

TEXTE 31/2015

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 14 104  
UBA-FB 002143

## **Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik**

von

Dr. Peter de Haan  
Ernst Basler+Partner, Zollikon, Schweiz

Dr. Anja Peters  
Fraunhofer ISI, Karlsruhe

Elsa Semmling  
adelphi, Berlin

Hans Marth  
Fraunhofer ISI, Karlsruhe

Walter Kahlenborn  
adelphi, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

adelphi consult  
Caspar-Theyß-Str. 14 a  
14193 Berlin

**Abschlussdatum:**

September 2014

**Redaktion:**

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen,  
nachhaltiger Konsum  
Michael Golde

**Publikationen als pdf:**

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rebound-effekte-ihre-bedeutung-fuer-die>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juni 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3711 14 104 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Kurzbeschreibung

adelphi, Ernst Basler+Partner und das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) widmen sich im Auftrag des Umweltbundesamtes der Bedeutung von „Rebound-Effekten“ für die Umweltpolitik. Die Studie hat den Anspruch eine systematische Analyse zur praktischen Relevanz von Rebound-Effekten sowie zu möglichen Lösungsstrategien zur Eindämmung von Rebound-Effekten zu liefern.

Der vorliegende Bericht zum Forschungsvorhaben fasst zunächst den Kenntnisstand auf Basis der Literatur und existierender Daten zusammen und liefert eine ausführliche Übersicht zu aktuellen Themen der Rebound-Forschung, insbesondere im Handlungsfeld Energie. Ausgehend von einer Definition und Systemabgrenzungen werden Treiber, Arten, Einflussfaktoren und Ausprägungen von Rebound-Effekten analysiert. Darüber hinaus werden vier Felder mit Handlungsbedarf beim energetischen Rebound spezifischer betrachtet und das Auftreten von Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen thematisiert, um abschließend Schlussfolgerungen zu umweltpolitischen Handlungsempfehlungen zu ziehen und einen Ausblick auf noch offene Forschungsfragen zu liefern.

Im Rahmen des Vorhabens wurde ebenfalls ein Praxishandbuch entwickelt (*Rebound-Effekte: Wie können Sie effektiv begrenzt werden? Ein Handbuch für die umweltpolitische Praxis*. Umweltbundesamt Texte), das als Hilfestellung beim Einführen, Konzipieren und Umsetzen umweltpolitischer Maßnahmen dienen soll.

## Abstract

adelphi, Ernst Basler+Partner and the Fraunhofer Institute for System and Innovation Research (ISI) have been commissioned by the German Federal Environment Agency (UBA) to conduct a study on the significance of “rebound effects” in terms of environmental policy. The intention of this study is to deliver a systematic analysis of the practical relevance of rebound effects, as well as an analysis of potential strategies towards diminishing rebound effects.

This research project report initially summarises the current level of knowledge based on literature and existing data, and subsequently delivers a comprehensive overview of current research topics in the field of rebound effects, particularly in terms of energy. Beginning with a definition and systematic classification, triggers, types and key factors and forms of rebound effects will be analysed. Above and beyond this, four fields requiring action in respect to energy-related rebound effects will be investigated more in detail, and the occurrence of rebound effects within non-energy resources discussed, in order to draw conclusions about environmental policy recommendations and to deliver an overview of research questions that still remain unanswered.

In the context of the project, a practical guide was also produced (*Rebound Effects: How can Rebound be Reduced? A Practical Guide for Environmental Policy Practice*. German Federal Environmental Agency), that means to act as an aid for the introduction, conception and implementation of environmental measures.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	8
Zusammenfassung .....	9
Summary .....	13
1 Einleitung.....	17
2 Definitionen und Systemabgrenzung .....	18
2.1 Definition des Rebound-Effekts.....	18
2.1.1 Konzept .....	18
2.1.2 Betrachtete Ressourcen .....	19
2.1.3 Ingenieursdefinition und makroökonomische Definition.....	21
2.1.4 Illustratives Beispiel .....	23
2.2 Sind Rebound-Effekte immer schlecht? .....	24
2.3 Umgang mit mangelhaften Ex-ante-Schätzungen, mangelhafter Umsetzung und mangelhafter Nutzerinstruktion .....	24
2.4 Umgang mit wegfallenden „Nebennutzen“ (Heat Replacement Effect).....	25
2.5 Größenordnung von Rebound-Effekten (für klassische Energiedienstleistungen) .....	26
3 Klassifikation von Rebound-Effekten nach Treiber, Art, Grund und Ausprägung .....	28
3.1 Treiber der Mehrnachfrage: Unterscheidung von Wachstum, autonomer und politikinduzierter Effizienzsteigerung.....	29
3.1.1 Abgrenzung von (effizienzinduzierten) Rebound-Effekten und Wachstumseffekten.....	30
3.1.2 Politisch induzierter versus autonomer Rebound .....	31
3.2 Direkte, indirekte und gesamtwirtschaftliche Arten von Rebound-Effekten.....	33
3.3 Gründe für das Auftreten von Rebound-Effekten.....	36
3.3.1 Finanzieller Rebound .....	36
3.3.2 Sozialpsychologischer (mentaler) Rebound .....	37
3.3.3 Regulatorisch induzierter Rebound .....	38
3.3.4 Konsequenzen für die Rebound-Forschung .....	40
3.4 Ausprägungen des direkten Rebound-Effekts (mehr Einheiten, häufigere Nutzung, ressourcenintensivere Nutzung) .....	41
4 Übersicht zu aktuellen Themen der Rebound-Forschung .....	43
4.1 Allgemeine Rebound-Fragen.....	43
4.2 Allgemeine Hinweise zur Gestaltung von Politikinstrumenten .....	45

4.3	Haushalte .....	47
4.3.1	Haushaltsgeräte-Studien mit Fokus auf Politikausgestaltung .....	47
4.3.2	Einkommen .....	48
4.3.3	Haushaltsgeräte .....	49
4.3.4	Raumnutzung sowie Heizen, Lüften, Kühlen (HLK) .....	50
4.3.5	Beleuchtung .....	53
4.3.6	Mobilität .....	55
4.3.7	Mobilität-Studien mit einem Fokus auf Politikausgestaltung .....	58
4.4	Unternehmen .....	60
4.4.1	Allgemeines .....	60
4.4.2	Industrie .....	63
4.4.3	Dienstleistungen .....	64
4.4.4	Transportwesen .....	64
4.5	Öffentlicher Sektor .....	65
4.6	Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) .....	65
4.7	Rebound-Effekte in Entwicklungsländern .....	67
5	Vier relevante Themenbereiche für den energetischen Rebound-Effekt .....	68
5.1	Bedeutung der baulich-betrieblich korrekten Umsetzung von Effizienzmaßnahmen zur Identifikation des eigentlichen Rebound-Effekts .....	68
5.2	Rebound berücksichtigen bei der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen und Maßnahmenpaketen .....	68
5.3	Rebound-robuste Ausgestaltung von Politikmaßnahmen .....	69
5.4	Spezifische Maßnahmen zur Bekämpfung von Rebound-Effekten .....	70
6	Auftreten von Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen .....	71
6.1	Fläche .....	72
6.2	Rohstoffe .....	75
6.3	Wasser .....	77
6.4	Rebound-Lösungsstrategien bei nicht-energetischen Ressourcen .....	79
7	Stand des Wissens in ausgewählten umweltpolitischen Handlungsfeldern .....	81
7.1	Öffentliche und industrielle Beleuchtung .....	81
7.2	Raumwärme in Privathaushalten .....	83
7.3	Motorisierter Individualverkehr .....	85
7.4	Auftreten von Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen am Beispiel der Ressource Wasser .....	88
8	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	91
8.1	Definitive Aspekte und Abgrenzung .....	91

8.2	Erkenntnisse aus dieser Studie.....	91
8.3	Politische Handlungsempfehlungen zur Eindämmung von Rebound-Effekten .....	92
8.3.1	Allgemeine Schlussfolgerungen.....	92
8.3.2	Umweltpolitische Handlungsempfehlungen: 6 Lösungsstrategien zur Eindämmung von Rebound-Effekten .....	94
8.4	Ausblick auf weitere Forschungsfragen .....	96
9	Literaturverzeichnis .....	99

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Illustrative Skizze zum Rebound-Effekt .....	24
Abbildung 2:	Hierarchisierung der Treiber der Mehrnachfrage sowie der Arten, Gründe und Ausprägungen des Rebound-Effekts. ....	28
Abbildung 3:	Illustration der unterschiedlichen Treiber für Ressourcen-Mehrverbräuche: Wachstum (dunkelgrün), autonome Effizienzzunahme (hellgrün), politikgetriebene Effizienzzunahme (grau) .....	33
Abbildung 4:	Illustration zu direkten und indirekten Rebound-Effekten .....	34

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wertebereiche für den langfristigen direkten Rebound-Effekt (ohne indirekte und gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte) in Industrieländern .....	27
Tabelle 2:	Fact Sheet "Treiber der Mehrnachfrage" .....	29
Tabelle 3:	Fact Sheet "Arten des Rebounds" .....	35
Tabelle 4:	Fact Sheet "Gründe des Rebounds" .....	39
Tabelle 5:	Analyse des insgesamt beobachtbaren Rebound-Effekts nach Art und Gründen.....	41
Tabelle 6:	Fact Sheet „Ausprägungen des Rebound-Effekts“ .....	42
Tabelle 7:	Fact Sheet „Öffentliche und industrielle Beleuchtung“ .....	81
Tabelle 8:	Fact Sheet „Raumwärme in Privathaushalten“ .....	83
Tabelle 9:	Fact Sheet „Motorisierter Individualverkehr“.....	85
Tabelle 10:	Fact Sheet „Nicht-energetischer Rebound am Beispiel von Wasser“ .....	88

## Abkürzungsverzeichnis

<b>B2C</b>	Business-to-Consumer
<b>C.A.F.E.</b>	Corporate Average Fuel Economy
<b>CGE-Modell</b>	Computable general equilibrium-Modell
<b>DIW</b>	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
<b>DOLS</b>	dynamic orthogonal least square
<b>E3MG-Modell</b>	global macro-econometric Energy-Environment-Economy-Modell
<b>EKC</b>	Environmental Kuznets curve
<b>EnEV</b>	Energieeinsparverordnung
<b>US EPA</b>	US Environmental Protection Agency
<b>Fraunhofer ISI</b>	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
<b>GDP</b>	Gross domestic product
<b>HLB</b>	hybrides Leistungsbündel
<b>HKL</b>	Heizen, Kühlen, Lüften
<b>HRE</b>	Heat Replacement Effect
<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnologie
<b>LCA</b>	Lebenszyklusanalyse
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>LED</b>	Light-emitting diode
<b>LNF</b>	leichte Nutzfahrzeuge
<b>MIV</b>	Motorisierter Individualverkehr
<b>OLED</b>	Organic light-emitting diode
<b>ÖV</b>	Öffentlicher Verkehr
<b>PEF</b>	Primärenergiefaktor
<b>PSS</b>	Product Service System
<b>SOEP</b>	Sozio-ökonomisches Panel
<b>SUV</b>	Sport Utility Vehicle
<b>WEO</b>	World Energy Outlook

## Zusammenfassung

### **Der Rebound-Effekt als Begleiterscheinung aller Effizienzstrategien (→ Kap. 1)**

Wie die meisten anderen Industriestaaten ist Deutschland bestrebt, den Energieverbrauch und die Ressourceninanspruchnahme zu verringern. Dies soll ohne Wohlfahrtsverluste geschehen. Die Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz ist deshalb der zentrale Ansatz. So bildet die nationale Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel Ressourcenschonung mit den Indikatoren Energie- und Rohstoffproduktivität ab. Eine Vielzahl umweltpolitischer Initiativen hat in den vergangenen Jahren bereits zu deutlichen Steigerungen der Energie- und Rohstoffeffizienz geführt, z.B. die Unterstützung von betrieblichen Effizienzmaßnahmen, die Schaffung von Energieeffizienzlabels oder Effizienzvorgaben wie in der Ökodesignrichtlinie.

Die ressourceneffizientere Produktherstellung kann jedoch zu einer stärkeren Nachfrage führen, so dass die Ressourceneinsparungen pro Produkteinheit durch den Konsum zusätzlicher Einheiten teilweise wieder kompensiert werden. Das Gleiche gilt für ressourcenintensive Dienstleistungsangebote. Oft entsteht die zusätzliche Nachfrage durch Kosteneinsparungen. Aber auch sozialpsychologische und regulatorische Faktoren können dem Mehrkonsum zugrunde liegen.

### **Definition des Rebound-Effekts (→ Kap. 2.1)**

Der Rebound-Effekt entspricht jener Ressourcen-Mehrnachfrage, welche durch eine erhöhte Ressourcen-Effizienz induziert wurde. Nimmt die Effizienz um 10% zu, wäre bei gleichbleibender Nachfrage ein um 10% reduzierter Ressourcenbedarf zu erwarten. Lässt sich nun aber beobachten, dass als Folge der Effizienzänderung der Ressourcenbedarf lediglich um 5% zurückgeht, liegt ein Rebound-Effekt von 50% vor. Es liegt kein Rebound-Effekt vor, wenn Effizienzzunahme und beobachtete Nachfrageeffekte bloß zeitlich parallel verlaufen, aber nicht ursächlich verknüpft sind. Beispielsweise kann aus der bloßen zeitlichen Koinzidenz von verbesserter Treibstoffeffizienz der Neuwagen (1% bis 2% pro Jahr) und der Zunahme der Verkehrsleistung (2% bis 3% pro Jahr) allein nicht gefolgert werden, dass ein Rebound-Effekt von über 100% vorliegt.

### **Sind Rebound-Effekte immer schlecht? (→ Kap. 2.2)**

Die Zunahme der Nachfrage, wenn Produkte ressourceneffizienter werden, entspricht klassischen marktwirtschaftlichen Grundsätzen. Der Rebound-Effekt ist Ergebnis marktwirtschaftlichen Verhaltens. Er lässt sich deshalb nicht ohne weiteres reduzieren. Wenn alle Umweltauswirkungen internalisiert wären und es keine externen Kosten mehr gäbe, würden Rebound-Effekte mit gesamtwirtschaftlichen Gewinnen einhergehen. Da aber gerade der Energie- und Ressourcenverbrauch zumindest derzeit mit namhaften externen Kosten einhergeht, sind Rebound-Effekte trotz ihrer marktwirtschaftlichen Entstehung volkswirtschaftlich nicht positiv. Ausnahmen bestehen bei noch nicht gesättigter Nachfrage, vor allem in Entwicklungsländern. Das Ziel ist deshalb stets, Rebound-Effekte so weit wie möglich und sinnvoll zu minimieren. Besonders interessiert, wenn Rebound-Effekte einhergehen mit politisch induzierten Effizienz-Maßnahmen. Dann kann der Rebound-Effekt meist bereits mit einer anderen Ausgestaltung der Maßnahme reduziert werden.

### **Wie kann man den Rebound-Effekt messen? (→ Kap. 2.3 und 2.4)**

Die empirische Messung des Rebound-Effekts ist eine Herausforderung. Findet bei Gebäuden, Geräten oder Anlagen eine Effizienzsteigerung statt, so lässt sich im Voraus berechnen, um wie viel der Ressourcenverbrauch abnehmen sollte. Die so genannt ingenieurmäßige Definition des Rebound-Effekts entspricht dann der Differenz aus im Voraus errechnetem Energiebedarf und tatsächlich beobachtbarem Energieverbrauch. Dabei ist aber erstens sicherzustellen, dass die im Voraus erfolgte Berechnung korrekt war. Zweitens sollte die Umsetzung der Effizienzsteigerung fachmännisch und vollständig erfolgt sein. Drittens dürfen sich keine nachfragerlevanten Kenngrößen ändern (dies ist

beispielsweise der Fall, wenn nach einer energetischen Sanierung andere Mieter einziehen als vor der Renovierung). Sind diese Bedingungen erfüllt, entspricht die Vorher-Nachher-Differenz dem Rebound-Effekt. Um einen wegfallenden Nebennutzen („Heat replacement effect“) abzudecken, ist dabei der gesamte Ressourcenverbrauch zu erfassen (effizientere Elektrogeräte strahlen weniger Wärme ab und erhöhen damit im Winter den Heizbedarf).

Der Rebound-Effekt lässt sich auch aus dem Vergleich einer Experimentalgruppe mit einer Kontrollgruppe abschätzen. Dies ist aber aufwändig und lässt sich nicht durchführen, wenn eine Effizienzsteigerung, z.B. infolge einer gesetzlichen Regelung, auf alle gleichermaßen zutrifft. Nicht zuletzt wird deshalb versucht, aufgrund ökonomischer Berechnungen den Rebound-Effekt abzuschätzen. Dazu werden längere Zeitreihen analysiert. Dabei ändern sich jedoch immer auch andere nachfrage-relevante Faktoren.

### **Lässt sich der Rebound-Effekt vermeiden? (→ Kap. 3.1, 3.2)**

Der vorliegende Bericht führt Rebound-Effekte in allgemeiner Form als durch erhöhte Ressourceneffizienz induzierte Mehrnachfrage ein. Namentlich bei Energieeffizienzsteigerungen können sie meist auch empirisch belegt werden. Dies reicht jedoch nicht aus, um Aussagen über mögliche Eindämmungsstrategien zu treffen. Dazu sollten mögliche Einflussfaktoren konsequent unterschieden werden. Dabei ist der individuelle Entscheidungsträger und sein Entscheidungsverhalten zu betrachten.

In einem ersten Schritt sollten Wachstumseffekte (die nicht zu den Rebound-Effekten zählen) von effizienz-induzierten Rebound-Effekten im engeren Sinne unterschieden werden. In einem zweiten Schritt sind mit der autonomen technischen Entwicklung einhergehende Rebound-Effekte von solchen zu trennen, bei denen die Effizienzsteigerung auf eine Politikmaßnahme zurückgeführt werden kann.

Sodann ist zu unterscheiden, was letztlich die Mehrnachfrage ausgelöst hat. Waren es die dank höherer Ressourceneffizienz reduzierten Kosten (finanzieller Rebound-Effekt)? Oder führt ein Endkonsument mentale „Konten“ und „erlaubt“ sich zusätzlichen Konsum, sobald sehr effiziente Produkte verfügbar werden (sozialpsychologischer Rebound-Effekt)? Bei technologiespezifischen Förderansätzen ist auch ein regulatorischer Rebound-Effekt möglich – zum Beispiel wenn Elektrofahrzeuge mehrfach angerechnet werden und damit, unter der Politikmaßnahme eines mittleren Effizienzziels der Neuwagen-Flotte, eine reduzierte Effizienz der Nicht-Elektrofahrzeuge ermöglichen.

### **Ist alles Geld, was zählt? – der sozialpsychologische Rebound-Effekt (→ Kap. 3.3)**

Niedrigere Betriebskosten von effizienteren Produkten können zu einem Mehrverbrauch führen, wenn die bereits bezahlten höheren Anschaffungskosten (Energiesparlampen kosten mehr, benötigen dann aber weniger Strom) später nicht mehr in Betracht gezogen werden. Die Entscheidung für Effizienztechnologien sowie ihre Nutzung wird allerdings, vor allem bei Endkonsumenten, nicht allein von den Kosten bestimmt. Vielmehr spielt eine Vielzahl von Einflussfaktoren eine Rolle, beispielsweise auch soziale und persönliche Normen, Einstellungen und Überzeugungen. Wie die Betriebskosten können sich auch Einstellungen und Normen, ressourcenverbrauchende Produkte nur sparsam zu nutzen, mit der Anschaffung eines effizienteren Produktes ändern, so dass effizientere Produkte u.U. mehr genutzt werden, als die Produkte, welche damit ersetzt werden. Umgekehrt können sehr starke persönliche Normen und ein ausgeprägtes Problembewusstsein das Nutzungsverhalten stabilisieren und damit Rebound-Effekte verhindern. Damit besteht ein Erklärungsgerüst erstens für Rebound-Effekte, welche rein betriebswirtschaftlich gesehen nicht auftreten würden, und zweitens für das mögliche Ausbleiben von Rebound-Effekten, welche aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht erwartet worden wären.

