurbelt.

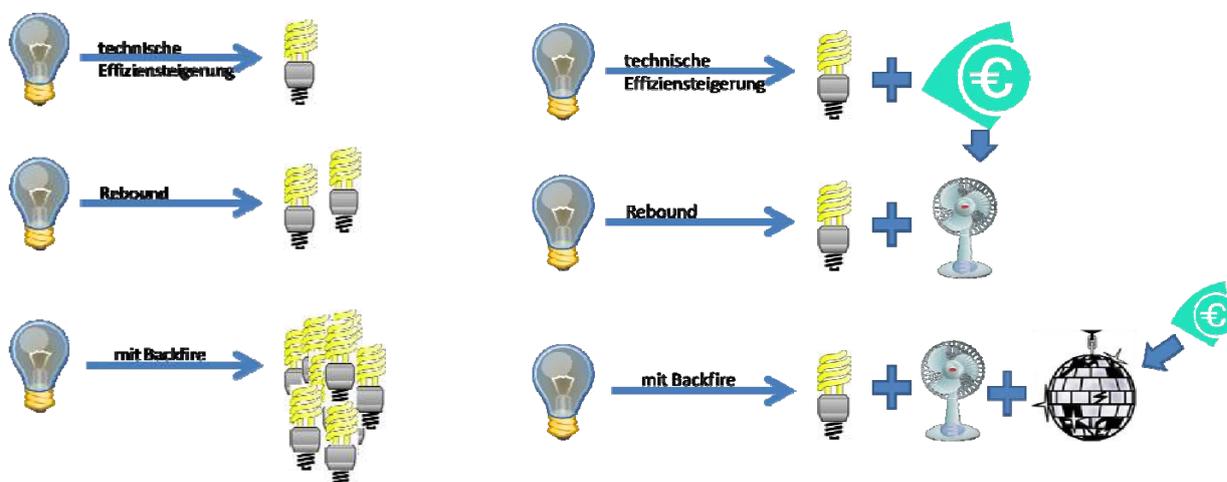


Abb. 1: Direkter (links) und indirekter (rechts) Reboundeffekt, vereinfacht dargestellt am Beispiel des in der EU erzwungenen Ausstiegs aus der Glühlampe

Die Auswirkungen dieser vorläufig brach liegenden Kaufkraft lassen sich folgendermaßen klassifizieren:

1. Der Konsument, der das durch die Effizienzsteigerung günstiger gewordene Produkt bislang gekauft oder genutzt hat (z.B. ein Fahrzeug), kauft mehr davon, oder nutzt es intensiver.
2. Dieser Konsument kauft ein anderes Produkt.
3. Ein anderer Konsument kauft oder benützt das günstiger gewordene Produkt.
4. Ein anderer Konsument kauft ein anderes Produkt, das durch die Effizienzsteigerung indirekt günstiger geworden ist.
5. Niemand kauft etwas mehr, sondern alle arbeiten, verdienen und kaufen weniger, proportional zur Effizienzveränderung.

Kategorien (1) und (3) bilden den direkten Rebound, Kategorien (2) und (4) den indirekten Rebound und Kategorie (5) den sog. ‚Null-Rebound‘, bei dem die ‚engineering savings‘ voll realisiert werden und die Gesellschaft mehr Freizeit zur Verfügung hat.

Leider werden ‚Rebound‘ und ‚Direktrebound‘ in der Literatur oft verwechselt bzw. genauer gesagt wird ‚Rebound‘ quantifiziert, aber nur der Direktrebound ist damit gemeint (Greening et al., 2000; Berkhout et al., 2000; vgl. Abb. 2). Weil der Direktrebound nur einen Teil der Auswirkungen misst, ist er immer kleiner als der Gesamtrebound. Der Gesamtrebound (d.h. die Aggregation aller Reboundeffekte) ist jedoch die *umwelrelevante* Größe. Auch der neuesten Literatur fehlt oft diese Präzisierung, mit manchmal irreführenden Botschaften (z.B. Millock &

Nauges, 2010). Anzumerken wäre weiter, dass Direktrebound, wie auch immer er im Detail quantifiziert wird, alleine noch nichts aussagt, was aus Umweltsicht relevant wäre, da man davon die indirekten Effekte nicht herleiten kann.

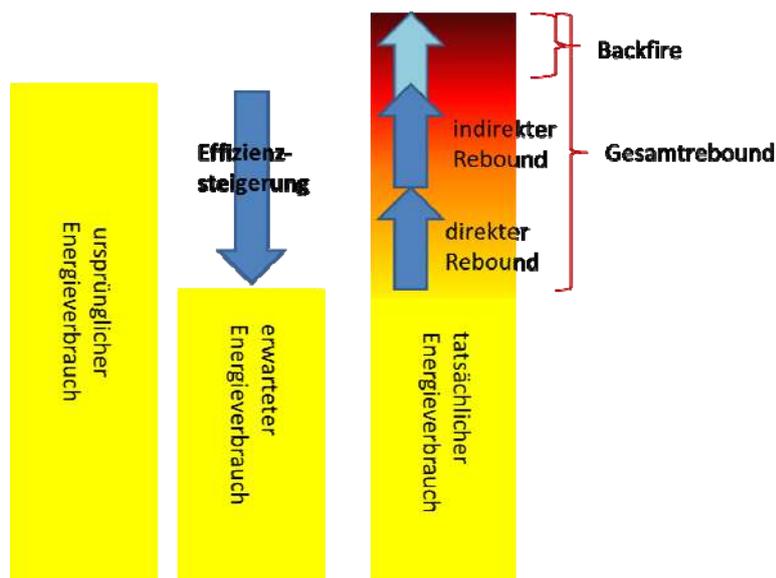


Abb. 2: Wirkung von Rebound und Rebound-Begriffe

3.2.2 Effizienz selbst

Eine weitere Quelle der Verwirrung ist die folgende: Wie definiert man eine technische Effizienzsteigerung? Diese stehen ja am Anfang jeder Untersuchung. Maßgebend sollte dabei sein, dass die Umweltpolitik diese physisch definiert: Man zielt auf weniger Stromverbrauch pro Lumen bei der Beleuchtung, auf mehr produzierter Wärme pro eingesetzter Einheit Heizöl und auf Motoren, die pro Liter Treibstoff mehr leisten können. In der Rebound-Forschung hingegen werden oft andere Einheiten für den Output herangezogen. Man misst z.B. Liter pro *Fahrzeug-Kilometer* und nicht etwa *Tonnen-Kilometer*; weil aber die Fahrzeugflotte in den letzten Jahren durchschnittlich schwerer wurde, werden die möglichen Einsparungen (*engineering savings*) überschätzt und – weil Rebound davon ein Prozentsatz ist – wird dieser dadurch unterschätzt (Ajanovic & Haas, 2011, S. 2, 6, 11; UNEP, 2011, S. 69). Die richtige Verhältniszahl, um technische Effizienz im Straßenverkehr zu messen, ist *Tonnen-Kilometer pro Liter* (Sorrell, 2007), weil die Umweltpolitik so formuliert ist.

3.2.3 Die Energiekosten der Effizienzsteigerung

Damit die durchschnittliche Effizienz der Geräte und Infrastruktur einer Gesellschaft erhöht wird, müssen Zeit und natürliche Ressourcen darin investiert werden – Forschung und Entwicklung (F&E) sowie der Ersatz z.B. des Maschinenparks selbst, was oft die frühzeitige Stilllegung vieler Maschinen mit sich bringt. Diese Energie- und Material-Kosten sind ‚grau‘, d.h., sie sind in den Geräten ‚verkörpert‘ (Spreng, 2004). In der Rebound-Forschung wird dementsprechend darüber debattiert, wie diese zu handhaben sind: Unserer Meinung nach sollten sie von den *engineering savings* abgezogen werden; wenn z.B. ein Personenwagen 10 % effizienter ist und 20 Jahre gefahren wird (á X km pro Jahr), könnten damit Y Liter Benzin zusätzlich zur Verfügung stehen. Von diesen sollte die ‚graue‘ Energie, die investiert wurde, abgezogen werden, sodass die theoretische Einsparung um diese Menge reduziert wird. Wiederum ist diese Definition für die Umweltpolitik deshalb relevant, weil eine Rechnung ohne Berücksichtigung dieser Input- ‚Kosten‘ wieder zu einer Überschätzung der ‚erwarteten‘ Einsparung und deshalb zu einer Unterschätzung des Reboundeffekts führt.

3.2.4 Die Effizienzelastizität der Nachfrage

Von der Definition von Rebound (oben) können wir genauer definieren, was wir suchen: die Energieeffizienz-Elastizität der Energienachfrage. Ohne Jargon heisst das: Wenn die Energieeffizienz um ein Prozent steigt, um wie viel Prozent verändert sich die eingesetzte (nachgefragte) Energiemenge nach oben oder nach unten (Sorrell & Dimitropoulos, 2008, S. 638)? Die Ökonomen fragen dann nach dem Effekt von Preisveränderungen: Steigt die Energieeffizienz um einen Prozentpunkt, um wie viel verändert sich ihr Preis? Im Jargon also: wie hoch ist die Effizienzelastizität des Preises? Dann müssen wir ‚nur noch‘ die Preiselastizität der Nachfrage (nach Energie, deren Preis sich geändert hat) kennen – eine in der empirischen ökonomischen Forschung oft geschätzte Verhältniszahl (z.B. Frondel et al., 2008, S. 152). Somit hätten wir unsere Aufgabe definiert, und zwar ohne *engineering savings* und Rebound zu erwähnen (*siehe* Fussnote oben). Der Rebound-Diskurs setzt eine *Hoffnung* voraus, die in der ökologischen Not entstanden ist (Moezzi, 2000). Aber um den Energieverbrauch zu modellieren, brauchen wir die Konzepte der ‚theoretischen Einsparung‘ und (davon abgeleitet) des ‚Rebounds‘ nicht, zumal mit diesen Begriffen die Debatte kontrafaktisch wird.

3.2.5 Backfire

Rebound kann 5 %, 50 % oder 95 % der ‚erwarteten‘ Einsparungen betragen, aber auch größer als 100 % sein, nämlich wenn Effizienzsteigerungen sich so auswirken, dass im Endeffekt we-

gen der Effizienzsteigerung² mehr Ressourcen als vor der Effizienzsteigerung verbraucht werden (vgl. Abb. 2). Weil die ganze Diskussion im Kontext der Umweltpolitik stattfindet – und nicht der allgemeinen ökonomischen Forschung – heisst dieser Effekt *backfire* (Gegenschlag, Rückzündung): Die auf Energieeffizienzsteigerung basierende Umweltmaßnahme bzw. Umweltpolitik erweist sich in diesem Fall als *kontraproduktiv*. Bekannt ist es auch als *Jevons' Paradox* (Jevons, 1865, S. 142; Alcott, 2005), aber leider werden diese zwei Begriffe oft mit dem Begriff *Rebound an sich* verwechselt, der ja weniger als 100 % sein kann. Für die Umweltpolitik relevant ist jedoch vielmehr, dass wir dieses schwierige Paradoxon nicht verstehen müssen: Je mehr sich der Reboundeffekt der 100 %-Marke annähert, desto weniger ist Effizienzpolitik *kosteneffektiv*, und irgendwann *ineffektiv* bzw. möglicherweise sogar *kontraproduktiv*.

² Der Verbrauch kann auch deswegen steigen, weil weitere, kostengünstige Quellen gefunden worden sind, oder weil die Produktivität der Arbeit stieg, was mehr Output und mehr Ressourceninput nach sich zieht.

4 Herangehensweisen der Rebound-Messung

4.1 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNGSMETHODEN

Bei der genauen Formulierung der Rebound-Frage müssen wir im Auge behalten, dass für die Umwelt die absolute Quantität des jährlichen Verbrauchs einer Ressource relevant ist und nicht so sehr deren Verbrauch pro Person oder pro erwirtschaftetem Euro. Wir suchen einen Weg, um den absoluten Verbrauch einer Ressource zu reduzieren. Wir suchen nach notwendigen und hinreichenden Bedingungen einer solchen Reduktion. Caps und Ressourcensteuern wären hinreichend, wie die Verhandlungen um das Kyoto-Protokoll anerkennen. Sie wären allerdings gar nicht notwendig, wenn andere Mittel dies auch schaffen könnten. Die im Raum stehende Behauptung ist, dass technische Effizienzsteigerung (auch) hinreichend sei, aber zudem den Vorteil habe, dass sie dem weiteren Wachstum des Bruttoinlandsproduktes (BIP) nicht im Wege steht und deshalb politisch akzeptabel ist.

Daher unternehmen Regierungen Einiges, um technische Veränderungen zu propagieren und/oder vorzuschreiben. Diese Veränderungen sind physisch definiert: mit weniger Energieinput stellen wir Produkte her, erbringen Leistungen (z.B. ein Lumen Licht, ein Joule Gebäudebeheizung, eine Tonne Stahl, ein Tonnenkilometer eines Fahrzeuges, ein elektronisches Gerät). Wir bezeichnen diese Veränderungen hier als die Veränderung eines Verhältnisses, jenes zwischen Gütern oder Dienstleistungen und der für deren Bereitstellung verbrauchten Energie. Ist diese Veränderung einmal gemessen oder geschätzt, prüfen wir deren Auswirkung auf die gesamtwirtschaftliche Veränderung bei der Quantität der verbrauchten Energie. Genau das ist die Rebound-Frage.³

Die Methode des Experiments steht uns nicht zur Verfügung: Wir können eine Volkswirtschaft nicht einmal mit und einmal ohne Effizienzsteigerungen ‚laufen lassen‘. Auch lassen sich kaum zwei Länder finden, die in allem sehr ähnlich sind außer in Bezug auf den Grad der Effizienzentwicklung. Deshalb müssen wir uns in den Sozialwissenschaften mit statistischen und anderen Methoden zufrieden geben, bei denen große Unsicherheitsfaktoren auftreten können. Dies selbst spricht dafür, dass die Politik sich für offensichtlich hinreichende Mittel entscheidet (*siehe* Kapitel 7.2.2).

Ist die Effizienzveränderung überhaupt messbar? Tatsächlich ist dies sehr schwierig, weil es mindestens zwei Hürden gibt, die es dabei zu nehmen gilt: (1) Bezüglich der Effizienzsteigerung beim durchschnittlichen Produkt einer Branche – Personenwagen, Gebäudeheizung, Nahrungsmittel (erzeugt mit fossilem Dünger und Transport inkl. Traktoren), usw. – sind Daten

³ Als Formel : $\Delta \text{ Joules} = f(\Delta: \text{ Güter-oder-Dienstleistungen/Joule})$.

meist schwer zu eruieren. (2) Selbst wenn man vollständige Daten hätte: wie würde man diese aggregieren? Gemessen sind ja Leistungen in Lumen, Joule, Tonnenkilometern, Kubikmetern, Tonnen, und bei der Stromproduktion sogar in Kilowatt. Aus den genannten zwei Gründen kann man lediglich versuchen, eine gute Proxy-Variablen zu finden (Reijnders, 1998).⁴

Die am häufigsten verwendete Proxy-Variablen ist das BIP.⁵ Weil Veränderungen des BIP jedoch von anderen Faktoren als der technischen Effizienz abhängen, müssten auch diese sorgfältig gemessen und abgezogen werden, damit der Beitrag der technischen Effizienzsteigerung durch die ‚Regressionsanalyse‘ isoliert werden kann. Damit meinen wir die Anzahl Arbeitsstunden, das Können und die Organisation der Arbeiter, die Organisation der Institutionen (Handel, Gerichte, Geldwesen), die Anzahl und Art von Maschinen und gebaute Infrastruktur, die Effizienz dieses materiellen Kapitals – und mehr. Der exakte Anteil der Produktivitätssteigerung, die auf die technische Effizienz zurück zu führen ist – ein Drittel, ein Viertel, die Hälfte – ist hier nicht wichtig, sondern nur die Feststellung, dass empirische Arbeit *zwei* Anpassungen des nur sehr groben Näherungswertes BIP vornehmen muss: (1) Welcher Anteil der Veränderung des BIP ist der Effizienzveränderung zuzuschreiben und nicht das Resultat einer Zunahme der *Mengen* der eingesetzten Produktionsfaktoren? Es gibt darüber viele Schätzungen, aber für uns genügt es hier festzuhalten, dass ein Wert von etwa 50 % plausibel ist (Solow, 1956); (2) Wie viel von diesen z.B. 50 % ist wiederum der *technischen* Effizienzsteigerung zuzuschreiben, und nicht der Effizienzsteigerung des Kapitals, der Arbeit, oder der gesamt-gesellschaftlichen Institutionen? Auch hier können wir eine Prozentzahl nur grob schätzen, weil es auf diesem Gebiet kaum einschlägigen Studien gibt.

Es gibt hingegen zahlreiche Studien über den Beitrag des Energiekonsums zum BIP, d.h., wo das BIP die zu erklärende (bzw. ‚abhängige‘) Größe ist und nicht umgekehrt, wie in der Rebound-Forschung, der Energieverbrauch (Cleveland et al., 1984; Stern, 2000; Ayres & Warr, 2005). Es gibt zwar auch viele Studien, die den Energieverbrauch (Joules) erklären wollen. Zum Teil aber nehmen sie BIP/Person oder schlicht BIP als erklärende (bzw. ‚unabhängige‘) Variable, nicht BIP/Joule, die für die Reboundmessung maßgebliche Maßeinheit; oft untersuchen sie auch nicht den absoluten Energieverbrauch, sondern lediglich jenen pro Person oder pro eingesetztem Euro (Krausmann et al., 2009; Luzzati & Orsini, 2009; Steinberger et al., 2010). Überhaupt ist das BIP als erklärender Faktor des Ressourcenverbrauchs von geringem Nutzen, weil es eben selbst durch den allgemeinen Effizienzgrad der Wirtschaft mit bestimmt wird; dies wird aber dennoch sehr häufig getan (z.B. Behrens et al., 2007, S. 445, 449).

Eine grosse Lücke besteht also in der Rebound-Forschung insofern, als es an Studien mangelt, die (1) den Ressourcenverbrauch als Funktion von Effizienz, und (2) den weltweiten Rebound

⁴ Unter einer Proxy-Variablen versteht man eine Variable, die eine Eigenschaft messen soll, welche der direkten Messung entweder gar nicht, nicht objektiv, nicht valide, nicht reliabel oder schlichtweg nicht mit vertretbarem Aufwand zugänglich ist.

⁵ Dies, obwohl es heikel ist, in der Umweltökonomie die monetären Maßeinheiten für das BIP zu interpretieren; *siehe* Kapitel 6.

untersuchen. Letzteres ist essentiell, um das Problem zu umgehen, dass in der globalisierten Weltwirtschaft Änderungen in einem Land überall Auswirkungen haben könnten – steigt etwa die Effizienz in Deutschland, kann die Rebound-Nachfrage ja z.B. auch in Osteuropa oder irgendwo sonst auf dem Globus stattfinden. Uns sind bislang nur zwei Studien bekannt geworden, welche die erste Bedingung erfüllen und explizit die Rebound-Frage stellen. In vier großen Wirtschaftsräumen nahm eine der beiden Studien den Energieverbrauch als die zu erklärende Variable und als kausale Variablen BIP, Energie/BIP, und Bevölkerungsgröße bzw. -dichte; sie fand in drei der vier untersuchten Wirtschaftsregionen Rebound in Höhe von rund 100 %⁶ (Polimeni, 2008). Die zweite maß Ökoeffizienz gegenüber dem Ressourcenverbrauch für europäische Länder und die USA und kam ebenfalls zum Schluss, dass Rebound hoch genug ist, um die Effizienzstrategie ineffektiv zu machen (Holm & Englund, 2009).

Eine eng verwandte Methode beginnt mit einer sogenannten Produktionsfunktion: Das Gesamtprodukt (alle Güter und Dienstleistungen) resultiert aus den *Quantitäten* von (1) Arbeitsstunden, (2) Kapital, (3) Energie und (4) Material (z.B. Boden, Mineralien) und deren *Produktivität*. Die bestechende Einsicht ist, dass ein Faktor, der für die Wirtschaft relativ produktiver wird, auch entsprechend ‚attraktiver‘ ist; die Nachfrage danach wächst auch relativ zur vorherigen Situation und zu den anderen Faktoren. Deshalb muss nach der Effizienzsteigerung die nachgefragte Menge Energie größer werden (Brookes, 1978, 1990, 2000; Saunders, 1992, 2000, 2008; Ayres & Warr, 2005). Bewiesen ist damit aber noch lange nicht, dass Rebound diese oder jene Größe aufweist, denn gleichzeitig sinkt ja die Nachfrage nach der Energie, die nötig ist, um die effizienteren Prozesse und Produkte zu erzeugen bzw. zu nutzen. Nur gemäß diesen Überlegungen könnte theoretisch der absolute Verbrauch auch tatsächlich steigen. Diese Methode zeigt wenigstens, dass die Substitution von Inputfaktoren – d.h. der Einsatz von Energie anstatt Kapital oder Arbeit – eine Frage der wirtschaftlichen Vernunft sind, und diese höchstwahrscheinlich den Energieverbrauch erhöht.