## Wo gibt es Handlungsbedarf? Vier relevante Themenbereiche (→ Kap. 4, 5)

Die folgenden vier Bereiche spielen bei der Diskussion von Rebound-Effekten eine wesentliche Rolle:

1. *Baulich-betrieblich korrekte Umsetzung von Effizienzmaßnahmen.* Die Rebound-Literatur zeigt, dass ein Teil unerwarteter Mehrverbräuche auf mangelhafte Umsetzung von Effizienzmaßnahmen zurückzuführen ist. Die auftretenden Mehrverbräuche sind entsprechend nicht (allein) auf Rebound-Effekte zurückzuführen. Auch werden die künftigen Nutzer teilweise nur ungenügend angewiesen, wie beispielsweise komplexe Haustechnik im Alltag einzusetzen wäre. Auch die ingenieurwissenschaftliche Berechnung der durch Effizienzmaßnahmen erzielbaren Einsparungen ist oft zu optimistisch, was zu scheinbaren Rebound-Effekten führt.
2. *Wirkungsabschätzung von Maßnahmen und Maßnahmenpaketen.* Rebound-Effekte lassen sich nicht immer vermeiden. Wichtig ist, ihr Auftreten bei der Entscheidung über und Konzeption von Maßnahmen zur Förderung von Effizienz mitzudenken. Um eine bestimmte Ressourcenmenge einzusparen, reicht es nicht, eine Gruppe von Maßnahmen vorzuschlagen, welche in der Summe genau die entsprechende Effizienzsteigerung bewirken. Es ist eine "Übererfüllung" des Effizienzzieles vorzusehen, weil damit zu rechnen ist, dass ein Teil der Einsparungen durch die effizienzinduzierte Mehrnachfrage kompensiert wird.
3. *Rebound-robuste Ausgestaltung von Politikmaßnahmen.* Zur Erreichung eines Reduktionszieles stehen meist mehrere Maßnahmen-Varianten zur Auswahl. Auch wenn sie die gleiche Effizienzsteigerung erzielen, sind sie aus Rebound-Sicht unterschiedlicher Natur. Es empfiehlt sich, vermehrt auf Politikmaßnahmen mit reduzierter Rebound-Gefahr zu setzen, und verstärkt Kombinationen von Politikmaßnahmen zu verwenden, welche Maßnahmen zur Eindämmung von Rebound-Effekte beinhalten.
4. *Spezifische Maßnahmen zur Bekämpfung von Rebound-Effekten.* Zur Reduktion von Rebound-Effekten aufgrund von branchenweiten Effizienzfortschritten, seien diese autonomer Natur oder auf verschärfte Produktstandards zurückgehend, könnten in Zukunft vermehrt Maßnahmen ins Auge gefasst werden, welche Rebound-Effekte eindämmen helfen: beispielsweise die Abschöpfung der entstehenden Kostenvorteile durch höhere steuerliche Belastung, die Einführung von Cap-and-Trade-Ansätzen oder die Verpflichtung zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

## Rebound-Effekte bei nicht-energetischen Ressourcen (→ Kap. 6)

Empirische Befunde zu Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen wie Fläche, Rohstoffe oder Wasser liegen bislang kaum vor. Um dennoch einzuschätzen, welcher Handlungsbedarf hier bezüglich Rebound-Effekten besteht, müssen daher Erkenntnisse zu Rebound-Effekten aus dem Energiebereich herangezogen und in Hinblick auf ihre Bedeutung bei der Nutzung nicht-energetischer Rohstoffe diskutiert werden.

Die Diskussion potentiell relevanter Einflussfaktoren weist darauf hin, dass sowohl im Rohstoff- als auch im Wasserbereich Rebound-Effekte infolge von Effizienzmaßnahmen auftreten können. Dabei können sowohl finanzielle als auch psychologische Faktoren wie z.B. ein mangelndes Bewusstsein für die Probleme der Ressourcennutzung, eine geringe wahrgenommene Wirksamkeit eigenen Handelns und eine fehlende Wahrnehmung von Handlungsoptionen eine Rolle spielen. Neben ökonomischen Instrumenten sollten Maßnahmenpakete dementsprechend auch Informations- und Kommunikationsmaßnahmen in Betracht ziehen, um Rebound-Effekten entgegenzuwirken. Im Bereich der Flächennutzung erscheinen Wahrscheinlichkeit und Relevanz von direkten Rebound-Effekten dagegen vergleichsweise gering. Allenfalls bei landwirtschaftlichen Nutzungen ist ein gewisser Handlungsbedarf erkennbar, bei Förderung effizienter Flächennutzung direkte Rebound-Effekte zu begrenzen. Bei Förderung effizienter Wohnbebauung ist vorstellbar, dass indirekte Rebound-Effekte auftreten.

## **Ausgewählte umweltpolitische Handlungsfelder (→ Kap. 7)**

Kapitel 7 widmet sich einer Analyse von vier ausgewählten Handlungsfeldern: öffentliche und industrielle Beleuchtung, Raumwärme in Privathaushalten, motorisierter Individualverkehr sowie nicht-energetische Ressourcen am Beispiel Wasser. Für die einzelnen Handlungsfelder werden zunächst, soweit möglich, Angaben zum Ausmaß von Rebound-Effekten und zu Treibern der Mehrnachfrage getroffen. Anschließend wird diskutiert, welche Gründe für Rebound-Effekte jeweils vorliegen unter Rückgriff auf die verschiedenen, in den vorherigen Kapiteln diskutierten Kategorien (finanziell, sozialpsychologisch, regulatorisch). In einem weiteren Schritt werden die Rebound-Effekte in den vier Handlungsfeldern nach den verschiedenen Arten (direkt, indirekt, gesamtwirtschaftlich) beleuchtet.

Schließlich wird für jedes Handlungsfeld die Frage gestellt, ob es Politikinstrumente zur Eindämmung der Rebound-Effekte gibt. Inwieweit dies der Fall ist, variiert deutlich. Während in zwei der ausgewählten umweltpolitischen Handlungsfelder bereits mehrere „Gegeninstrumente“ oder Vorschläge zur Eindämmung existieren (Raumwärme in Privathaushalten, MIV), gibt es in den beiden anderen Feldern (öffentliche und industrielle Beleuchtung und nicht-energetische Ressourcen am Beispiel Wasser) bislang kaum Ansätze, die Rebound-Effekte explizit zu adressieren.

## **Lösungsstrategien zur Eindämmung des Rebound-Effekts (→ Kap. 8)**

Im Rahmen des vorliegenden Berichts wurden sechs Lösungsstrategien identifiziert zur Eindämmung von Rebound-Effekten. Meist wird sich die Kombination mehrerer Lösungsansätze als erfolgreich erweisen.

- ▶ Lösungsstrategie 1: Effizienzförderung und Abgaben auf die Nutzung einer Ressource koppeln
- ▶ Lösungsstrategie 2: Effizienzstandards nach Kategorien (Größe/Leistung) auslegen
- ▶ Lösungsstrategie 3: Nutzung einer Ressource durch einen „Cap“ beschränken
- ▶ Lösungsstrategie 4: Effizienzförderung und Standardeinstellungen bei der Nutzung einer Technologie koppeln
- ▶ Lösungsstrategie 5: Finanzielle Förderinstrumente für effiziente Technologien regelmäßig überprüfen
- ▶ Lösungsstrategie 6: Einsatz von maßgeschneiderten Informations- und Kommunikationsmaßnahmen

## **Für genauere Aussagen braucht es bessere Ausgangsdaten (→ Kap. 8.4)**

Eine effektive Eindämmung von Rebound-Effekten erfordert ein Verständnis der Einflussfaktoren. Dazu sind verschiedene Ausgangsdaten notwendig. Sobald Erhebungen zu Konsumverhalten und Haushaltsausgaben den Konsum nicht nur wertmäßig, sondern auch in physikalischen Einheiten erfassen, können Lebensstile nachhaltigen Konsums identifiziert werden. Die Lebenszyklusanalyse-Methode wiederum ist zu erweitern, damit sie eine Mehrnachfrage, welche durch eine höhere Effizienz induziert wurde, abzubilden vermag. Vertiefte Kenntnisse, wie Konsumenten Umweltbelastungen wahrnehmen und dazu verschiedene mentale Konten verwenden sowie wie Einstellungen und Normen sich bei Nutzung effizienterer Produkte verändern, sind für die Reduktion sozialpsychologischer Rebound-Effekte notwendig. Außerdem besteht erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich der Übertragbarkeit von Rebound-Erkenntnissen aus dem Energiebereich auf nicht-energetische Ressourcen.

## Summary

### The rebound effect as a side-effect of efficiency strategies (→ Chapter 1)

Similarly to most other industrialised countries, Germany is making concerted efforts to cut down on energy consumption and resource use. This should, ideally, happen without inconvenience to the general public; for this reason, the main approach has been to increase energy and material efficiency. The national sustainability strategy thus addresses resource conservation and deploys indicators to analyse energy and raw material productivity. Numerous environmental policy initiatives have, in previous years, led to clear increases in energy and raw material efficiency; these include supporting measures to increase efficiency in product manufacturing, the creation of energy efficiency labels and efficiency projects such as those featuring in the eco-design directive.

Resource-efficient manufacturing can, however, lead to increased demand, with the consequence that resource savings per product item are, due to increased consumption of those items, partially compensated. The same applies for resource-intensive services: there is often added demand due to cost savings, and socio-psychological and regulatory factors can also result in increased consumption.

### Definition of the rebound effect (→ Chapter 2.1)

The rebound effect applies to any increase in resource demand caused by enhanced resource efficiency. If efficiency increases by 10 %, then a decrease of 10% in required resources would be expected, assuming demand stays the same. However, if it is observed that, as a result of efficiency changes, required resources only decrease by around 5%, then that means there has been a 50% rebound effect. There is no rebound effect in the case of efficiency increases and monitored effects on demand occurring in parallel, as opposed to being causally connected. For example, the coincidence of improved fuel efficiency in new vehicles (1 - 2% per year) and of vehicle miles travelled (2 - 3 % per year) does, for itself, not sufficiently support the conclusion of any rebound effect.

### Are rebound effects always a bad thing? (→ Chapter 2.2)

As products become more resource-efficient, increase in demand occurs in line with the principles of classical economics. The rebound effect is a result of market behaviour and cannot be contained without further action. If all environmental impacts were to be internalised and there were no more external costs, then rebound effects would be an inherent feature of total economic benefits. However, as energy and resource consumption for the time being equates with significant external costs, then rebound effects, despite their market economic emergence, are not positive on a macroeconomic level. There are exceptions if unfulfilled demand still exists, especially in developing countries. Therefore, the aim is constant and precise: to minimise rebound effects as much as possible. Rebound effects deriving from or accompanying politically induced efficiency measures are of particular interest. In such cases small changes to the design of the policy measure may already result in lower rebound effects.

### How can rebound effects be measured? (→ Chapter 2.3 and 2.4)

Measuring rebound effects empirically represents a significant challenge. If efficiency increases within building complexes, appliances or systems, it becomes possible to estimate and gauge the degree to which resource consumption should be reduced. From an engineer's point of view, the clear identification of a rebound effect corresponds to the difference between pre-estimated energy requirements and actual monitored energy consumption. However, it must first be ascertained

whether the estimated value was correct in the first place. Secondly, the implementation of increased efficiency must be carried out by skilled parties and in full. Thirdly, there can be no change in demand-relevant parameters (if, for example, following energy efficiency refurbishment, new tenants move in who were not living in the building prior to renovation). If these conditions are fulfilled, then the before-after difference of the rebound effect applies. In order to cover the *heat replacement effect*, resource consumption has to be gauged in its entirety (more efficient electronic appliances emit less heat and therefore increase the need for heating during winter).

The rebound effect can be estimated by comparing a treatment group with a control group. However, this is complex and cannot be carried out if an equal increase in efficiency is expected from all parties, for example following a regulation. This is why attempts are being made to estimate rebound effects according to econometric calculations and based on longer periods of time. However, in the course of this analysis, other factors concerning demand are also inevitably subject to change.

### **Can rebound effects be prevented? (→ Chapters 3.1, 3.2)**

This report defines rebound effects in general as an increase in demand induced by increased resource efficiency. This can, on the whole, be empirically documented, particularly in the case of increases in energy efficiency. However this does not suffice to make statements about potential reduction strategies. Potential key factors must be consistently differentiated – for this reason, individual decision makers and their behaviours must be monitored.

The first step would be to more strictly differentiate growth effects (which do not count as rebound effects) from efficiency-induced rebound effects. As a second step, rebound effects occurring as a consequence of autonomous technical developments should be separated from those caused by policy measures intended to increase efficiency.

To this end, it is necessary to determine what ultimately caused the increase in demand. Was it due to reduced costs as a result of higher resource efficiency (financial rebound effect)? Or does an end-consumer create mental “accounts” and, as soon as highly efficient products are available, allow themselves to consume more (socio-psychological rebound effect)? In terms of technology-specific funding approaches, a regulatory rebound effect is also possible – for example, if electric vehicles are credited with a higher factor as part of policy measures that set a medium-level efficiency target for fleets of new vehicles, thus allowing for reduced efficiency in non-electric vehicles.

### **Is it all about the money? – The socio-psychological rebound effect (→ Chapter 3.3)**

Energy efficient products’ lower operating costs can lead to an increase in demand, if the already higher acquisition costs are not taken into account at a later stage (energy-saving bulbs cost more, but require less electricity). However, the decision to use energy efficient technology (and its actual use) is not only determined by price, especially in the case of end consumers. It is rather the case that numerous key factors play a much greater role; social and personal norms, attitudes and convictions, for instance. As with operating costs, attitudes and norms (in terms of using resource-consuming products more economically) can change, when a more efficient product is acquired. More efficient products can, all things considered, end up being used more than the products being replaced. Vice versa, strong personal convictions and awareness of the problem of consumer behaviour can stabilise and thus prevent rebound effects. This creates a framework which can be used to understand first of all with rebound effects which, seen from a purely economic point of view, would not be expected to occur, and secondly the potential absence of rebound effects that otherwise would be expected in terms of business economics.

## Where does action need to be taken? Four relevant topic areas (→ Chapter 4, 5)

The following four areas play a significant role in the discussion of rebound effects:

1. *Proper implementation of efficiency measures in the building sector.* Literature on rebound effects shows that some unexpected increases in demand can be traced back to flawed implementation of efficiency measures. In accordance with this, resulting increases in demand cannot be ascribed just to rebound effects. Future residents, for example, may in some cases not be sufficiently trained in using complex household technology on a day-to-day basis. Engineers' evaluations of the savings made possible by efficiency measures is also often too optimistic, which leads to apparent rebound effects.
2. *Anticipated effect of measures.* Rebound effects cannot always be avoided. It is important to consider their occurrence when measures promoting efficiency are being conceived. If specific quantities of resources are to be conserved, it is not sufficient to recommend measures that, on the whole, only achieve the corresponding efficiency increase. Over-fulfilment of the efficiency target should be earmarked as it is probably the case that part of the savings will be compensated by the efficiency-induced increase in demand.
3. *Rebound-robust arrangement of policy measures.* In order to reach reduction targets, there are usually several kinds of measures available. Even if they attain the same increase in efficiency, they are, in terms of rebound effects, varied in nature; for this reason, asserting policy measures with a reduced risk of rebound and implementing combinations of policy measures which contain measures for diminishing rebound effects is recommended.
4. *Specific measures for combating rebound effects.* In terms of containing rebound effects caused by progress in efficiency branch-wide, (whether this is of an autonomous nature or occurs as a result of stricter product standards) increased measures to limit rebound effects should be contemplated for the future; this could involve, for example, levying existing cost benefits through higher tax burdens, introducing cap-and-trade approaches or the obligatory use of energy from renewable sources.

## Rebound effects in non-energy resources (→ Chapter. 6)

There is little empirical evidence of rebound effects in non-energy resources such as land, raw material or water. In order to identify required actions regarding rebound effects, insights from rebound effects in the area of energy efficiency must be analysed with respect to their significance for the field of non-energy resources.

The discussion on potentially influential factors indicates that rebound effects resulting from efficiency measures can occur in the area of raw materials as well as in the area of water management. Financial as well as psychological factors such as inadequate awareness of the problems relating to the use of resources, the feeling that personal actions are of limited efficacy, and a sheer lack of awareness of how to take action can play a role. Aside from economic tools, packages of measures should contain individual information and communication measures if they are to counteract rebound effects. In terms of land use, probability and the importance of direct rebound effects are, in comparison, less apparent. In the case of agriculture, there is at most a clear need for action to circumscribe rebound effects occurring in the course of work to advance efficient land use. In the promotion of building efficient housing, it is possible that indirect rebound effects will occur.

## **Selected environmental policy fields of action (→ Chapter 7)**

Chapter 7 is dedicated to an analysis of four selected fields of action: public and industrial lighting, space heating in private households, private motorised transport and water management as an example of non-energy resource usage. Firstly, information on the extent of rebound effects and the drivers of increased demand is given, as far as possible, for each individual field of action. Following this is a discussion on which causes of rebound effects are to be observed in each case, by way of the various categories which were discussed in previous chapters (financial, socio-psychological, regulatory). At the next stage, the rebound effects in the four fields of action are examined according to the different types of effect (direct, indirect, macroeconomic).

Finally, for each field of action, we ask whether there are policy instruments which are able to limit rebound effects. To what extent this is the case varies significantly. Whilst in two of the selected environmental policy action fields, several preventative tools or recommendations for reduction exist (heating in private households, private motorised transport), there are hardly any approaches that explicitly address rebound effects in the other categories (public and industrial lighting, non-energy resources in terms of water).

## **Strategic solutions for reducing rebound effects (→ Chapter. 8)**

Within this report, six strategic solutions for reducing rebound effects were identified. In most cases a combination of different approaches will be successful:

- ▶ Strategic solution 1: Promoting efficiency in conjunction with taxes on resource use
- ▶ Strategic solution 2: Categorising efficiency standards (size/performance)
- ▶ Strategic solution 3: Limit resource use by means of a cap
- ▶ Strategic solution 4: Interconnecting efficiency promotion and default values in terms of technology use
- ▶ Strategic solution 5: Regular monitoring of financial subsidies for efficient technologies
- ▶ Strategic solution 6: Implementation of tailored information and communication measures

## **Exact statements need better input data (→ Chapter. 8.4)**

Effective containment of rebound effects requires an understanding of key factors. Various kinds of input data are necessary – as soon as surveys on consumption behaviour and household consumption data are gathered, not only in terms of value but also in terms of physical items, lifestyles fostering sustainable consumption can be identified. Life cycle assessment methodologies should be improved in order to reflect an increase in demand induced by increased efficiency. More detailed knowledge as to how consumers perceive environmental pollution and how they apply various forms of mental accounting, as well as how attitudes and norms change through the use of more efficient products, are all necessary in order to reduce socio-psychological rebound effects. Furthermore, there is a clear need for research into the transferability of knowledge on rebound effects from the energy sector to non-energy resource sectors.

# 1 Einleitung

Die Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz ist ein zentraler Ansatz zur Verringerung des Energieverbrauchs und der Ressourceninanspruchnahme und der damit verbundenen negativen Umweltwirkungen. So bildet die nationale Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel Ressourcenschonung mit den Indikatoren Energie- und Rohstoffproduktivität ab. Die Effizienzsteigerung ist wesentlicher Bestandteil politischer Strategien, wie dem von der Bundesregierung veröffentlichten Ressourceneffizienzprogramm. In Deutschland haben in den letzten Jahren eine Vielzahl umweltpolitischer Initiativen zu deutlichen Steigerungen der Energie- und Rohstoffeffizienz geführt, z.B. die Unterstützung von betrieblichen Effizienzmaßnahmen, die Schaffung von Energieeffizienzlabels oder Effizienzvorgaben wie in der Ökodesignrichtlinie.

Die angestrebte Reduktion des absoluten Ressourcenverbrauchs und der damit verbundenen Umweltbelastungen bleiben jedoch geringer als erwartet. Dies ist unter anderem auf sogenannte **Rebound-Effekte** zurückzuführen, die die Wirksamkeit von Effizienzstrategien teilweise kompensieren: So führen beispielsweise durch ressourceneffiziente Produktherstellung erreichte Kostensenkungen u.U. zu einer stärkeren Produktnachfrage, sodass die Ressourceneinsparungen pro Produkt durch vermehrten Konsum teilweise wieder kompensiert werden.

Die Existenz von Rebound-Effekten ist seit langem bekannt. Definition, Beobachtung und Quantifizierung von Rebound-Effekten sind Gegenstand laufender Forschung. Es mangelt jedoch an systematische Analysen zur praktischen Relevanz von Rebound-Effekten sowie zu möglichen Lösungsstrategien, um Rebound-Effekte einzudämmen. An diesen Punkten setzt das F+E-Vorhaben FKZ 3711 14 104 im Auftrag des Umweltbundesamts an. Es deckt die folgenden Aspekte ab:

- ▶ *Analyse des Rebound-Effekts* – Zusammenfassung des aktuellen Kenntnisstands zu Rebound-Effekten auf Basis der Literatur und existierender Daten;
- ▶ *Analyse des Handlungsbedarfs* – Identifizierung der Einflussfaktoren im Hinblick auf Rebound-Effekte in ausgewählten umweltpolitischen Handlungsfeldern;
- ▶ *Empfehlungen für umweltpolitische Instrumente* – Formulierung von Lösungsstrategien zur Eindämmung von Rebound-Effekten.

Der vorliegende *Bericht zum Forschungsvorhaben* ist wie folgt aufgebaut. Nach den wichtigsten Definitionen und Systemabgrenzungen (Kap. 2) werden Treiber, Arten, Einflussfaktoren und Ausprägungen von Rebound-Effekten behandelt (Kapitel 3). Kapitel 4 liefert eine ausführliche Übersicht zu aktuellen Themen der Rebound-Forschung anhand einer Literaturanalyse, insbesondere im Handlungsfeld Energie. Kapitel 5 fasst die vier Felder mit Handlungsbedarf beim energetischen Rebound zusammen. In Kapitel 6 wird das Auftreten von Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen thematisiert. Kapitel 7 fasst den Stand des Wissens in ausgewählten umweltpolitischen Handlungsfeldern zusammen. Kapitel 8 umfasst Schlussfolgerungen zu umweltpolitischen Handlungsempfehlungen sowie einen Ausblick auf noch offene Forschungsfragen.

Im Rahmen des Vorhabens wurde ebenfalls ein *Praxishandbuch* entwickelt („Rebound-Effekte: Wie können Sie effektiv begrenzt werden? Ein Handbuch für die umweltpolitische Praxis. Umweltbundesamt Texte), das als Hilfestellung beim Einführen, Konzipieren und Umsetzen umweltpolitischer Maßnahmen dienen soll.

## 2 Definitionen und Systemabgrenzung

In diesem Kapitel werden die Definitionen, Systemabgrenzungen und Methoden festgelegt, wie sie im gesamten Projekt zum Tragen kommen. Sofern es möglich ist, werden dabei die gleichen Definitionen verwendet wie in den beiden Metastudien von Maxwell und McAndrew (2011) und Sorrell et al. (2007).