Nur wenige Makro-Studien haben einen globalen Fokus, sondern befassen sich stattdessen meist nur mit einzelnen Ländern, Ländergruppen (z.B. OECD) oder Regionen (z.B. Europa). Für frei handelbare Ressourcen und für sich frei verbreitende Emissionen ist dies aber ein großer Nachteil. Erstens ist es oft die weltweite Belastung, die für die Lösung von Umweltproblemen von Interesse ist, und zweitens ist es schwierig auszurechnen, wie sich Importe und Exporte nach Effizienzsteigerungen entwickeln. Die Herstellung und der Konsum von Energie und Produkten erfolgen an unterschiedlichen Orten; das Problem der ‚importierten‘ oder ‚grauen‘ Ressourcen/Emissionen müsste daher in die Methode mit einbezogen werden um den Gesamteffekt zu erfassen (*siehe* Unterkapitel 6.2.1). Sonst entstehen *leakage*-Effekte, also Rebound ausserhalb des Systems (z.B. der Stadt, des Bundeslandes, der Nation oder Gruppe von Ländern), das seine effizienzbasierte Umweltstrategie überprüfen und/oder verbessern will.

⁶ USA, Europa, Asien und Brasilien (wo $R < 100\%$ war).

4.2 PRODUKTIONSSEKTOREN

Ganze Industrien sind betreffend Rebound untersucht worden, z.B. *Beleuchtung* – ihr Ausmaß und ihre Effizienz über mehrere Jahrhunderte; zwischen 1700 und 2000 n.Chr., z.B., stieg die Effizienz gemessen in Lumen-Stunden pro kWh ca. um den Faktor 1000, während Herstellung und Konsum von Lumen-Stunden ca. um das 36.000-fache stiegen – ein Musterbeispiel von Backfire (Fouquet & Pearson, 2006). Über eine Zeitspanne von zwischen 50 und 200 Jahren hat sich z.B. auch herausgestellt, dass einige Industriezweige Reboundeffekte von mehr als 100 % aufweisen: bei der Roheisenherstellung stieg der Konsum ca. 3,7 x schneller als die (in physischen Einheiten gemessene) Energie-Effizienz; bei Düngemitteln ca. 1,6 x schneller; bei Aluminium ca. 11,4 x schneller; bei der Stromerzeugung ca. 3,5 x schneller; und in der Luftverkehrsindustrie ca. 1,7 x schneller (Dahmus & Gutowski, 2005; auch Glomsrød & Taoyuan, 2005). Rebound-Effekte von mehr als 100 % waren auch das Ergebnis betreffend Haushaltsgeräte in Dänemark (Greenhalgh, 1990) und Gebäude und Personenwagen in den USA (Rudin, 2000).

Der Erste, der diesen Sachverhalt zeigte, war William Stanley Jevons (1865), der Dampfmaschinen und das Hüttenwesen unter die Lupe nahm. Es gibt natürlich sehr viele Sektoren, die einen Rebound zwischen 5 % und 100 % aufweisen (Sorrell, 2008). Relevant ist aber hier nur die Feststellung, dass obwohl diese Studien auf die *Plausibilität* von gesamtwirtschaftlichem Rebound um 100 % hindeuten, diese nichts Definitives über die Höhe des Gesamtrebounds aussagen. Die Auswirkungen einer Effizienzsteigerung beschränken sich ja nicht auf die Produkte, die durch den technischen Fortschritt effizienter hergestellt worden sind. Deshalb sind Zahlen über den Direktrebound – z.B. im Personenverkehr, in den oben untersuchten Industrie-sektoren, oder bei der Heizung eines neu isolierten Hauses – nur zusammen mit einer Methode sinnvoll, die daraus den Gesamtrebound herleiten kann. Mehr noch, auch wenn man einen Durchschnitt aller Direktrebounds hätte, müsste man immer noch das Konsumverhalten in anderen Sektoren untersuchen (und sind die Auswirkungen noch schwieriger zu messen).

4.3 DIE KONSUMENTENSICHT

Damit kommen wir zu den Methoden, die direkt bei der Konsumentennachfrage ansetzen. Jemand, der auf einen effizienteren Personenwagen umsteigt, kann bei konstanten Treibstoffausgaben *ceteris paribus* mehr Kilometer fahren; der Produzent einer Tonne Stahl, deren Herstellung weniger Strom oder Kohle benötigt, kann *ceteris paribus* den Stahl billiger verkaufen; ist ein Haus mit ‚Energiespar-Lampen‘ ausgerüstet, kann man mit den gleichen laufenden Ausgaben für die Beleuchtung mehr Lichter einschalten und/oder die vorhandenen länger brennen lassen. Diese intuitiv einleuchtenden Reaktionen seitens der Konsumenten rühren daher, dass etwas plötzlich weniger kostet, weshalb man von einem *Preiseffekt* spricht: mit dem gleichen Budget kann man sich mehr Konsum leisten.

In Kapitel 4.2 haben wir gesehen, dass der direkte Rebound die Zunahme des Konsums an Gütern und Dienstleistungen betrifft, *die jetzt effizienter geworden oder effizienter hergestellt worden sind*. Weil dadurch aber Kaufkraft übrig bleibt, nachdem man weiter so konsumiert wie bisher, kann auch die Nachfrage nach Gütern steigen, deren Effizienz unverändert geblieben ist. In Kapitel 3.2.1 zeigten wir eine Taxonomie der verschiedenen Reaktionen von beiden Arten von Konsumenten – den bisherigen und den neuen.

Um die neuen Kaufgewohnheiten zu quantifizieren, gibt es wiederum eine direkte und eine indirekte Methode: (1) Man kann direkt das veränderte Konsumverhalten mittels Umfragen beschreiben; nach der Wärmedämmung eines Wohnhauses z.B. kann man untersuchen, wie viele Kubikmeter Wohnraum und mit welcher Raumtemperatur jetzt geheizt wird, sowie wie die gesparten, ehemaligen Heizkosten nunmehr ausgegeben werden (Frondel et al., 2008).⁷ (2) Man kann mittels Input-Output Tabellen und historischer Daten versuchen zu schätzen, welche Sektoren in Hinkunft einen Mehrumsatz erleben werden (Hertwich, 2005, S. 91-92).

4.4 PREISELASTIZITÄTEN

4.4.1 Ressourcenpreise

Herauszufinden ist am Ende die Ressourcen-*Effizienz*-Elastizität der Nachfrage nach dieser Ressource (vgl. Kapitel 3.2.4; Alcott, 2008a, S. 775). Verständlicher ausgedrückt: eine Effizienzsteigerung von z.B. 2 % verursacht eine unmittelbare Senkung der Nachfrage nach dem Input, der jetzt effizienter eingesetzt wird, was den Preis nach unten drückt. (Anm.: die relativen Preise sind für die weitere Entwicklung der Nachfrage entscheidend – sie steuern unser Verhalten, sind aber selbst durch die technische Effizienzsteigerung ‚gesteuert‘.) Um wie viel Prozent fällt aber der Preis, wenn die Effizienz um 2 % steigt (Llop, 2008, S. 288; Hanley et al., 2009, S. 693)? Diese ‚Elastizität‘ empirisch herauszufinden ist fast unmöglich, weshalb man z.B. eine Elastizität von Eins annimmt: der Preis fällt also auch um 2 %. In weiterer Folge verwendet man dann die wesentlich gebräuchlichere *Preiselastizität* der Nachfrage, um Rebound zu beziffern (Roy, 2000, S. 436).

Eigentlich steht jedoch die Annahme einer Effizienz-*elastizität* von Eins auf wackeligen Beinen, u.a. weil die *Effizienzveränderung* selbst schwer zu messen ist. Jedenfalls sollte man Preiselastizitäten der Nachfrage nicht mit Rebound gleichsetzen. Wenn beispielsweise nachgewiesen werden konnte, dass eine 1 %-ige Senkung des Preises eine Erhöhung der nachgefragten Quantität um 0.04 % oder 0.89 % nach sich zieht, kann man nicht sagen, der *Rebound* sei 4 % bzw. 89 % (z.B. Frondel et al., 2008, S. 146).

⁷ Diese Studie fand einen höheren *Direktrebound* als andere, nämlich 57-67 %.

Fast völlig vernachlässigt wurde in der Rebound-Forschung bisher die Frage nach der Effizienz- bzw. Preiselastizität des *Angebots* einer Ressource (Alcott, 2008a; Wei, 2010; Turner & Hanley, 2010). Wenn ein allfälliger Preisverfall dazu führt, dass z.B. Erdölproduzenten weniger Rohöl am Markt anbieten, wird der Rebound kleiner. Sind die Anbieter hingegen bereit, zum niedrigeren Preis gleich viel zu verkaufen, kann Rebound wie gewöhnlich geschätzt werden. Deshalb ist es wichtig, das *tatsächliche* Verhalten der Anbieter zu beobachten. Aus der ökonomischen Theorie wissen wir, dass dies von der Größe des Gewinns (bzw. der Renten) in jener Ressourcenbranche abhängt. Dies bedarf weiterer Untersuchungen, aber ein Konsens besteht zumindest dahin gehend, dass Gewinne und Renten meist sehr groß sind, das Angebot also nicht zurück geht (vgl. Turner, 2009). Es ist jedenfalls erforderlich, dass in der Forschung zukünftig Angebots-Auswirkungen genauso ernst genommen werden wie Nachfrage-Auswirkungen.

4.4.2 Die Preise der Güter und Dienstleistungen

Eine Mehrheit der Studien, die Rebound aus der Warte des Konsumenten eines bestimmten Gutes oder einer bestimmten ‚Energie-Dienstleistung‘ betrachten, nimmt nicht die zu sparende Ressource direkt ins Visier, sondern Güter und Dienstleistungen, welche die Ressource benötigen – wie etwa Kühlschränke und Flugkilometer. Man versucht festzustellen, wie viel Dünger, Aluminium, Computer oder Personenwagen-Kilometer usw. nachgefragt werden, nachdem diese durch Einsparungen bei Energieinputs billiger geworden sind. Dieser methodische Rahmen ermöglicht es, Umfragen bei Endkonsumenten (privaten Haushalten) zu machen und dabei gleichzeitig Einstellungen und Werte dieser Konsumenten zu erforschen. Der Preis dafür ist ein sehr kompliziertes Modell. Für jedes Gut und jede Dienstleistung muss man den ‚Energieanteil‘ wissen, d.h., man muss z.B. die Veränderung der gefahrenen Kilometer in eine Veränderung der verbrauchten Liter Benzin übersetzen. Man muss die Dienstleistung entsprechend definieren, von der sich der Konsument einen Nutzen verspricht, weil es angeblich dieser Nutzen ist, der gekauft wird (Wirl, 1997; Schipper & Grubb, 2000; Hertwich, 2005; Sorrell, 2007).

Der Begriff ‚Energiedienstleistung‘ jedoch, der angewendet wird, kann nicht definiert werden: die Bereitstellung jedes Gutes und jeder ‚Dienstleistung‘ braucht Energieinput. Selbst wenn man diese ‚Energieanteile‘ tatsächlich messen könnte, muss die Linie in all jenen Fällen willkürlich gezogen werden, wo der Anteil Energie an den Gesamtausgaben zu niedrig ist, um noch von einer ‚Energiedienstleistung‘ sprechen zu können – z.B. ein Konzert (Alcott, 2012). Jedenfalls ist es keine sichere Annahme, dass die nächste Ausgabe eines Konsumenten weniger ‚energieintensiv‘ sein wird (Binswanger, 2001, S. 126).

Es gibt weitere Fragen, wovon die Einschätzung des Rebounds abhängt. Nimmt man z.B. das BIP – genauer: das Verhältnis BIP/Energieinput – als einen Maßstab für die Effizienzveränderung selbst, werden die ‚möglichen Einsparungen‘ massiv überschätzt. (*siehe* Kapitel 4.1) Unserer Meinung nach ist es zudem auch geboten, exogene Preisveränderungen auszusondern: Eine

allgemeine Verteuerung der fossilen Energieträger würde die Nachfrage auch nach unten drücken, genauso wie die gleichzeitig auftretende Effizienzsteigerung; der Reboundeffekt würde so geringer erscheinen als er tatsächlich ist. Andererseits würde man bei einer relativen Verbilligung der Energie fälschlicherweise einen Teil der Nachfrage auf das Konto von Rebound verbuchen und ihn dadurch überschätzen (vgl. Frondel et al., 2008, S. 152). Weil aber die Rebound-Forschung nur die Auswirkungen der allenfalls amtlich vorgeschriebenen Effizienzsteigerung wissen will, sollte man für die Analyse die Preise konstant halten.

4.5 PRODUKTIONSMÖGLICHKEITEN DER GESELLSCHAFT

Zum Abschluss dieser grundlegenden Ausführungen über Rebound stellen wir uns nun noch für einen Moment vor, dass die gesamte Wirtschaft über Nacht beim Brennholz- oder Erdölbedarf einen ‚Effizienzchock‘ von 10 % erlebt. Ab dem darauffolgenden Tag würde der Bestand an ungeschlagenem Holz wachsen, und wenn das Erdöl weiter sprudelt, würde sich eine ganze Menge davon als nicht mehr weiter benötigt ansammeln.⁸ Denken wir vorerst nicht an deren Preise, sondern nur daran, dass die Gesellschaft sich kollektiv oder individuell entscheiden muss, ob sie diese frei gewordenen Mengen nutzbringend einsetzen möchte oder nicht. Die Gesellschaft hat jetzt die Möglichkeit, durch Verbrauch der frei gewordenen Holz- und Erdölvorräte mehr Güter zu produzieren (und/oder mehr Leute zu unterhalten).⁹ Fragen wir uns auch, warum die Effizienz überhaupt gestiegen ist: Eine Effizienzsteigerung ist auch mit Kosten verbunden – es braucht Ideen, Anstrengungen und das Einsetzen von natürlichen Ressourcen, um diese zu realisieren. Wie wir im nächsten Kapitel noch näher sehen werden, können wir die Rebound-Frage aus heutiger Sicht empirisch (noch) nicht schlüssig beantworten – die Schätzungen klaffen um eine Größenordnung auseinander – obwohl seit dreissig Jahren daran geforscht wird.¹⁰ Wir können aber unsere Menschenkenntnis einsetzen oder, eleganter ausgedrückt, multidisziplinär vorgehen und beispielsweise Geschichte, Anthropologie und Psychologie heranziehen (Ulrich, 2010, S. 47). Hinzu kommt noch die überaus wichtige Frage, ob allein die besorgniserregende Entwicklung des Klimawandels uns genügend Zeit lassen wird, um diese äusserst schwierige Frage ‚endgültig‘ zu beantworten. Vielmehr muss Umweltpolitik wie schon öfter in der Vergangenheit auch hier – wenngleich mit vermutlich weitreichenderen Konsequenzen – im Umfeld großer wissenschaftlicher Unsicherheit erfolgen.

⁸ Nehmen wir an, man dreht den Hahn nicht sofort zu, sondern hofft, die Nachfrage steige wieder.

⁹ Im Fachjargon: die *production possibilities frontier* (PPF) hat sich erweitert.

¹⁰ Brookes (1978, 1979); Khazzoom (1980).

5 Rebound: Stand der Forschung

In den letzten Jahren wurde die Rebound-Forschung – nach zwei Schüben in den 1980er und 1990er Jahren – wieder deutlich intensiviert. Dabei lassen sich u.a. folgende Trends konstatieren: (1) Die Einsicht, dass Direktrebound nur der Anfang ist, setzt sich langsam durch. (2) Schätzungen des Gesamtrebounds sind während des letzten Jahrzehnts tendenziell eher größer geworden. (3) Die Erkenntnis ist gereift, dass Effizienz alleine nicht ausreicht, um in absehbarer Zeit eine absolute Senkung des Ressourcenverbrauchs zu erlangen. (4) Es wird vermehrt nach geeigneten Maßnahmen und Politiken gefahndet, um Rebound zu bekämpfen. (5) Es werden zunehmend auch die Effekte auf die Angebotskurve untersucht. (6) Es wird auch die Frage nach Reboundeffekten in Bezug auf andere Inputfaktoren gestellt (z.B. Wasser, Phosphor, seltene Erden). (7) Der Begriff ‚Rebound‘ ist in aller Munde.

In den nachfolgenden Ausführungen sollen zuerst die verschiedenen Ausprägungen von Rebound diskutiert (Kap. 5.1), daran anschließend Rebound im Zusammenhang mit anderen Ressourcen gestreift (Kap. 5.2), und schließlich ein kurzer Überblick über ausgewählte neuere Ergebnisse der Rebound-Forschung geliefert werden (Kap. 5.3).

5.1 AUSPRÄGUNGEN VON REBOUND IM ENERGIE- UND UMWELTKONTEXT

In der Rebound-Forschung fehlt es noch immer an einheitlichen Definitionen. Hier unterscheiden wir neben dem direkten Reboundeffekt (*siehe* Kapitel 3.2.1) zwischen dem Preiseffekt (*Energiepreis*) und dem Einkommenseffekt. Einige Studien brauchen dafür auch die beiden Begriffe ‚indirekter‘ Rebound und den sich gesamtwirtschaftlich auswirkenden (*economy-wide*) Rebound, die zusammen den makroökonomischen (*macro-economic*) Rebound ausmachen und vom Direktrebound zu unterscheiden sind (Barker et al., 2009).

5.1.1 Der Preiseffekt (*hauptsächlich der Preis des Inputs*)

Die technischen Vorgänge lösen verschiedene ökonomische Vorgänge aus; Veränderungen sind anzunehmen bei Preisen, Angebot und Nachfrage entweder des Inputs oder der mannigfaltigen Produkte, die den Input für deren Produktion benötigen.

1. Die erste Reaktion auf eine Effizienzsteigerung ist, dass weniger von diesem Input nachgefragt wird, was zu einer Preisreduktion führt.
2. Die Preisreduktion führt wiederum dazu, dass die Nachfrage wieder steigt, unter der Annahme, dass es ‚marginale Konsumenten‘ gibt, d.h., jene, die zum niedrigeren Preis bereit zum Kauf sind. Diese Annahme ist in einer Welt mit 7 Milliarden Menschen, wovon viele noch stark unterbefriedigte Bedürfnisse haben, durchaus berechtigt.

3. Diese Nachfrage wird dann befriedigt, wenn das Angebot unverändert bleibt. Sollte hingegen der Preisfall dazu führen, dass Verkäufer des Inputs weniger von diesem Input auf den Markt bringen, kann diese ‚Rebound‘-Nachfrage nicht oder nur teilweise befriedigt werden.
4. Nachdem ein bestimmtes Produkt, das diesen Input braucht, pro hergestellter Einheit weniger von diesem Input braucht, kann der Hersteller des Produkts *ceteris paribus* dessen Preis ohne Gewinneinbuße senken. Diese Preissenkung führt wiederum dazu, dass wieder ‚marginale Konsumenten‘ in den Markt eintreten, und die Anzahl der umgesetzten Produkte steigt.
5. Diese Steigerung des Umsatzes heisst wiederum, dass die Produkt-Hersteller mehr Input nachfragen.
6. Diese vergrößerte Nachfrage ermöglicht es dann, dass der Preis des Inputs wieder steigt.

Wir können alle diese Kausalzusammenhänge als *Elastizitäten* darstellen:

- 1a. Die Effizienz-Elastizität der Nachfrage nach dem Input.
- 1b. Die Nachfrage-Elastizität des Preises des Inputs.
2. Die Preis-Elastizität der Nachfrage nach dem Input.
3. Die Preis-Elastizität des Angebots des Inputs.
- 4a. Die Effizienz-Elastizität der Preise der *Produkte*, die des Inputs bedürfen.
- 4b. Die Preis-Elastizität der Nachfrage nach diesen Produkten.
5. Die Produkt-Nachfrage-Elastizität der Nachfrage nach dem Input (muss gleich groß wie die ursprüngliche Veränderung der technischen Effizienz sein).
6. Die Produkt-Nachfrage-Elastizität des Preises vom Input.

5.1.2 Der Einkommenseffekt (individuell und gesamtwirtschaftlich)

Eine intuitiv starke Erklärung des Reboundeffekts beginnt mit einem Haushalt, der für Beleuchtung, Heizung oder Mobilität nach technischen Effizienzsteigerungen weniger bezahlen muss. Die Monatsrechnungen für Strom, Heizöl und Benzin werden tiefer. Arbeiten und verdienen die Mitglieder des Haushalts aber gleich viel wie bis anhin, haben sie am Ende des Monats überschüssige Kaufkraft, die dann für weitere energieverbrauchende Produkte und Tätigkeiten ausgegeben werden kann. Jedoch im selben Moment haben die Verkäufer von Strom, Heizöl und Benzin deswegen *weniger* Kaufkraft. Diese sind meist Firmen, die jetzt weniger Löhne oder Dividende zahlen oder weniger investieren. Wenn wir also nur in monetären Einheiten denken,

bleibt die Netto-Kaufkraft im System gleich – ein Nullsummenspiel – und es gibt überhaupt keinen Rebound. Diese Herangehensweise, auf sich allein gestellt, kann also die wirtschaftlichen Effekte einer Effizienzsteigerung nicht fassen. Bleibt die gesamtwirtschaftliche Geldmenge gleich, gibt es keinen Einkommenseffekt – ausser das allgemeine Preisniveau sinkt.

Tatsache ist, dass die Wirtschaft im Falle einer Effizienzsteigerung in realen, nicht-monetären Einheiten gemessen mehr produzieren kann. Die *production possibilities frontier* (PPF) umfasst jetzt mehr Güter und Dienstleistungen. Sofern danach die Nachfrage vorhanden ist, befindet sich dieser größere Output in einer Welt mit der gleichen Menge Geld, und deshalb fallen die Preise. Die Gesellschaft als Ganzes ist (im nicht-monetären Sinne) ‚reicher‘ geworden. Aber diese Analyse hilft uns nicht weiter, Rebound zu messen: Wir wissen immer noch nicht, ob die Rebound-Nachfrage groß genug ist, so dass alle vorübergehend brachliegenden Input-Ressourcen in Anspruch genommen werden.