Die beiden Metastudien, wie nahezu die gesamte aktuelle Literatur, behandeln Rebound-Effekte im Hinblick auf Energieverbrauch. Für Rebound-Effekte bei nicht-energetischen Ressourcen sind ggf. geeignete zusätzliche Systemabgrenzungen vorzunehmen sowie Analogieschlüsse aus den gängigen Definitionen beim energetischen Rebound zu ziehen.

Dieses Kapitel ist dazu wie folgt aufgebaut:

- ▶ Definition des Rebound-Effekts inkl. illustrativem Beispiel (Abschnitt 2.1);
- ▶ Sind Rebound-Effekte immer schlecht? (Abschnitt 0);
- ▶ Umgang mit mangelhaften Ex-ante-Schätzungen, mangelhafter Umsetzung und mangelhafter Nutzerinstruktion (Abschnitt 2.3);
- ▶ Umgang mit wegfallenden „Nebennutzen“ (Heat Replacement Effect) (Abschnitt 2.4);
- ▶ Größenordnung von Rebound-Effekten (Abschnitt 2.5).

Im darauffolgenden Kapitel gehen wir auf methodische Aspekte und Definitionen zur Kategorisierung von Rebound-Effekten und deren Ursachen ein, namentlich auf die Unterscheidung von Wachstumseffekten, autonomen Rebound-Effekten sowie politikinduzierten Rebound-Effekten (Abschnitt 0); auf die Unterscheidung von direkten, indirekten und gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekten (Abschnitt 3.2); auf die unterschiedlichen Gründe für Rebound-Effekte (Abschnitt 3.3); sowie auf die verschiedenen Ausprägungen des Rebound-Effekts (Abschnitt 3.4).

### 2.1 Definition des Rebound-Effekts

#### 2.1.1 Konzept

Der Rebound-Effekt als Konzept stammt ursprünglich aus der Energieökonomie. In der Politikanalyse bezeichnet der Rebound-Effekt jene Sekundäreffekte einer technischen oder politischen Maßnahme, welche den ursprünglichen Zielsetzungen der Primärmaßnahme zuwiderlaufen. Rebound-Effekte werden also durch eine Entwicklung oder Maßnahme ausgelöst und reduzieren die damit einhergehende und meist beabsichtigte Wirkung. Mit einer anderen Bedeutung kommt der Begriff Rebound auch in anderen Bereichen vor (Medizin: Wiederauftreten von Krankheitsbildern/Symptomen, Basketball: Rückprall des Balls vom Brett, usw.) vor.

Für die hier betrachteten Rebound-Effekte beim Verbrauch von Ressourcen ist das Erfordernis einer Kausalität (die Sekundäreffekte müssen durch die Primärmaßnahme ausgelöst, d.h. von dieser verursacht werden) zentral. Es liegt *kein Rebound-Effekt vor, wenn* die betrachtete Maßnahme und gewisse beobachtete Nachfrageeffekte mit gegensätzlicher Wirkung bloß zeitlich parallel verlaufen, aber *nicht ursächlich verknüpft* sind. Beispielsweise kann aus der bloßen zeitlichen Koinzidenz von verbesserter Treibstoffeffizienz der Neuwagen (1% bis 2% pro Jahr) und der Zunahme der Verkehrsleistung (2% bis 3% pro Jahr) allein nicht gefolgert werden, dass ein Rebound-Effekt von über 100% vorliegt. Das starke Verkehrswachstum der letzten 60 Jahre ist vielmehr hauptsächlich auf den in diesem Zeitraum ebenfalls gestiegenen volkswirtschaftlichen Wohlstand zurückzuführen, und höchstens zu einem kleineren Teil darauf, dass Autos sparsamer geworden sind.

Synonyme des Begriffs Rebound-Effekt sind „Jevons Paradoxon“, „take-back effect“ sowie „Khazzoom-Brookes-Effekt“ (bezugnehmend auf die Arbeiten von Jevons aus den 1850er Jahren bzw. die grundlegenden Publikationen von Khazzoom (1980) und Brookes (1978)). Der ebenfalls geläufig-

ge Begriff „backfire effect“ bezeichnet einen Rebound-Effekt größer 100% und ist somit ein Spezialfall des allgemeinen Reboundkonzepts.

Die Definition, Beobachtung und Quantifizierung von Rebound-Effekten sind Gegenstand laufender Forschung (für eine Übersicht zu Definitionsfragen siehe Greening et al. 2000 sowie Grepperud und Rasmussen 2000). Insbesondere die Ursachen von Rebound-Effekten werden kontrovers diskutiert (Peters et al. 2012b). Bisher sind Rebound-Effekte hauptsächlich im Rahmen von ökonomischen Studien untersucht worden. Dabei werden sie in der Regel als Effekte definiert, welche durch Preisänderungen ausgelöst werden: Wird ein Produkt ressourceneffizienter (in der Herstellung und/oder in der Betriebsphase), so sinken die mit dem Produkt einhergehenden Ressourcenkosten, was eine verstärkte Nutzung bzw. Nachfrage zur Folge haben kann (Berkhout et al., 2000; Greening et al., 2000). Einige Forscher<sup>1</sup> haben aber bereits – teilweise auf Basis erster empirischer Ergebnisse – darauf hingewiesen, dass neben solchen Preis- und Einkommenseffekten auch psychologische und soziologische Aspekte und Ursachen relevant sein könnten (vgl. de Haan et al. 2006; Hofstetter et al. 2006; Peters et al. 2012; Santarius 2012; Wörsdorfer 2010).

Für den vorliegenden Bericht gehen wir von folgendem Konzept für die Definition von Rebound-Effekten aus: Wenn ein Produkt effizienter wird (hinsichtlich der Verwendung von Energiressourcen oder anderen Ressourcen, in der Herstellung oder im Betrieb), kann dies zu Änderungen des Verhaltens in Richtung einer verstärkten Nachfrage führen. Diese Verhaltensänderung kann durch die Senkung der Ressourcenkosten verursacht werden, aber auch durch andere Faktoren, die beispielsweise psychologischer oder soziologischer Natur sein können (vgl. Peters et al. 2012a, b; Wörsdorfer 2010). Die Mehrnachfrage kann entweder das effizienter gewordene Produkt betreffen, aber auch andere Produkte. Als „Produkt“ werden hier auch „Ressourcendienleistungen“ (zum Beispiel Energiedienstleistungen wie Raumwärme, Beleuchtung usw.) verstanden.

### 2.1.2 Betrachtete Ressourcen

Der Rebound-Effekt lässt sich allgemein als ein Effekt der Mengenausweitung, induziert durch jegliche Ressourceneffizienzsteigerung, begreifen. Der Rebound-Effekt kann abgegrenzt werden für eine Ressource oder eine *Ressourcengruppe*, welche mit den anderen makroökonomischen Produktionsfaktoren *Kapital und Arbeit substituiert* werden kann, aber *nicht* ohne weiteres mit anderen Ressourcen. Der Ressourcenbegriff ist hier breit gefasst, es können sowohl energetische Ressourcen wie auch stoffliche Ressourcen, aber auch nutzbare Bodenflächen sein. Die Einschränkung, dass es keine Substitution mit anderen Ressourcen geben soll, ist sinnvoll wegen starker Substitutionsbeziehungen zwischen verschiedenen Ressourcen. Die meisten Werkstoffe lassen sich durch andere Werkstoffe ersetzen (im Automobilbau z.B. Eisen durch Kunststoff). Eine höhere Materialeffizienz führt dann dazu, dass der effizienter einsetzbare Werkstoff vermehrt zum Einsatz kommt und andere Werkstoffe substituiert. Der Effizienz-induzierten Mehrnachfrage steht damit eine Mindernachfrage nach anderen Werkstoffen gegenüber. Nur mit gesamtwirtschaftlichen Modellen und Lebenszyklus-Inventardaten aller involvierter Materialien kann dann noch eruiert werden, ob es insgesamt zu einem Mehrkonsum gekommen ist. Natürlich ist es möglich, den Rebound-Effekt breit zu fassen und solche Ressourcen-übergreifenden Substitutionsprozesse auch zu betrachten. Das würde die Analyse erheblich verkomplizieren und führt mutmaßlicher Weise nicht zu praktikablen Gestaltungsvorschlägen für das umweltpolitische Instrumentarium.

---

<sup>1</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwenden wir in diesem Bericht bei der allgemeinen Benennung von Personen oder Gruppen nur die männliche Form. Selbstverständlich sind immer beide Geschlechter angesprochen.

Zu beachten ist, dass in der Rebound-Diskussion jeweils der Mehrverbrauch an Ressourcen an sich betrachtet wird; welche ökologischen Folgen dieser Mehrverbrauch hat (was gerade bei der Substitution zwischen verschiedenen Ressourcen oder Energieträgern relevant sein kann), ist nicht mehr Gegenstand der Rebound-Diskussion.

**Energie** ist das klassische Beispiel für eine betreffend Rebound-Effekt relevante Ressourcengruppe. Es ist schwierig bis unmöglich, für einzelne energetische Ressourcen wie Biomasse, Elektrizität, Erdgas, Rohöl usw., einen Rebound-Effekt zu betrachten, weil diese verschiedenen Energieträger durch einfache technische oder thermochemische Umwandlung ineinander übergeführt werden können. Die Ressourcengruppe „Energie“ ist aber eine sinnvolle Größe. Es braucht mehr Kapital (z.B. für effizientere Technik), mehr Arbeit, oder andere stoffliche Ressourcen (für die energetische Sanierung einer Gebäudehülle), wenn man für ein bestimmtes Produkt weniger Energie einsetzen möchte.

**Fläche** (im Sinne von für Siedlungs- oder Agrarzwecken nutzbare Bodenfläche) ist eine weitere solche Ressource. Sie ist im Prinzip begrenzt und damit eine nicht-erneuerbare Ressource. Allerdings lassen sich bestimmte Flächen (z.B. Altlastenflächen) recyceln, und durch den Einsatz von Kapital und Arbeit können einzelne Parzellen in höherwertige Nutzungsklassen gebracht werden (z.B. kann der Ertrag landwirtschaftlicher Parzellen durch Terrassierung, Ent- und Bewässerung in gewissen Grenzen erhöht und verstetigt werden).

**Wasser** ist eine für alle höheren Lebensformen notwendige und nicht-substituierbare Ressource. Sie lässt sich in Kategorien wie Trink-, Salz-, Brack- und Abwasser in mehrere Qualitätsstufen unterteilen. In der Form von Salzwasser bedeckt Wasser zwei Drittel der Erdoberfläche und ist deshalb, obwohl streng genommen nicht-erneuerbar, global gesehen nahezu unbegrenzt verfügbar. Wasser ist deshalb als Ressource nur in einer bestimmten Qualitätsstufe (Trinkwasser oder Irrigationswasser) oder in einer regionalen Eingrenzung (in Dürreregionen) für Rebound-Analysen sinnvoll. Durch den Einsatz von Kapital, Arbeit und Energie kann aus qualitativ schlechterem Wasser höherwertigeres Wasser erzeugt werden. Andere landwirtschaftliche Bewässerungssysteme, Sparbrausen und wasserlose Toilettensysteme sind Beispiele für technische Maßnahmen für eine höhere Wassereffizienz. Die Verwendung von Regen- oder Brauchwasser für Geschirr- bzw. Toilettenspülung stellt eine Substitution durch andere Wasser-Qualitätsklassen dar. Eine Substitution mit anderen stofflichen Ressourcen ist jedoch nicht in nennenswertem Ausmaß möglich.

Nicht-energetische, mineralische **Ressourcen** werden ebenfalls betrachtet. **Kupfer** beispielsweise kann deshalb in der Rebound-Diskussion als eigenständige Ressource behandelt werden, weil es in seiner Eigenschaft als stromleitendes Metall herausragende Eigenschaften hat und es kaum technisch ebenbürtige Alternativen gibt. In gewissen Grenzen kann Kupfer als Stromleiter durch Aluminium ersetzt werden, Die technischen Nachteile überwiegen jedoch in der Regel.

Weitere Ressourcen, die für die Diskussion von Rebound-Effekten interessant erscheinen, sind Phosphor sowie nicht-substituierbare kritische Metalle wie Lithium oder seltene Erden.

**Auswirkungen einer erhöhten Ressourceneffizienz auf andere Ressourcen:** Die Rebound-Forschung beschränkt sich jeweils auf eine Ressource bzw. Ressourcengruppe. Natürlich hat jedes Produkt mannigfaltige Umweltauswirkungen. Wenn energieeffizientere Geschirrspüler zu einer Mehrnachfrage nach Geschirrspülung führen, hat dies Auswirkungen in der Herstellungsphase (die Herstellung zusätzlicher Geschirrspüler verursacht höhere Umweltbelastungen) und in der Betriebsphase (höherer Wasserbedarf; Einsatz von Geschirrspülmittel; Belastung der Abwässer). Diese indirekten Auswirkungen sind jedoch gekoppelt an die Mehrnachfrage nach dem zugrundeliegenden Produkt. Die Rebound-Forschung beschränkt sich auf die zugrundeliegende Ressource, deren Verwendung effizienter geworden ist.

**Zeit („rebound in time“):** Höhere Zeiteffizienz führt insbesondere bei zeitintensiven Produkten zu einer Mehrnachfrage (Jalas 2000), also bei Aktivitäten, welche neben Kapital- und Energie-

/Ressourcen-Einsatz auch einen Zeit-Einsatz benötigen (Beispiele sind Kleiderwaschen, Raumreinigung, Geschirreinigung). Zum Beispiel haben die Automatisierung von Herstellungsprozessen und der Einsatz von Informatik- und Informationstechnologien zu einer Mehrnachfrage nach Produkten geführt, die vormals in der Herstellung und Bereitstellung sehr zeitintensiv waren. Dies ist jedoch nach der in diesem Bericht verwendeten Definition kein Rebound-Effekt (sondern ein normaler marktwirtschaftlicher Vorgang), weil diesen Nachfrageverschiebungen keine Effizienzsteigerung einer materiellen Ressource zugrunde liegt. Es ist zwar möglich, den Rebound-Effekt breit zu fassen und auch *durch erhöhte Zeiteffizienz induzierte* Substitutionen zwischen Arbeit und Ressourcen zu betrachten. Dies führt aber mutmaßlicher Weise nicht zu praktikablen Gestaltungsvorschlägen für das umweltpolitische Instrumentarium. Der Umkehrschluss ist aber nicht zulässig: Wenn ein neues, energieeffizienteres Produkt *auch* eine höhere Zeiteffizienz bei einer an sich zeitintensiven Nutzung erlaubt, so ist mit hohen Rebound-Effekten zu rechnen (es kann im konkreten Fall schwierig sein zu differenzieren, inwieweit der Rebound-Effekt durch die erhöhte Ressourcen-Effizienz oder durch die erhöhte Zeit-Effizienz induziert wurde). Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn sich Haushalte, die vorher von Hand abgewaschen oder die Wäsche zum Trocknen aufgehängt haben, einen Geschirrspüler oder Wäschetrockner anschaffen, weil es effiziente Modelle gibt. Solche Produkte sollten deshalb nicht gefördert werden, da sie sich von allein durchsetzen werden. Mehrere Studien belegen, dass direkte Rebound-Effekte gering bleiben, wenn sich zwar die Energieeffizienz erhöht, aber die Zeitintensität sich nicht verringert, das heißt, bei denen die Effizienzgewinne nicht mit einer Zeitersparnis einhergehen. Beispielsweise würde ein energieeffizienteres Bügeleisen nicht zu mehr gebügelt werden, solange der Bügelvorgang gleich lange dauert. Bei dieser Energie-Dienstleistung sind für den Konsumenten die Zeitkosten deutlich höher als die Energiekosten. Effizienzgewinne können in diesen Fällen aber zu indirekten Rebound-Effekten führen.

Die Frage der Zeitintensität und -effizienz ist daher ein wesentliches Element der Rebound-Analyse. Dies gilt namentlich bei Haushaltgeräten (durch den vermehrten Einsatz von Geräten lässt sich Zeit sparen) und bei der Mobilität (leistungsfähigere Straßen und schnellere Züge haben einen viel stärkeren Einfluss auf die Nachfrage nach Mobilität als die Energieeffizienz, weil die Zeitkosten höher sind als die Energiekosten; siehe Spielmann et al. 2008).

### 2.1.3 Ingenieursdefinition und makroökonomische Definition

In diesem Kapitel wird der Rebound-Effekt für eine im Prinzip beliebige Ressource betrachtet. Weil Energie die für den Rebound-Effekt am häufigsten untersuchte Ressource darstellt, verwenden wir dafür in der mathematischen Notation den Buchstaben  $E$ .

Der Rebound-Effekt lässt sich einerseits makroökonomisch definieren für die gesamtgesellschaftliche Gesamtnachfrage nach einem bestimmten Produkt (zum Beispiel Mobilität), andererseits ingenieurstechnisch für eine einzelne Anwendung (zum Beispiel die Raumheizung eines konkreten Mehrfamilienhauses, bei welchem der Energieverbrauch vor und nach einer energetischen Sanierung erhoben wurde).

In der *Ingenieursdefinition* von Dimitrououlos und Sorrell (2006) wird der Rebound-Effekt  $R$  definiert als

$$R = 1 - \frac{ACT}{ENG} \quad (1)$$

Wobei  $ENG$  die „Ingenieurschätzung“ eines Energieverbrauch-Rückgangs infolge einer Entwicklung oder einer Maßnahme darstellt ( $0 \leq ENG \leq 1$ ), also die *ex-ante*-Schätzung, und  $ACT$  den tatsächlich beobachtbaren Energieverbrauch-Rückgang, also die *ex-post*-Schätzung. Dabei gilt die *ceteris paribus*-Annahme, d.h. die beiden Größen sind so zu berechnen, dass alle übrigen Parameter und Systemgrößen unverändert bleiben. Dies ist namentlich für die Größe  $ENG$  relevant: Sind die An-

nahmen zu optimistisch, kann dies zu einem scheinbar hohen Rebound führen, aber die Ursache dafür liegt dann in einer Verletzung der *ceteris paribus*-Annahme (siehe dazu auch Kap. 5.1).

Der Rebound-Effekt lässt sich auch *makroökonomisch* definieren, als Funktion der Elastizität des Ressourcenbedarfs hinsichtlich einer Änderung der Ressourcen-Effizienz. Diese Definition tritt in den Vordergrund, wenn keine isolierbare Entwicklung oder Maßnahme vorliegt, zu welcher eine *ex-ante*-Schätzung erstellt werden kann. Wenn man als Maß für den „Ausstoß“ einer Volkswirtschaft das Bruttosozialprodukt (*GDP*) verwendet, so hängt dieses ab von den klassischen makroökonomischen Produktionsfaktoren, wobei der Zusammenhang durch die makroökonomische Produktionsfunktion  $f$  beschrieben wird:

$$GDP = f(C, L, E) \quad (2)$$

wobei  $C$  das eingesetzte Kapital,  $L$  die eingesetzte Arbeit und  $E$  die eingesetzte Ressource bezeichnet. Die für ein bestimmtes Produkt bzw. eine bestimmte Dienstleistung – hier als „energy service“  $ES_i$  bezeichnet – benötigte Ressourcenmenge  $E_i$  berechnet sich aus

$$ES_i = E_i \times \tau_{E_i} \quad (3)$$

dabei ist  $\tau_{E_i}$  die Energieeffizienz, mit welcher die eingehende Energie in den „energy service“ umgesetzt wird. Die Elastizität von  $E_i$  hinsichtlich Änderungen von  $\tau_{E_i}$  lautet dann (zur Vereinfachung verzichten wir auf den Index  $i$ ):

$$\eta_{\tau_E}^E = \frac{\Delta E/E_0}{\Delta \tau_E/\tau_{E_0}} = \frac{d \ln E}{d \ln \tau_E} \quad (4)$$

Dabei werden die Fälle  $\eta_{\tau_E}^E = 0$  als (vollkommene) Inelastizität und  $\eta_{\tau_E}^E - 1$  als Einheitselastizität bezeichnet. In aller Regel gilt:  $-1 \leq \eta_{\tau_E}^E \leq 0$ . Bei enger Systemgrenze (ohne Substitutionseffekte bei anderen Produkten/Dienstleistungen, welche von der Änderung in  $\tau_E$  ebenfalls betroffen sind) werden die Fälle  $\eta_{\tau_E}^E < -1$  und  $\eta_{\tau_E}^E > 0$  als unmöglich betrachtet, können aber im Rahmen der erweiterten Systemgrenze der Rebound-Forschung theoretisch ohne weiteres vorkommen.

Der Rebound-Effekt ist nun makroökonomisch definiert als

$$R = 1 + \eta_{\tau_E}^E \quad (5)$$

Es bestehen folgende Fallunterscheidungen:

- ▶  $R = 0$ : kein Rebound-Effekt ( $ACT = ENG$ )
- ▶  $0 < R < 1$ : Rebound-Effekt vorhanden ( $ACT > 0$ , aber  $ACT < ENG$ )
- ▶  $R = 1$ : Rebound-Effekt 100% ( $ACT = 0$ ).

Die folgenden beiden Extremfälle wiederum kommen in praktischen Anwendungen meist nicht vor, wären theoretisch aber zulässig:

- ▶  $R < 0$ : Negativer Rebound ( $ACT > ENG$ )
- ▶  $R > 1$ : Rebound größer als 100% ( $ACT < 0$  trotz Zunahme der Effizienz)

Der Fall  $R > 1$  wird meist *back-fire* Effekt genannt.