Wohl können wir aber das Ausmass der vorhandenen, latenten Nachfrage schätzen, eine Schätzung, die wiederum davon abhängt, ob allgemeine Sättigung auftritt. Erfüllen alle Leute ihre Grundbedürfnisse? Wünschen sie sich mehr Komfort, mehr Wohnraum, mehr Fleischkonsum, oder einen Personenwagen – wenn diese *gratis* zu haben sind (quasi als ‚*free lunch*‘)? ‚Gratis‘ sind sie dank der technischen Effizienzsteigerung. *Mehr* ist zu haben für den gleichen Einsatz an Zeit, Anstrengung und natürlichen Ressourcen. Sogar in Geldeinheiten gemessen ist buchstäblich alles billiger geworden. Die psychologische und die soziologische Forschung des Konsumverhaltens würden höchst wahrscheinlich bestätigen, dass wir fast immer annehmen, was uns gratis angeboten wird. Empirische Forschung kann diese Einsicht, wenn überhaupt nötig, höchstens untermauern.

Die absolute Sättigung ist möglich, d.h. ein Zustand worin ein weiteres Gut, eine weitere Dienstleistung, nicht einmal gratis gewünscht ist. Wie weit sind wir von diesem Zustand entfernt? Schon viele Beobachter haben festgestellt, und bedauert, dass es psychologische, gegen die Genügsamkeit wirkende Kräfte gibt, z.B. Wünsche nach Luxus als Zeichen von Prestige, oder Wünsche nach ökonomischer Sicherheit für sich selbst und die Enkelkinder. Es scheint keine Grenzen zu geben, auch wenn alle Grundbedürfnisse befriedigt sind. Wenn dieser Sachverhalt ziemlich unbestritten ist, wie viel offensichtlicher ist es, dass Mehrkonsum auftritt, wenn er gratis ist?

Das Fazit lautet: Der Einkommenseffekt, für die ganze Gesellschaft betrachtet, ist Wirklichkeit. Was machen wir mit diesem zusätzlichen Einkommen (Kaufkraft, die der größeren Produktionskraft genau entspricht)? Die Antwort auf diese Frage bestimmt die Größe des Reboundeffekts. Sie hängt von unserem Menschenbild ab, unter anderem das soeben ausgemalte Bild. Stimmt dieses Bild nur ungefähr, muss es nicht erstaunen, dass Wachstumseffekte Effizienzeffekte dauerhaft übersteigen.

5.2 RESSOURCEN (PRODUKTIONSFAKTOREN) AUSSER ENERGIE

Gegen Knappheit aller natürlichen Ressourcen stehen die gleichen Mittel zur Diskussion: (1) Effizienz, (2) Substitution, (3) Caps, (4) Verteuerung und (5) Appelle für freiwillige Schonung. Wir behandeln jetzt kurz (1) Wasser, (2) Phosphor, (3) Landfläche und (4) Arbeit. Alle sind separate *Produktionsfaktoren*, deren Produktivität wir zu erhöhen versuchen, nicht nur weil wir sie schonen möchten, sondern auch, weil wir mehr Güter und Dienstleistungen aus ihnen machen wollen. Deshalb verhalten wir uns meistens so, dass wir Arbeit und natürliche Ressourcen, die dank Effizienzsteigerung kurzfristig brachliegen, für etwas Neues einsetzen.

5.2.1 Wasser

Der nachhaltige Verbrauch von Süßwasser kennt seit Jahrhunderten ein strenges Management. Flüsse, Seen, und Grundwasserreservoirs sind Gemeinbesitz mit Ausbeutungsregeln; die mögliche ‚Tragödie der Allmende‘ ist allzu offensichtlich, zumal sie sich im kleineren Rahmen abspielen würde (Vliegthart et al., 2000; Campbell et al., 2004; Orthofer et al., 2007; Llop, 2008; Gohar & Ward, 2010; Erensu, 2011; Cheng & Hu, 2011)¹¹. Die Rationierung geschieht übrigens nicht immer auf der individuellen Ebene, sondern pro Region, innerhalb der weitere Massnahmen gelten. Verschwenderischem Gebrauch von Wasser wird auch mit technischen Effizienzmassnahmen begegnet, inkl. Anstrengungen, gebrauchtes Wasser zu rezyklieren.¹² Weil Wasserverbrauch im Gegensatz zum Energieverbrauch nicht mit schädlichen Emissionen verbunden ist, ist die Erhöhung des *Angebots* unbedenklich – mittels Entsalzung, Regenwasser-Sammlung, vermehrter Lagerung, Verlagerung über Distanz, usw. (Cheng & Hu, 2011; IME, 2011). Schließlich scheint ein Konsens in der Wasserpolitik zu bestehen, dass ein geeignetes – und wohl unerlässliches – Mittel zur Schonung der wertvollen Ressource Wasser die Verteuerung ist – sind einmal die einkommensschwächsten Gruppen geschützt – und dies auch wenn die Preiselastizität gering ausfällt (d.h. wenn der Verbrauch erst bei empfindlichen Preissteigerungen spürbar zurückgeht; Campbell et al., 2004; Gohar & Ward, 2010).

Bei Wasser scheint Rebound viel seltener ein Forschungsthema zu sein als bei Energie (Verkerk, 2007). Wenn schon, wird er zwar als sehr hoch eingeschätzt: ‚*engineering*‘-Lösungen werden durch Mehrverbrauch weitgehend kompensiert (direkter Rebound) (Geller et al., 1983; Campbell et al., 2004; Verkerk, 2007; Llop, 2008)¹³. Deshalb seien Preiserhöhungen und/oder gesetzliche Regulierung nötig. Für Haushalte wurde zwar in einer Studie ein niedriger Rebound

¹¹ Bei Wäldern und Fischereien gelten ähnliche Regeln.

¹² Zwar wird Effizienz in der Literatur technisch definiert (pro Hektar, Person, pro Nahrungsmittelprodukt) sowie ökonomisch (pro Euro wirtschaftlicher ‚Leistung‘) (Orthofer et al., 2007; Lv & Ling, 2011).

¹³ Möglich ist es, dass Direktrebound höher ist, wenn Konsumenten wissen, dass sie mittels technischer Geräte Wasser oder Energie sparen: Sie fühlen sich legitimiert, wieder mehr zu verbrauchen (Geller et al., 1983, S. 108). Indirekter Rebound hängt nicht von diesem psychologischen Effekt ab.

gefunden, aber ohne Quantifizierung und nur auf den *direkten* Rebound bezogen (Millock & Nauges, 2010). Die Höhe des Reboundeffekts ist wohl bei Süßwasser geringer als bei Energie, weil der Wassertransport relativ ungünstig ist, aber auch, weil in der Landwirtschaft Land zur Bewässerung nicht zur Verfügung steht; Sättigung ist also lokal eher möglich. Ob es sich lohnt, die Rebound-Frage bezüglich Wasser näher zu untersuchen, scheint fraglich.

5.2.2 Phosphor

Die Wahrnehmung einer Phosphor-Knappheit ist relativ neu, wenn auch die Effizienz-Dynamik der *Elemente*, z.B. auch von Kupfer oder seltenen Erden, ähnlich ist. Bei allen ist Recycling – wohlgerne unter Einsatz von Arbeit und Energie – im großen Ausmaß möglich. Urin, Exkremente und Pflanzenreste sind neben phosphorhaltigem Gestein unsere Hauptquellen, während aber die Einsammlung von Atomen, einmal in der Erde verstreut, fast unmöglich ist (Smil, 2000, S. 80-81)¹⁴. Ob durch Recycling die Vorräte an (nicht erneuerbarem) Gestein wirklich geschont werden, wäre die Rebound-Frage, die aber bezüglich Phosphor noch nicht explizit gestellt worden ist. Preispolitik bietet sich auch bei Phosphor an, zumal er in Form von subventioniertem industriellem Dünger verbilligt ist (White, 2010).

Mit ‚Peak Phosphor‘ bereits in Sichtweite, wird Effizienz groß geschrieben. Leider aber werden ‚*engineering savings*‘ als reelle Einsparungen betrachtet, 1:1 (Vaccari, 2010); die Nachfrage nach neuem Gestein könne sogar durch Effizienz eliminiert werden (Cordell et al., 2009, S. 303; Ashley et al., 2011, S. 744). Manchmal wird zwar eingestanden, dass mit Recycling und anderen Arten von Effizienz zwar etwas ‚Zeit gewonnen‘ werden könne, dies aber nicht die langfristige Lösung des Problems darstelle (Schröder & Smit, 2010). In einigen Ländern bereits realisiert sind sowohl *indirekte* Massnahmen (Effizienz, Recycling) als auch *direkte* Massnahmen, wie etwa die gesetzliche Begrenzung der Anzahl Tiere, der Menge Phosphor in kommerziellem Dünger, oder der Menge Dünger pro Hektar und Jahr (Smil, 2000, S. 77).

5.2.3 Fläche

Die Frage steht schon lange explizit im Raum, ob eine größere Effizienz in der Landwirtschaft (Ertrag pro Hektar) den Druck auf jene Landflächen mindert, die derzeit noch nicht ausgebeutet werden – z.B. auf steileren Hängen, oder in bestehenden, nur extensiv bewirtschafteten Waldflächen – oder ob auch hier der Reboundeffekt diese Hoffnung zerstört (Pascual, 2002). Bekanntlich ist auch die ‚Grüne Revolution‘ eine umfassende, großflächige Effizienzsteigerung, die aber selten dazu führte, dass Land aus der Produktion genommen wurde (Brown & Kane,

¹⁴ Energie-Recycling ist noch unrentabler, weil nur oft nur ein Teil der Abwärme in der Nähe eines Prozesses nutzbar ist.

1994)¹⁵. Die Messung von Rebound in diesem Sektor wirft eine methodische Frage auf: die Rolle der Bevölkerungszunahme. Wenn größere Effizienz bei der Nahrungsmittelproduktion diese Zunahme ermöglicht oder verursacht (Giampietro, 1994), schlägt dann die zusätzliche Nachfrage als Rebound zu Buche (Alcott, 2008b)? Wenn ja, muss man wohl von einem 100 %-igen Rebound sprechen, auch wenn zusätzliche Nachfrage nach mehr Nahrungsmitteln pro Person und mehr Tierprodukten mitwirkt. Methodisch interessant ist weiter, dass hier eine ‚Trend‘-Szenario wenig Sinn macht: die kontrafaktische Position – dass *ohne* die Effizienzsteigerung die Bevölkerung und/oder die Nahrungsmittelproduktion *noch größer* wäre – ist nicht glaubhaft.

Bei Bauland bleibt das analytische Werkzeug ähnlich. Die Raumplanung begrenzt das Angebot gesetzlich – ein *Cap*. Wie bei Landwirtschaftsland jedoch, aus sozial-politischen Gründen, findet man kaum Lösungen über Preispolitik (absichtliche Verteuerung). Das verdichtete Bauen kann andererseits als eine Effizienz-Lösung gesehen werden, weil es die Wohn- oder Geschäftsfläche pro Quadratmeter erhöht, was die Nachfrage nach Bauen ‚im Grünen‘ ohne strengere Raumplanung vermindern soll. Auf diesem Gebiet ist uns keine Literatur bekannt, die Rebound ausdrücklich in Betracht zieht. Ökonomische Grundtheorie lässt den Schluss zu, dass ohne Zonenveränderung das Bauen im Grünen damit zwar verzögert aber nicht verhindert werden kann. Genau wie die Förderung von erneuerbaren Energiequellen, die nicht erneuerbare Energieträger nicht ersetzen, sondern lediglich ergänzen, verhält es sich bei Bauland; auch gegen diese Rebound-Nachfrage nach Land im Grünen müsste man absolute Grenzen in Form der Raumplanung setzen (Zollinger, 2006; Seidl et al., 2009)¹⁶.

5.2.4 Arbeit

Es ist nicht allgemein bekannt, dass der Reboundeffekt bezüglich des Produktionsfaktors Arbeit ziemlich gut erforscht ist; wir müssen das Rad daher nicht neu erfinden, sondern können von einer im 19. Jahrhundert geführten Debatte bereits viel lernen (Greenberg, 1990; Alcott, 2008b)¹⁷. Allerdings müssen wir die normativen Vorzeichen umkehren, weil Null-Rebound im Beschäftigungskontext ja Massenarbeitslosigkeit hieße! Wie bei den ‚natürlichen‘ Ressourcen beobachten wir historisch die gleichzeitige Steigerung der Effizienz eines Inputs und dessen gesteigerten Konsum. Netto wurden frei werdende Stunden selten mit Nichtstun gefüllt, sonst würden wir heute viel weniger arbeiten als früher, als die Arbeitsleistung pro Stunde noch viel niedriger war. Anscheinend gibt und gab es 100 % Rebound oder, kommt das Bevölkerungswachstum noch dazu, Backfire.

¹⁵ Wohl wurde Land für Siedlungen, Golfplätze oder Verkehrsinfrastruktur frei.

¹⁶ Aufschlussreich ist hier auch die Schweizer Volksinitiative ‚Raum für Mensch und Natur (Landschaftsinitiative)‘
www.landschaftsinitiative.ch.

¹⁷ Hauptteilnehmer waren Ricardo, Say, Malthus, Sismondi und Marx.

Äusserst kurz gefasst: in der klassischen Volkswirtschaftslehre wurde einerseits argumentiert, dass ‚arbeitssparende‘ Erneuerungen, wie Maschinen oder die Fabrikorganisation selbst, Arbeiter andauernd auf die Straße stellen würden. Das Gegenargument war: Das Produkt – z.B. Brot – ist nach der Effizienzerhöhung in gleicher Menge wie vorher vorhanden; die Arbeiter können dieses Brot essen und bloß etwas anderes machen. Letzteres Argument hat gewonnen. Theoretisch sah man ein, dass die die Arbeitseffizienz steigernden Erneuerungen zwar schmerzhaft Umstellungen und Umsiedlungen verursachten, aber weil das Sozialprodukt dadurch sogar erhöht wurde, mehr Leute davon leben konnten.¹⁸ Empirisch war die rasche Zunahme von Bevölkerung und Arbeitsstellen trotz Massenauswanderung so offensichtlich, dass auch Ricardo und Marx am Schluss umdachten. Oder kann man die Fakten auch so auslegen, dass es *ohne* Steigerung der Arbeitsproduktivität noch mehr Arbeitsbedarf gegeben *hätte*?¹⁹ Wovon hätte aber diese Arbeit bezahlt werden können?

Analytisch schwierige Fragen bleiben trotzdem: (1) Wieder stellt sich die Frage, ob Arbeitslosigkeit nicht durch die größere Bevölkerung vermieden wurde, statt durch die Produktivitätssteigerung selbst. Schliesslich gibt es heute viele Modelle in der Rebound-Forschung, die die Bevölkerung als völlig exogen betrachten, d.h. nicht einmal teilverursacht durch Effizienzsteigerung.²⁰ (2) Viele Leute haben es tatsächlich vorgezogen, mit ihrer Effizienz- ‚Dividende‘ weniger zu arbeiten – siehe Teilzeitarbeit, Frühpensionierung, usw. – aber andere Leute sprangen in die Lücke. Uns interessiert ja das weltweite Netto-Ergebnis. Schliesslich bleibt es so, dass die hinreichenden Bedingungen für Null-Rebound absolute Sättigung und eine stabile Bevölkerung sind.

5.3 ÜBERBLICK ÜBER AKTUELLE ERGEBNISSE DER REBOUNDFORSCHUNG

In den vergangenen Jahren erlebte der Reboundeffekt mehr und mehr Aufmerksamkeit in Forschung und Politik. Dies wird bezeugt durch mehrere Sachbücher bzw. Aufsatzsammlungen (z.B. Polimeni et al. 2008; Herring & Sorrell 2009), Kapitel in Handbüchern bzw. Enzyklopedien (z.B. Herring 2004; Herring 2008; Sorrell 2010), EU-Projekte und daraus entstandene Forschungsberichte (z.B. Maxwell et al. 2011) sowie von ‚Think Tanks‘ (z.B. Jenkins et al. 2011), nationale Forschungsprojekte (z.B. IRGC/ZIRN/Dialego²¹, ZEW/RWI/Uni Stuttgart²²) sowie einer Vielzahl von wissenschaftlichen Aufsätzen in begutachteten Journals. In diesem Zusammenhang ist auch wenig verwunderlich, dass zunehmend auch Forschungsergebnisse über Entwicklungs- und Schwellenländer publik werden (z.B. Wei, 2010; Wang et al., 2011) sowie

¹⁸ Bei Energie gibt es nach Effizienzsteigerungen pro Einheit mehr Güter und Dienstleistungen; bei Arbeit würde dies heissen, die Löhne sind gestiegen, und damit können wir mehr Nachwuchs unterhalten und/oder andere Arbeitende entlohnen.

¹⁹ Eine Variante von Murphys Gesetz besagt doch, der vorhandene Platz werde aufgefüllt; wie Jevons richtig sah, handelt es sich hier um ein *Paradoxon*.

²⁰ Unserer Meinung nach muss die Bevölkerungszunahme auch erklärt werden.

²¹ Risk Governance Studie zu Reboundeffekten (vgl. <http://www.irgc.org>).

²² BMBF-Projekt „Die soziale Dimension des Rebound-Effektes“ (vgl. <http://kooperationen.zew.de/de/rebound>).

auch über Anwendungsbereiche der Energienutzung, wo traditionell weniger Rebound-Forschung betrieben wurde, welche aber erwartungsgemäß in den nächsten Jahren durchaus bedeutsam werden dürften (z.B. Beleuchtung – vgl. Crosbie et al., 2008; Fouquet & Pearson, 2006, 2011; Automobilität – Small & van Dender, 2007, Hymel et al., 2010; Straßenfrachtverkehr – Matos & Silva, 2011). Auch auf methodischer Seite gab es einige interessante Fortschritte (z.B. verstärkter Einsatz von rechenbaren Gleichgewichtsmodellen²³ und Paneldaten-Ökonometrie).

5.3.1 Direkter Rebound

In der empirischen Erforschung des Direktrebounds geht man häufig den Weg über die ökonomische Schätzung der negativen Preiselastizitäten der Energienachfrage als Annäherung (gesucht sind ja Effizienzlastizitäten, z.B. die aus der Effizienzlastizität der Energiepreise und der Preiselastizität der Energienachfrage zusammengesetzte Effizienzlastizität der Energienachfrage. Die Preiselastizität der Energienachfrage ist unter der Voraussetzung äquivalent zur Schätzung der Effizienz-Elastizität des Preises, dass die Energiepreise als exogen angenommen werden können, und haben den großen Vorteil, dass die Preise (im Gegensatz zu den Effizienzen) meist über genügend Variabilität verfügen, um signifikante Schätzergebnisse zu erzeugen.

Frondel et al. (2008, 2010) haben in ihren Rebound-Studien neueren Datums zur Automobilität in Deutschland hohe direkte Reboundeffekte nachweisen können, wobei auch untersucht wurde, inwieweit Eigentum eine Rolle spielt.

Madlener & Hauertmann (2011) haben mit Hilfe von SOEP-Paneldaten²⁴ den direkten Reboundeffekt der Raumbeheizung in deutschen Haushalten untersucht, und erstmals zwischen Eigentümern und Mietern einerseits sowie zwischen verschiedenen Einkommensgruppen (niedrig und hoch) andererseits unterschieden. Die ermittelten Reboundeffekte variieren zwischen 12-49 %, sind also nicht unerheblich, wobei Mieter einen deutlich höheren Reboundeffekt aufweisen als Eigentümer und bei den Mietern der Reboundeffekt je nach Einkommensgruppe auch stärker divergiert (31-49 %) als bei den Haus- bzw. Wohnungseigentümern (12-14 %).

²³ Rechenbare allgemeine Gleichgewichtsmodelle (*Computable General Equilibrium/CGE Models*) zählen inzwischen zu den Standardinstrumentarium für die Quantifizierung gesamtwirtschaftlicher Auswirkungen wirtschaftspolitischer Maßnahmen. Die meisten dieser Modelle abstrahieren weitgehend von der Heterogenität der einzelnen privaten Haushalte und gehen stattdessen von einem oder mehreren repräsentativen Haushalten aus (dies kann u.U. problematisch sein, da Politikmaßnahmen einzelne Haushalte mit ihren unterschiedlichen Einkommens- und Ausgabensituationen ganz unterschiedlich treffen können).

²⁴ SOEP = Sozio-ökonomisches Panel des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin), welches seit 1994 besteht.

5.3.2 Indirekter Rebound

Druckman et al. (2011) zeigen anhand vereinfachter Handlungsoptionen privater Haushalte zur Verminderung der Treibhausgasemissionen, dass der erwartete Rebound in der Größenordnung von 34 % zu liegen kommt, aber bei entsprechend gezielter Ausrichtung der Ausgaben auf weniger THG-intensive Güter und Dienstleistungen auf bis zu 12 % reduziert werden könnte.

Tabelle 1 liefert einen Überblick über Rebound-Schätzungen aus aktuellen Studien. Daraus wird ersichtlich, dass die Schätzungen sehr große Bandbreiten aufweisen. Man beachte weiter, dass sich die in den einzelnen Studien angewendeten Methodologien zum Teil deutlich voneinander unterscheiden (und auch bzgl. der Art des untersuchten Rebound-Effektes, z.B. Energie vs. CO₂), sodass direkte Vergleiche schwierig oder sogar unzulässig sind. Weitere, viel beachtete Zusammenstellungen, allerdings nur von empirischen Studien zum direkten Reboundeffekt, finden sich in Sorrell et al. (2009) bzw. noch früher in Greening et al. (2000).

Tabelle 1: Überblick über Schätzungen direkter und indirekter Reboundeffekte in aktueller Literatur

Autor	Berücksichtigte Effekte	Effizienz od. Suffizienz	Konsumbereich	Geschätzte Rebound-Effekte
Lenzen & Dey (2002)	Einkommenseffekt	Effizienz & Suffizienz	Nahrungsmittel, Raumheizung	45-123 %
Alfredson (2004)	Einkommenseffekt	Suffizienz	Nahrungsmittel, Mobilität, Nebenkosten	7-300 %
Brännlund et al. (2007)	Einkommenseffekt und Substitutionseffekt	Effizienz	Mobilität, Nebenkosten	120-175 %
Mizobuchi (2008)	Einkommenseffekt und Substitutionseffekt	Effizienz	Mobilität, Nebenkosten	12-38 %
Thiesen et al (2008)	Einkommenseffekt	Suffizienz	Nahrungsmittel	~ 200 %
Kratena & Wüger (2010)	Einkommenseffekt und Substitutionseffekt	Effizienz	Mobilität, Raumheizung, Elektrizität	37-86 %
Druckman et al (2011)	Einkommenseffekt	Suffizienz	Mobilität, Raumheizung, Nahrungsmittel	7-51 %
Thomas (2011)	Einkommenseffekt	Effizienz	Mobilität, Elektrizität	7-25 %
Murray (2011)	Einkommenseffekt	Effizienz & Suffizienz	Mobilität, Beleuchtung	5-40 %

Quelle: Basierend auf Sorrell (2011)

5.3.3 Gesamtwirtschaftlicher Rebound

Barker et al. (2007) untersuchen mit einem rechenbaren Gleichgewichtsmodell (MDM-E3) den makroökonomischen Reboundeffekt²⁵ für die Volkswirtschaft des Vereinigten Königreiches, welcher aus den 2000-2010 verfolgten Energieeffizienzpolitiken (private Haushalte, Industrie und Dienstleistungssektoren, öffentlicher Sektor, Transportsektor) resultiert. Der makroökonomische Reboundeffekt in 2010 wird über alle Sektoren gemittelt mit rund 11 % beziffert. Zusammen mit einem angenommenen direkten Reboundeffekt von 15 % ergäbe dies somit einen aus den (anreizbasierten) Effizienz-Politiken resultierenden Gesamtrebound von 26 %. Mit dem gleichen Grundmodell wurde später den Gesamtrebound im Jahr 2030 mit 51,3 % beziffert (Barker et al., 2009), ein Beispiel dafür, dass Schätzungen des Rebounds tendenziell steigen. Daraus folgern die Autoren, dass doch beträchtliche Reduktionen des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen durch Energieeffizienz-Steigerungen erzielt werden können. Kritisch anzumerken ist dabei jedoch, dass das Modell den internationalen Flug- und Schiffsverkehr nicht mit berücksichtigt (Barker et al., 2007) und dass gewisse Netto-Energieeinsparungen exogen angenommen werden (Barker et al., 2009).

Turner (2009) verwendet ein rechenbares Gleichgewichtsmodell für die Wirtschaft des Vereinigten Königreiches um die Sensitivität bezüglich der Substitutionsmöglichkeiten zu analysieren (Variation der Kreuzpreiselastizitäten in der Produktion und im Außenhandel). Lecca et al. (2011) untersuchen Reboundeffekte im privaten Haushaltssektor mit einem rechenbaren Gleichgewichtsmodell für das Vereinigte Königreich und finden heraus, dass die kurzfristigen Reboundeffekte durchaus auch höher als die langfristigen sein können, sofern die kurz- und langfristigen Elastizitäten gleich hoch sind. Turner & Hanley (2011) setzen ein rechenbares Gleichgewichtsmodell für die schottische Volkswirtschaft ein, um die Auswirkungen einer verbesserten Energieeffizienz auf die absoluten CO₂-Emissionen aufzuzeigen. Ihre Ergebnisse betonen die zentrale Rolle der Preiselastizität der Energienachfrage sowie den Einfluss verschiedener Faktoren auf diesen Parameter. Grepperud & Rasmussen (2004) schließlich finden mit einem solchen Modell signifikante sektorale Unterschiede in den Reboundeffekten (Energie und CO₂) nach Effizienzsteigerungen beim Konsum von Elektrizität und Mineralöl in Norwegen.

5.3.4 Rebound-Effekte im Zusammenhang mit Teleworking / Commuting

Rietveld (2011) untersucht die großflächige Einführung von Teleworking als Lösung für Verkehrsstaus und die Auswirkungen auf den Energieverbrauch im Straßenverkehr. Teleworking auf breiter Basis, so die Ansicht des Autors, würde signifikante Änderungen der Lebensstile und Arbeitszeiten bedingen, sowie der internen Organisationsabläufe und der sozialen Verantwortung von Unternehmen, und wäre mit vielfältigen Rebound-Effekten verknüpft.

²⁵ Definiert als die Summe aus indirektem Rebound und Effekten über alle Wirtschaftssektoren hinweg wegen der durch die Effizienzsteigerung ausgelösten Energiepreisminderung.

6 Entkopplung: Begrifflichkeit und Stand der Forschung

6.1 DAS RESSOURCEN/BIP VERHÄLTNIS ALLGEMEIN

Kapitel 4 und 5 haben gezeigt, wie eine technische Effizienzsteigerung gesamtwirtschaftliche Veränderungen bei Preisen, Nachfrage, und Angebot auslöst. Nach einer solchen Steigerung kann die Volkswirtschaft mit gleich vielen Ressourcen mehr produzieren oder mit weniger Ressourcen gleich viel produzieren. Entkopplung ist, wenn Input- und Output-Mengen sich entfernen, und die Rebound-Forschung fragt, ob die Effizienzsteigerung der Verminderung des Ressourcenverbrauchs dienlich ist. Untersuchen wir zunächst den Entkopplungs-Begriff näher.

Entkopplung bezeichnet eine Veränderung bei einem *Verhältnis* – in unserem Fall jenes zwischen Ressourcenverbrauch und BIP. Eine gewünschte Entwicklung dieses Verhältnisses ist das erklärte Ziel der Umweltpolitik, es enthält aber eigentlich zwei Ziele – die Erhöhung des BIPs und die Verminderung des Ressourcenverbrauchs – deren gleichzeitiges Erreichen ohnehin den „Königsweg“ darstellt. Der gegensätzliche Ansatz wäre, die zwei Ziele getrennt zu betrachten und je nach Ziel geeignete Maßnahmen wählen: für das Umweltziel z.B. direkte und effektive *Caps* oder Umweltsteuern, für das Wachstumsziel die bestens bekannten Effizienzmaßnahmen. Aber für den eingeschlagenen Weg des doppelten Ziels müssen wir die *Umwelt-Intensität* verstehen.

Im *Umwelt-Intensitätsverhältnis* bildet der Ressourcenverbrauch den *Zähler* und das BIP den *Nenner*. Umgekehrt – BIP oder Output im Zähler und Ressourcen oder Input im Nenner – haben wir das *Umwelt-Effizienzverhältnis*.²⁶ BIP ist in monetären Einheiten gemessen und ist die Summe der Zahlungen für Güter und Dienstleistungen. Ressourcen werden hier in verschiedenen physischen Einheiten gemessen, wie z.B. Kilogramm, Joules, Liter, oder Grad Celsius. Um den Gesamtverbrauch an Ressourcen einer ganzen Wirtschaft zu messen, bräuchte man eine Maßeinheit, die alle diese physischen Eigenschaften berücksichtigt, aber weil es keine solche gibt, misst man eine Ressource oder Ressourcengruppe gemeinsam mit einer einzigen, eben monetären Einheit.

Eine *Entkopplung* im weitesten Sinne bezeichnet *jede* Veränderung des Verhältnisses: Ist es dieses Jahr $3/5$ und nächstes Jahr entweder $2/5$ oder $4/5$, so hat eine Entkopplung stattgefunden: die Entwicklungen bei den beiden Größen befinden sich nicht mehr im Gleichschritt. In der Umweltpolitik hat Entkopplung aber eine engere Bedeutung, nämlich wenn sich das Intensitäts-Verhältnis *verkleinert* oder sich das Effizienz-Verhältnis *vergrößert* – d.h. wenn die zwei Grö-

²⁶ Bei diesem Unterschied gilt es aufzupassen; sogar hochgebildete Akademiker verwechseln sie manchmal in wissenschaftlichen Publikationen.

ßen auseinanderdriften. Dann bewegen wir uns Richtung z.B. ‚Faktor Vier‘, wo wir ‚mehr aus weniger‘ (immer relativ zueinander) machen (Hennicke et al., 2011). Auch davon gibt es verschiedene Varianten: (1) beide wachsen, aber das BIP wächst schneller als der Ressourcenverbrauch; (2) beide schrumpfen, aber das BIP schrumpft weniger als der Ressourcenverbrauch; (3) das BIP steigt, während der Ressourcenverbrauch schrumpft oder gleich bleibt; (4) der Ressourcenverbrauch sinkt, während das BIP steigt oder gleich bleibt.

Die letzte Variante ist die von der Politik gewünschte. Während die ersten Varianten ‚relative Entkopplung‘ genannt werden, wird diese als ‚absolute Entkopplung‘ bezeichnet (oder, wie von der Enquete-Kommission, einfach ‚Entkopplung‘). Diese Sprachgebung ist zwar nicht logisch, weil jede Entkopplung relativ sein muss, aber gemeint ist eine absolute Reduktion des Ressourcenverbrauchs, nicht bloß dessen Reduktion *pro* Euro BIP. Dieses Gutachten muss aber trotzdem die relative Entkopplung behandeln, weil dies der breiteren Dematerialisierungsdiskussion entspricht (EU, 2005b).

Von großer Bedeutung ist der Unterschied zwischen technischer Effizienzsteigerung und gesamtwirtschaftlicher Effizienzsteigerung (= Intensitätsverminderung). Beides sind ‚Entkopplungen‘, aber auf verschiedenen Ebenen. Erstere beschreibt physische Prozessveränderungen bei Einzelprodukten, z.B. CO₂ pro gefahrenem Fahrzeug- oder Tonnen-Kilometer, Kilowatt pro Lumen, Joules pro Kilowatt Elektrizität, und ähnliches z.B. bei Kühlschränken, Stahlöfen oder Raumheizung. Auf dieser Ebene wird die Umweltpolitik gemacht: Standards und freiwillige Abkommen sind in diesen physischen Parametern abgefasst. Die monetären Einheiten des BIPs sind nicht mit im Spiel; diese betreffen die gesamtwirtschaftliche Ebene. Während die konkrete Umweltpolitik bei der Technik einsetzt, wird als *Indikator* für Nachhaltigkeit und für den Erfolg der Entkopplungspolitik das große, monetäre Intensitätsverhältnis bemüht. Für unsere Diskussion entscheidend ist, dass deshalb eine 1 %-ige Veränderung der technischen Effizienz keineswegs eine 1 %-ige Veränderung der gesamtwirtschaftlichen Effizienz widerspiegelt.²⁷

Ein Grund dafür ist, dass auch andere Herstellungsfaktoren als natürliche Ressourcen den Output erhöhen, nämlich Kapital und Arbeit. Steigen die eingesetzten Mengen davon, oder wird durch nicht-technische Effizienzsteigerung deren Produktivität erhöht, resultiert ein höheres BIP – ohne jegliche technische Veränderung. Eine Maschine läuft 24 statt nur 8 Stunden pro Tag oder eine Arbeitsstunde erzeugt mehr Output, weil die Abläufe einer Fabrik optimiert wurden. Das Material, die Energie und der Boden, die uns hier interessieren, sind nur drei von mehreren Faktoren, und deshalb ist die Entkopplung auf gesamtwirtschaftlicher Ebene größer als die bei der technischen Effizienz allein. Ein banalerer Grund ist, dass z.B. das Brennstoff/BIP-

²⁷ Es ist bedauerlich, aber das Wort ‚Effizienz‘ wird sowohl im technischen, prozessanalytischen Bereich (*bottom-up* Analyse) als auch gesamtwirtschaftlich gebraucht. Wir versuchen in diesem Gutachten, den Begriff immer entsprechend ausdrücklich zu qualifizieren. ‚Intensität‘ hingegen bezieht sich fast immer auf die Gesamtwirtschaft.

Verhältnis sinkt, nur weil die Brennstoffpreise steigen – wieder ohne die Art technische Veränderung, die der Umweltschutz anstrebt (Saunders 2000a, S. 442).

Wenn also Rebound und der mögliche Beitrag der *technischen* Effizienzsteigerung zur Untersuchung stehen, dürfen wir gesamtwirtschaftliche und prozessorientierte Effizienzveränderung nicht miteinander verwechseln: einerseits kann Rebound überschätzt werden, wenn die nicht-technischen Faktoren nicht separat berechnet werden, und andererseits kann er unterschätzt werden, wenn man *engineering savings* proportional zur gesamtwirtschaftlichen Intensitätsreduktion misst und dabei überschätzt.

6.2 ENTKOPPELN SICH RESSOURCENVERBRAUCH UND BIP?

Die Messung des BIP-Wachstums für einzelne Länder sowie für die Welt ist ziemlich sorgfältig und genau, auch wenn Kaufkraftparitäten zwischen Ländern und Währungen nicht immer einfach zu beziffern sind. Die UNO und die Weltbank, sowie fast jedes Land und einige Akademiker, führen darüber Buch (World Bank 1992; Maddison, 2001; Index Mundi, 2011). Um dann die Entkopplung zu messen, müssten wir nur noch die Mengen von Ressourceninputs kennen. Hier bedarf es einerseits keines Beweises, dass z.B. seit 1900 weltweit, in Deutschland, und wahrscheinlich in jedem Land, der Konsum von Ressourcen gestiegen ist. Deshalb gab es keine ‚absolute‘ Entkopplung im Sinne der Enquete-Kommission (Jänicke, 1998; Luzzati & Orsini, 2009).

6.2.1 Messung des Ressourcenverbrauchs

Das exakte Ausmass dieses Verbrauchswachstums und deshalb der Makro-Entkopplung ist ziemlich genau feststellbar, z.B. für fossile Energieträger, Biomasse, Uran, Süßwasser, Phosphor, Kupfer, Eisen, Humus, usw. Die Verbrauchsbuchhaltung auf Weltebene ist ein Problem der Datensammlung, stellt aber eine große theoretische Herausforderung dar; muss man höchstens anhand von Preisinformationen Quantitäten in physischen Einheiten errechnen (Worldwatch Institute, 2011; Hennicke et al., 2011). Schwierig bis unmöglich ist es jedoch, eine *aggregierte* physikalische Einheit zu finden, die ein Gesamtbild des Materialverbrauchs liefert; weder Gewicht, Energie, Volumen, noch die chemischen Elemente selbst sind dafür geeignet (Radetzki & Tilton, 1990; Reijnders 1998). Für Energie verhüllt zudem die Einheit Joules Vieles, was für Umweltbelastungen von Bedeutung ist. Meistens genügt allerdings die Messung der einzelnen Rohstoffverbräuche.

Ein weit größeres Problem stellt die Aufgabe dar, den Material- und Energieverbrauch für ein einzelnes Land zu errechnen. Offensichtlich zählt die Eigenproduktion der eigenen Abbaubetriebe, und Ausfuhren und Einfuhren der Stoffe selbst sind auch leicht messbar. Wie schlagen sich aber Ausfuhren und Einfuhren von Nahrungsmitteln, Gütern und Dienstleistungen zu Bu-

che, die ‚graue‘ Energie und Material enthalten? Wir wollen den ‚Ressourcenverbrauch‘ messen, wie definieren wir aber ‚Verbrauch‘? Davon hängt es ab, auf welches Länderkonto der Inputverbrauch verbucht wird. Deutschland muss z.B. seine Stahl- oder Autoausfuhren messen (immer minus Einfuhren davon, also Netto-Exporte) und dann entscheiden, ob die darin enthaltenen ‚grauen‘ Ressourcen auf sein eigenes Konto oder auf das Konto des Käuferlandes geht. Auch ein importiertes Nahrungsmittel bedingt den Verbrauch von Wasser, Dünger, usw. im Herstellungsland. Weitere Berechnungen betreffen den internationalen Güter-Transport.

Es geht hier jedoch nur darum, diese Schwierigkeit aufzuzeigen, nicht zu überwinden. Es gibt eine große Literatur darüber, wie der Weltverbrauch auf die Einzelländer zu verteilen ist (z.B. Rothman, 1998; Muradian et al., 2002; Jungbluth et al., 2007; Wiedmann et al., 2008; Hertwich & Peters, 2009; Peters et al., 2010; Baiocchi & Minx, 2010). Dennoch sind mindestens zwei Fragen noch nicht endgültig entschieden, eine ethische und eine technische.

Weil der Ressourcenverbrauch in einer Welt mit knappen und ungleich verteilten Ressourcen selbst in gewissem Sinne eine Belastung darstellt, und weil die Länder-Buchhaltung im Rahmen des UNFCCC²⁸ politisch entschieden werden muss, stellt sich die ethische Frage.²⁹ Wem ‚gehören‘ die bei der Herstellung entstandenen Emissionen, wenn z.B. Bangladesch Kleider nach Deutschland exportiert? Wer ist für Verbrauch und Verschmutzung *im ethischen/politischen Sinne* verantwortlich?

Die Antwort dieser Frage nach der Länder-Zuschreibung bestimmt dann die gemessenen Ressourcenmengen, auf deren Basis man den Zähler des Ressourcenintensität-Verhältnisses eines Landes berechnet. Abgesehen von der ethischen/politischen Entscheidung, gibt es grob gesehen zwei technische Messmethoden, um den gehandelten Gütern und Dienstleistungen eine Ressourcen- oder Emissionsmenge zuzuschreiben.

(1) Die Methode der *Environmental Input-Output Analysis* (EIO), zusammen mit der sogenannten Lebenszyklusanalyse (*Life Cycle Analysis*), stellt für jedes Produkt und jede Produktgruppe oder jeden Industriesektor einen Koeffizienten fest: Pro ausgegebenem Euro, z.B. für eine Banane, werden bestimmte Mengen Wasser, Dünger, Energie usw. berechnet, die bei der Herstellung und dem Transport notwendigerweise verbraucht wurden. Deshalb hat jede Produktgruppe einen ‚Koeffizienten‘: € 1000 an Bananen mal z.B. X Joules pro Kilogramm oder Euro ergibt den Energieverbrauch für eine bestimmte importierte Menge. Die Literatur über diese Methode ist sehr umfangreich (vgl. z.B. die grundlegenden Arbeiten zu diesem Thema des Wuppertal Instituts; Wiedmann et al., 2006; Wiedmann, 2009). Das Ergebnis für ein reiches Industrieland, wie z.B. die Schweiz zeigte für das Jahr 2004 nach der Buchhaltungsmethode der UNFCCC ‚weisse‘ Inlands-Emissionen von ca. 53 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente; wenn man die

²⁸ United Nations Framework Convention on Climate Change.

²⁹ Obwohl in diesem Gutachten der Einfachheit halber von *Verbrauch* die Rede ist, gilt alles auch für Emissionen (obwohl mit z.T. anderer ethischen Bedeutung).

Netto-Einfuhren von ‚grauen‘ Emissionen von ca. 40 Millionen weiteren Tonnen berücksichtigt, muss die Schweiz hingegen ca. 93 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr ‚verantworten‘ – also ca. 12,5 Tonnen pro Kopf statt nur ca. 7,2 Tonnen (Jungbluth et al., 2007, S. 102-106).

(2) Die zweite Methode ist radikal und einfach. Der weltweite Verbrauch wird auf die Länder strikt proportional zum BIP verteilt. Die Umweltbelastung wird damit ohne technische Umweltkoeffizienten gerechnet, sondern nach Kaufkraft. Abgesehen davon, ob dies im Rahmen internationaler Abkommen als egalitär betrachtet wird, umgeht sie die schwierige Zuschreibung mittels EIO. Man muss nur die monetäre Quantität BIP wissen (Peters, 2008; Davis & Caldeira, 2010).

Des Weiteren sprechen mehrere Argumente gegen die herkömmliche EIO-Methode selbst, weil sie die ‚graue‘ Energie und Materialien *der Arbeitenden* und sogar des Kapitals vernachlässigt; Arbeit und Mehrwert fallen ausserhalb des Input-Output Systems an (Brookes, 1972; Costanza, 1980; Puntí, 1988; Alfredsson, 2004; Lloyd, 2007; Holm & Englund, 2009; Alcott 2012). Stimmen diese Überlegungen, ist ein Dienstleistungen exportierendes Land deswegen nicht weniger ressourcenverbrauchend als andere, und Verbrauch und Verschmutzung sind ‚wirklich‘ proportional zum BIP.