### 2.1.4 Illustratives Beispiel

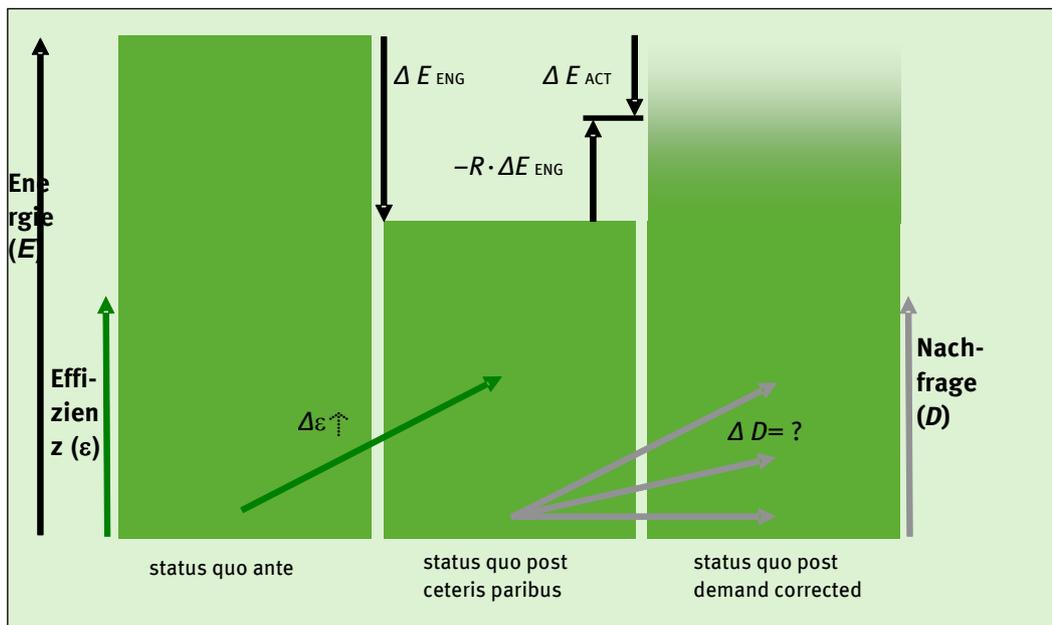
Wir betrachten die Entwicklung des Einsatzes von Geschirrspülmaschinen. Eine schematische Darstellung findet sich in untenstehender Abbildung 1.

Anfänglich war den Konsumenten aufgrund öffentlicher Debatten bewusst, dass Geschirrspüler zeit-effizient sind, aber mehr Wasser und mehr Energie verbrauchen als herkömmliches manuelles Spülen. Die verbesserte Technologie ab Mitte der 1990er Jahre mit reduziertem Energieverbrauch je Geschirrspülgang hätte, unter der Annahme unveränderter Nachfrage, zu einer erheblichen Energieeinsparung führen sollen (mittlerer Balken in Abbildung 1) – wenn die Nachfrage nach der Energiedienstleistung „Geschirrspülen“ gleich geblieben wäre. Neben der verbesserten Energieeffizienz war vor allem die erhöhte Wassereffizienz von Bedeutung, wenngleich in den meisten europäischen Ländern die weniger wichtige Umweltbelastung.

Die Effizienzverbesserungen in den letzten 25 Jahren haben aber nicht allein zu einem Ersatz manueller Geschirrspülgänge durch maschinelle Spülgänge, sondern zudem zu einem Anstieg der Anzahl durchgeführter Spülgänge, d.h. zu einer erhöhten Nachfrage nach der entsprechenden Energiedienstleistung geführt: erstens wegen ökonomisch erklärbarer Substitution von Arbeit durch Kapital und Energie (die Zeitkosten sind im Privathaushalt zwar schwer zu bestimmen, aber höher als die Energiekosten), zweitens wegen sozialpsychologischer Faktoren (höhere Akzeptanz und geringere Nutzungsbarrieren aufgrund einer positiveren Bewertung der Geschirrspültechnologie). Insgesamt sind die technischen Verbesserungen von Geschirrspülern in den letzten 25 Jahren somit mit einer Zunahme der Energieaufwendungen für die Energiedienstleistung „Geschirrspülen“ einhergegangen (wobei der empirische Nachweis anforderungsreich ist und berücksichtigt werden müsste, dass in Nicht-Geschirrspüler-Haushalten pro Person und Tag wohl weniger Geschirr verwendet wird).

Untenstehende Abbildung illustriert dies: Die Einführung einer Technologie oder Dienstleistung mit höherer Energieeffizienz,  $\Delta\varepsilon > 0$  führt zu einem um  $\Delta E_{ENG}$  reduzierten Energiebedarf, wenn die gleiche Nachfrage angenommen wird (ceteris-paribus-Annahme). Abhängig von Substitutionsmöglichkeiten und Verwendungszwecke der freigewordenen Geld- und Zeitmittel kommt es aber zu einem Effizienz-induzierten Anstieg,  $\Delta D > 0$  der Nachfrage  $D$ . Deshalb lässt sich schließlich nur eine Energieeinsparung  $\Delta E_{ACT} < \Delta E_{ENG}$  beobachten. Der Rebound-Effekt beträgt  $R = 1 - \Delta E_{ACT} / \Delta E_{ENG}$ .

Abbildung 1: Illustrative Skizze zum Rebound-Effekt



Quelle: Eigene Darstellung

## 2.2 Sind Rebound-Effekte immer schlecht?

Rebound-Effekte sind nicht in jeder Hinsicht als „schlecht“ zu werten. Dies zeigt folgendes Beispiel: Wird in einem Entwicklungsland die Wassernutzung effizienter, so steht mehr Wasser für andere Zwecke und andere Nutzer zur Verfügung. Die Wasserversorgung verbessert sich und die Wassermut nimmt ab. Dies bedeutet letztlich für die Menschen einen Wohlfahrtsgewinn. Ein Rebound-Effekt kann somit auch mit erwünschten Effekten einhergehen.

Das Ziel sollte deshalb sein, Rebound-Effekte soweit wie möglich und sinnvoll zu minimieren (aber nicht zwingend auf null zu reduzieren). Denn es geht an sich nicht darum, höheren Wohlstand bei Bevölkerungsgruppen oder in Entwicklungsländern zu verhindern, also erwünschte Effekte, welche mit Rebound-Effekten einhergehen können. Vielmehr sollten unbefriedigte Bedürfnisse auf möglichst ressourcenschonende Weise befriedigt werden und – wo möglich – Alternativen zu einer erhöhten Nachfrage und Nutzung ressourcenverbrauchender Produkte geschaffen werden. Im Einzelfall wird es dabei immer Ermenssfragen geben, in wie weit es sich bei „unbefriedigten Bedürfnissen“ um Grundbedürfnisse geht oder nicht.

## 2.3 Umgang mit mangelhaften Ex-ante-Schätzungen, mangelhafter Umsetzung und mangelhafter Nutzerinstruktion

Es gibt auch Gründe, die zu einer Abweichung zwischen errechneter Energieeinsparung und tatsächlich eingetretener Energieeinsparung führen können, welche sich vermeiden ließen. Sie gehen zwar mit der Erhöhung der Energieeffizienz als „unerwünschte Begleiterscheinung“ einher, und können deshalb als Rebound-Effekte im Sinne des Kap. 2.1.3 sowie nach ingenieurtechnischer wie auch nach ökonomischer Definition gelten, sind aber dennoch von anderer Natur:

1. Geringere Energieeinsparung als erwartet aufgrund einer mangelhaften (realitätsfernen oder zu optimistischen) Berechnung des Ex-Post-Energieverbrauchs.
2. Geringere Energieeinsparung als erwartet aufgrund einer mangelhaften Umsetzung durch die Handwerker oder Technologie-Lieferanten. Oft weist die Isolation von nachträglich isolierten Gebäudefassaden Mängel auf, welche verdeckt sind. Die Installation von neuen energieeffizienten

Haustechnik-Komponenten erreicht oft nicht die maximal mögliche Effizienz, weil andere Komponenten darauf nicht abgestimmt sind. Beispiele sind die Thermostaten, Umwälzpumpen, Brenner und Heizungsregelungen, welche eigentlich ein Gesamtsystem bilden und wo bei Ersatz einzelner Komponenten oft eine mangelhafte Abstimmung erfolgt.

3. Geringere Energieeinsparung als erwartet aufgrund einer mangelhaften Nutzer-Instruktion. Dies kann bei besonders energieeffizienten Gebäuden, Geräten (Eco-Modus von Waschmaschinen) und Fahrzeugen eintreten. Namentlich bei Haustechnik, insbesondere Heizungssystemen, sind Endnutzer oft überfordert.

## 2.4 Umgang mit wegfallenden „Nebennutzen“ (Heat Replacement Effect)

Wenn ein bestehender technischer Prozess neben dem „Hauptnutzen“ zusätzliche „Nebennutzen“ hat, ist bei dessen Ersatz durch einen neuen, ressourceneffizienteren Prozess Vorsicht geboten.

Beispiel 1: Der Kochherd wurde früher für die Raumheizung, das Kochen und für Warmwasser eingesetzt. Mit dem Wechsel auf besser isolierte Backöfen und Mikrowellengeräte fällt dies weg und muss durch vermehrtes Heizen und einen zusätzlichen Wassererhitzer kompensiert werden. Heute erfolgen die Prozesse für Raumwärme, Kochwärme sowie Wassererwärmung voneinander getrennt.

Heutige „Passivhäuser“ mit einem sehr geringen Heizenergiebedarf beziehen Abwärmequellen im Innern (Beleuchtung, elektronische Geräte, Abwärme von Boilern, Geschirrspüler, Waschmaschine, Backöfen usw.) ein – das Passivhaus Institut legt als Kriterium für Passivhäuser u. a. fest, dass der gesamte Primärenergiebedarf max. 120 kWh/m<sup>2</sup>a betragen darf. Wenn Maßnahmen zur Steigerung der Stromeffizienz umgesetzt werden (z. B. Ersatz von Halogenlampen durch LED-Lampen), fällt weniger Abwärme an. Dieser Fehlbedarf in der Heizenergie aus Abwärme muss dann durch eine stärkere Gebäudeheizung ersetzt werden.

Maxwell und McAndrew (2011) bezeichnet diesen Effekt als „Heat Replacement Effect“ (HRE). Dieser Term wird im engeren Sinn für nachgelagerte Auswirkungen verwendet, wenn in geheizten Gebäuden Haushaltegeräte, die Wärme oder Abwärme produzieren, durch energieeffiziente Geräte ersetzt werden. Ob man HRE als Rebound-Effekt bezeichnet oder nicht ist Gegenstand aktueller Auseinandersetzungen. Der Effekt erscheint auf jeden Fall relevant. In aller Regel tritt der HRE nicht aufgrund von Verhaltensänderungen ein, sondern als Folge Thermostat-geregelter Gebäudeheizungen. Und während der Rebound-Effekt mit einer Mehrnachfrage nach einem Produkt verbunden ist, ist der HRE eher eine Auswirkung unterschiedlicher Systemgrenzen. In dem Sinne unterscheidet sich der HRE vom Rebound-Effekt. Weil aber auch der HRE dazu führt, dass man bei der energetischen Potenzialabschätzung möglicher neuer Politikmaßnahmen die berechnete Wirkung tiefer veranschlagen sollte, ist er in diesem Zusammenhang relevant. Wie der Rebound-Effekt kann auch der HRE einen Einfluss auf die Bewertung möglicher politischer Maßnahmenvarianten haben: Infolge des Rebound-Effekts oder des HRE kann eine andere Politikmaßnahme besser geeignet erscheinen, als wenn man Rebound-Effekt oder HRE ignoriert. Auch andere Effekte (wie nicht-optimale Materialien und Implementierung bei der energetischen Sanierung von Gebäuden) gehören nicht zum Rebound-Effekt, können aber wie der HRE einen Einfluss haben auf die korrekte Schätzung der Einsparpotenziale.

Der HRE ist relevant für die Abschätzung der Einsparpotenziale energiepolitischer Effizienzmaßnahmen und Einsparprogrammen. Für die Ausgestaltung der Maßnahmen selber ist er meist nicht relevant, weil es sich hier um unausweichliche Effekte handelt, die in Kauf genommen werden müssen. Wir betrachten den HRE deshalb im Weiteren nicht und erörtern keine Ausgestaltungen des umweltpolitischen Instrumentariums zur Vermeidung des HRE.

## 2.5 Größenordnung von Rebound-Effekten (für klassische Energiedienstleistungen)

Die meisten Studien belegen, dass bei Energieeffizienzmaßnahmen in der Regel Rebound-Effekte auftreten. Beim Ausmaß variieren die Schätzungen jedoch teilweise erheblich. Nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Werte, die in der Literatur für die verschiedenen Energiedienstleistungsbereichen für direkte Rebound-Effekte genannt werden (Sorell 2007; Maxwell und McAndrew 2011; IEA 2005; IRGC 2013). Aufgenommen wurden nur Studien, welche für Industrieländer zutreffen. Die Zahlen beinhalten weder indirekte noch gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte. Teilweise werden andere Definitionen und Abgrenzungen des Rebound-Effekts verwendet als für den vorliegenden Bericht. Durch die große methodische Bandbreite der betrachteten Studien sowie durch verschiedene Datengrundlagen, Untersuchungszeiträume und -länder variieren die Werteangaben in der Literatur stark. Im Bereich der Privathaushalte geben Barker und Foxon (2008) für Energiedienstleistungen im Allgemeinen einen direkten Rebound von 23% an. Spezifisch für Warmwasser siehe Jenkins et al. (2011), für Beleuchtung und Raumkühlung Greening et al. (2000), für Raumwärme und übrige Energiedienstleistungen Sorrell (2007) sowie Hens et al. (2010).

Insbesondere der motorisierte Individualverkehr ist Gegenstand kontroverser Analysen. Top-down-Methoden führen zu höheren Schätzungen als Bottom-up-Ansätze, weil erstere auch Wachstumseffekte dem Rebound-Effekt zuschlagen (Small und van Dender 2005). Gemäß Sorrell und Dimitropoulos (2007) weisen 16 Studien für den längerfristigen direkten Rebound-Effekt eine Bandbreite von 5 bis 66% auf. Siehe auch Greene (1992; 2010; 2012), Hymel et al (2010).

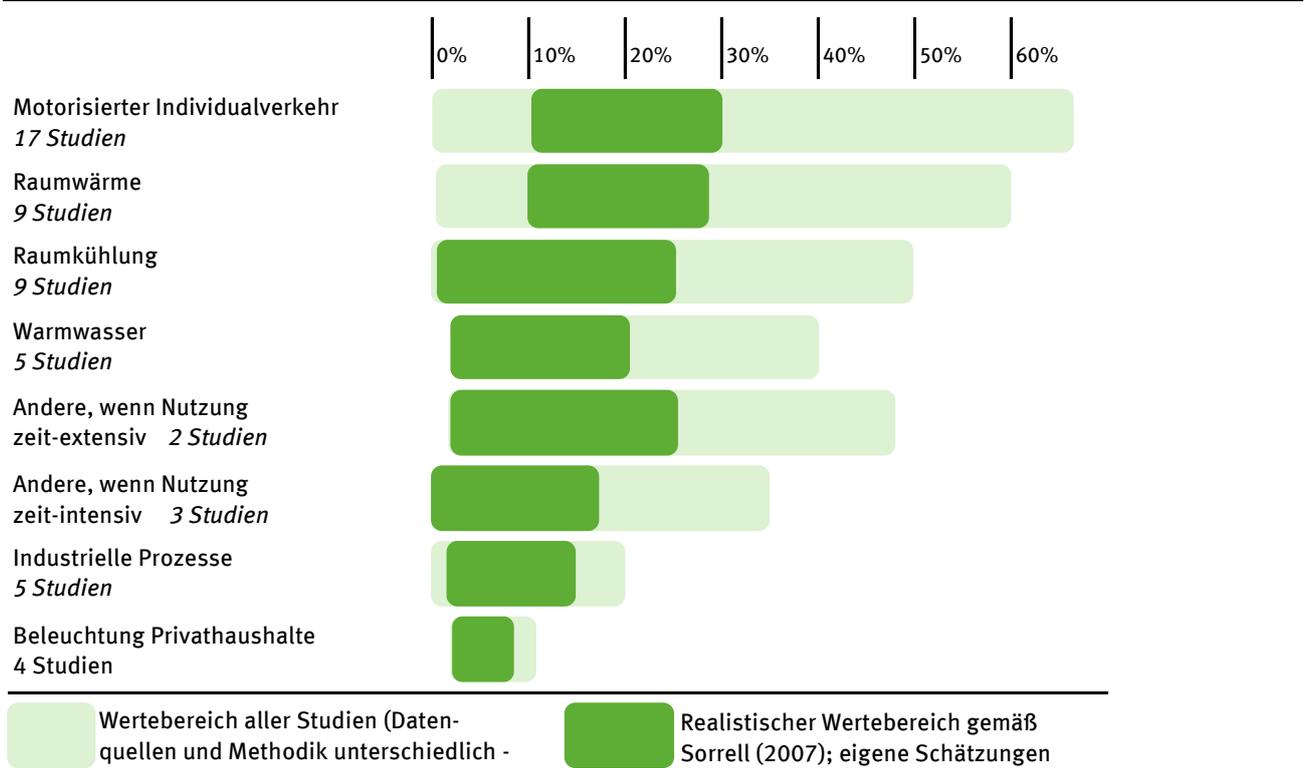
Auch scheint sich der Rebound-Effekt im Lauf der Jahrzehnte abgeschwächt zu haben, was wohl auf eine zunehmende Sättigung der Nachfrage zurückgeht (Jones 1993; Small 2007): Small und van Dender (2005) beobachten für die USA einen Rückgang der direkten Rebound-Effekte von 22% (basierend auf die nationale Reisezeit-Erhebung, für die ganze Periode von 1966 bis 2001) auf noch 12% (für den Zeitraum 1997 bis 2001).

Die Tabelle enthält auch einen realistischen Wertebereich, übernommen aus Sorrell (2007) bzw. von uns ergänzt (Warmwasser und Beleuchtung im Haushaltbereich). Der realistische Wertebereich gibt den Wertebereich des Rebound-Effekts an unter Ausklammerung von allgemeinen Wachstumseffekten sowie von weiteren Effekten.

Weitere Sektoren sind nicht aufgenommen worden, weil nur eine einzige Studie vorhanden ist (z.B. Heimarbeit/Teleworking, siehe Rietveld 2011; Güter-Straßentransport: Matos und Silva 2011). Bewusst nicht aufgeführt ist in dieser Tabelle EDV/IT bzw. allgemein so genannte „General Purpose Technologies“, für welche die Energienachfrage trotz Effizienzgewinnen stark zunehmen kann, wenn sie sich stetig neue Anwendungsbereiche erschließen.

Direkte Rebound-Effekte sind höher, wenn nicht gesättigte Nachfrage vorhanden ist. Sie zeigen deshalb eine Einkommensabhängigkeit und sind für niedrigere Einkommenskategorien bis zu 50% höher als für hohe Einkommen (Reiss und White 2005).

Tabelle 1: Wertebereiche für den langfristigen direkten Rebound-Effekt (ohne indirekte und gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte) in Industrieländern



### 3 Klassifikation von Rebound-Effekten nach Treiber, Art, Grund und Ausprägung

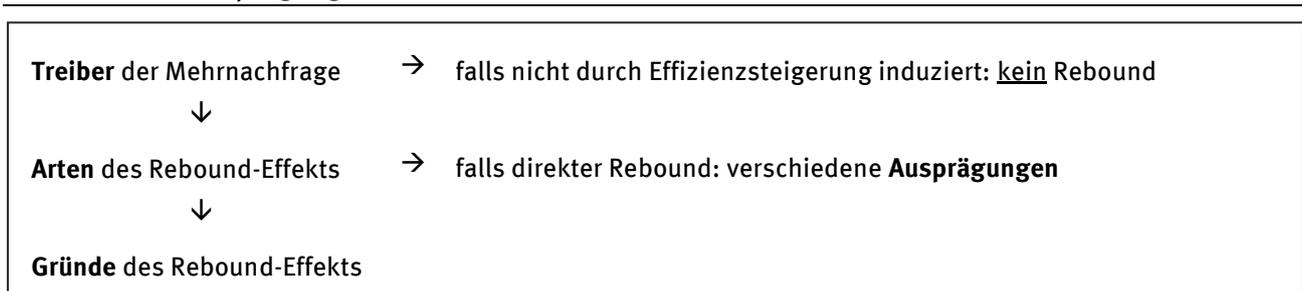
Wer umweltpolitische Instrumente so ausgestalten möchte, dass sie nicht zu Rebound-Effekten führen oder diese zumindest nicht verstärken, und wer gar spezifische Instrumente einsetzen möchte, um bestehende Rebound-Effekte zu reduzieren, muss zuerst verstehen, wie es im konkreten Fall zum Rebound-Effekt kommt und wie er sich manifestiert. Ein finanziell begründeter Rebound-Effekt ist durch Änderungen in den preislichen Faktoren beeinflussbar – ein sozialpsychologisch induzierter Rebound-Effekt jedoch nicht.

Durch die Einordnung eines existierenden Rebound-Effekts nach verschiedenen Dimensionen wird eine Klassifizierung möglich, und damit eine Identifikation der möglichen Varianten zur Ausgestaltung umweltpolitischer Instrumente.