Die Einsicht dieses Abschnitts ist, dass man Länderstatistiken über Umweltverbrauch mit Vorsicht geniessen muss. Wird der Ressourcenverbrauch den exportierenden Ländern angelastet, kann man den Grad der Entkopplung eines reichen Landes überschätzen (Helm, 2007). Zwar stimmt es, dass die allfällige Entkopplung *über die Zeit* geschieht, und deshalb nur wichtig ist, dass eine einheitliche Methode Jahr für Jahr angewendet wird. Sobald sich aber die Quantität oder Zusammensetzung des Handels ändert, muss man methodische Entscheidungen treffen.

6.2.2 Messung der Entkopplungsentwicklung

Die Literatur stützt vorwiegend den Schluss, dass *relative* Entkopplung in den ‚entwickelten‘ Ländern, sowie wahrscheinlich weltweit, im Gange ist (Jänicke et al., 1989; Reijnders 1998; Brookes, 2000; Smil, 2003, S. 76-81). Völlige Einigkeit besteht aber nicht. Eine erste methodische Frage betrifft den Zeitraum der Beobachtungen. Zwischen 1900 und 2000 z.B. fand eine Studie keine Entkopplung des weltweiten Wachstums (BWP) vom Energieverbrauch, als beide um das Sechzehnfache wuchsen (Smil, 2008, S. 336). Eine ähnliche Studie der Weltdaten, die auch nur kommerzielle Energie gemessen hat, fand zwischen 1971 und 2004 hingegen eine Abnahme der Intensität von ca. 30 % (Luzzati & Orsini, 2009; *siehe auch* Steinberger & Krausmann, 2011)³⁰.

³⁰ Während dieser extrem kurzen Zeitspanne (das Jahr 2010) stieg die Öl-Intensität der Weltwirtschaft massiv an (IEA, 2011).

Eine zweite Frage betrifft die Ressourcen, die mit BWP verglichen werden. Wenn man neben fossilen Brennstoffen, Mineralien, Erzen und Baumaterialien auch Biomasse misst – wovon wenig auf dem Markt gekauft wird – fanden verschiedene Studien eine größere oder eine kleinere Entkopplung sowie, je nach Material, verschiedene Reduktionen der Intensität (Krausmann, 2009; Steinberger et al., 2010). Des Weiteren unterscheiden einige Studien zwischen Energiequantität (in bloßen Tonnen oder Joules) und Energiequalität (in Joules, aber im Sinne der Kapazität, Arbeit im physischen Sinne zu leisten). Wird dies berücksichtigt, nähern sich die Wachstumsraten von Ressourcenverbrauch und von BWP wieder (Cleveland et al., 1984; Kaufmann, 1992; Ayres & Warr, 2005)³¹. Die beobachtete Korrelation zwischen BIP und Energieverbrauch für reichere Länder, wo Biomasse-Nutzung niedriger ist, kann zudem ein Grund sein, zu bezweifeln, dass eine niedrige gesamtwirtschaftliche Energie-Intensität ein guter Indikator für die *Nachhaltigkeit* ist – wohlverstanden ein reines *Umweltziel* (Steinberger & Krausmann, 2011).

Wegen Effizienzsteigerungen jeder Sorte – technischen, sowie solche, die die Produktivität anderer Produktionsfaktoren erhöhen – ist das BIP über längere Zeit rascher gestiegen als die blossen *Quantitäten* jedes einzelnen Inputfaktors (egal ob Arbeit, Kapital, oder natürliche Ressourcen). Diese Entwicklung ist nicht überraschend und nur zu einem geringen Teil den umweltpolitisch motivierten technischen Effizienzsteigerungen zu verdanken. Sie passt weitestgehend zur seit der klassischen Volkswirtschaftslehre herrschenden allgemeinen Wachstumstheorie (Solow, 1956; Alcott, 2008b). Man kann auch sagen, es sei der Rebound-Effekt, der die technische Effizienzsteigerung in Wirtschaftswachstum umsetzt (Birol & Keppler, 2000, S. 461; Brookes, 1990, 2000; Saunders, 1992, 2000, 2008). Entkopplung stellt deshalb das Erreichen des Teilziels „*Erhöhung des BIP*“ dar, aber für eine zwingende Beziehung zwischen Entkopplung und der Höhe des Ressourcenverbrauchs – in welcher Richtung auch immer – gibt es bislang keinen Beweis. Effizienz und Entkopplung sind im besten Fall indirekte und unsichere Strategien, um den Energie- und Materialverbrauch zu reduzieren.

„Absolute“ Entkopplung im Sinne der Enquete-Kommission findet nicht statt, wohl aber relative Entkopplung, aber eine direkte Bedeutung dieser relativen Entkopplung für die Umwelt gibt es genau genommen nicht. Ein Verhältnis ist nur eine intensive Zahl, selbst ohne „Dimensionen“ und echten Inhalt, und von einer intensiven Zahl kann keine extensive Zahl hergeleitet werden – z.B. die Größe des Ressourcenverbrauchs. In Anbetracht des stetigen Anstiegens des Ressourcenverbrauchs kann man wohl meinen, ohne die als Entkopplungs-Maßnahme erreichte technische Effizienzsteigerung *wäre* die Intensität der Wirtschaft schlechter. (Anm.: Diese kontrafaktische Beteuerung ist aber rein theoretisch.)

³¹ Dass Ressourceneffizienz (nicht Ressourcenverbrauch) und BWP stark korreliert sind ist unbestritten und spricht für einen großen Rebound (Ayres et al., 2007).

6.3 DAS EFFIZIENZ-PARADIGMA: ENTKOPPLUNG ALS ZIEL

Wir wollen nicht nur etwas *zum* Entkopplungs-Diskurs beitragen, sondern auch etwas über das Paradigma der Effizienz und Entkopplung selbst.³² Wir machen ein Denkmuster aus, das drei Hauptmerkmale aufweist: (1) Ziele und Veränderungen in der Umweltpolitik werden *relativ* ausgedrückt, d.h. als Effizienz oder Intensität, statt in absoluten Zahlen, wie z.B. Tonnen Erdöl oder Teile pro Million der Treibhausgase. (2) Die Herangehensweise des Ingenieurs wird jener der Ökonomen vorgezogen. (3) Oberstes politisches Ziel bleibt oft die Vergrößerung des BIPs – d.h. des Wirtschaftswachstums.

6.3.1 Effizienz im Zentrum

Nach einer Anfangszeit, geprägt von absoluten ökologischen Grenzen und Nullwachstum, in der Ära des Club of Rome-Berichts (Meadows et al., 1972) und politisch verursachter Ölknappheit, wurde die Umweltdebatte immer mehr von den relativen Begriffen der ökologischen Modernisierung beherrscht (Zimmermann et al., 1990; Goldin & Winters, 1995; Young, 2000). Die Enquete-Kommission für Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität hat uns beauftragt zu helfen, die ‚absolute‘ Art von Entkopplung zu untersuchen. Das UNO Umweltamt hat kürzlich einen umfassenden Bericht über die Entkopplung herausgegeben; bis vor kurzem war das Klima- oder Energieziel der chinesischen Regierung als eine CO₂/BIP-Intensität formuliert; der Happy Planet Index erstellt eine Rangliste der Länder, gemessen an den Verhältnissen zwischen Lebenserwartung, Glück und ökologischem Fussabdruck (UNEP, 2011).

Wieder gilt: weil umweltrelevante Parameter absolute Mengen von Verbrauch und Verschmutzung sind, sagen diese Intensitäten aus Umweltsicht nichts Direktes aus. Aber die begriffliche Orientierung an relativen Zahlen kann auch zu falschen Schlüssen führen. Eine sonst hervorragende Rebound-Studie schrieb: „Weil die Verpflichtung zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs mit dem Willen zu starkem Wirtschaftswachstum verbunden ist, kann die Reduktion nur durch Maßnahmen erreicht werden, die das Verhältnis zwischen Energiekonsum und Output verringern.“ (Birol & Keppler, 2000, S. 457)³³. Aber diese *relativen* Zahlen sind nur Indikatoren einer (hoffentlich gelungenen) Kosten/Nutzen-Optimierung; die relative Entkopplung alleine verursacht noch keine Umweltentlastung.³⁴

³² Mit *Diskurs* meinen wir eine Herangehensweise und eine Sprachgebung, die in der Wissenschaft und der Politik vorherrscht, die aber nicht die einzige mögliche Betrachtungsweise darstellt (Jäger, 2009; Gee, 2010).

³³ Übersetzung aus dem Englischen durch die Verfasser. Als ein weiteres Beispiel des zugrunde liegenden Denkmodells steht da: “In order to understand under which circumstances the ratio of energy to GDP can decrease faster than GDP grows, one has to understand under which circumstances improvements in technological energy efficiency can translate into energy intensity decreases...” (Birol & Keppler, 2000, S. 458, 460). Die absolute Reduktion wird nicht mehr erwähnt.

³⁴ Schon Malthus Ricardo hat gemahnt, sich mit relativen Zahlen, d.h. mit Proportionen, am besten möglichst wenig zu beschäftigen, weil sie endlose Verwirrung stiften (Malthus, 1820, S. 164).

Die Umwelt ‚interessiert sich nicht‘ für bloße Verhältnisse, für Ressourcenverbrauch pro Euro, pro Kopf oder pro (nationalem) BIP (Alcott, 2008b, S. 11; Luzzati & Orsini, 2009). Es sei denn, eine Kausalität zwischen zunehmender Effizienz (auf Mikro- oder Makro-Ebene) und abnehmendem Ressourcenverbrauch ist nachgewiesen. Wie wir in den Kapiteln 4 und 5 aber gezeigt haben, ist dieser kausale Zusammenhang sehr unsicher bzw. nicht bewiesen, aber beide steigen, Ressourcenverbrauch und Effizienz. Es scheint, dass die Sprache der Intensitäten uns davon ablenken kann, was für die Umweltqualität zählt, nämlich absolute Mengen an Verbrauch. Der Begriff dieser Kommission – ‚absolute‘ Entkopplung – lenkt unseren Blick wenigstens ansatzweise in Richtung einer realen Verminderung des Ressourcenverbrauchs.

6.3.2 ‚Ingenieure‘ versus ‚Ökonomen‘

Ist das technologische Effizienz-Verhältnis einmal ins Zentrum des ‚ökologischen Modernisierungs‘-Diskurses gerückt, liegt es auf der Hand, die Herangehensweise des Ingenieurs anzuwenden. Diese beginnt mit einem Versuch, bei *einem* Prozess oder *einem* Produkt, und ist eher statisch. Man will Inputs und deshalb Kosten reduzieren. Eine treffende Beschreibung des Unterschieds zwischen diesem Ansatz und dem des Ökonomen hält fest, dass der Blick des Ingenieurs deshalb als eng bezeichnet werden kann; der Ökonom hingegen sieht Effizienz als eine dynamische Folge von Preis-, Nachfrage- und Angebotsveränderungen – und deshalb auch von ‚einem großen Rebound-Effekt‘ (Birol & Keppler, 2000, S. 464-465)³⁵.

Die Version der Effizienz, die aus Ingenieurs-Sicht dominiert – ‚weniger Input, gleich bleibender Output‘ – gilt dann leicht auch im Rahmen der ganzen Wirtschaft. Doch die gesamtwirtschaftlichen Daten zeigen ‚mehr Output, gleicher *oder mehr* Input‘. Bezogen auf die Rebound-Forschung fragt man aus der ‚*bottom-up*‘-Herangehensweise des Ingenieurs konsequenterweise: Wo ist der Rebound? Aus ökonomischer Sicht hingegen lautet die Frage: Wo sind die Einsparungen? Die Beweislast ist somit umgekehrt (zumahal reelle Einsparungen ausgeblieben sind). Obwohl namhafte Ökonomen dazu neigen – durch den ‚Ökonomen-Ansatz‘ – Rebound als sehr hoch zu betrachten, nehmen die meisten Arbeiten den ‚*bottom-up*‘-Weg vom direkten über den indirekten Rebound mit dem Ziel, eines Tages den Gesamt-rebound ermitteln zu können. Zumindest kann man feststellen, dass im Rahmen des Begriffs ‚Effizienz‘ die Politik beide Teile des Entkopplungsziels an den technologischen Fortschritt *delegiert* hat.

³⁵ Wenn auch diese Energieökonom den Blick des Ingenieurs übernehmen, müssen sie den Reboundeffekt als ‚wahrlich per-vers‘ bezeichnen (Birol & Keppler, 2000, S. 462).

6.3.3 Dem Wachstum untergeordnet?

Das Ziel eines immer größeren BIPs ist die Ausgangslage der Politik wohl schon seit Jahrhunderten, und bildet den einen Teil des heute dominanten Paradigmas von nachhaltiger Entwicklung, weil Entwicklung fast immer Wirtschaftswachstum bedeutet.³⁶ Effizienz, bei welchem Input auch immer, liefert dazu noch einen ‚free lunch‘: Sind die Entwicklungskosten einmal abgezogen und kostet die Technologie angenommen gleich viel, kann man bei gleichem Faktoreinsatz ohne zusätzliche Kosten mehr produzieren bzw. konsumieren. Es ist wohl auch kein Zufall, dass das Wort ‚Effizienz‘ auch bei der BIP-Maximierung unter ethischen Bedingungen eine zentrale Rolle spielt: ‚Pareto-effizient‘ ist eine Veränderung, wenn es dabei wenigstens jemandem ökonomisch besser geht, während es niemandem schlechter geht.

Das zweite Ziel der Ressourcenschonung mit der Effizienz zu verknüpfen war die Leistung des ökologischen Modernisierungsbegriffs; auch ein zweiter, eng damit verbundener Weg sollte begangen werden, nämlich den der Strukturveränderung (Jänicke et al., 1989). Dieser versprach weniger Umweltbelastung dadurch, dass wir – ohne Verringerung unseres Budgets – weniger umweltintensive Produkte und Dienstleistungen kaufen (Alcott, 2012). Lagert eine Volkswirtschaft ihre Gesamtausgaben auf Sektoren um, die pro Euro weniger Ressourcen verbrauchen, könnten wir ohne materielle Wohlstandseinbußen eine *absolute* Entkopplung in diesem Ausmaß erreichen (hier würden ja Reboundeffekte keine Rolle spielen!). Dieser gut bekannte Ansatz steht neben dem technischen Effizienzansatz und bedient sich der Analysen von Produkt- ‚Lebenszyklen‘ und *environmental input-output* (EIO). Beide stellen keine Bedrohung für das Wirtschaftswachstum dar.

Wäre das Umweltziel wichtiger als das Wachstumsziel, könnte man die ‚absolute Entkopplung‘ anders ausdrücken als eine Intensitäts-Veränderung, bestehend aus einer Verminderung des Ressourcenverbrauchs bei zumindest Erhalt des BIPs.

6.4 FAZIT

Die vorherrschende Sprachgebung ist wichtig. In der Umweltpolitik ist es deshalb heikel, vorwiegend in ‚intensiven‘ Parametern zu denken, weil die Umweltqualität von absoluten, extensiven Parametern abhängt. Fasst man zudem die Hauptaufgabe der Umweltpolitik so auf, dass zwei Ziele auf einmal verfolgt werden sollen, so schwenkt der Blick gezwungenermaßen auf eine Intensität – im vorliegenden Fall das *Verhältnis* zwischen den zwei Zielen. Die Umweltpolitik verliert damit ihre Selbstständigkeit, ihre Fähigkeit, zuerst klar zu beschreiben, wie *Umweltziele* zu erreichen sind. Innerhalb des Entkopplungs-Denkmusters jedoch wird jede vorgeschlagene Umweltmaßnahme, kaum auf ihre Wirksamkeit hin geprüft, z.B. auf ihre Auswir-

³⁶ Dieser Begriff ist eine weitere Form des Verhältnisses: die Entwicklung vergrößern, aber dabei – der Nachwelt zuliebe – die Umweltkosten möglichst klein halten.

kung auf BIP und Arbeitsmarkt evaluiert. Diese Abwägung ist sinnvoll, aber erst nachdem die Umweltpolitik in den ihr eigenen Umweltparametern formuliert werden kann. So kann man solche Maßnahmen getrennt untersuchen, die den Rebound direkt ausgleichen, wie dies heute von vielen Forschern verlangt und im nächsten Kapitel diskutiert wird.

7 Entkopplungsmaßnahmen

7.1 WACHSTUMS-MASSNAHMEN

Genau genommen ist Wachstumspolitik auch Entkopplungspolitik, weil sie durch Wachstum die Ressourcenintensität der Wirtschaft vermindert. Wachstumsmaßnahmen sind bestens bekannt. Darunter steht die größere Effizienz beim Einsatz von jeglichen Produktionsfaktoren, ob Energie, Material, Arbeit oder Kapital. Hier anzumerken ist nur, dass unsere Haltung gegenüber den verschiedenen Faktoren unterschiedlich ist: Dass BIP-Wachstum eine erhöhte Nachfrage nach Arbeit und Kapital mit sich zieht, wird begrüßt; bei Energie und Material hingegen hofft man das Gegenteil zu erreichen, nämlich weniger Nachfrage. Jedenfalls ist der Fokus dieses Kapitels die Umweltpolitik, oder besser, die Lebensqualitätspolitik, wo Lebensqualität mehr umfasst als eine Erhöhung des BIPs pro Kopf. Deshalb behandeln wir hier nur mögliche *verbrauchsvermindernde* Massnahmen.

7.2 MASSNAHMEN GEGEN DEN REBOUNDEFFEKT

Wie bereits weiter oben dargelegt sieht der Konsens der Rebound-Forschung die Bandbreite des (gesamtwirtschaftlichen) Rebounds zwischen 50-100 %. Es besteht also große *Unsicherheit* im wissenschaftlichen Sinne. Wie beim Wissen über das Weltklima bedeutet diese Unsicherheit, dass die Politik entweder mehr Gutachten in Auftrag geben und zuwarten oder sich auf Weisheit statt *gesichertes* Wissen berufen muss. In der Umweltpolitik gilt in dieser Situation seit langem das Vorsorgeprinzip. Für die Ressourcen-Einsparungspolitik könnte dies heißen, Maßnahmen vorzuziehen, die *notwendigerweise effektiv* sind, vor jenen, die indirekt wirken. Mit dieser Einsicht im Vordergrund, und die politische Akzeptanz der Maßnahmen vorläufig im Hintergrund, vergleichen wir hier indirekte mit direkten Strategien.

Als ‚indirekt‘ bezeichnen wir (1) die technische Effizienzsteigerung, (2) den Strukturwandel der Gesamtwirtschaft in Richtung weniger ‚umweltintensive‘ Sektoren, (3) die Suffizienz oder Genügsamkeit, d.h. mit weniger gekauften Gütern und Dienstleistungen zufrieden zu sein, (4) Erhöhung des Angebots an Energie aus erneuerbaren Quellen, und (5) Reichtum selbst, nach der Hypothese der *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Die ‚direkten‘ Maßnahmen sind (1) physisch definierte und überwachte *Caps*, und (2) fiskalische Umstellungen, wie die Beendigung der Subventionierung der fossilen Energieträger sowie deren erhöhte Besteuerung (vgl. Abb. 3).

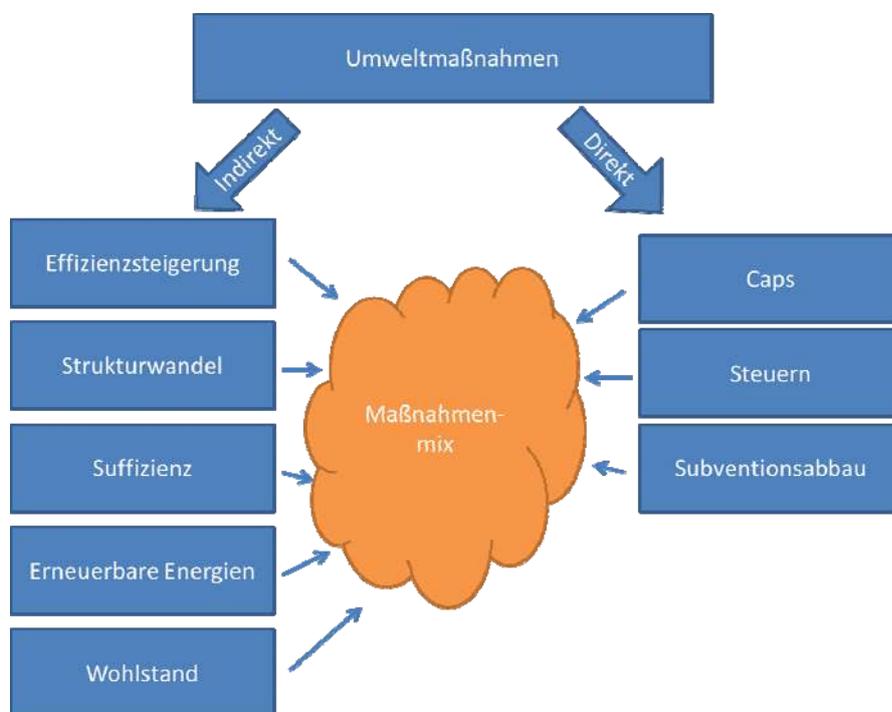


Abb. 3: Übersicht über direkte und indirekte umweltpolitische Strategien bzw. Maßnahmen zur Senkung des Ressourcenverbrauches

7.2.1 Indirekte Umwelt-Maßnahmen³⁷

7.2.1.1 Technologische Effizienzsteigerung

In Kapitel 6 haben wir das Problem beschrieben, dass in der Rebound-Diskussion nicht einmal die Beweislast klar zu sein scheint: Ist die ‚Default-Position‘ so, dass man *Einsparungen* nachweisen muss, oder *Rebound*? Wie wir im nachfolgenden Unterkapitel 7.2.2 zeigen werden, hat sich aber ein Konsens gebildet, dass egal wie groß oder klein der Rebound auch immer sein mag, er bei weitem nicht Null beträgt; und deshalb kann die Effizienzstrategie nicht vollständig wirksam sein, um den *absoluten* Ressourcenverbrauch zu senken. Effizienzsteigerung ist somit nicht *hinreichend*; weitere indirekte Maßnahmen oder ‚härtere‘, direkte Maßnahmen, sind demnach ergänzend nötig.