In diesem Kapitel wird der Stand des Wissens zu jenen methodischen Aspekten zusammengefasst, welche bei der Anpassung umweltpolitischer Instrumente maßgeblich sein können:

1. Die drei unterschiedlichen Treiber der Mehrnachfrage: Unterscheidung von Wachstumseffekten, autonomen Rebound-Effekten sowie politikinduzierten Rebound-Effekten:
  - ▶ Abgrenzung zwischen effizienzinduzierten Rebound-Effekten und Wachstumseffekten (Abschnitt 3.1.1);
  - ▶ Abgrenzung von politisch induzierten Rebound-Effekten und solchen, die autonom auftreten (Abschnitt 3.1.2);
2. Die drei unterschiedlichen Arten des Rebound-Effekts (direkt, indirekt, gesamtwirtschaftlich) (Kapitel 3.2);
3. Die drei unterschiedlichen Gründe für Rebound-Effekte (finanziell, sozialpsychologisch, regulatorisch) (Kapitel 3.3);
4. Die drei unterschiedlichen Ausprägungen des direkten Rebound-Effekts (ressourcenintensivere Produkte, häufigere Nutzung, mehr Produkteinheiten) (Kapitel 3.4).

Abbildung 2: Hierarchisierung der Treiber der Mehrnachfrage sowie der Arten, Gründe und Ausprägungen des Rebound-Effekts.



Quelle: Eigene Darstellung

### 3.1 Treiber der Mehrnachfrage: Unterscheidung von Wachstum, autonomer und politikinduzierter Effizienzsteigerung

Nicht jeder Mehrkonsum ist ein Rebound-Effekt. Steht die Rebound-vermeidende Ausgestaltung umweltpolitischer Instrumente im Vordergrund, kann dies nur für den „echten“, effizienz-induzierten Rebound-Effekt geschehen.

Dies bedeutet, dass eine wachstums-induzierte Nachfrage von der Rebound-Definition auszuschließen ist. Somit sollte in der allgemeinen Debatte der Rebound-Effekt „strikt“ ausgelegt werden. Ausgangspunkt für eine Rebound-vermeidende Ausgestaltung umweltpolitischer Instrumente ist letztlich die Frage, ob es sich bei einem beobachteten Mehrkonsum um einen „echten“, Effizienz-induzierten Rebound-Effekt handelt. Eine solche Erörterung wird in der nachfolgenden Tabelle illustriert.

Tabelle 2: Fact Sheet “Treiber der Mehrnachfrage”

Kann die Mehrnachfrage auf eine Effizienzsteigerung zurückgeführt werden?  
Und die Effizienzsteigerung auf eine Politik?

#### Gegenstand: Treiber der Mehrnachfrage

- › In jeder Marktwirtschaft kommt es kontinuierlich zu Mehrnachfragen nach bestimmten Produkten sowie zu Mindernachfragen nach anderen Produkten. Das globale Bevölkerungswachstum sowie das steigende Wohlfahrtsniveau führen zu einer Expansion der Gesamtwirtschaft und zu einer höheren Gesamtnachfrage. Technologische Entwicklungen, Änderungen der Präferenzen und Gewohnheiten der Konsumenten und Preisänderungen sind mögliche Treiber für Änderungen der Nachfrage nach einzelnen Produkten.
- › Wer umweltpolitische Instrumente so gestalten will, dass sie nicht zu Rebound-Effekten führen, muss zuerst deren Entstehungsmechanismus verstehen. Nahezu alle Produkte werden im Laufe der Zeit anders und „effizienter“. Die Mehrnachfrage nach einem Produkt wird nicht zwingend durch gleichzeitig aufgetretene Effizienzsteigerungen verursacht. Und eine Effizienzsteigerung wird nicht zwingend durch gleichzeitig wirkende Politikmaßnahmen verursacht.

#### 3 Treiber der Mehrnachfrage

#### Mehrnachfrage induziert durch...

↗	Wachstum:	...mehr Wohlstand, nicht durch Effizienzsteigerung (→KEIN Rebound)
→	autonom:	...autonome Effizienzsteigerung (→Rebound)
↘	politisch:	...politik-getriebene Effizienzsteigerung (→Rebound)

## Beispiele

Mehrnachfrage induziert durch...	Beispiel
...mehr Wohlstand nicht durch Effizienzsteigerung (→KEIN Rebound)	Verkehr: Wohlstand und Arbeitsstellung als Treiber; ist preis-inelastisch und nicht abhängig von Effizienzfortschritten
...autonome Effizienzsteigerung (→Rebound)	Effizientere Geschirrspüler (Strom- und Wasserverbrauch) ohne politische Maßnahme (ab 1998: Energieverbrauchsetikett vorgeschrieben)
...politik-getriebene Effizienzsteigerung (→Rebound)	130- und 95-gCO <sub>2</sub> /km-Zielwerte für PKW-Neuzulassungen führen zu beschleunigten Effizienz-Fortschritten

## Weitere Informationen

- › Beispiele für wachstumsinduzierten Rebound: Espey und Espey (2004) und JRC/IE (2009) (in Kap. 4.3.3)
- › Abgrenzung autonomer und politikinduzierter Rebound: Khazzoom (1980) (in Kap. 4)

### 3.1.1 Abgrenzung von (effizienzinduzierten) Rebound-Effekten und Wachstumseffekten

Wann geht ein Mehrverbrauch auf Wachstumseffekte zurück, wann auf eine erhöhte Ressourceneffizienz? Lässt sich das überhaupt trennen, und zu welchem Zweck?

Für den vorliegenden Bericht wird eine Rebound-Definition verwendet, welche Wachstumseffekte ausschließt und nicht als Teil des Rebound-Effekts zulässt (auch nicht des gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekts). Konzeptionell ist dies möglich und hat den Vorteil, dass allgemeine Erörterungen über Sinn und Grenzen volkswirtschaftlichen Wachstums von Fragen zur Ausgestaltung des umweltpolitischen Instrumentariums getrennt werden können. In der empirischen Praxis ist es aber nicht in jedem Fall möglich, die trennscharfe Unterteilung von Rebound-Effekten und Wachstumseffekten durchzusetzen. Viele Studien aus der Literatur versuchen dies auch gar nicht. Für die trennscharfe Unterteilung sind in aller Regel Kontrollgruppen notwendig; die nur auf Zeitreihen fußende ökonomische Abschätzung von Rebound-Effekten vermag eine solche Unterteilung nicht zu leisten.

Zur hier verwendeten Definition des Rebound-Effekts gehört demnach, dass die beobachtbare Mehrnachfrage durch eine effizienzrelevante Entwicklung oder Maßnahme induziert sein muss. D.h. es interessiert nur jener Mehrverbrauch, der im Zusammenhang mit einer Verbesserung der Effizienz aufgetreten ist. Dies kommt im Term  $(\Delta E - \Delta E_0)/(\Delta \tau - \Delta \tau_0)$  auch mathematisch zum Ausdruck (die Fallunterscheidung, ob die Effizienzverbesserung autonom aufgetreten ist oder auf eine politische Maßnahme zurückgeführt werden kann, wird im nächsten Abschnitt behandelt).

Jedoch wird in der Empirie die Definition des Rebound-Effekts nicht immer in dieser Form in der Versuchsanordnung bzw. Analyse von Daten umgesetzt: Oft werden Ressourcen-Mehrverbräuche pauschal als Rebound-Effekt bezeichnet, obwohl es sich zum Teil um Wohlstandseffekte handelt. Um die Rebound-Forschung von allgemeinen Erörterungen über die Auswirkungen von Wachstum abzugrenzen, ist die Fokussierung auf die eigentliche Definition des Rebound-Effekts essentiell: Eine durch erhöhte Ressourceneffizienz induzierte (und nicht bloß zeitlich parallel auftretende) Mehrnachfrage. Bei mikroökonomischen empirischen Untersuchungen (wenn das Konsumverhalten einer Gruppe untersucht wird, z.B. von Käufern von Hybridfahrzeugen oder Stromsparlampen oder von Bewohnern von energetisch sanierten Gebäuden) ist es dazu methodisch erforderlich, dass entweder

eine Kontrollgruppe existiert oder die soziodemographischen Variablen kontrolliert werden. Zum Beispiel berichten Biermayr und Haas (2000) von einem Rebound-Effekt von ca. 30% bei 11 energetisch sanierten Mehrfamilienhäusern in Österreich, untersuchen aber nicht, ob infolge der Sanierung die Miete erhöht und andere Mieter mit anderen soziodemographischen Charakteristika und anderen Gewohnheiten eingezogen sind; eventuell wird deshalb der Rebound-Effekt überschätzt. In Kap. 5.1 wird auf die grundlegende Bedeutung einer korrekten Messung des „echten“ Rebound-Effekts für die darauf aufbauende Rebound-mindernde Ausgestaltung von Politikinstrumenten eingegangen.

Ein oft verwendetes Beispiel ist die öffentliche Straßenbeleuchtung: Die Straßenlampen sind in den letzten 50 Jahren viel effizienter geworden. Dennoch wird mehr Strom für Straßenbeleuchtung als früher verbraucht. Dies heißt aber gerade nicht, dass Energieeffizienz keinen Beitrag zur nachhaltigen Ausgestaltung unseres Energiesystems allgemein bzw. der Straßenbeleuchtung im Speziellen leisten kann, weil Rebound-Effekte immer alle Fortschritte vollständig kompensieren würden. Im genannten Beispiel spielen allgemeine Wachstumseffekte (Bevölkerungswachstum mit einhergehender Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen; höherer Pro-Kopf-Wohlstand führt zu mehr Verkehrsflächen pro Kopf) neben den Effizienzverbesserungen eine wesentliche Rolle. Auch Verbesserungen, die nicht direkt die Effizienz betreffen, sondern einen allgemeinen technischen Fortschritt (Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Kontroll- sowie Wartungsaufwand) haben hier einen Einfluss. Dieser allgemeine technische Fortschritt betrifft aber sowohl effiziente wie ineffiziente Beleuchtung. Da ihre Rolle für die intensivere Nutzung wohl bedeutsam gewesen ist, besteht die Gefahr, den effizienzinduzierten Rebound-Effekt zu überschätzen.

### 3.1.2 Politisch induzierter versus autonomer Rebound

Wie oben ausgeführt, ist es für das Vorliegen eines Rebound-Effekts erforderlich, dass die Mehrnachfrage durch eine Effizienzsteigerung induziert wurde, dass es also einen kausalen Zusammenhang zwischen diesen beiden Änderungen gibt. Ein bloßes zeitlich paralleles Auftreten genügt nicht. Diese Definition stellt aber keine Anforderungen an die Kausalität für die Effizienzsteigerung selber. Die Effizienzsteigerung kann in einer autonomen technischen Entwicklung begründet oder auch durch eine Politikmaßnahme (mit)verursacht sein. Speziell von Interesse sind dabei einerseits Politikmaßnahmen mit dem expliziten Politikziel einer Effizienzsteigerung (Umwelt-, Energie-, Klima-, Ressourcen- oder Wirtschaftspolitik), andererseits Politikmaßnahmen in anderen Bereichen (z.B. Industrie-, Handels-, Forschungs- und Steuerpolitik usw.), bei denen die Effizienzsteigerung kein direktes Ziel darstellt, sondern indirekt beeinflusst wird.

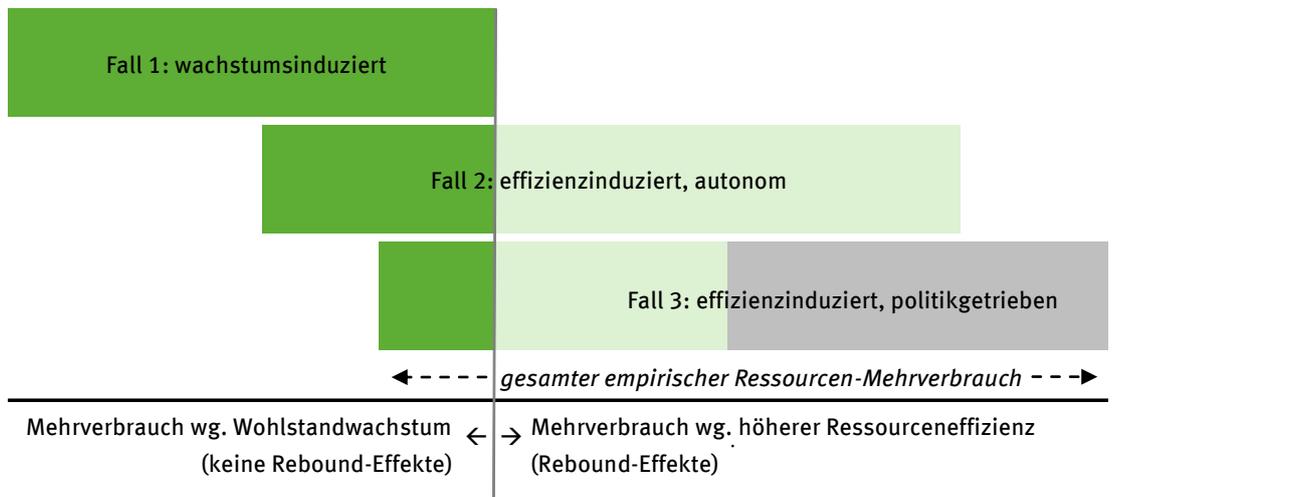
Eine spezielle Stellung nehmen die umweltpolitischen Maßnahmen ein, zu welchen hier die lokale wie die globale Umweltpolitik gezählt werden (Umwelt-, Energie-, Klima-, Ressourcenpolitik). Dabei ist die spezifische Natur des Gutes „Umwelt“ zu berücksichtigen: Dessen Nutzung geht immer einher mit externen, in der heutigen marktwirtschaftlichen Ordnung (noch) nicht internalisierten Kosten. Dies ist für die Rebound-Forschung von Bedeutung: Falls Umweltpolitikmaßnahmen die Internalisierung externer Kosten umfassen, verteuert dies die betroffenen Güter. Ineffiziente Güter werden überdurchschnittlich verteuert, die relativen Preisunterschiede zwischen ressourcenineffizienten und -effizienten Gütern vergrößern sich. Aber infolge der verstärkten Internalisierung sind auch die effizienten Güter nicht billiger als vor der Politikmaßnahme; es entsteht damit meist kein Preisvorteil gegenüber dem Zustand vor der Politikmaßnahme. Damit vermeiden solche Umweltpolitikmaßnahmen ein Preissignal, welches einen Rebound-Effekt auslösen könnte. Direkte finanzielle Anreize, Subventionen usw., würden aber sehr wohl ein solches Preissignal setzen. Hier unterscheiden sich also „klassische“ Umweltpolitik und „effizienzorientierte“ Umweltpolitik: Auch im Zeichen der Umweltpolitik werden Effizienzmaßnahmen unterstützt, gefördert oder erzwungen (z.B. Ökodesign-Richtlinie), das heißt, dass nicht mehr primär die Internalisierung oder Reduktion von externen Effekten verfolgt wird. Bei dieser Art von Umweltpolitik ist die Gefahr eines Rebound-Effekts größer.

Anders verhält es sich in den übrigen (Nicht-Umwelt-)Politikbereichen: Politikmaßnahmen gehen hier oft mit Preissignalen einher. Am ehesten geschieht dies bei steuerlichen Instrumenten. Subventionen oder Anreizzahlungen mit einem Arbeitsmarkt-, Handels- oder industriepolitischen Ziel versuchen gezielt, Angebot und Nachfrage zu ändern und sind deshalb potenziell stark Reboundgefährdet.

Zu berücksichtigen ist, dass bei Nichtvorliegen von Politikmaßnahmen zwar von einer rein autonomen Entwicklung ausgegangen werden darf, der Umkehrschluss jedoch nicht zulässig ist: Auch wenn Politikmaßnahmen eingeführt werden, gibt es eine autonome Entwicklung. Ohnehin ist die Wirkung von Politikmaßnahmen meist nicht genau quantifizierbar. Dies gilt insbesondere für Maßnahmen im Bereich Information, Kennzeichnung, Vorschriften und Mindestanforderungen sowie Forschung. Deshalb lässt sich auf der Ebene der Empirie nicht trennen, welchen Anteil eines Rebound-Effekts auf eine allfällige autonome Entwicklung zurückgeführt werden kann und welcher Anteil durch Politikmaßnahmen induziert ist. Hier können Analogieschlüsse aus anderen, vergleichbaren Industrieländern helfen, welche im Untersuchungszeitraum keine Politikmaßnahme ergriffen haben, aber der gleichen autonomen Entwicklung unterliegen. Jedoch dürften in der Praxis meist keine vergleichbaren Datensätze zum gleichen Gut im gleichen Zeitraum für zwei vergleichbare Länder vorliegen.

Untenstehende Abbildung 3 illustriert die unterschiedlichen Treiber für Ressourcen-Mehrverbräuche. In Fall 1 ist der empirisch festgestellte Ressourcen-Mehrverbrauch auf Wachstums- und Wohlfandseffekte zurückzuführen, allfällige Effizienzsteigerungen über den gleichen Zeitraum im gleichen Sektor sind nicht ursächlich für den Mehrverbrauch verantwortlich. In Fall 2 wurde der Mehrverbrauch durch die Steigerung der Ressourceneffizienz induziert, diese Steigerung beruht aber auf einem autonomen technischen Fortschritt; ein Teil des empirisch beobachtbaren Mehrverbrauchs geht meist dennoch auf Wachstumseffekte zurück und ist bei der Rebound-Berechnung auszuscheiden. In Fall 3 wurde die Effizienzsteigerung über Politikmaßnahmen herbeigeführt oder gefördert; ein Teil der Effizienzsteigerung wäre aber auch rein autonom eingetreten, ein weiterer Teil des beobachteten Mehrverbrauchs geht meist wiederum auf Wohlfandseffekte zurück und zählt nicht zum Rebound-Effekt. Der wesentliche Unterschied ist, dass bei politikinduzierten Rebound-Effekten nach Reboundmindernden Ausgestaltungsvarianten gesucht werden kann (siehe auch Kap. 5.3), während bei autonomen Rebound-Effekten nur der Einsatz von – andersartigen – spezifischen Politikmaßnahmen zur allgemeinen Reduktion von Rebound-Effekten möglich ist (siehe auch Kap. 5.4).

Abbildung 3: Illustration der unterschiedlichen Treiber für Ressourcen-Mehrverbräuche: Wachstum (dunkelgrün), autonome Effizienz Zunahme (hellgrün), politikgetriebene Effizienz Zunahme (grau)



Quelle: Eigene Darstellung

### 3.2 Direkte, indirekte und gesamtwirtschaftliche Arten von Rebound-Effekten

In seinen Anfängen wurde der Rebound-Effekt sehr eng definiert (Khazzoom 1980), später wurde er differenziert und erweitert. Nachfolgend werden die auf Greening et al. (2000) sowie Berkhout et al. (2000) zurückgehenden drei Kategorien von Rebound-Effekten verwendet. Sie unterteilen sich in direkte, indirekte und gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte. Soll das Ausmaß von Rebound-Effekten eingedämmt werden, muss zudem die Art des Produkts oder der Dienstleistung im Fokus des Interesses stehen, welches als Ausgangspunkt dieser Effekte vermutet wird.

Falls ein Produkt mit erhöhter Ressourceneffizienz zu einer höheren Nachfrage führt, kann diese Mehrnachfrage verschiedene Ausprägungen haben. Weil das Produkt im Betrieb günstiger geworden ist, steigt (unter der ceteris-paribus-Annahme) die entsprechende Nachfrage nach dem Produkt (direkter Rebound-Effekt). Höhere Investitionskosten müssten hier berücksichtigt werden, allerdings machen dies Endkonsumenten oft nicht. Ist der Betrag der Elastizität der Nachfragesteigerung kleiner als eins, so wird weitere Kaufkraft frei für die Nachfrage nach anderen Produkten, deren Bereitstellung oder Nutzung ggf. ihrerseits Ressourcen- und Energieaufwand bedingt (indirekter Rebound-Effekt). Werden durch die Effizienzsteigerungen gesamtwirtschaftliche Wachstumseffekte erzielt, so können diese wiederum in erhöhtem Ressourcen- und Energieverbrauch resultieren (gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte).

Bei der Trennung des gesamten Rebound-Effekts nach direktem und indirektem sowie gesamtwirtschaftlichem Rebound handelt es sich streng genommen um eine Vermischung zweier Konzepte, nach Gütern einerseits und nach empirischer Messbarkeit andererseits.

Beim **direkten Rebound** tritt eine Mehrnachfrage nach dem gleichen Gut auf, bei welchem auch die induzierende Effizienz Zunahme aufgetreten ist.

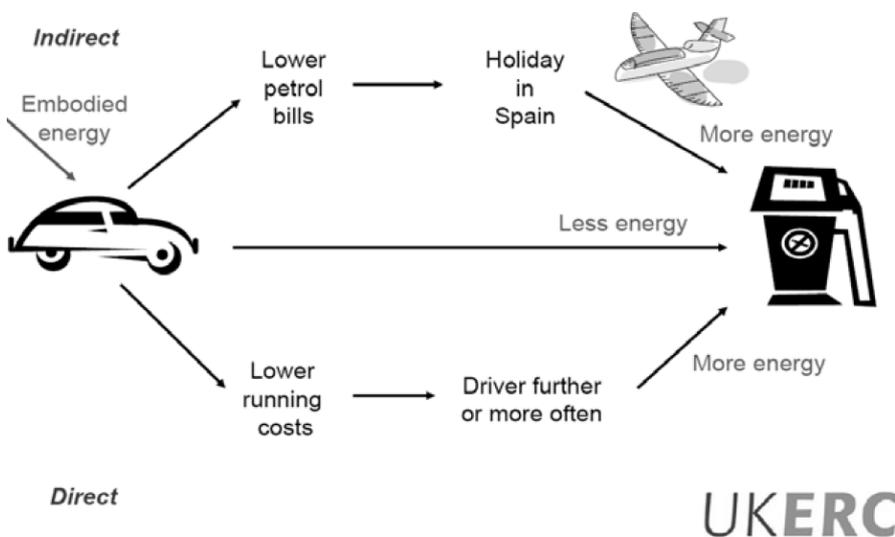
Der **indirekte Rebound** umfasst die Mehrnachfrage nach sämtlichen weiteren Gütern, soweit empirisch messbar, indem man den Gesamtverbrauch einer beobachteten Gruppe mit einer Kontrollgruppe vergleicht (Beispiel: Die „Effizienz-“Gruppe fährt ein Hybridauto, die Kontrollgruppe ein möglichst

gleiches Automodell ohne Hybridantrieb; beide Gruppen sollten sozio-ökonomisch vergleichbar sein).