³⁷ Eine weitere (meist tabuisierte) Umweltschutzstrategie zielt darauf ab die Bevölkerung zu reduzieren; wir blenden diese hier aus – nicht nur, weil auch sie nicht vom Rebound verschont ist (Alcott, 2010).

7.2.1.2 Strukturwandel

Eines der Paradigmen der Umweltökonomie besagt, dass Ausgaben verschiedene *Umweltintensitäten* hätten; Produkte und Industriesektoren hinterließen pro verausgabtem Euro verschieden große ökologische Fußabdrücke. Ein Hausbau oder ein Flug z.B. wären umweltintensiver als eine Ausbildung oder Konzertreihe, die eher dem ‚leichteren‘ tertiären Sektor zuzurechnen sind. Die Höhe der verglichenen Ausgaben bleibt dabei gleich, und daher könnte eine Gesellschaft (meistens wenn sie reicher wird) durch diesen Strukturwandel ihre Umweltbelastung ohne BIP-Einbuße senken. Zwei mögliche Schwächen dieser Theorie seien hier angedeutet (Alcott, 2012):

(1) Diesen Strukturwandel hat es in einigen Ländern tatsächlich gegeben, ohne jedoch eine Abnahme des Ressourcenverbrauchs, die diesem Wandel zuzuschreiben wäre. Eine in dieser Hinsicht typische Studie berichtete, dass z.B. zwischen 1992 und 2006 der primäre Sektor pro Jahr um 1,0 % zugelegt hatte, der sekundäre Sektor um 2,6 % und der tertiäre Sektor um 3,0 % (OECD, 2008). Eine weitere statistische Studie, die keinen Zusammenhang zwischen Umweltentlastung und vermehrten relativen Ausgaben in den Dienstleistungssektoren fand, wurde mit Daten für 135 Länder durchgeführt (Holm & Englund, 2009, S. 883-884). Dennoch, wie wir wissen, gibt es bei vielen Ressourcen keine absolute Abnahme, sondern eine Zunahme des Verbrauchs. Auf den ersten Blick also spricht wenig für die behauptete Wirkung. Es liegt zudem an dieser Theorie zu zeigen, welche starken Faktoren den Ressourcenverbrauch nach oben drücken und dabei die angeblich umweltentlastende Wirkung des Strukturwandels mehr als ausgleichen.

(2) Die Theorie fußt auf einer Methodologie, die die indirekten oder ‚grauen‘ Material-/Energie-Inputs *in die Arbeit selbst* vernachlässigt bzw. grob unterschätzt. Jedoch genau wie ein durch die Fabrikture in den Produktionsprozess eingebrachter Kunststoff ‚graue‘ Energie beinhaltet, so auch die Arbeitenden, die ohne ihr gewohntes Konsumniveau keine Arbeitsmotivation haben. Diese indirekten Kosten müssen nicht nur bei Material und Energie, sondern auch beim Faktor Arbeit berücksichtigt werden.

7.2.1.3 Suffizienz

Genügsamkeit als Umweltpolitik wurzelt in den 1950er-Jahren, wurde aber erst rund vierzig Jahre später zu einer bewussten, selbstständigen Strategie, dem sogenannten nachhaltigen Konsum. Zum Teil wuchs diese genau aus dem Verdacht, Effizienzsteigerung sei nicht hinreichend, wenn nicht sogar kontraproduktiv; man kommt also nicht darum herum, weniger Güter und Dienstleistungen zu (produzieren und) konsumieren (Alcott, 2008a). Nun, ein genügsameres Leben mag für das Wohlergehen besser oder schlechter sein, aber mit Blick auf die Entkopplungsstrategie, kommt die Genügsamkeit einer Senkung des BIPs gleich, und deshalb fällt sie, streng genommen, außerhalb des Rahmens dieses Gutachtens. Dies bedeutet aber bezeichnenderweise, dass Suffizienz gegen Rebound wirksam ist: Null-Rebound kann es nur geben, wenn

alle Menschen im System proportional zum technischen Effizienzgewinn weniger arbeiten und produzieren, und wenn die Bevölkerung nicht wächst.

Weil es dennoch immer Konsumenten mit ungesättigter Nachfrage gibt (innerhalb oder außerhalb des Systems oder betrachteten Landes), gibt es auch einen *Suffizienz-Rebound*: Analog zur Effizienzsteigerung lässt die Nachfrage nach (die Nachfragekurve verschiebt sich nach links, d.h. bei jedem Preis wird weniger nachgefragt). Dies bedeutet vorerst niedrigere Preise in der ganzen Wirtschaft, und nachher erholt sich die Nachfrage dementsprechend wieder. Die Größe dieses Rebounds lässt sich nur grob schätzen, aber bei einer wachsenden Weltbevölkerung, die zur Hälfte unbefriedigte Grundbedürfnisse hat, muss er beträchtlich sein. Dass er 100 % übersteigt, ist aber nicht möglich, weil wir diesen Rebound ohne eine technische Effizienzsteigerung angehen; gleich viele Güter und Dienstleistungen mit gleich vielen Ressourceninputs werden konsumiert, nur von anderen Konsumenten. Suffizienz bildet zusammen mit Effizienz und dem Umstieg auf nicht-fossile Energiequellen eine wirksame Gesamtstrategie, sich einer zunehmenden Knappheit anzupassen.

7.2.1.4 Erneuerbare Energiequellen

Auch hier gibt es einen Rebound. Steigt das Angebot an Erneuerbaren, fällt vorübergehend die Nachfrage nach fossilen Energieträgern, die eine ähnliche Funktion haben. Wieder sinken deren Preise, und wieder die gleichen oder neue, ‚marginale‘ Konsumenten treten in den Markt ein, was den Umsatz wieder ansteigen lässt.³⁸ Wie sich diese zwei Energiebranchen genau beeinflussen, wissen wir im Detail nicht. Die Feststellung ist nur, ein Giga-Joule (GJ) Solar- oder Windenergie ersetzt keineswegs 1:1 ein GJ Energie aus Öl, Gas oder Kohle.³⁹ Für einen Rebound von weniger als 100 % spricht hier aber die Feststellung, dass die Lieferung von mehr Energie einer bestimmten Sorte die Lieferung der anderen Sorte zumindest verlangsamen soll. Die Nachfrage nach herkömmlichen fossilen Energiequellen und ihren Substituten steigt parallel an, nur langsamer. Dies würde übrigens die Erneuerbare-Energien-Strategie *kosteneffektiver* erscheinen lassen als die Effizienz-Strategie bei den Nicht-Erneuerbaren.

Eine Untersuchung in Indien jedoch – über den Kerosinkonsum für Beleuchtung und Kochen nach der Installation von PV-Paneelen – fand nicht nur einen Direktrebound von 50-80 %, sondern auch einen (umweltrelevanten) Gesamtrebound von über 100 % (bis 200 %), d.h. *backfire* (Roy, 2000)⁴⁰. Diese Frage bedarf also weiterer Untersuchung. Subventionen der nicht-fossilen

³⁸ Zwar wird weniger Energie (z.B.) angeboten, wenn der Preis zu niedrig wird; Gewinne in der Energiebranche sind aber hoch genug, sodass meistens nur marginal weniger produziert wird.

³⁹ Es wird oft vergessen, dass die Bereitstellung der Hardware für die Nutzung erneuerbarer Energien beträchtliche Mengen an Energie verschlingt (Beton, Stahl, Aluminium, Glas, Kupfer, usw.).

⁴⁰ Diese Studie, eine der wenigen, die in einem ärmeren Land gemacht wurde, wird oft als Beispiel dafür herangezogen, dass Rebound in Entwicklungsländern höher sein könnte als in den entwickelten Ländern; die Annahme dabei ist, dass die latente Nachfrage generell in den reicheren Ländern niedriger ist – was überhaupt nicht nachgewiesen ist.

Energiegewinnung betragen übrigens ca. \$ 66 Milliarden jährlich (WEO, 2011, S. 507). Es wird viel über deren *ökonomische* Effizienz debattiert, aber für dieses Gutachten wichtig ist nur, dass solche Anlagen tatsächlich gebaut werden und Energie liefern.

7.2.1.5 Reichtum selbst (Environmental Kuznets Curve, EKC)

Eine weitere Strategie wird von der kontraintuitiven Hypothese hergeleitet, dass steigendes pro-Kopf-Einkommen selbst zu weniger Ressourcenverbrauch führt. An sich verursacht wohl eine zunehmende Kaufkraft proportional zunehmenden Ressourcenverbrauch, dies aber nur bis zu einem bestimmten, empirisch zu quantifizierenden Einkommensniveau. Danach sollen die zwei Entwicklungen sich entkoppeln, und grafisch würden wir die Environmental Kuznets Curve (EKC) sehen, mit dem (Real-)Einkommen auf der horizontalen Achse und der Umweltbelastung auf der vertikalen: die Kurve bildet ein umgekehrtes ‚U‘.⁴¹

Drei Einwände sind offensichtlich. Erstens, auch wenn die Hypothese sich bewahrheitet, wie hoch sind der Verbrauch und die Belastung, bis eine Entkopplung stattfindet? Bei einer Weltbevölkerung welcher Größe wären diese Größen nachhaltig?

Zweitens, und schwerwiegender, ist die methodische Anwendung einer *relativen* Maßeinheit als entscheidende, abhängige Variable. Je nachdem, ob z.B. der Wasserverbrauch, die Treibhausgas- oder die Schwefeldioxid-Emissionen gemessen werden, kann eine absolute Verbrauchsreduktion bei irgendeinem höheren Einkommen eintreffen. Gemessen wird aber meist der Verbrauch oder die Belastung *pro Kopf* oder *pro Euro*, nicht jedoch absolute Mengen. Die EKC ergibt sich, wenn überhaupt, nur bezogen auf diese relativen, nicht umweltrelevanten Maßeinheiten. Für die globale Belastung, z.B. durch frei handelbare Brennstoffe, gibt es weltweit keine Entkopplung (Luzzati & Orsini, 2009).⁴² Dieses Problem ist in der einschlägigen Literatur schon längere Zeit bekannt (Opschoor, 1995).

Der dritte Einwand betrifft auch die Methode, nämlich: Was wird auf der horizontalen Achse aufgetragen? Relevant für die Entkopplung im Sinne dieses Gutachtens wären ja das BIP oder das BIP pro Ressourceneinheit. Die EKC-Methodologie nimmt aber als unabhängige Variable das BIP *pro Kopf*. Weil BIP das Resultat von BIP pro Kopf mal Anzahl Köpfe ist, führt diese Methode zu irrtümlichen Schlussfolgerungen. Wenn das BIP pro Kopf wächst, kann sich die Umweltbelastung (ob absolut oder relativ) relativ dazu verkleinern; wächst hingegen auch die Bevölkerung, so verschwindet die Abnahme der Umweltbelastung entweder ganz oder zumindest zu einem großen Teil. Die ‚Botschaft‘ für die Umweltpolitik ist dann eine ganz andere.

⁴¹ Die Literatur dazu ist sehr umfangreich; siehe Jänicke et al. (1989); Grossman (1995); Opschoor (1995); Luzzati & Orsini (2009).

⁴² Hier erscheint wieder das Problem, wie der Verbrauch/die Belastung eines einzigen Landes am besten zu messen ist (vgl. Unterkapitel 4.2.1)

Fazit: die EKC-Hypothese ist äusserst schwach. Zunehmendes pro-Kopf-Einkommen alleine führt nicht zu einer absoluten Reduktion des Ressourcenverbrauchs.

7.2.2 Direkte Umwelt-Maßnahmen

Wie eingangs skizziert, führen zwei Einsichten zum Ruf nach Maßnahmen, welche die Effizienzmaßnahmen entweder ergänzen oder ersetzen: (1) Die Größe des Reboundeffekts ist bekanntlich sehr umstritten, zumal es nicht ausgeschlossen werden kann, dass er in einigen Fällen die 100 %-Marke übersteigt; d.h., die Wirksamkeit ist *unsicher*. (2) Es steht jedoch *sicher* fest, dass er weder unerheblich noch trivial ist, und deshalb kann Effizienzsteigerung *alleine* das Ziel nicht erreichen: Wie groß die Effizienzsteigerung auch immer ausfällt, ein bestimmter Anteil der möglichen Einsparungen würden dadurch nicht realisiert.

Bereits früh argumentierten ökologische Ökonomen mit Blick auf die schiere Größe des Material- und Energie-Durchflusses unserer Volkswirtschaft, dass der einfachste und sicherste Weg zur Belastungsverminderung *Caps* auf umweltschädigende Substanzen seien (Daly, 1974; Wackernagel & Rees 1996). Explizit innerhalb der Effizienz- und Rebound-Diskussion hingegen war es u.W. Brookes (1990), der als Erster für eine Abkehr vom indirekten Weg über die Effizienz eintrat: *Caps* und/oder Steuern wären doch der aufrichtige und vom Prinzip her einfache Weg. In der Spezialausgabe des Journals *Energy Policy* unterstützten weitere Forscher diese Ansicht (Roy, 2000, S. 433; Birol & Keppler, 2000, S. 468).

Neben einigen Studien Mitte der 2000er-Jahre, die zum gleichen Schluss kamen (Brännlund et al., 2007; Herring, 2006, S. 19; Behrens et al., 2007, S. 451), hat es in den letzten drei Jahren eine wahre Flut davon gegeben.⁴³ Neben der Umwelteffektivität attestieren alle diese Arbeiten, dass *Caps* und/oder Steuern das BIP vermindern, und deshalb begleitet sie die Erkenntnis, dass die politische Akzeptanz dieser (effektiven) Maßnahmen schwierig zu erreichen ist.

7.2.2.1 Caps

Regionale *Caps* sind in den USA seit langem für gewisse Substanzen Gesetz, und das *EU Emissions Trading System* (EU ETS) begrenzt klimarelevante Gase in gewissen Industriesektoren.⁴⁴ Mit dem Kyoto-Protokoll verpflichteten sich bekanntlich die Annex B Länder zu absoluten Reduktionen gegenüber dem Basisjahr 1990. Des Weiteren möchte die chinesische Regierung demnächst einen Wechsel vollziehen: Waren bisher Reduktionsziele (gemessen in CO₂-

⁴³ Giljum & Polzin (2009), S. 2; Steinberger et al. (2009), 368; Phalan (2009), S. S25; Krausmann et al. (2009), S. 2703; Lior (2010), S. 3987; Ouyang et al. (2010), S. 5272-73; Ajanovic & Haas (2011); van den Bergh (2011), S. 44, 53; Turner & Hanley (2011), S. 719; Jenkins et al. (2011), S. 53.

⁴⁴ Vgl. Tietenberg (2006).

Äquivalenten) bloss als Prozent des BIPs ausgedrückt (relative Entkopplung), wurde kürzlich ein absolutes Reduktionsziel Ziel von ca. 4 Mrd. Tonnen pro Jahr bis 2015 in Aussicht gestellt. Während z.B. der 12. Fünf-Jahresplan die Kohlenstoff-*Intensität* der Wirtschaft um 16 % vermindern will, sollen bald *cap-and-trade* Systeme eingeführt werden (Guardian, 4.8.2011; WRI, 2011).⁴⁵

Das Hauptmerkmal dieser Systeme ist, dass sie per Definition effektiv sind; sie erfüllen das Umweltziel. Es wird hingegen oft übersehen, dass damit andere Massnahmen gegen das Aufbrauchen der betroffenen Ressource überflüssig werden. Werden die Caps eingehalten – was Messung und behördliche Kontrolle voraussetzt – ist das definierte Umweltproblem gelöst. Vielmehr stellt die neue Rohstoff-Begrenzung für jede verpflichtete Person und jedes Unternehmen einen Anreiz dar, auf dezentraler Ebene effizienter und/oder suffizienter zu werden und/oder auf erneuerbare Energien umzusatteln. Spezifisch-sparsame Technologien und Recycling bekommen Auftrieb, wie auch die Umstellung auf effizientere öffentliche Systeme, z.B. im Transport, dem Siedlungswesen oder der Stromversorgung.

Ein weiteres Missverständnis betreffend solcher Systeme ist, dass ihre verbrauchsvermindernde Wirksamkeit etwas mit der *Handelbarkeit* der Zertifikate zu tun hat. Zertifikate sind ja einfach kleinere Mengen der gesellschaftlich bzw. politisch beschlossenen Gesamtbergrenze des Konsums der Ressource, die nach Kriterien der Gerechtigkeit und Machbarkeit unter den Systemteilnehmern verteilt werden. Diese müssen aber nicht handelbar sein, um das Umweltziel zu erreichen. Die Handelbarkeit erfüllt vielmehr die beiden Zwecke, (1) das System *ökonomisch* effizienter zu machen und (2) das System politisch akzeptabel zu machen. Das *trading* senkt die ökonomischen Kosten und stellt damit auch einen Beitrag zum Erhalt des materiellen Wohlstands dar. Wie die technische Effizienz ermöglicht diese institutionelle Effizienz, Umweltschutz kostengünstiger zu realisieren. Anders ausgedrückt: die *Caps* erledigen die ‚Umweltarbeit‘ unabhängig von den *Preisen* der Zertifikate. Das System wird rein physisch definiert, d.h. ohne Bezug auf die Preise, und es ist deshalb kein ‚ökonomisches‘, marktbasierendes Instrument, sondern ein gesetzliches, regulatorisches.⁴⁶ Wenn durch bestimmte Caps Substitution zu anderen umweltproblematischen Ressourcen stattfindet, kann dies natürlich dazu führen, dass in weiterer Folge für weitere Ressourcen ebenfalls Caps eingeführt werden müssen – es kann also zu systemübergreifenden Problemverschiebungen kommen.

⁴⁵ Australien führte kürzlich einen minimalen Kohlenstoffpreis ein, ab 2015 ein *cap-and-trade System* (Guardian, 8. Nov. 2011). China begrenzt auch seine Produktion der seltenen Erden (Guardian, 20. Okt. 2011).

⁴⁶ Der herrschende Diskurs ist ökonomisch, anti-regulatorisch, und deshalb werden *Caps*-Systeme irreführend als ‚trading‘ Systeme bezeichnet, oder man spricht vom ‚Emissionshandel‘, wobei für die Erreichung der Umweltziele allein die *Caps* an sich zählen.

7.2.2.2 Steuern

Als ‚ökonomisch‘ können eher Massnahmen bezeichnet werden, die mittels Preiserhöhungen die physisch definierten Umweltziele erreichen. Erwartungsgemäß sinkt die nachgefragte Menge eines Gutes, wenn sein Preis steigt. Deshalb kann die Umweltbehörde den Verbrauch von Materialien und Energieträgern mittels Steuern beeinflussen. Um einen bestimmten Umsatz eines Gutes zu begrenzen, sind deshalb *Caps* und Steuern grundsätzlich gleichwertig (Weitzman, 1974). Wie bei allen politischen Anordnungen muss die Lastenverteilung auf Basis von politischen und ethischen Kriterien bzw. Abwägungen entschieden werden.

Es gibt zwar Unterschiede: (1) Während *Caps* physisch definiert sind – z.B. beschränkte sich Deutschland auf 7 EJ Primärenergie pro Jahr – müsste man zuerst herausfinden, wie hoch die Energiepreise mindestens sein müssen, um diese Quantität nicht zu überschreiten. (2) Man muss zudem die Höhe anderer Steuern berücksichtigen und formell beschreiben, wie der Staat die Steuereinnahmen wiederum ausgibt: mit Staatsausgaben werden ja auch Güter und Dienstleistungen gekauft, was Nachfrage nach Material- und Energieinputs bedingt. Meistens geht man davon aus, dass höhere Energiesteuern durch tiefere Steuern anderswo ausgeglichen werden, womit die Staatsausgaben konstant hoch blieben (Distelkamp et al., 2005).

7.2.2.3 Streichung von Subventionen

Die Streichung von Subventionen für den Konsum oder die Produktion von fossilen Brennstoffen erhöht deren *Preise* und wirkt deshalb wie eine Steuererhöhung. Die weltweiten Subventionen von schätzungsweise 409 Milliarden US-\$ sind erheblich; deren Beendigung könnte die Nachfrage nach fossilen Energieträgern bis 2035 um ca. 5 % vermindern (IEA, 2011, S. 507, 522). Deutschland kennt ‚umweltschädigende‘ Subventionen von ca. 40 Millionen Euro jährlich, die direkt mit dem Energiesektor zu tun haben, ohne Berücksichtigung der Subventionen für Kernenergie und Biokraftstoffe sowie allgemeine Agrarsubventionen (Umweltbundesamt, 2010, S. 3, 41).

Subventionen erhöhen beides, die konsumierte Quantität und die Energieintensität, der Gesamtwirtschaft. Die Höhe der Einsparung hängt, wie immer, von der Preiselastizität der Nachfrage ab; eine bemerkenswerte Metastudie für Treibstoff hat aber herausgefunden, dass eine 1 %-ige Erhöhung des Preises, je nach Einzelstudie, einen Nachfragerückgang zwischen lediglich 0.04 % und 0.9 % auslöst (Goodwin et al., 2004, S. 283).

Während dies auf eine kostspielige ‚Versuch-und-Irrtum‘-Strategie beim Maßnahmen-Design hindeutet, sind fiskalische Maßnahmen gegenüber *Caps* bezüglich der Kosten-Effektivität eher im Vorteil, weil ja der Steuerapparat bereits existiert, während die *Caps*-Infrastruktur erst neu

geschaffen bzw. aufgebaut werden müsste.⁴⁷ Vergleichen wir aber die Kosten von *entweder* Caps oder Steuern mit jenen der indirekten Strategien, so spricht Einiges für die direkten Instrumente: Die Koordination von gleichzeitig getroffenen Maßnahmen in den Bereichen Effizienz, Suffizienz, Bevölkerungskontrolle und erneuerbare Energiequellen, mit ihren vielen Rebounds oder *feedbacks*, ist nämlich sehr aufwändig (Alcott, 2010).

7.3 OPTIMIERUNG DES MASSNAHMENMIXES

Die unserer Meinung nach wichtigste Erkenntnis für die optimale Mischung der Maßnahmen ist, dass es sich bei der Entkopplung um *trade-offs*, also um Zielkonflikte, handelt. Wird der Ressourcenverbrauch tatsächlich reduziert, so verfügt die Wirtschaft über weniger natürliche Ressourcen: *ceteris paribus* kann weniger hergestellt werden und vorerst sinkt das BIP. Wie viel davon durch Effizienz oder mittels Substitution durch erneuerbare Energiequellen wettgemacht werden kann, zeigt erst die Erfahrung. Beginnt man andererseits bei der Effizienzsteigerung (in Abwesenheit von Caps und/oder entsprechenden Ressourcen-Steuern), trägt diese nach der ökonomischen Standardtheorie zum BIP-Wachstum, nicht unbedingt aber – oder lediglich in einem um den Reboundeffekt verminderten Ausmaß – zur Verbrauchsreduktion bei.

Aus diesem Grund bezeichnet eine der grundlegenden Rebound-Studien das gleichzeitige Erreichen der beiden Ziele „Ressourcenschonung“ und „Wirtschaftswachstum“ als den „Heiligen Gral der Politik“ (Birol & Keppler, 2000, S. 468). Daher baut die IEA in ihren Zukunftsszenarien einen Ölpreis ein, der hoch genug ist, um Reboundeffekte im Transportwesen zu vermeiden (IEA, 2011, S. 215, 226). Jedenfalls setzt sich die Ansicht in der Rebound-Forschung langsam durch, dass man dem Rebound nur mit BIP-vermindernden, *ökonomisch* ineffizienten Maßnahmen entgegenwirken kann, d.h. mit den immer öfter ins Gespräch gebrachten Steuern und *Caps*. Eine Wohlstandszunahme durch Effizienz mag ‚gratis‘ sein, nicht aber der Umweltschutz. Es muss allerdings wieder betont werden, dass wenn der Rahmen eines Zertifikatssystems oder Emissionspreis-Minimums besteht, passen die Wirtschaftsakteure auf individuelle Art ihr Verhalten in Richtung höherer Effizienz an. Ob die Politik hier mit einer geeigneten Mischung von Begleitmaßnahmen zusätzlich intervenieren sollte, sei dahingestellt.

Andererseits *muss* die Politik entscheiden, auch wenn der Rebound weniger als 100 % beträgt (d.h. wenn Effizienzsteigerung teilwirksam ist), ob sie das Ziel einer absoluten Reduktion des Ressourcenverbrauchs weiterhin anstreben will. Wenn dies bejaht wird, so muss sie den Rebound ‚bekämpfen‘. Jedoch vermindern alle verfügbaren Mittel in einem bestimmten Maß das Wirtschaftswachstum. Die Politik muss vielleicht wählen zwischen Umweltmaßnahmen, die einerseits direkt und effektiv, aber andererseits politisch weniger akzeptabel sind, und solchen, die indirekt, nicht unbedingt effektiv, aber dafür politisch relativ einfach zu realisieren

⁴⁷ Ein Überblick über die möglichen Ausgestaltungen von Caps-Systemen würde den Rahmen dieses Gutachtens sprengen.

sind. Nicht zu vernachlässigen ist jedoch das ordnungspolitische Problem, dass die Caps- und Ökosteuer-Systeme gewissermassen einer „Sozialisierung des Besitzes von Ressourcen“ gleichkommen. Sie fußen auf der Ansicht, dass wir es mit einem *Allmende*-Problem zu tun haben, dessen Lösung die individuelle Freiheit beschneiden muss (Ostrom et al., 1999; Dietz et al., 2003). Genau wie in der Rebound-Frage die Sicht des Ökonomen derjenigen des Ingenieurs folgte, sollte vielleicht hier die (demokratische) Politik-Perspektive entsprechend nachrücken.

8 Systemübergreifende Problemverschiebungen (ungewollte Nebeneffekte von Entkopplungsmaßnahmen)

8.1 MÖGLICHE PROBLEME, DIE BEI VERMINDERUNG DES ABSOLUTEN RESSOURCENVERBRAUCHS ENTSTEHEN ODER SCHWIERIGER WERDEN

(1) *Internationale / regionale Konkurrenzfähigkeit.* Einzelne Länder könnten Wettbewerbsnachteile erleiden, wenn es ihnen nicht (bzw. in geringerem Ausmaß als der Konkurrenz) gelingt, die knapp gewordene Ressource durch Substitution entsprechend zu ersetzen oder durch Effizienzgewinne die Knappheit wett zu machen.

(2) *Armut.* Das Beispiel Iran zeigt, wie eine Energiepreiserhöhung Armut verschlimmern kann, und wie eine Regierung darauf reagiert. „*Although details were lacking, the intent to undertake a five-year programme to phase out energy subsidies (that included compensation to consumers) was communicated frequently. To encourage public acceptance and diminish the economic impact of price increases for households, cash payments were made to every citizen prior to the effective date and nearly 90% of the population continue to receive monthly payments.*” (WEO, 2010, S. 525).

(3) *Soziale Gerechtigkeit.* Eine Verteuerung der Ressourcen, deren Verbrauch eingedämmt werden soll, läuft Gefahr die soziale Ungleichheit zu verschärfen. Im Energiebereich besitzt das Thema „Energiearmut“ einen besonderen Stellenwert, d.h. dass bestimmte Bevölkerungsteile die durch Energieträger unmittelbar abgedeckten Grundbedürfnisse (insbes. die hinreichende Beheizung und Beleuchtung der Wohnung) aufgrund des gesunkenen Haushaltsbudgets nicht mehr decken können.

(4) *Sinkendes BIP.* Durch Suffizienz und steigende Preise wird die Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen reduziert, was tendenziell das Wirtschaftswachstum schwächt. Dies wiederum hätte zur Folge, dass Arbeitsplätze verloren gehen und Mittel für die Erfüllung der Staatsausgaben fehlen (z.B. Sozialleistungen, Infrastrukturverbesserung bzw. -erneuerung).

(5) *Erneuerbare Energiequellen.* Ob Biotreibstoffe, Wind- oder Solaranlage, oder Wasserkraft, nichts ist ohne einen ‚Preis‘ (Opportunitätskosten) zu haben: Konkurrenz mit der Lebensmittelproduktion, Flächenbedarf, Landschaften, (nicht-menschlicher) Naturschutz.

(6) *Nachfragedruck auf Substitute.* Weil Biomasse und fossile Brennstoffe in vielen Anwendungen Substitute darstellen, besteht bei einer politisch beschlossenen Verknappung der Letzteren die Gefahr einer erhöhten Nachfrage nach Ersteren. Genau wie das Erdöl ab dem späten 19. Jahrhundert den Druck auf die Wälder in Europa weggenommen hat, würde ein kleineres Budget an Erdöl heute den Wald als Lieferant von Brennstoff sehr attraktiv machen. Bestehen-

de Rodungsverbote müssten daher flankierend dementsprechend stärker verteidigt oder angepasst werden.

8.2 MÖGLICHE PROBLEME, DIE BEI VERMINDERUNG DES ABSOLUTEN RESSOURCENVERBRAUCHS VERSCHWINDEN ODER EINFACHER WERDEN

Als Begründung für Bestrebungen, Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung zu vermindern, gelten natürlich vielfältige Gemeinnutzen; der Umweltschutz wäre kein Politikum, außer Beeinträchtigungen der Umweltqualität würden das Wohlergehen empfindlich schmälern. Vor allem der Energieverbrauch hat Externalitäten mit sich gebracht, ob lokale Luftverschmutzung, Lärmbelastung im Wohngebiet oder eine durch hohe Mobilität verstärkte Zersiedelung der Landschaft.

(1) *Klimawandel (stark zeitverzögert)*. Wenn es gelingt, den Konsum an fossilen Energieträgern absolut zu reduzieren, dann werden auch weniger Treibhausgase emittiert, was dazu beitragen kann, den Klimawandel zu verlangsamen und die aus dem Klimawandel entstehenden Kosten der Adaption (z.B. Bau von Schutzwällen) und Mitigation (z.B. Aufforstung) zu lindern.

(2) *Umweltkatastrophen*. Wenn weniger fossile Energieträger benötigt werden, könnte auch die Wahrscheinlichkeit für Unfälle durch die Extraktion oder den Transport dieser Energieträger zurückgehen (z.B. mit Öltankern bzw. -plattformen), weil weniger Volumen gefördert bzw. transportiert werden muss und der Druck zur Förderung auch unkonventioneller (und tendenziell schwieriger zu fördernden und vielfach stärker die Umwelt belastenden) Energieträger reduziert wird.

(3) *Toxischer Abfall bei der Ausbeutung von natürlichen Ressourcen*. Viele Produktionsprozesse, insbesondere im Primärsektor der Wirtschaft (z.B. Uranminen), haben negative Auswirkungen auf die Umwelt in Form von toxischen Abfällen. Durch einen verminderten Ressourcenverbrauch nimmt die toxische Belastung ab, mit positiven Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen und anderer Lebewesen und entsprechend geringeren resultierenden (externen) Kosten.

(4) *Soziale Nutzen*. Wenn der Ressourcenverbrauch vermindert wird, können auch verschiedene positive Nutzen auf die Gesellschaft entstehen (z.B. Schutz des Lebensraumes in ihrer Existenz bedrohter Naturvölker, weniger Todesopfer im Bergbau, weniger Umsiedlungen durch Tagebau oder Energie-Großprojekte).

(5) *Mehr Lebensraum für andere Spezies als der Mensch*. Wenn der Druck auf die Ressourcen zur Befriedigung der menschlichen Bedürfnisse absolut sinkt, sinkt auch der Druck auf die Biosysteme. Dadurch können sich Flora und Fauna besser entfalten, die Biodiversität dürfte dadurch tendenziell weniger gefährdet sein.

(6) *Andere Unfälle, die mit der Maschinentkultur verbunden sind.* Durch geringeren Ressourcenverbrauch sinkt auch der Maschineneinsatz. Zusätzlich könnte durch eine Veränderung in Richtung extensiverer Lebensstile auch die sanftere Lebensweise (sanfte Mobilität, weniger Geräteinsatz in Haushalten usw.) wieder einen höheren Stellenwert einnehmen.

9 Fazit

Der Weg der ökologischen Modernisierung – zu einer Wirtschaft, die wächst, aber bei der die Wirtschaftsleistung vom Ressourcenverbrauch durch gesteigerte technische Effizienz entkoppelt ist – wurde vor ca. 20 Jahren eingeschlagen. Dieser Weg genoss Priorität vor anderen Lösungen, wie etwa Ressourcen- oder Emissionssteuern oder verbindliche Grenzen beim Ressourcenverbrauch (*Caps*). Im Rahmen der internationalen Klimaabkommen wurden zwar absolute Grenzen – *notabene* absolute Reduktionen – offiziell als Ziel gesetzt; das EU Emissions Trading System (EU ETS) und einige Lenkungssteuern wurden in Kraft gesetzt. Ein Konsens, diesen Weg weiter zu gehen, und dies mit strikteren Grenzen, besteht aber nur im Ansatz.

Die Effizienzsteigerung, der Strukturwandel und die vermehrte Erschließung erneuerbarer Energiequellen haben aber bis jetzt nicht zur angestrebten absoluten Verminderung des Ressourcenverbrauchs geführt, und deshalb wurde in den vergangenen Jahren vermehrt vor allem die Effizienzstrategie selbst in Frage gestellt und vermehrt Kritik an einer unreflektierten Effizienzgläubigkeit geübt. Zurückgreifen konnte man dabei auf drei Jahrzehnte Forschung betreffend das bereits vor langer Zeit erkannten, in den vergangenen Jahren vermehrt erforschten Hauptproblems dieser Strategie, nämlich dem ‚Rebound‘ des Konsums von Gütern, Dienstleistungen und Ressourcen selbst, den der Einsatz einer erhöhten technischen Effizienz in Produktion und im Konsum erst ermöglicht. Es hat sich allmählich herausgestellt, dass das Problem nicht trivial ist, sondern, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ein erheblicher Teil der möglichen Ressourcen-Einsparungen nicht stattgefunden hat. Gleichzeitig konnte sich die wissenschaftliche Forschung bislang noch nicht einmal auf eine grobe Zahl betreffend der Größe des gesamtwirtschaftlichen Reboundeffekts einigen, obschon die Schätzwerte mit der Zeit tendenziell sogar grösser wurden.

Es ist deshalb vielleicht etwas ironisch, dass in den letzten Jahren vermehrt politische Maßnahmen eingefordert werden, die zugunsten der ökologischen Modernisierung zumeist abgelehnt wurden: hohe Steuern auf Ressourcen und/oder Emissionen, und/oder verbindliche Verbrauchsgrenzen (*Caps*, Quoten). Über den Umweg Effizienzsteigerung und Rebound werden diese ‚härteren‘, direkten Maßnahmen neuerdings wieder verstärkt in die Diskussion eingebracht.

Damit verbunden sind (systemübergreifende) Problemverschiebungen: Ist die Lösung des Umweltproblems wenigstens prinzipiell gelöst, werden oft andere Probleme verschärft. Werden beispielsweise Ressourcen zur Deckung von Grundbedürfnissen (z.B. Energieressourcen) teurer, ist das Problem der Armut schwieriger zu lösen. Braucht eine nationale Wirtschaft weniger Inputs an natürlichen Ressourcen, leidet ihre internationale Konkurrenzfähigkeit. Kommen deshalb (verständlicherweise nur strengere) Maßnahmen, die international beschlossen und koordiniert sind, in Frage, stehen sehr hohe Hürden im Weg. Auch die Realisierung von Quotenrege-

lungen und/oder (noch) höhere Steuern stößt bei der eigenen Bevölkerung bzw. den Wählern schnell an Grenzen der Akzeptanz.

Ob weitere Rebound-Forschung in nächster Zeit einen Konsens über dessen Größe bringen wird, darf bezweifelt werden. Zudem bleibt die Argumentation weitgehend theoretisch, indem z.B. beteuert wird, dass der absolute Ressourcenverbrauch ohne Effizienzsteigerungen noch mehr gestiegen wäre. Im Hinblick auf die zu Tage tretende Tatsache jedoch, dass Effizienzsteigerung allein keine absolute Verbrauchsreduktion bewirkt – vielleicht nur zur Hälfte, vielleicht noch weniger – gilt es unserer Meinung nach vermehrt, die oben genannten Themen betreffend effektiver, aber relativ unpopulärer Umweltmaßnahmen zu untersuchen. Aber wie genau wirken sich diese Maßnahmen auf die Größe und Gestaltung des BIPs aus? Sind Effizienzsteigerungen und erneuerbare Quellen in hinreichendem Ausmaß verfügbar, um den Wohlstand auch langfristig halten zu können? Wie viel Genügsamkeit (Suffizienz) würde von der Bevölkerung verlangt, und wäre dies überhaupt zumutbar? Gäbe es vielleicht sogar positive individuelle und soziale Auswirkungen? Jedenfalls sollten diese möglichen Trade-offs zwischen Wirtschaftswachstum zugunsten der heutigen Generation und der von der Nachhaltigkeit verlangten Ressourcenschonung sowohl in der Forschung als auch in der Politikgestaltung mehr Aufmerksamkeit als bisher geschenkt werden.

Bibliographie

- Ajanovic A., Haas R. The role of efficiency improvements vs. price effects for modeling passenger car transport demand and energy demand – Lessons from European countries, *Energy Policy* (in press, available online 23 May 2011).
- Alcott B. (2005). Jevons' paradox, *Ecological Economics*, 54: 9-21.
- Alcott B. (2008a). The sufficiency strategy: Would rich-world frugality lower environmental impact? *Ecological Economics*, 64 (4): 770-786.
- Alcott B. (2008b). Historical overview of the Jevons Paradox in the literature, aus: Polimeni, J. et al., *The Jevons Paradox and The Myth of Resource Efficiency Improvements*, Earthscan, London.
- Alcott B. (2010). Impact caps: Why population, affluence and technology strategies should be abandoned, *Journal of Cleaner Production* 18 (6): 552-560.
- Alcott B. (2012). Mill's scissors: structural change and the natural-resource inputs to labour, *Journal of Cleaner Production* 21 (1): 83-92.
- Alfredsson E. C. (2004). "Green consumption" – no solution for climate change, *Energy*, 29: 513-524.
- Ashley K., Cordell D., Mavinic D. (2011). A brief history of phosphorus: From the philosopher's stone to nutrient recovery and reuse. *Chemosphere*, 84: 737-746.
- Ayres R. U., Warr B., (2005). Accounting for growth: The role of physical work. *Structural Change and Economic Dynamics*, 16: 181-209.
- Ayres R. U., Turton H., Casten T. (2007). Energy efficiency, sustainability and economic growth. *Energy*, 32 (5): 634–648.
- Baiocchi G., Minx J. C. (2010). Understanding changes in the UK's CO2 emissions: A global perspective. *Environmental Science and Technology*, 44: 1177-1184.
- Barker T., Ekins P., Foxon T. (2007). The macro-economic rebound effect and the UK economy, *Energy Policy*, 35: 4935-4946.
- Barker T., Gagoumas A., Rubin J. (2009). The macroeconomic rebound effect and the world economy. *Energy Efficiency*, 2: 411-427.
- Behrens A., Giljum S., Kovanda J., Niza S., (2007). The material basis of the global economy: Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies, *Ecological Economics*, 64: 444-453.
- Berkhout P., Muskens J., Velthuisen J. (2000). Defining the rebound effect. *Energy Policy*, 28 (6/7): 425-432.
- Binswanger M. (2001). Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological Economics*, 36: 119-132.
- Birol F., Keppler J. H. (2000). Prices, technology development and the rebound effect, *Energy Policy*, 28: 457-469.
- Brännlund R., Ghalwash T., Nordström J. (2007). Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions, *Energy Economics*, 29 (1): 1-17.

- Brookes L. G. (1972). More on the output elasticity of energy consumption. *Journal of Industrial Economics*, 21 (1): 83-92.
- Brookes L. G. (1978). Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK, *Energy Policy*, 6: 94-106.
- Brookes L. G. (1990). The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution, *Energy Policy*, 18 (2): 199-201.
- Brookes L. G. (2000). Energy efficiency fallacies revisited. *Energy Policy*, 28 (6/7): 355-366.
- Brown L., Kane H. (1994). *Full House: Reassessing the Earth's Population Carrying Capacity*. Norton, New York.
- Campbell H. E., Johnson R. M., Hunt L. E. (2004) Prices, devices, people or rules: the relative effectiveness of policy instruments in water conservation. *Rev Policy Res* 21 (5):637-662
- Cheng H., Hu Y. (2011). Improving China's water resource management for better adaptation to climate change. *Climatic Change* (Online First 5 March 2011).
- Cleveland C., Costanza R., Hall C. A. S., Kaufmann R. (1984). Energy and the U.S. economy: A biophysical perspective, *Science*, 225 (4665): 890-897.
- Cordell D., Drangert J-O., White S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change* 19: 292-305.
- Costanza R. (1980). Embodied energy and economic valuation. *Science*, 210: 1219-1224.
- Crosbie T., Stokes M., Guy S. (2008). Illuminating household energy demand and the policies for its reduction, *Energy & Environment*, 19: 979-993.
- Dahmus J., Gutowski T. (2005). Efficiency and production: Historical trends for seven industrial sectors. *3rd Biennial Conference of the US Society for Ecological Economics*, Tacoma, 20-23 July. <http://stuff.mit.edu/afs/athena.mit.edu/course/2/2.813/OldFiles/www/readings/DahmusGutowskiEfficiency.pdf>.
- Daly H. E. (1974). The economics of the steady state. *American Economic Review*, 64 (2): 15-21.
- Davis S. J., Caldeira K. (2010). Consumption-based accounting of CO₂ emissions, *PNAS*, 107 (12): 5687-5692.
- Dietz T., Ostrom E., Stern P. C. (2003). The struggle to govern the commons. *Science*, 302 (5652): 1907-1912.
- Distelkamp M., Meyer B., Wolter M. I. (2005). Wirkung einer Materialinputsteuer auf Ressourcenbedarf, Wachstum und Beschäftigung, in: *Ressourcenproduktivität als Chance – Ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland*, Aachener Stiftung Kathy Beys, Aachen, S. 63-130.
- Druckman A., Chitnis M., Sorrell S., Jackson T. (2011). Missing carbon reductions? Exploring rebound and backfire effects in UK households, *Energy Policy*, 39: 3572-3581.
- EC (2005a). *Doing More with Less. Green Paper on Energy Efficiency*. DG for Energy and Transport, European Commission, Brussels.
- EC (2005b). Thematische Strategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen, KOM(2005) 670 endgültig, Europäische Kommission, Brüssel.
- EEA (2011). Resource efficiency in Europe. Policies and approaches in 31 EEA member and cooperating countries, EEA Report 5/2011, European Environment Agency, Copenhagen.