Alle weiteren Effekte, welche auf mikroökonomischer Ebene nicht feststellbar sind, werden als **gesamtwirtschaftlicher Rebound-Effekt** bezeichnet, meist aber nicht quantifiziert. Hierzu werden makroökonomische Berechnungen erforderlich, welche sich dann aber nicht mit der mikroökonomischen Versuchsanordnung in Einklang bringen lassen.

Als Beispiel kann ein effizienteres Fahrzeug dienen (siehe Abbildung 4): Die eingesparten Treibstoffkosten können verwendet werden, um mehr unterwegs zu sein (direkter Rebound-Effekt). Im Falle der Mobilität sind jedoch meist die Zeitkosten höher als die Energiekosten. Deshalb ist der indirekte Rebound-Effekt naheliegend: Die frei gewordene Kaufkraft wird eingesetzt, um den Zeitaufwand für die Urlaubsreise zu minimieren: Mit dem Flugzeug statt mit dem Zug.

Abbildung 4: Illustration zu direkten und indirekten Rebound-Effekten



Quelle: Sorell 2007

**Begriffsdefinitionen anderer Forschergruppen.** Im Folgenden werden weitere Begriffsdefinitionen aufgeführt, wie sie in der Literatur verwendet werden. Es wird jeweils ausgeführt, welcher Art des Rebound-Effekts (gemäß der im vorliegenden Bericht verwendeten Abgrenzung: direkt, indirekt oder gesamtwirtschaftlich) sie entsprechen.

**Ausgleichs- und Transformationseffekte.** Gelegentlich werden Ausgleichs-Effekte getrennt in die Betrachtung einbezogen: Nicht nur der Preis des jeweiligen effizienteren Produktes bzw. seiner Nutzung sinkt, sondern auch der Preis des eingesetzten Rohstoffs bzw. der Energie, was wiederum zu Verbrauchserhöhung führen kann; dies kann den direkten bzw. den indirekten Rebound-Effekt verstärken. Auch können langfristige und umfassendere Transformationen des Konsumverhaltens oder des Infrastruktursystems angestoßen werden, die ihrerseits wiederum zu Rebound führen. Dies wäre Teil des gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekts. Bei den Ausgleichs- und Transformationseffekten handelt es sich um eine Differenzierung nach kausalen Zusammenhängen; diese Effekte werden als Konstrukt aber nicht häufig verwendet, weil diese kausalen Zusammenhänge zwar theoretisch als getrennte Wirkungskette vorhanden sind, ihre Effekte empirisch aber kaum isoliert werden können.

**Rebound 1. und 2. Ordnung.** Direkte und indirekte Rebound-Effekte nennen Berkhout et al (2000) Rebound-Effekte 1. Ordnung. Davon abzugrenzen sind Rebound-Effekte 2. Ordnung. Diese treten in der Folge von Rebound-Effekten 1. Ordnung auf. Steigen beispielsweise durch effizientere Autos die gefahrenen Kilometer pro Person (direkter Rebound), so ist in der Folge zu erwarten, dass die Autos

häufiger in die Reparatur müssen und die Straßen mehr abgenutzt werden, was beides wiederum neuen Energieverbrauch verursacht (Rebound 2. Ordnung). Die Rebound-Effekte 2. Ordnung entsprechen damit dem gesamtwirtschaftlichen Rebound.

**Backfire-Effekt.** Ein direkter Rebound-Effekt von über 100% wird nach Saunders (2000) als Backfire-Effekt bezeichnet. Saunders (2000) führt den Nachweis, dass ein solcher Rebound-Effekt zwar in der Praxis sehr unwahrscheinlich, im Rahmen des neoklassischen Modells aber möglich ist. In Sorell (2007) findet sich eine Abhandlung, in welchen Fällen Rebound-Effekte oberhalb von 100% auftreten können: Dies tritt vor allem bei „general purpose technologies“ auf, bei denen neue Produkteigenschaften zu neuen Anwendungsgebieten führen. Solche großen Effekte werden also nicht allein direkt durch die gestiegene Energieeffizienz induziert, sind also in der Regel nur zum Teil Rebound-Effekten zuzuordnen.

Tabelle 3: Fact Sheet “Arten des Rebounds”

Nach welchem Produkt manifestiert sich die Mehrnachfrage?  
 Nach jenem, welches effizienter wurde, oder nach anderen Produkten?

Gegenstand: Direkte, indirekte und gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte

- › Direkter (primärer) Rebound-Effekt: Erhöhte Nachfrage für das gleiche Produkt oder die gleiche Dienstleistung. Sorell (2007) nennt dies Substitutionseffekt (erhöhte Energieeffizienz führt zu geringeren Energiekosten, was zu einer Verbilligung des Produkts und deshalb zu einer höheren Nachfrage danach führt; dies entspricht dem klassischen Rebound-Effekt wie ursprünglich durch Khazzoom 1980 eingeführt).
- › Indirekter (sekundärer) Rebound-Effekt: Erhöhte Nachfrage nach anderen Produkten aufgrund der freigewordenen Kaufkraft infolge der reduzierten Energiekosten (unter Berücksichtigung allfällig erhöhter Investitionskosten). Wird auch „general equilibrium effect“ genannt. Sorell (2007) nennt dies Einkommenseffekt (die niedrigeren Energiekosten führen zu verfügbarer Kaufkraft und damit zu einer erhöhten Nachfrage nach anderen Produkten oder Dienstleistungen, welche ihrerseits ebenfalls Energie benötigen) und zählt dies zum direkten Rebound-Effekt.
- › Gesamtwirtschaftlicher Rebound-Effekt (“economy-wide” effects, Transformationseffekt, tertiärer Rebound-Effekt): Strukturelle Effekte auf größere Teile der Wirtschaft aufgrund veränderter Nachfrage-, Produktions- und Distributionsstrukturen.

3 Arten des Rebound-Effekts	Mehrnachfrage nach...
↗ Direkter Rebound:	... dem gleichen Produkt
→ Indirekter Rebound:	... anderen Produkten
↘ gesamtwirtschaftlich:	Geänderte Nachfrage führt zu Anpassungen in Produktion, Verteilung, Unterhalt, Entsorgung

## Beispiele

Mehrnachfrage nach...	Beispiel
...dem gleichen Produkt	vermehrter Einsatz sparsamer Autos; höhere Raumtemperatur in isolierten Häusern; halbe Beladung effizienter Geschirrspüler
...anderen Produkten	falls für mehr Mobilität die Zeit fehlt, führen reduzierte Treibstoffkosten zu anderem (nicht zeit-intensivem) Konsum
Geänderte Nachfrage führt zu Anpassungen in Produktion, Verteilung, Unterhalt, Entsorgung	Ressourcen-Auswirkungen über ganzen Lebenszyklus der Mehrnachfrage nach effizienteren Produkten

## Weitere Informationen

- › In diesem Bericht: Kapitel 2.1.1

### 3.3 Gründe für das Auftreten von Rebound-Effekten

Wie oben beschrieben, ist der Rebound-Effekt als Anstieg der Nachfrage aufgrund einer gesteigerten Ressourceneffizienz definiert. Dabei erfolgt keine Aussage darüber, aus welchem Grund die Nachfrage stieg. Interessanterweise sind Rebound-Effekte möglich, auch wenn keine Ressourceneffizienz-Ersparnisse vorliegen. Im Rahmen einer „mental Buchhaltung“ auf Verbraucherseite können Einsparungen in einem Bereich dazu führen, dass Mehrverbrauch/-Belastung in einem anderen Bereich „erlaubt“ wird. Neben Geld und Zeit „verrechnen“ viele Konsumenten mental auch die, durch ihren Konsum (vermeintlich) verursachten, Umweltbelastungen. Eine erhöhte Ressourceneffizienz kann somit zu einer Reduktion beim „mental“ Umweltbelastungskonto führen und neuen Konsum „erlauben“. Auch eine nicht-optimale Regulierung kann zu Rebound-Effekten führen. Bei Kühlschränken (und anderen Haushaltgeräten mit Energieverbrauchsetikett) ist es für einen größeren Kühlschrank einfacher, eine „A+++“-Kennzeichnung zu erhalten. Vor diesem Hintergrund können Konsumenten geneigt sein, einen größeren Kühlschrank zu kaufen als dies ohne die Energieverbrauchskennzeichnung der Fall gewesen wäre. Im Folgenden werden drei Gründe für das Auftreten von Rebound-Effekten genauer betrachtet.

#### 3.3.1 Finanzieller Rebound

Beim finanziellen Rebound erfolgt die erhöhte Nachfrage nach dem ressourceneffizienteren Produkt (oder beim indirekten Rebound: nach anderen Produkten), weil finanzielle Mittel freigeworden sind. Dies trifft – ökonomisch gesehen – genau dann zu, wenn der Aufpreis für die höhere Energieeffizienz geringer ist als die diskontierten künftigen Minderausgaben für die Energiekosten. Wenn Konsumenten „nicht richtig rechnen“ (keine Diskontierung, sehr hohe Diskontraten usw.), liegt gleichzeitig ein sozialpsychologischer („mentaler“) Rebound-Effekt vor (siehe nächstes Unterkapitel). Diese Berechnung kann allerdings für den Durchschnittskonsum anders ausfallen als für den marginalen Konsum: Auch wenn das Hybridfahrzeug in der Anschaffung teurer war und dieser Mehrpreis die reduzierten Treibstoffkosten in etwa kompensiert, ist es dennoch so, dass jeder zusätzliche Kilometer mit dem Hybridfahrzeug günstiger ist als mit einem Fahrzeug mit höherem Verbrauch (wenn die Reduktion des Wiederverkaufswerts in Abhängigkeit von den gefahrenen Kilometern vernachlässigt werden darf).

- ▶ Beispiel 1: Zusätzlicher Einsatz von Stromsparlampen wegen ihrer geringen Betriebskosten (beispielsweise Zunahme von Gartenbeleuchtung) (die Installation zusätzlicher Leuchtkörper in größeren Wohnung fällt unter Wohlstandseffekten und stellt kein Rebound-Effekt dar);
- ▶ Beispiel 2: *Reduktion* des Investitionsaufwands beim Hausbau (geringere Dämmstärken der Gebäudehülle) im Tausch gegen *höhere* Energiekosten im Betrieb, wenn effizientere Heizungen oder

Kühlsysteme verfügbar werden und diese Substitution von Kapital durch Energie wirtschaftlich werden lassen; dies kann auftreten beim Übergang zu Wärmepumpen- oder Biomasse-Heizungen.

Sobald durch die Effizienzmaßnahmen eine Kostensenkung stattfindet, ist der finanzielle Rebound an sich nicht vermeidbar, sondern Teil des marktwirtschaftlichen, stets optimierenden Verhaltens. Das Ausmaß der Mehrnachfrage hängt aber von der Preiselastizität der Nachfrage ab, bei hoher Elastizität ist der finanzielle Rebound groß. Namentlich bei gesättigter Nachfrage und bei Gütern, deren Konsum zeitintensiv ist, kann die Elastizität sehr niedrig sein, der direkte finanzielle Rebound ist dann trotz eines klaren Preissignals nahezu null (dafür wird dann ein indirekter Rebound-Effekt auftreten). Rebound-Treiber finanzieller Art können nur beseitigt werden durch eine Erhöhung der Ressourcenkosten im Gleichschritt mit der Zunahme der Ressourceneffizienz. Der finanzielle Rebound ist deshalb bei der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen stets zu berücksichtigen mit Hauptaugenmerk auf Substitutionsraten und der Wahl zwischen den beiden Hauptpfaden Energiebesteuerung oder Technologieförderung. Falls, für eine gegebene Energiedienstleistung, Energie gut durch Kapital oder Arbeit ersetzt werden kann (hohe Substitutionsrate), sollte Energie besteuert werden (was zu erhöhter Energieeffizienz führen kann, um die Energiekosten konstant zu halten); ist die entsprechende Substitutionsrate niedrig, sollte Energieeffizienz gefördert werden (weil eine Verteuerung der Energie bei niedriger Substitution das Wirtschaftswachstum mindert) (Saunders 2000).

### 3.3.2 Sozialpsychologischer (mentaler) Rebound

Zum einen können Kosten aufgrund psychologischer Mechanismen verzerrt wahrgenommen werden, d.h. es liegen finanzielle Effekte vor, welche aber durch psychologische Effekte beeinflusst werden: Der Konsument nimmt die Kosteneinsparung einer erhöhten Effizienz grob wahr, führt aber keine betriebswirtschaftlich vollständige und korrekte Berechnung der finanziellen Effekte durch. Dadurch, dass Konsumenten bestimmte Kostenarten anders oder aber gar nicht gewichten, und dadurch, dass auch die Herkunft von Geldmitteln deren Bewertung beeinflusst, kann ein Rebound aus sozialpsychologischen Gründen auch dann real auftreten, wenn dafür ein finanzieller Anreiz gar nicht vorhanden zu sein scheint.

Zum anderen geht es bei den sozio-psychologischen Kosten nicht vorrangig um wahrgenommene monetäre Kosten, sondern um die Wahrnehmung aller negativen Konsequenzen der Nutzung eines Produktes, die mit dem Energieverbrauch verbunden sind und ein unangenehmes Gefühl / schlechtes Gewissen bewirken können bzw. ein besseres Gefühl, wenn das Produkt effizienter wird. Die erhöhte Nachfrage ist zurückzuführen auf reduzierte sozialpsychologische Kosten des Erwerbs und/oder des Betriebs. Weil im Falle der Energie die Konsumenten sehr oft keine genaue Vorstellung von den Energiepreisen haben und ihre Nachfrage nach energieintensiven Dienstleistungen aufgrund heuristischer Wahrnehmungen und Schätzungen der Energiekosten vornehmen und weil auch andere Faktoren (wie Einstellungen und moralische Normen) das Verhalten bestimmen, handelt es sich in den meisten zu beobachtenden Fällen von Rebound mindestens teilweise um sozialpsychologisch induzierte Effekte.

- ▶ Beispiel 3: Falls ein SUV aufgrund einer persönlichen oder sozialen Norm als nicht kompatibel mit einem umweltgerechten oder ressourcen-effizienten Lebensstil betrachtet wird, kommt der Kauf eines SUV mit konventionellem Antrieb nicht in Frage. Bei einem gleich großen SUV mit Hybridantrieb kann sich die Lage anders darstellen. Jetzt kann ein solcher SUV als mit der persönlichen oder sozialen Norm vereinbar erscheinen und erworben werden. Ohne die neue, effiziente Hybridtechnik hätte man sich für ein kleineres Auto entschieden.

Der sozialpsychologische (mentale) Rebound ist ebenfalls nie vermeidbar, aber grundsätzlich reduzierbar, mittels besserer Information, Transparenz, Anreizänderungen, Stärkung von Normen usw.

### 3.3.3 Regulatorisch induzierter Rebound

Es kann sich auch eine erhöhte Nachfrage aufgrund von aus energetischer Sicht nicht optimalen staatlichen Vorschriften oder Subventionen ergeben, welche die Förderung energieeffizienter Technologien oder Dienstleistungen bezwecken. Die Vorschriften bewirken den vermehrten Einsatz effizienter Technologie, die konkrete Ausgestaltung der Vorschrift führt aber dazu, dass nicht das gesamte technische Einsparpotenzial zum Tragen kommt, sondern ein Teil kompensiert wird. Wir bezeichnen dies als regulatorischen Rebound. Er kann entstehen, wenn staatliche Politikmaßnahmen z.B. nach dem Energieträger differenzieren oder nach bestimmten Technologien differenzieren. Der regulatorische Rebound kann auch auftreten, wenn Politikmaßnahmen zu lange oder zu spät eingesetzt werden, wie zum Beispiel die steuerliche Förderung von Fahrzeugen mit Alternativantrieb (dies macht Sinn, solange der Marktanteil gering und die Technologie noch jung ist, und Skaleneffekte erzielt werden können; sobald aber die entsprechende Antriebstechnologie am Markt etabliert ist, sollte solche technologiespezifische Förderung beendet werden).

- ▶ Beispiel 4: In Niedrigenergiehäusern nach EnEV kann eine größere Heizleistung eingebaut werden, wenn dazu eine Wärmepumpe verwendet wird, wenn deren Elektrizitätsbedarf mit einem niedrigen Primärenergiefaktor in die Primärenergie-Bedarfsrechnung eingeht. In der Schweiz kommt ein Faktor von 2.0 (Minergiestandard) zur Anwendung (statt technisch korrekt zwischen 2.9 und 3.14), in Deutschland wurde aufgrund des zunehmenden Anteils von erneuerbaren Energien der Primärenergiefaktor für Strom von 3.0 auf 2.6 gesenkt (EnEV 2009 Anlage 1 Abschnitt 2.1.1). Aus energetischer Sicht ist dies nicht optimal, der Primärenergiefaktor sollte ca. 3.0 betragen, ein davon abweichender PEF kann zu Rebound-Effekten führen (die Isolation der Gebäudehülle kann geringer ausfallen, wenn eine Wärmepumpe eingesetzt wird, als wenn eine moderne Ölheizung eingesetzt wird (je nach Strommix kann diese Vorschrift aus klimapolitischer Sicht evtl. sinnvoll sein, d.h. im Hinblick auf die THG-Emissionen machen die Vorschriften Sinn, hier steht aber der energetische Rebound im Vordergrund).
- ▶ Beispiel 5: Kauf von größeren Geräten (z.B. Kühlschränke) als eigentlich beabsichtigt, weil der Konsument ein Gerät der Energie-Effizienz-Klasse „A+++“ kaufen möchte (entweder freiwillig, oder z.B. wegen Kaufprämien, die an Energie-Effizienz-Klassen gekoppelt sind). Für größere Kühlschränke ist es einfacher, die Bedingungen der Effizienzklasse „A+++“ zu erfüllen als für kleinere: Die Klassengrenze ist in Energiebedarfs-Einheiten pro Nutzvolumen definiert; für größere Kühlschränke ist der Quotient von Nutzvolumen zur Oberfläche der Gerätehülle günstiger, weshalb bei kleiner Bauart und thermischer Isolation ein größerer Kühlschrank die Klassengrenze einfacher erreicht als ein kleinerer.
- ▶ Beispiel 6: In der EU27 gilt für das Jahr 2015 der Zielwert von 130 g CO<sub>2</sub>/km für das Mittel aller PKW-Neuzulassungen. Ab 2022 (mit einem Phasing-in ab 2020) gilt ein Zielwert von 95 g CO<sub>2</sub>/km. Für Benzin- und Dieselfahrzeugen lässt sich die Energieeffizienz über den g CO<sub>2</sub>/km-Wert gut parametrisieren. Für Elektrofahrzeuge muss dazu aber die CO<sub>2</sub>-Intensität des zugrunde liegenden Strommixes festgelegt werden. Wählt der Gesetzgeber einen zu niedrigen Wert (weil zum Beispiel die Stromerzeuger einen Anteil erneuerbaren Stroms garantieren), werden energie- und klimapolitische Ziele vermischt: Elektrofahrzeuge würden übervorteilt, auch energetisch ineffiziente Elektrofahrzeuge würden positiv bewertet, und für die verbleibenden Benzin- und Dieselfahrzeuge würde das g CO<sub>2</sub>/km-Teilziel erhöht, das heißt aufgeweicht. Zwar kann argumentiert werden, die 130 g CO<sub>2</sub>/km-Regulation sei primär klima- und nicht energiepolitisch motiviert. Dem steht aber entgegen, dass es sich bei dieser Regulation um eine fahrzeugbezogene Effizienz-Vorschrift handelt und damit um ein energiepolitisches Instrument. Die unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Intensität von Treibstoffen kann nicht über das Fahrzeug reguliert werden, denn es gibt im Prinzip sowohl fossiles Benzin wie auch Benzin aus erneuerbaren Rohstoffen, es gibt Erd- wie auch Biogas, und Kohle- wie auch Ökostrom.

- ▶ Beispiel 7: Die Verbilligung von Elektroautos, Hybridfahrzeugen, Elektrofahrrädern usw. führt (weil mit der staatlichen Förderung die Wahrnehmung einhergeht, das Geförderte sei „nachhaltig“) auch zu Präferenzänderungen und damit z.B. zu verstärktem Ersatz von Fahrrädern durch Elektrofahrräder.

Der regulatorische Rebound stellt eine Restgröße dar (d.h. die Rebound-Effekte aufgrund des finanziellen Anreizes und der sozialpsychologischen Ausgestaltung einer staatlichen Lenkungsabgabe fallen in die weiter oben definierten Kategorien, sie werden nicht als regulatorisch verstanden, auch wenn das Anreizinstrument seitens des Staats implementiert wird), die theoretisch durch eine optimale Ausgestaltung und zielkonforme Definition der Förderkriterien gänzlich vermeidbar sein sollte.

Der Staat kann einerseits Konsum, Energie oder Verbrauch besteuern, andererseits Technologien und Effizienz fördern. Im ersteren Fall sind kaum Fälle denkbar, in denen es zu einem regulatorischen Rebound kommen könnte. Wenn also Rebound-Effekte auftreten, stehen die anderen beiden Rebound-Arten im Vordergrund. Im zweiten Fall sind regulatorische Rebound-Effekte denkbar, weil die Technologieförderung sehr oft mit einer technischen Definition einhergeht, was gefördert werden soll und was nicht. Bei solchen Definitionen besteht immer die Gefahr, dass neue Technologien oder Nachfragemuster dann bewirken, dass es im Falle von Effizienzsteigerungen zu Mehrnachfrage kommt.