- EnergieSchweiz (2010). 10. Jahresbericht EnergieSchweiz 2010 / 2011 http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_408379992.pdf.
- Erensu S. (2011). Problematizing Green Energy: Small Hydro Plant Developments in Turkey, Istanbul Conference of the European Society for Ecological Economics, http://www.esee2011.org/registration/fullpapers/esee2011_c36142_1_1307137792_1401_2288.pdf.
- Fouquet R., Pearson P. J. G. (2006). Seven centuries of energy services: The price and use of light in the United Kingdom (1300-2000), *The Energy Journal*, 27 (1): 139-177.
- Fouquet R., Pearson P. J. G. (2011). The Long Run Demand for Lighting: Elasticities and Rebound Effects in Different Phases of Economic Development, BC3 Working Paper Series No. 2011-06, Basque Centre for Climate Change, July.
- Frondel M., Peters J., Vance C. (2008). Identifying the rebound: Evidence from a German household panel, *The Energy Journal*, 29: 154-163.
- Frondel M., Ritter N., Vance C. (2010). Heterogeneity in the rebound effect: Further evidence for Germany, *Ruhr Economic Paper* No. 227, November.
- Gee J. P. (2010). *An Introduction to Discourse Analysis: Theory and Method*, Routledge, London.
- Geller S. E., Erickson J. B., Buttram B. A. (1983). Attempts to promote residential water conservation with educational, behavioral and engineering strategies. *Population and Environment*, 6 (2): 96–112.
- Giampietro M. (1994). Sustainability and technological development in agriculture. *Bioscience*, 44: 677-689.
- Giljum S., Polzin C. (2009). Resource efficiency for sustainable growth: Global trends and European policy scenarios. Sustainable Europe Research Institute, Vienna. http://www.old.seri.at/documentupload/SERI%20PR/giljum_manila_resource_efficiency_background_paper.pdf.
- Glomsrød S., Taoyuan W. (2005). Coal cleaning: A viable strategy for reduced carbon emissions and improved environment in China? *Energy Policy* 33 (4): 525-542.
- Gohar A. A., Ward F. A. (2010). Gains from expanded irrigation water trading in Egypt: An integrated basin approach, *Ecological Economics* 69: 2535-2548.
- Goldin I., Winters A. (1995). *The Economics of Sustainable Development*, Cambridge University Press, Cambridge/UK.
- Goodwin P., Dargay J., Hanly M. (2004). Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review. *Transport Reviews*, 24 (3): 275-292.
- Greenberg D. (1990). Energy, power, and perceptions of social change, *American Historical Review*, 95 (3): 693-714.
- Greenhalgh G. (1990). Energy conservation policies. *Energy Policy* 18 (4): 293-299.
- Greening L. A., Greene D. L., Difiglio C. (2000). Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey, *Energy Policy*, 28: 389-401.
- Grepperud S., Rasmussen I. (2004). A general equilibrium assessment of rebound effects, *Energy Economics* 26: 261-282.
- Grossman G. M. (1995). Pollution and growth: What do we know? In: Ian Goldin & L. Alan Winters (eds.), *The Economics of Sustainable Development*. Cambridge, University Press, Cambridge, UK.
- Guardian*, 4. August 2011. China to cap energy use in national low-carbon plan.

- Hanley N., McGregor P. G., Swales J. K., Turner K. (2009). Do increases in energy efficiency improve environmental quality and sustainability? *Ecological Economics*, 68: 692-709.
- Hennicke P., Kristof K., Götz T. (Hsg.) (2011). *Aus weniger mehr machen: Strategien für eine nachhaltige Ressourcenpolitik in Deutschland*. Oekom Verlag, München.
- Herring H. (2004). Rebound effect of energy conservation, in: *Encyclopaedia of Energy*, Vol. 5, pp. 237-244, Elsevier Science, Amsterdam.
- Herring H. (2006). Energy efficiency – a critical view, *Energy*, 31: 10-20.
- Herring H. (2008). Rebound effect, in: C.J. Cleveland (ed.), *Encyclopaedia of Earth* (http://www.eoearth.com/article/Rebound_effect, retrieved 15 October 2010).
- Herring H., Sorrell S. (Eds.) (2009). *Energy Efficiency and Sustainable Consumption: The Rebound Effect*, Palgrave MacMillan, New York.
- Hertwich E. G., (2005). Consumption and the rebound effect: an industrial ecology perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 9, 85–98.
- Holm S.-O., Englund G. (2009). Increased ecoefficiency and gross rebound effect: Evidence from USA and six European countries 1960-2002, *Ecological Economics*, 68: 879-887.
- Hymel K. M., Small K. A., van Dender K. (2010). Induced demand and rebound effects in road transport, *Transportation Research Part B*, 44: 1220-1241.
- IEA (2011). *World Energy Outlook 2010*. <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010>.
- IME (Institution of Mechanical Engineers) (January 2011). Population: One planet, too many people? www.imeche.org.
- Index Mundi (2011). www.indexmundi.com/world.
- Jäger S. (2009). *Kritische Diskursanalyse*, Unrast, München.
- Jänicke M. (1998). Dematerialisierung als Prognose und Programm – die Hypothese vom Ende der „era of materials“, FFU Report 98-4, Forschungszentrum für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin.
- Jänicke M., Mönch H., Ranneberg T., Simonis U. E. (1989). Structural change and environmental impact: empirical evidence on thirty-one countries in East and West, *Environmental Monitoring and Assessment*, 12: 99-114.
- Jenkins J., Nordhaus T., Schellenberger M. (2011). *Energy Emergence: Rebound & Backfire as Emergent Phenomena*, Breakthrough Institute, Oakland (CA), February.
- Jevons W. S. (1865). *The Coal Question: Can Britain Survive?* (first published in 1865, republished by Macmillan, London, 1906).
- Jungbluth N., Steiner R., Frischknecht R., 2007. Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz 1990–2004. Erweiterte und aktualisierte Bilanz. Umwelt-Wissen Nr. UW-0711. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Kaufmann R. (1992). A biophysical analysis of the energy/real GDP ratio: Implications for substitution and technical change. *Ecological Economics*, 6: 35-56.
- Khazoom J. D. (1980). Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances, *Energy Journal*, 1: 21-40.
- Kratena K., Wüger M. (2010). The Full Impact of Energy Efficiency on Households' Energy Demand, WIFO Working Papers No. 356/2010, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien.

- Krausmann F., Gingrich S., Eisenmenger N., Erb K-H., Haberl H., Fischer-Kowalski M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68 (19): 2696-2705.
- Lecca P., Swales K., Turner K. (2011). Rebound effects from increased efficiency in the use of energy by UK households, *Strathclyde Discussion Papers in Economics* No. 11-23, Department of Economics, University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom.
- Lenzen M., Dey C. J. (2002). Economic, energy and greenhouse emissions impacts of some consumer choice, technology and government outlay options. *Energy Economics*, 24 (4): 377-403.
- Lior N. (2010). Sustainable energy development: The present situation and possible paths to the future. *Energy*, 35: 3976-3994.
- Llop M. (2008). Economic impact of alternative water policy scenarios in the Spanish production system: An input-output analysis. *Ecological Economics*, 68: 288-294.
- Lloyd, B., 2007. The Commons revisited: the tragedy continues. *Energy Policy*, 35 (4): 5806-5818.
- Luzzati T., Orsini M. (2009). Investigating the energy-environmental Kuznets curve, *Energy* 34: 291-300.
- Lv C., Ling M. (2011). Energy Synthesis and Its Application on Water Efficiency of Water Ecological-Economic System. In Zhang, J., *Proceedings International Conference of Applied Informatics and Communication*, Springer, Berlin.
- Maddison A. (2001). *The World Economy*, OECD, Paris.
- Madlener R., Alcott B. (2007). Steigerung der Energieeffizienz: Problem oder Lösung? *Energiwirtschaftliche Tagesfragen*, 57. Jg., Heft 10, S.70-71.
- Madlener R., Alcott B. (2009). Energy rebound and economic growth: a review of the main issues and research needs, *Energy*, 34: 370-376.
- Madlener R., Hauertmann M. (2011). Rebound Effects in German Residential Heating: Do Ownership and Income Matter?, *FCN Working Paper* No. 2/2011, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior, RWTH Aachen University, February (revised version July 2011).
- Malthus T. R. (1820). *Principles of Political Economy*, 2. Ausgabe, 1986, Pickering, London.
- Matos F. J. F., Silva F. J. F. (2011). The rebound effect on road freight transport: Empirical evidence from Portugal, *Energy Policy*, 39: 2833-2841.
- Maxwell D., Owen P., McAndrew L., Muehmel K., Neubauer A. (2011). Addressing the rebound effect, a report for the European Commission DG Environment, April.
- Meadows D., Meadows D., Randers, J. (1972). *The Limits to Growth*, Universe, New York.
- Millock K., Nauges C. (2010). Household adaptation of water-efficient equipment: The role of socio-economic factors, environmental attitudes and policy. *Environmental and Resource Economics* 46: 539-565.
- Mizobuchi K. (2008). An empirical study on the rebound effect considering capital costs, *Energy Economics*, 30: 2486-2516.
- Moezzi M. (2000). Decoupling energy efficiency from energy conservation. *Energy & Environment* 11 (5): 521-537.
- Muradian R., O'Connor M., Martinez-Alier J. (2002). Embodied pollution in trade: Estimating the 'environmental load displacement' of industrialised countries. *Ecological Economics*, 41: 51-67.

- Murray C. (2011). Income dependent direct and indirect rebound effects from 'green' consumption choices in Australia, Working Paper.
- OECD (2008). <http://www.oecdilibrary.org/docserver/download/fulltext/3008011ec018.pdf?expires%2F1278443939&id%2F40000&acname%2FfreeContent&checksum%2F487BE4F6F470C9E261AC7AD50DED21983>.
- Opschoor H. (1995). Ecospace and the fall and rise of throughput intensity. *Ecological Economics* 15 (2):137-140.
- Orthofer R., Daoud R., Isaac J., Shuval H. (2007). Options for a More Sustainable Water Management in the Lower Jordan Valley. In Shuval, H., Dwiek, H., *Water Resources in the Middle East: The Israeli-Palestinian Water Issues, from Conflict to Cooperation*. Springer, Berlin.
- Ostrom E., Burger J., Field C. B., Norgaard R. B., Policansky D. (1999). Revisiting the commons. *Science* 284 (5412): 278-282.
- Ouyang J. (2010). Rebound effect in Chinese household energy efficiency and solution for mitigating it. *Energy*, 35: 5269-5276.
- Paech N. (2005). Nachhaltigkeit zwischen ökologischer Konsistenz und Dematerialisierung: Hat sich die Wachstumsfrage erledigt? *Natur und Kultur* 6 (1): 52-72. <http://www.umweltethik.at/download.php?id=322>.
- Pascual U. (2002). Land use intensification potential in slash-and-burn farming through improvements in technical efficiency. *Ecological Economics* 52 (4): 497-511.
- Peters G. (2008). From production-based to consumption-based national emission inventories. *Ecological Economics* 65: 13-23.
- Peters G., Minx J., Weber C. L., Edenhofer, O. (2010). Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *PNAS*, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1006388108.
- Phalan B. (2009). The social and environmental impacts of biofuels in Asia: An overview. *Applied Energy*, 86: S21-S29.
- Polimeni M., Mayumi K., Giampietro M., Alcott B. (2008). *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*, Earthscan, London.
- Puntí A. (1988). Energy accounting: Some new proposals. *Human Ecology*, 16 (1): 79-86.
- Raecke F. (2011). Umweltpolitische Strategieentwicklung. Das Beispiel einer Strategie zur Schonung natürlicher Ressourcen, *FFU-Report* 04-2011, Forschungszentrum für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin.
- Radetzki M., Tilton J. E. (1990). Conceptual and methodological issues. In: John E. Tilton (ed.), *World Metal Demand: Trends and Prospects*. Johns Hopkins for Resources for the Future, Baltimore.
- Reijnders L. (1998). The factor X debate: Setting targets for eco-efficiency. *Journal of Industrial Ecology* 2 (1): 13-22.
- Rietveld P. (2011). Telework and the transition to lower energy use in transport: On the relevance of rebound effects, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1: 146-151.
- Rothman D. S. (1998). Environmental Kuznets curves: Real progress or passing the buck? A case for consumption-based approaches. *Ecological Economics*, 25: 177-194.
- Roy J. (2000). The rebound effect: some empirical evidence from India, *Energy Policy*, 28: 433-438.

- Rudin A. (2000). Let's stop wasting energy on efficiency programs – energy conservation as a noble goal. *Energy and Environment* 11 (5): 539-551.
- Saunders H. D. (1992). The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth, *The Energy Journal*, 13: 131-148.
- Saunders H. D. (2000). A view from the macro side: rebound, backfire and Khazzoom-Brookes, *Energy Policy*, 28: 439-449.
- Saunders H. D. (2005). A calculator for energy consumption changes arising from new technologies. *Topics in Economic Analysis and Policy*, vol. 5 (1). Article 15.
- Saunders H. D. (2008). Fuel conserving (and using) production functions, *Energy Economics*, 30: 2184-2235.
- Schipper L., Grubb M. (2000). On the rebound? Feedbacks between energy intensities and energy uses in IEA countries. *Energy Policy*, 28 (6/7): 367-388.
- Schmid Neset T., Cordell D. (2010). *Phosphorus and global food security*. Global Phosphorus Research Initiative, Linköping, Sweden. http://www.ep.liu.se/ecp_home/index.en.aspx?issue=053
- Schröder J., Smit B. (2010). Which role has agriculture to play in the sustainable use of phosphorus? In Schmid Neset, T., Cordell, D., *Phosphorus and Global Food Security*, http://www.ep.liu.se/ecp_home/index.en.aspx?issue=053.
- SeBW (2008). The Implications of ICT for Energy Consumption, study by FCN, RWTH Aachen University, on behalf of EC's DG Industry and Enterprise (Sectoral e-Business Watch), September.
- Seidl I., Schultz B., Gellrich M. (2009). Flächenzertifikate: Ein Instrument zur Senkung der Flächeninanspruchnahme? *Wissenschaft und Umwelt, Interdisziplinär* 12, S. 150-156.
- Small K. A., van Dender K. (2007). Fuel efficiency and motor vehicle travel: the declining rebound effect, *The Energy Journal*, 28 (1): 33-70.
- Smil V. (2000). Phosphorus in the environment: Natural flows and human interferences. *Annual Review of Energy and the Environment* 25: 53-88.
- Smil V., (2003). *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Smil V. (2008). *Energy in Nature and Society*. MIT Press, Cambridge USA.
- Solow R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth, *The Quarterly Journal of Economics*, 70: 65-94.
- Sorrell S. (2009). Jevons' Paradox revisited: the evidence for backfire from improved energy efficiency, *Energy Policy*, 37: 1456-1469.
- Sorrell S. (2010). The rebound effect: definition and estimation, in: L. Hung and J. Evans (eds.), *International Handbook of the Economics of Energy*, Edward-Elgar, Aldershot. pp.199-233.
- Sorrell S., Dimitropoulos J. (2008). The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions, *Ecological Economics*, 65: 636-649.
- Sorrell S., Dimitropoulos J., Sommerville M. (2009). Empirical estimates of the direct rebound effect: A review, *Energy Policy*, 37: 1356-1371.
- Sorrell S. (2011). Präsentation anlässlich des Workshops „Energy Efficiency Policies and the Rebound Effect“, 13.-14. Oktober 2011, Stuttgart.

- Steinberger J., van Niel J., Bourg D. (2009). Profiting from negawatts: Reducing absolute consumption and emissions through a performance-based energy economy. *Energy Policy*, 37: 361-370.
- Steinberger J., Krausmann F., Eisenmenger N. (2010). Global patterns of materials use: A socioeconomic and geophysical analysis. *Ecological Economics*, 69: 1148-1158.
- Stern D. I. (2000). A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy Economics* 22: 267-283.
- Stern N. et al. (2006). Stern Review. http://www.dnr.de/publikationen/eur/archiv/Stern_Review_148906b_LONG_Executive_Summary_GERMAN.pdf.
- Thiesen J., Christensen T. S., Kristensen T. G., Andersen R. D., Brunoe B., Gregersen T. K., Thrane M., Weidema B. P. (2008). Rebound effects of price differences, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (2): 104-114.
- Thomas B. A. (2011). Is Energy Efficiency a Slam Dunk? Towards Estimating the U.S. Economy-Wide Rebound Effect, Proceedings of the 2011 IAEE International Conference, Stockholm, Sweden, June 19-23, 2011.
- Tietenberg T. (2006). *Emissions Trading: Principles and Practice*. Washington, D.C.: Resources for the Future.
- Turner K. (2009). Negative rebound and disinvestment effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK economy, *Energy Economics*, 31: 648-666.
- Turner K., Hanley N. (2011). Energy efficiency, rebound effects and the environmental Kuznets Curve, *Energy Economics*, 33: 709-720.
- Ulrich A. E. (2010). On the Criticality of Integrating Social Science, Humanities and Existing Knowledge in Phosphorus Sustainability Research. In Schmid Neseet, T., Cordell, D., *Phosphorus and Global Food Security*, http://www.ep.liu.se/ecp_home/index.en.aspx?issue=053.
- Umweltbundesamt (2010). Umweltschädliche Subventionen in Deutschland. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4048.pdf>.
- UNEP (UN Environment Programme), (2011). Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. http://www.unep.org/publications/contents/title_search.asp?search=decoupling.
- Vaccari D. (2010). The material flow analysis as a tool for planning. In Schmid Neseet, T., Cordell, D., *Phosphorus and Global Food Security*, http://www.ep.liu.se/ecp_home/index.en.aspx?issue=053
- Van den Bergh J. (2011). Energy conservation more effective with rebound policy, *Environmental & Resource Economics*, 48: 43-58.
- Verkerk M. P. (2007). Global water governance: Conceptual design of global institutional arrangements. MSc Thesis, U. Twente, Netherlands.
- Vliegenthart F. J. L., Sargin A. H., Gorkmen A., Dogdu M. S. (2000). A new approach for groundwater management in Turkey: A groundwater management plan according to EU Groundwater directive (80/68/EEC) and Water Framework directive (2000/60/EC)
- Wackernagel M., Rees W. (1996). *Our Ecological Footprint*. New Society, Gabriola Island, B.C.
- Wang H., Zhou P., Zhou D. Q. (2011). An empirical study of direct rebound effect for passenger transport in urban China, *Energy Economics* (in press).
- Wei T. (2010). A general equilibrium view of global rebound effects, *Energy Economics*, 32: 661-672.

- Weitzman M. L. (1974). Prices vs. quantities. *Review of Economic Studies*, 41 (4): 555-70.
- White S. (2010). Workshop synthesis. In Schmid Naset, T., Cordell, D., Phosphorus and Global Food Security, http://www.ep.liu.se/ecp_home/index.en.aspx?issue=053.
- Wiedmann T. (2009). A first empirical comparison of energy footprints embodied in trade: MIRO vs PLUM. *Ecological Economics*, 68: 1975-1990.
- Wirl F. (2000). Lessons from utility conservation programs. *Energy Journal*, 21 (1): 87-108.
- World Bank (1992). World Development Report 'Development and the Environment'. http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2000/12/13/000178830_9810191106175/Rendered/PDF/multi_page.pdf.
- Worldwatch Institute (2011). <http://www.worldwatch.org/bookstore>.
- WRI (World Resources Institute), 2011. Five Year Plan Update: China Announces Total Energy Target, 4.3.2011. <http://www.chinafaqs.org/blog-posts/five-year-plan-update-china-announces-total-energy-target> und Looking to Durban: China's Climate Change Policy Progress since Cancun, 23.11.2011 <http://insights.wri.org/news/2011/11/looking-durban-chinas-climate-change-policy-progress-cancun>.
- Young S. C. (2000). *The Emergence of Ecological Modernisation: Integrating the Environment and the Economy?*, Routledge, London.
- Zimmermann K., Hartje V .J., Ryll A. (1990). *Ökologische Modernisierung der Produktion: Strukturen und Trends*, Sigma Bohn, Berlin.
- Zollinger F. (2006). Mit handelbaren Zertifikaten den Flächenverbrauch lenken. *PUSCH Thema Umwelt* 1: 16-17. www.unweltschutz.ch.

Studie im Auftrag der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“ des Deutschen Bundestages

Für weitere Fragen wenden Sie sich bitte an Regierungsrat Anno Bücking, Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“, Deutscher Bundestag, Platz der Republik 1, 11011 Berlin, Tel.: +49 (0) 30 227 37382, Fax.: +49 (0) 30 227 36538, Email: anno.buecking@bundestag.de.