Tabelle 4: Fact Sheet “Gründe des Rebounds”

Aus welchem Grund kommt es zum Rebound-Effekt?	
<b>Gegenstand: Finanzielle, sozialpsychologische und regulatorische Rebound-Gründe</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>› Die drei verschiedenen Gründe für Rebound-Effekte sind:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Finanziell (bessere Ressourceneffizienz &gt; geringere Betriebskosten);</li> <li>▶ Sozialpsychologisch („mental“) (bessere Ressourceneffizienz &gt; reduzierte wahrgenommene Umweltbelastung eines Konsumentenscheids);</li> <li>▶ Regulatorisch (günstige regulatorische Anforderungen für neue Technologien &gt; übermäßiger Einsatz der neuen Technologie)</li> </ul> </li> </ul>	
› Wenn der Staat die zutreffenden Kausalitäten kennt, kann in der Energie- und Ressourcenpolitik der richtige Mix aus Mindestanforderungen, höheren Steuern auf Energie und andere Ressourcen, Internalisierung externer Kosten, Technologieförderung und Förderanreizen gewählt werden.	
› Aus welchem <i>Grund</i> ein Rebound-Effekt auftritt, sagt noch nichts darüber aus, in welcher <i>Art</i> sich der Rebound-Effekt (direkt, indirekt, gesamtwirtschaftlich) äußert.	
3 Gründe des Rebound-Effekts	Rebound-Effekt primär induziert...
↗ finanziell:	... durch finanzielle Effekte und Preissignale
→ sozialpsychologisch:	... durch veränderte Einstellungen/Normen, mentale Budgets, Informationsdefizite usw.
↘ regulatorisch:	... durch nicht-optimale Vorschriften oder durch unterschiedliche Systemgrenzen

Beispiele

Rebound-Effekt primär induziert...	Beispiel
...durch finanzielle Effekte und Preissignale	Wenn die effizientere Technologie insgesamt Geld einspart: Mehr Auto-Kilometer, höhere Raumtemperatur usw.
... durch veränderte Einstellungen/Normen, mentale Budgets, Informationsdefizite usw.	Bei reduzieren Betriebs-/„Umweltkosten“: Mehr Mobilität mit Hybridauto, höhere Temperatur mit Wärmepumpeheizung
durch nicht-optimale Vorschriften oder durch unterschiedliche Systemgrenzen	Bevorzugung bestimmter Energieträger oder Technologien; Zielkonflikte zwischen Klima und Energiepolitik

### Weitere Informationen

- › Progressive Ausgestaltung von Verbrauchsvorschriften zur Eindämmung eines regulatorischen Rebounds: Callwell (2010) (in Kap. 4)

### 3.3.4 Konsequenzen für die Rebound-Forschung

Die heutige Rebound-Forschung konzentriert sich vor allem auf Fälle, bei denen die Voraussetzungen für einen finanziellen Rebound gegeben sind: Die höheren Anschaffungskosten für die energieeffizientere Technik sollten niedriger sein als die (diskontierten) künftigen Energiekosteneinsparungen. Sehr oft kommt neue, energieeffiziente Technik jedoch auf den Markt mit einem Aufpreis, welcher vom Hersteller nicht zufälligerweise in der Nähe der zu erwartenden Einsparung festgelegt wurde. Dies konnte beim Hybridfahrzeug Toyota Prius beobachtet werden, dessen Aufpreis im Vergleich zu einem konventionell angetriebenen Corolla je nach Absatzmarkt und damit je nach Höhe der Treibstoffsteuern unterschiedlich angesetzt wurde: In Deutschland war die Preisdifferenz höher als in der Schweiz; in den USA war die Preisdifferenz am geringsten. Die Preisdifferenz entsprach jeweils etwa der Treibstoffkosten-Einsparung über die Lebensdauer von ca. 160 000 Kilometern.

Auch wenn Konsumenten meist keine rationelle Kostenberechnung durchführen, meist hohe Diskontraten verwenden (sie „sehen“ nur die Einsparungen der nächsten 2 bis 3 Jahre), scheinen Hersteller bei der Markteinführung neuer, effizienter Technologie den Preis jeweils so festzulegen; für das Marktsegment der Pionierkunden ist dies offenbar ein erfolgreicher Ansatz. Damit werden aber die Treiber für einen finanziellen Rebound-Effekt stark abgeschwächt: Über die Lebensdauer betrachtet liegt kein Preissignal vor. Allerdings ändert sich das Verhältnis der fixen zu den variablen Kosten: Wenn die variablen Kosten (spezifischer Energieverbrauch) sinken, kann dies zu weiterem Konsum führen, auch wenn die Fixkosten erst einmal gestiegen sind. In der Praxis kalkulieren Konsumenten oft von den variablen Kosten aus, die Fixkosten gehen als „sunk costs“ (versunkene Kosten) vergessen – hier findet aber ein Übergang zu sozialpsychologischen Rebound-Effekten statt. Um solche Rebound-Effekte erklären zu können, haben wir sozialpsychologische Gründe eingeführt. Ein anderer Begriff dafür ist der „mentale Rebound“. So kann bei Effizienzverbesserungen die Einstellung gegenüber der Nutzung des jeweiligen Produktes positiver werden oder die eigenen Normen und die Normen anderer relevanter Personen, ein Produkt sparsam zu nutzen, können geschwächt werden. Personen können zudem aufgrund einer Art mentalen Buchhaltung für Umweltbelastungen das Gefühl haben, dass Effizienzverbesserungen und Energieeinsparungen in einem Bereich ihnen eine Mehrnachfrage in einem anderen Bereich „erlauben“. Was bei einer solchen mentalen Buchhaltung alles unter Umweltbelastung fällt, kann stark variieren und hängt ausschließlich vom Weltbild und Kenntnisstand des Haushalts bzw. seiner Entscheidungsträger ab. In diesem Konzept führt der Einsatz ressourceneffizienter Technik zu einer Reduktion des mentalen Umweltbudgets. Dies „erlaubt“ dem Haushalt anderen Konsum mit entsprechender Umweltbelastung. Beispiele sind, wenn Haushalte in Energiesparhäusern (bei gleicher Ausbildung und vergleichbaren Einkommensklassen) ver-

mehrt mit dem Flugzeug reisen oder Konsumenten ohne Autobesitz überdurchschnittlich häufig mit dem Flugzeug in den Urlaub fliegen.

Eine entsprechende Systematisierung für sozialpsychologische mentale Rebound-Effekte, analog der obenstehenden Definitionen, findet sich in Girod (2008).

Die untenstehende Tabelle zeigt die Anwendung der verschiedenen Arten und Gründen von Rebound-Effekten. Die Gründe sind komplementär zu den verschiedenen Reboundarten (direkt, indirekt, gesamtwirtschaftlich).

Tabelle 5: Analyse des insgesamt beobachtbaren Rebound-Effekts nach Art und Gründen

Arten der induzierten Mehrnachfrage ↓		kausale Gründe für Rebound →		ökonomischer Rebound \$	sozio-psychologischer Rebound Ψ	regulatorischer Rebound §
		Saunders 2000	Sorrel 2007			
Direkter Rebound	direct rebound (income/output eff.)			erhöhte Nachfrage nach dem gleichen Produkt (Saunders 2000) Einkommens-/ Output-Effekt (Sorrel 2007)		
Indirekter Rebound	direct rebound (substitution eff.)			erhöhte Nachfrage nach anderen Gütern/Dienstleistungen (Saunders 2000) Substitutionseffekt (Sorrel 2007)		
Reboundeffekt auf Makroebene	indirect rebound			Anpassung von Produktion usw. an neue Nachfragemuster (Saunders 2000) Sekundäre und graue-Energie-Effekte (Sorrel 2007)		

Quelle: Eigene Darstellung, nach den Kategorisierungen von Saunders (2000) und Sorrel (2007).

### 3.4 Ausprägungen des direkten Rebound-Effekts (mehr Einheiten, häufigere Nutzung, ressourcenintensivere Nutzung)

Die Mehrnachfrage nach einer Ressourcendienstleistung kann sich auf verschiedene Weisen manifestieren: Eine Mehrnachfrage nach mehr Produkteinheiten („mehr Einheiten“), eine häufigere Nutzung des gleichen Produkts („häufigere Nutzung“) oder die Nutzung eines ressourcenintensiveren Produkts.

- ▶ Beispiel 1: Der Rebound-Effekt bei effizienteren Geschirrspülern umfasst nicht nur eine größere Anzahl Geräte, sondern möglicherweise auch eine höhere Anzahl Spülgänge, und eventuell auch eine höhere Spültemperatur (Normal- statt Sparprogramm).
- ▶ Beispiel 2: Werden Personenwagen effizienter, kann eine Nachfrage nach zusätzlichen Fahrzeugen entstehen oder mit den Autos werden mehr Kilometer zurückgelegt oder es findet ein Wechsel hin zu größeren und leistungsstärkeren Autos statt.
- ▶ Beispiel 3: Wird zu Energiesparlampen gewechselt, könnten mehr Lampen eingesetzt werden oder sie sind länger eingeschaltet oder es werden Lampen mit größerer Leuchtstärke verwendet.

Tabelle 6: Fact Sheet „Ausprägungen des Rebound-Effekts“

Welche Ausprägung hat der direkte Rebound-Effekt?

Gegenstand: Intensivere, häufigere oder zusätzliche Produktnutzung

- › Es werden die folgenden „Ausprägungen der Mehrnachfrage“ unterschieden:
  - ▶ Nutzenrelevante Charakteristika des Produktes verändern sich hin zu einem Ressourcen-Mehrverbrauch (das Produkt wird dabei aber nicht häufiger verwendet), z.B. Beleuchtungsintensität/Kühlschrankgröße/Motorleistung;
  - ▶ Häufigere und/oder längere Nutzung (das Produkt ändert sich nicht, es werden davon auch nicht mehr Einheiten benötigt, aber das einzelne Produkt wird häufiger eingesetzt), zum Beispiel mehr Fahrzeugkilometer;
  - ▶ Nachfrage nach Einheiten des Produktes steigt (das einzelne Produkt ändert sich nicht und wird auch nicht häufiger verwendet, es kommen aber mehr Einheiten in Umlauf), zum Beispiel zusätzliche Zweit- oder Drittautos.
- › Sind die Investitionskosten im Vergleich zu den Betriebskosten relevant, tritt die Ausprägung „mehr Einheiten“ weniger stark auf, die häufigere/längere Nutzung dagegen ausgeprägter
- › Das Bewusstsein für die verschiedenen möglichen Ausprägungen des Rebound-Effekts ist wichtig bei der mikroökonomischen Erhebung: Es dürfen nicht nur die Bestände (Anzahl Autos) erhoben werden, sondern es muss zusätzlich die „Qualität“ (Größe der Autos, Motorleistung) und die Betriebszeit (Anzahl Autokilometer) erhoben werden.

3 Ausprägungen des direkten Rebound-Effekts

↗	ressourcenintensiver:	bessere, stärkere, größere Produkte
→	häufigere Nutzung:	häufigere Verwendung des gleichen Produkts
↘	mehr Einheiten:	mehr Einheiten des gleichen Produkts

Beispiele

Ausprägung direkter Rebound als...	Beispiel
... bessere, stärkere, größere Produkte	höhere Leuchtstärke; größeres/stärkeres Auto; höhere Raumtemperatur; höhere Geschirrspültemperatur
... häufigere Verwendung des gleichen Produkts	mehr Leuchtstunden; mehr Autokilometer; Heizung ganzjährig in Betrieb; mehr Wasch- oder Geschirrspülgänge
... mehr Einheiten des gleichen Produkts	mehr Lampen; mehr Autos, mehr beheizte Wohnfläche; mehr Haushalte mit Geschirrspüler

Weitere Informationen

- › Empirische Erhebung aller drei Ausprägungen, für Hybridautos: de Haan et al. (2006, 2007)

## 4 Übersicht zu aktuellen Themen der Rebound-Forschung

Dieses Kapitel ist folgendermaßen strukturiert:

- ▶ Allgemeine Rebound-Fragen (Kapitel 4.1)
- ▶ Allgemeine Hinweise zur Gestaltung von Politikinstrumenten (Kapitel 4.2)
- ▶ Haushalte (Kapitel 4.3)
- ▶ Unternehmen (Kapitel 4.4)
- ▶ Öffentlicher Sektor (Kapitel 4.5)
- ▶ Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) (Kapitel 4.6)
- ▶ Rebound-Effekte in Entwicklungsländern (Kapitel 0)

Innerhalb der Sektoren wird – wo sinnvoll – nach Gütern und Dienstleistungen getrennt.

### 4.1 Allgemeine Rebound-Fragen

**Allgemeine Schwierigkeiten bei der empirischen Quantifizierung von Rebound-Effekten; Mehrnachfragen infolge allgemeinen Wachstums.** Henly et al. (1988) zeigen, dass die empirischen Schätzungen zum Ausmaß des direkten Rebound-Effekts, welche auf der Analyse sektorübergreifender Unterschiede in den Energiepreisen beruhen, tendenziell den Rebound-Effekt überschätzen, wenn sie die zusätzlichen Kapitalkosten für die angestrebte höhere Energieeffizienz nicht betrachten. Auch wenn in Einzelfällen argumentiert werden kann, dass Konsumenten die erhöhten Investitionskosten „vergessen“, wäre bei der ökonometrischen Identifikation von Rebound-Effekten die erhöhte Investition stets zu berücksichtigen.

**Übersicht zu empirischen Schätzungen des direkten Rebound-Effekts.** Sorell; Dimitropoulos und Sommerville (2009) zeigen eine Übersicht über die theoretischen und methodischen Herausforderungen bei der empirischen Bestimmung des direkten Rebound-Effekts. Dabei wird vollständig auf Energiedienstleistungen für Haushalte fokussiert. Die Autoren führen mehrere Gründe auf, welche tendenziell zu einer Überschätzung des tatsächlichen Rebound-Effekts führen. Als oberen Wertebereich für den direkten Rebound-Effekt im Rahmen von Haushalt-Energiedienstleistungen wird 30% angegeben.

**Schwierigkeiten der empirischen Evidenz.** Sorell (2009) betont die Schwierigkeiten in der empirischen Bestimmung von Rebound-Effekten, aber auch die große Bedeutung derselben im Rahmen der Energie- und Klimapolitik. Sorell analysiert die bestehenden methodischen und theoretischen Herausforderungen und Schwachstellen. Er argumentiert, dass gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte größer sind als gemeinhin angenommen und dass Energie (und damit Steigerungen der Energieeffizienz) ein wichtiger Antrieb für Produktivitätssteigerungen und ökonomisches Wachstum ist.

**Relevanz der Zeit-Intensität privater Tätigkeiten.** Zur empirischen Evidenz zum Rebound-Effekt liegen mehrere sehr umfassende Übersichten vor (Maxwell und McAndrew 2011; Sorell et al. 2009; de Haan 2009; Sorell 2007; Dimitropoulos 2007). Sie bestätigen, dass Rebound-Effekte eigentlich immer als Folge von Effizienzverbesserungen auftreten; sie können von geringem Ausmaß (<10%) sein oder namhaft (Kompensation von 20–50% der erwarteten Einsparung). Dabei ist das Ausmaß des Rebound-Effekts für Haushaltstätigkeiten (siehe z.B. Sorell 2007, S.35) bei zeitintensiven Tätigkeiten geringer. Beim Waschen von Kleidern wurde beispielsweise geschätzt, dass 80 bis 90% der Kosten Zeitkosten sind. Entsprechend konnte nach dem Wechsel zu besonders effizienten Waschmaschinen ein geringer Rebound von 5,6% festgestellt werden (durch häufigeres Waschen bzw. geringere Beladungsgrade). Andere zeitintensive Tätigkeiten mit niedrigem Rebound-Risiko sind Geschirrspülen, Staubsaugen, Fernsehen, Arbeiten mit elektrischen Werkzeugen, Nähen, Arbeiten an Computern und Druckern (ein Problem kann hier sein, dass ein energieeffizienterer Standby-Betrieb dazu führt,

dass die Geräte nie mehr gänzlich vom Stromnetz getrennt werden). Es wird davon ausgegangen, dass der Rebound-Effekt in diesen Fällen unterhalb von 20% bleibt.

**Rebound in Zeit.** Brencic und Young (2009) untersuchen die Auswirkungen von zeitsparenden Haushaltsgeräten und -dienstleistungen. Sie untersuchen, ob zeitsparende Geräte wie Geschirrspüler zu zeitaufwändigerem Kochen führt und/oder zu mehr Zeit für andere Freizeitaktivitäten. Wenn die neuen Aktivitäten eine höhere Energieintensität pro Zeiteinheit aufweisen, wird die Einführung zeitsparender Haushaltsgeräte zu einem Energie-Mehrverbrauch führen. Als Datenbasis wird die kanadische „Survey of Household Energy Use“ von 2003 herangezogen. Weil die meisten zeitsparenden Geräte energieintensiv sind, und auch die meisten außer Haus stattfindenden alternativen Freizeitaktivitäten überdurchschnittlich energieintensiv sind, werden die schon früher von Schipper et al. (1989) sowie Jalas (2002) vorgestellten Resultate bestätigt: Sobald effiziente Haushaltsgeräte auch zu einer Zeitersparnis führen (wie Geschirrspüler, Roboterrasenmäher, in Zukunft wohl auch Roboterstaubsauger usw.), ist von hohen Rebound-Effekten auszugehen.

**Zeit-bezogener Rebound vs. energieeffizienz-bezogener Rebound.** Binswanger (2001) untersucht über Energiepreise und Zeitkosten das Verhältnis von „rebound in time“ im Vergleich zum klassischen Konzept des „rebound in energy“. Der Autor schlägt zwei Ergänzungen zum neoklassischen Modell für eine einzelne Energiedienstleistung vor. Einerseits erlaubt der Übergang zu einem Modell mit mehreren Energiedienstleistungen eine realistischere Schätzung des Rebound-Effekts, weil der Autor zeigt, dass der Substitutionsgrad zwischen verschiedenen Dienstleistungen und die Einkommensabhängigkeit der Nachfrage nach diesen Dienstleistungen bei der Schätzung des Rebound-Effekts berücksichtigt werden sollten. Der Autor zeigt, dass sich in der Tat stärkere Änderungen der Energienachfrage nach Effizienzsteigerungen ergeben, wenn Energiedienstleistungen untereinander substituiert werden können und wenn die Nachfrage nach Energiedienstleistungen mit dem Einkommen steigt. Zweitens weist der Autor darauf hin, dass eine Veränderung der Ressourcen- oder Energienutzung oft ein „Nebeneffekt“ eines anderen Typs von technologischem Fortschritt sind, insbesondere von der Zeitersparnis, die mit neuen Technologien verknüpft sein kann. Zeitsparende Technologie sind allerdings oft mit einem höherem Energieverbrauch verbunden, wie z.B. bei Mobilität. In solchen Fällen ergibt sich ein „rebound in time“, d. h., dass der Energieverbrauch hauptsächlich aufgrund der höheren Nachfrage zeitsparender aber energieintensiverer Technologien steigt. Der Autor zeigt, dass dieser „rebound in time“ besonders hoch ist wenn die Energiekosten niedrig und das Einkommensniveau hoch sind, da dementsprechend die Opportunitätskosten der Zeit hoch sind.

**Höhe einer CO<sub>2</sub>-Steuer zur Neutralisierung eines Rebound-Effekts infolge autonomer Effizienzsteigerung.** Brännlund et al. (2007) untersuchen allfällige Mehrnachfrage (und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen) seitens schwedischer Haushalte infolge autonomer Steigerung der Energieeffizienz. Sie versuchen, die Höhe einer hypothetischen CO<sub>2</sub>-Steuer zu berechnen, welche den empirisch beobachteten Rebound-Effekt neutralisieren (=gleichbleibende Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emission) würde. Sie gehen bei einer Effizienzsteigerung um 20% von 5% höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen aus, ceteris paribus (d.h. der Rebound-Effekt wird auf 25% geschätzt); die CO<sub>2</sub>-Steuer müsste zu einer Erhöhung der Brennstoffpreise um ca. 130% führen. Sie untersuchen auch ausführlich die Auswirkungen bei den SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen; auch wenn hier nicht-lineare Zusammenhänge angenommen werden können, ergibt sich doch ein Bild, dass eine Umweltpolitik, welche sich bei der Rebound-Bekämpfung daran ausrichtet, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht ansteigen dürfen, automatisch auch die SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen geeignet reguliert.

**Berücksichtigung von Rebound-Effekten bei der Ex-ante-Abschätzung der Wirkung von Treibhausgas-Reduktionsmaßnahmen, Ausgestaltung von Politikmaßnahmen.** Druckman et al. (2011) untersuchen drei mögliche Treibhausgas-Reduktionsmaßnahmen für Privathaushalte (Raumwärme-Thermostat, Ernährung, Reiseverhalten) im Vereinigten Königreich und schätzen den Rebound auf 34%; dieser könnte auf 12% reduziert werden, wenn man die durch die Kosteneinspa-

rungen induzierte Mehrnachfrage gezielt auf energieextensive Dienstleistungen und Gütern ausgerichtet. Andererseits ist sogar eine Erhöhung auf über 100% („backfire“) denkbar, wenn die gesamte Mehrnachfrage sich auf energieintensive Güter konzentrieren würde. Druckman et al. (2011) betonen damit, dass erstens bei der Schätzung der Reduktionswirkung von Politikmaßnahmen Rebound-Effekte mit aufzunehmen sind und zweitens das gezielte Ausrichten der Mehrnachfrage auf energieextensive Dienstleistungen ausschlaggebend ist. Druckman et al. (2011) weisen darauf hin, dass „grüne Investitionen“ den Rebound-Effekt minimieren und bei der Re-Investition freiwerdender Mittel in „grüne Technologien“ gar ein negativer Rebound erzeugt werden kann.

#### **Innovationsförderung und Rebound, Design von „policy mixes“ zur Rebound-Minimierung.**

Herring und Roy (2007) gehen der Frage nach, ob technische Innovation zur Erhöhung der Energieeffizienz zu einer Reduktion der Energienachfrage und der damit einhergehenden Umweltbelastung führt. Sie argumentieren, dass die bloße Förderung von Innovation infolge Rebound-Effekte beinahe wirkungslos bleibt und die Ergänzung um weitere Politikinstrumente (Steuern, Vorschriften oder Normen) erforderlich ist. Da Energiekonsum und Ressourcenverbrauch mit namhaften externen Kosten verbunden sind, die Marktwirtschaft aber nur aufgrund der internalisierten Kosten optimieren kann, führt jede auf Innovation zurückgehende Effizienzsteigerung zu einer Erhöhung der Wertschöpfung, aber meist nicht zu einer Verbesserung der Energie- oder Umweltsituation; hier muss der Regulator jeweils mit weiteren Markteingriffen (zusätzlichen Politikinstrumenten) die Reduktion externen Kosten sicherstellen. Herring und Roy (2007) berichten auch vom Forschungsansatz ‘People-centred eco-design’, welches die wichtigen Entscheidungsfaktoren beim Kaufverhalten energieeffizienter Produkte untersucht und identifizieren möchte, wie Anbieter und Marktregulator Produkte ausgestalten sollten, damit Rebound-Effekte minimal bleiben.

**Psychologische Einflussfaktoren.** Peters et al. (2012) untersuchten anhand einer explorativen Fokusgruppenstudie psychologische und soziologische Einflussfaktoren von Rebound-Effekten. Die Fokusgruppen wurden mit Privatpersonen durchgeführt, welche Energieeffizienzverbesserungen im Bereich Wohnen (Heizen, Haushaltsgeräte, Beleuchtung) oder im Bereich Mobilität getätigt hatten. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Verhaltensänderungen in Folge von Energieeffizienzverbesserungen in unterschiedlichem Maße und mit unterschiedlicher Konsequenz für den Energieverbrauch auftreten. Auf der einen Seite ergeben sich Hinweise auf eine vermehrte Nachfrage bzw. Nutzung von Produkten oder Dienstleistungen nach einer Energieeffizienzverbesserung im Sinne von Rebound-Effekten. Dies ist insbesondere im Bereich Mobilität allgemein sowie im Bereich Wohnen insbesondere für das Thema Beleuchtung der Fall. Auf der anderen Seite gibt es zahlreiche Hinweise, dass Verhaltensänderungen unter bestimmten Umständen auch ausbleiben und sich sogar gegenteilige Effekte ergeben können. Die Diskussionen zeigen, dass für die jeweiligen Effekte verschiedene Faktoren eine Rolle spielen. Dazu gehören die Motive bei der Anschaffung und Nutzung effizienter Technologien, die tatsächlichen bzw. wahrgenommenen Einsparungen, persönliche und soziale Normen, das Problembewusstsein und die wahrgenommene Wirksamkeit energiesparender Verhaltensweisen, Informationen zum optimalen Umgang mit effizienten Technologien und nicht zuletzt das Ausmaß der bereits erzielten Befriedigung relevanter Bedürfnisse. Die Ergebnisse liefern Hinweise für weitere Studien und ermöglichen erste Schlussfolgerungen zur Eindämmung von Rebound-Effekten.

## **4.2 Allgemeine Hinweise zur Gestaltung von Politikinstrumenten**

**Theoretische Möglichkeit von Backfire und Politikmaßnahmen in Abhängigkeit der Substitutionsrate.** Saunders (2000) geht vom neoklassischen Modell aus und zeigt, wie die Wahl der Produktionsfunktion (welche die Wirtschaftsleistung als Ergebnis der Produktionsfaktoren abbildet) über das theoretische Ausmaß von Rebound-Effekten entscheidet und dabei gar backfire-Effekte theoretisch möglich sind. Er zeigt auch auf, dass man in Fällen mit einer hohen potenziellen Substitution von Energie durch die Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital Energiesteuern einsetzen kann, ohne

dass die Wirtschaftsleistung Schaden nähme, bei einer niedrigeren Substitutionsrate aber die Wahl anderer Instrumente zu bevorzugen ist (Förderung von Effizienz, Subventionen).

**Gründe und Ausgestaltung von Energiespar-Politikmaßnahmen.** Steg (2008) zeigt auf, dass Strategien zur Verhaltensänderungen bei Konsumententscheidungen nur erfolgreich sein können, wenn sie die Gründe ansprechen. Drei Hindernisse für energieeffiziente Verhaltensweisen werden besprochen (a) mangelndes Wissen, (b) die niedrige Priorität von Energiesparen und die niedrigen Energiekosten und (c) der Mangel an akzeptierten Handlungsalternativen. Steg schlägt Informationsstrategien vor, welche das Wissen, die Wahrnehmungen, Kognitionen, Absichten und persönliche Normen beeinflussen.

**Rebound-Proofing von Politikinstrumenten, welche potenziell zu direktem Rebound führen.**

In DECC (2010) finden sich Empfehlungen sowie ein Tabellenkalkulations-Anwendung, um die Berücksichtigung des Rebound-Effekts durch geplante Politikmaßnahmen zu vereinfachen. Diese Empfehlungen konzentrieren sich auf jene Fälle, wo infolge von z.B. verschärften Normen (wie beispielsweise bessere Isolationen der Gebäudehülle) höhere Effizienzniveaus erzwungen werden, welche zu Kostenreduktionen beim Konsumenten führen und deshalb finanziell begründete Rebound-Effekte induzieren.

**Rebound-Wirkungspfade und Implikationen inhärenter Ungenauigkeit.** Van den Bergh (2010) enthält die zurzeit vollständigste Liste von Rebound-Wirkungspfaden, und erörtert die Implikationen der inhärenten Ungenauigkeiten bei der empirischen Feststellung von Rebound-Effekten. Es werden Empfehlungen für Strategien und Politikmaßnahmen zur Eindämmung von Rebound-Effekten formuliert. Auch betont dieses Paper die Wichtigkeit der Unterscheidung zwischen autonomer Mehrnachfrage und effizienz-induzierter Mehrnachfrage, d.h. dem eigentlichen Rebound-Effekt. Schließlich weist van den Bergh (2010) daraufhin, dass der direkte Rebound-Effekt vor allem in Entwicklungsländern hoch ist.

**Änderungen des Konsumverhaltens zur Eindämmung von Rebound-Effekten.** Druckman et al. (2010) untersuchen das Ausmaß indirekter Rebound-Effekte, welche namentlich bei gezielten Politikmaßnahmen zur Erhöhung der Energie-Effizienz auftreten können. Für ein Set von drei ausgewählten Maßnahmen (Thermostat, Ernährung, Reiseverhalten) schätzen Druckman et al. (2010) den Rebound-Effekt auf 34%, mit einem Minimum von 12% und einem Maximum von über 100% (der sogenannte „Backfire“-Effekt). Es werden zwei Ansätze vorgeschlagen, um den Rebound-Effekt so gering wie möglich zu halten. Erstens darauf hinzuwirken, dass Haushalte ihr Konsumverhalten in Richtung von Energie- und Treibhausgas-extensiven Produkten und Dienstleistungen ändern. Zweitens das vermehrte Investieren von Haushalten in „low-carbon“-Anlagen. Wenn Haushalte finanzielle Effizienzgewinne in weitere effizienz erhöhende Technologien re-investieren, entsteht kein Treiber für finanziellen Rebound (siehe dazu auch das Unterkapitel 4.4.1 zu Hybride Leistungs-Bündel).

**Internalisierung externer Kosten zur Eindämmung des Rebound-Effekts.** Maxwell (2011) untersucht die von Experten häufige Empfehlung, dass die Internalisierung aller externen Kosten in der Theorie zum Verschwinden des Rebound-Effekts führen müsste und dass auch jeder Schritt zur vermehrten Internalisierung gewisser externer Kosten automatisch zu einer Eindämmung und Minderung des Rebound-Effekts beiträgt. Weil die Internalisierung generell zu einer Verteuerung von Produkten und Dienstleistungen führt (namentlich von jenen mit einer hohen Ressourcen-Intensität), während andererseits verschärfte Ressourcen-Effizienz-Vorschriften tendenziell zu einer Verbilligung des Produkts oder der Dienstleistung führen (namentlich der Betriebskosten), kann die parallel zur Effizienzsteigerung vorangetriebene Internalisierung externer Kosten eine ideal ergänzende Strategie darstellen, um Rebound-Effekte zu vermeiden.

## 4.3 Haushalte

**Marginaler Konsum in Abhängigkeit von Einkommensklassen.** Nässén und Holmberg (2009, 2011) versuchen, eine allgemeine Parametrisierung von Rebound-Effekten beim Konsumverhalten von Haushalten aufzustellen; sie können damit auch zeigen, welchen Einfluss bestimmte Parameterwerte auf den errechneten Rebound-Effekt haben. Auf der Basis des schwedischen Household Budget Survey werden Wertebereiche für den Rebound-Effekt abgeleitet. Die Änderungen in den Konsummustern mit steigendem Einkommen erlauben die Festlegung des marginalen Konsums. In Kombination mit der Energieintensität der Konsumkategorien entsteht so die Abschätzung der energetischen Mehrnachfrage. Der Rebound-Effekt bei Steigerungen der Energie-Effizienz wird dabei auf 5% bis 15% geschätzt, falls jedoch die Energieeffizienz kaum Zusatzinvestitionen erfordert (so genannte „low hanging fruits“), kann der Rebound-Effekt auch bedeutend höher ausfallen. Die Reduktion der Nachfrage nach Energiedienstleistungen (Raumwärme, motorisierte Mobilität) geht mit Rebound-Effekten zwischen 10% und 20% einher.

**Kleiderpflege.** Das Waschen von Kleidern entspricht (zusammen mit dem Trocknen) etwa 10% der Stromnachfrage von Haushalte (in den USA). Davis (2007) untersucht den direkten Rebound basierend auf einer Pilotstudie mit 98 freiwillig teilnehmenden U.S.-Haushalten; erfasst wurden der Wasser- und Energieverbrauch während der 2 Monate vor der Installation des neuen, um 50% effizienteren Geräts. Nach der Installation nahm die Wäschemenge um 5,6% zu, infolge einer größeren Wäschemenge pro Waschgang (nicht mehr Waschgänge). Inwieweit der Rebound durch die Energieeffizienz, die Wassereffizienz oder die Waschmittelleffizienz getrieben wurde, ist unklar. Davis (2007) schätzt den Anteil der Zeitkosten an den Gesamtkosten der häuslichen Wäschepflege auf 80% bis 90% und sieht den Gesamtrebound von 5,6% als Bestätigung, dass bei zeitlimitierten Energiedienstleistungen kein hoher direkter Rebound zu erwarten ist. Dies sollte sich auf Geschirrspüler, Staubsauger, Fernseher, Heimwerker-Geräte, Computer und Drucker übertragen lassen.

**Indirekter Rebound im Haushaltbereich in Deutschland.** Irrek (2011) hat die indirekten Rebound-Effekte für 12 vorgeschlagene Energie-Effizienz-Programme im Bereich Haushalte in Deutschland untersucht. Auf Basis geschätzter Energie-Einsparungen wird von einem indirekten Rebound von ca. 5% ausgegangen.

### 4.3.1 Haushaltsgeräte-Studien mit Fokus auf Politikausgestaltung

**Reaktion von Privathaushalten auf Energiepreis-Änderungen.** Ferrer-i-Carbonell et al. (2002) untersuchen Verhaltensänderungen unter (langfristig wirksamer) Erhöhung der Energiepreise infolge von Umwelt- oder Energiesteuern. Ein Literaturreview zeigt die Bandbreite der möglichen Preiselastizitäten auf, mit welchen die Verhaltensänderungen parametrisiert werden. Die Studie folgert, dass Energiesteuern eine signifikante Reduktion des Energiekonsums bewirken können, weil die langfristige und gesicherte Natur der Preiserhöhung größere Verhaltensänderungen auslöst als ein gleich großes Preissignal aufgrund von möglicherweise nur kurzfristig wirksamen Änderungen der Weltmarktpreise.

**Notwendigkeit von Politik-Paketen für nachhaltige Konsum-Verhaltensweisen.** EEA (2010) analysiert den Anstieg der Stromnachfrage pro Haushalt für Beleuchtung und Elektrogeräte, was als Rebound-Effekt interpretiert werden kann. Das Induzieren von Verhaltensänderungen hin zu einer höheren Ressourcen-Effizienz und einem nachhaltigeren Konsum ist eine große Herausforderung. Dazu ist es erforderlich, dass die Öffentliche Hand die Rahmenbedingungen entsprechend gestaltet. Es sind sorgfältig ausgestaltete „policy packages“ nötig, welche regulatorische und freiwillige Elemente vereinen, um eine nachhaltige Infrastruktur sowie technische Unterstützung zu gewährleisten, den Endkonsumenten zu informieren und eine Vorbildrolle im öffentlichen Beschaffungswesen einzunehmen. Eine ökologische Steuerreform kann das kritische fiskalische Instrument innerhalb

eines solchen Politik-Pakets sein. Es ist unwahrscheinlich, dass die Information des Endkonsumenten für sich allein deutliche Änderungen des Konsumentenverhaltens zu induzieren vermag.

**Politikansätze zur Eindämmung von Rebound-Effekten.** Van den Bergh (2010) analysiert, dass für effizienzbasierte Markteingriffe und Verhaltensweisen, wenn Rebound-Effekte vorliegen, die bloße weitere Beeinflussung der technologischen Effizienz nicht hinreichend ist. Die Politik sollte jene Fälle unterscheiden, in denen Effizienzsteigerungen für sich nicht ausreichen, um ein vorgegebenes Umweltziel zu erreichen. Dies trifft in besonderem Ausmaß für „general purpose technologies“ zu, bei welchen die Rebound-Effekte (namentlich die gesamtwirtschaftlichen) größer sind als wenn eine effizientere Anwendung sich keine neuen Anwendungsfelder erschließt.

**Ansätze zum Konsumentenverhalten für die Analyse Effizienz-orientierter Politik.** Wörsdorfer (2010) argumentiert, dass die bisherigen Versuche zur Klärung der Frage, ob rein Effizienz-orientierte Politikansätze infolge des Rebound-Effekte erfolgreich sein können, ein uneinheitliches Bild ergeben haben, weil sie auf dem neoklassischen Konsumenten-Ansatz basieren. Der Wechsel hin zur Betrachtung von Konsumentenbedürfnissen und -lernprozessen lässt den Rebound-Effekt als Spezialeffekt einer Verhaltensreaktion auf technologischen Änderungen erscheinen. Die zentrale Hypothese von Wörsdorfer (2010) ist, dass [direkte] Rebound-Effekte nur auftreten, solange Konsumentenbedürfnisse noch nicht befriedigt sind. Dies wird am Beispiel energieeffizienter Waschmaschinen illustriert (bei denen nur geringe Rebound-Effekte erwartet werden, weil das Konsumentenbedürfnis nach Kleiderreinigungs-Dienstleistungen bereits befriedigt ist).

**Feedback-Systeme zur Reduzierung des Rebound-Effekts.** Dimitropoulos (2009) stellt die These auf, dass eine unmittelbare Rückmeldung zum Energie- und Ressourcen-Bedarf des Alltagskonsums und den damit verbundenen Kosten zu einer Reduktion des Ressourcenbedarfs führen würde.

**Informative billing und „smart-metering“.** Darby (2006) berichtet, dass Produktinformation, Zahlungsbelege mit Angaben des Ressourcen- und Energie-Fußabdrucks, und jährliche Energie-Berichterstattungen zu höheren Investitionen in grüne Technologien und Verhaltensänderungen führen können. Die Studie basiert hauptsächlich auf der Einschätzung der Folgen von „smart-metering“ für Gas und Strom.

**Effekte informativer Stromrechnungen und von Eigenablesung des Gasverbrauchs.** Wright et al. (2000) untersuchen in zwei norwegischen Studien, wie verschiedene Formen von zusätzlichen Rechnungs-Informationen zu einem effizienteren Einsatz von Energie motivieren können. In einer Studie wurden auf der Strom-Jahresabrechnung Vergleiche mit dem Strombezug in den vorangehenden Jahren gemacht, Rechnungen alle zwei Monate statt jährlich zugestellt, und die Verbrauchsdaten auch graphisch dargestellt. Diese Maßnahmen führen zu einer Nachfragereduktion von ca. 10%, welche auch nach dem abgeschlossenen ersten Jahr anhielten. In der zweiten Studie haben 2000 Haushalte ihren Energieverbrauch selber alle 2 Monate abgelesen und dem Versorgungsunternehmen zugestellt. Der Anteil der Haushalte, welche die Raumtemperatur nachts oder bei längeren Abwesenheiten reduzieren, nahm danach zu. Eine Nacherfassung zwei Jahre später bei den gleichen Haushalten zeigt eine Energiereduktion von 4% in diesen Haushalten, während der allgemeine Energiekonsum in diesem zwei Jahren um 4% zugenommen hatte, so dass effektive Energieeinsparungen von ca. 8% vorliegen.

#### 4.3.2 Einkommen

**Einfluss der Einkommensverteilung auf den Ressourcenverbrauch.** Brännlund und Tarek (2008) testen den Einfluss der Einkommensverteilung, kombiniert mit einem nicht-linearen Zusammenhang zwischen Ressourcenverbrauch und Einkommenskategorie, auf den Gesamtressourcenverbrauch eines Landes. Ihre Ergebnisse sind, dass sich die nicht-lineare Gestalt nicht rein aufgrund eines theoretischen Modells ableiten lässt. Zusammen mit empirischen Daten aus Schweden zeigt sich tatsäch-

lich ein nicht-linearer, konkaver Zusammenhang für die CO<sub>2</sub>-, SO<sub>x</sub>- sowie NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Haushaltskonsum. Wenn also die Einkommen gleichmäßiger verteilt wären, würde dies zu einem Anstieg der landesweiten Emissionen führen. Andererseits führt ein Einkommensanstieg aufgrund der Einkommens-Verteilung nur zu einem unterproportionalen Anstieg des Ressourcenverbrauchs. In einem Wachstumsszenario wird der Trade-off zwischen Emissionen und gleichmäßiger Einkommensverteilung deshalb weniger ausgeprägt sein. Der Hauptgrund für die Konkavität ist die negative Korrelation zwischen Emissionsintensität und Einkommenselastizität für die meisten Güter. Beispiele sind Autos (Benzin ist günstig, hat aber eine hohe Emissionsintensität) versus Freizeitaktivitäten (teuer, aber niedrigere Emissionsintensität). Darum wird die Benzinnachfrage weniger stark steigen als das mittlere Einkommen und Freizeitaktivitäten steigen überdurchschnittlich stark.

**Einkommensabhängige Effekte, regressive Effekte.** Nach Boardman und Milne (2000) sind direkte Rebound-Effekte in niedrigeren Einkommensklassen höher, weil sie weiter entfernt sind vom Sättigungsniveau bei den meisten relevanten Energiedienstleistungen.

**Environmental Kuznets curve (EKC) bzw. Einkommenseffekte.** Franklin und Ruth (2012) thematisieren die EKC, jene Kurve in Form eines auf den Kopf gestellten U, welche darstellt, dass die Umweltbelastung infolge Konsums bei steigendem Einkommen zunächst ansteigt, um dann ein Plateau zu erreichen und anschließend abzufallen. Sie fassen die aktuelle Literatur zusammen, nach der die Existenz des EKC im Bereich Energie oder CO<sub>2</sub>-Emissionen weiterhin umstritten ist. Die Autoren betonen die großen ökonometrischen Schwierigkeiten bei der Quantifizierung des Verhältnisses zwischen Wirtschaftswachstum und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die EKC ist eng mit Rebound-Effekten verknüpft, weil sie die Einkommensabhängigkeit des Rebound-Effekts aufzeigt: Am Anfang der Kurve (links des Plateaus) ist der Bereich ungesättigter Nachfrage – jeder Einkommensanstieg führt zu Mehrnachfrage, und dann stellt auch jeder Effizienzgewinn ein Haupttreiber für Mehrnachfrage dar. Im Bereich des Plateaus ist die Nachfrage gesättigt – auch bei weiteren Effizienzgewinnen kommt es kaum zu einer direkten Mehrnachfrage (aber allenfalls zu indirekten Rebound-Effekten in der Form von Mehrnachfrage nach anderen Gütern). Im Bereich rechts des Plateaus, bei noch höherem Wirtschaftswachstum, verlagert sich die Nachfrage auf Ressourcen-extensive Produkte und es könnten sogar negative Rebound-Effekte auftreten. Es ist jedoch umstritten, ob dieser Bereich für den Fall von Energie bzw. CO<sub>2</sub>-Emissionen existiert.

**Geringe Preiselastizität bei sinkenden Energiepreisen.** Haas und Schipper (1998) untersuchen die makroökonomische Beobachtung, dass der durchschnittliche Energie-Verbrauch von Haushalten (für Raumwärme, Warmwasser und Haushaltgeräte) in den 1990er Jahren (bei sinkenden Energiepreisen seit 1985) nicht gestiegen ist, obwohl er infolge der beiden Erdölkrisen bei steigenden Energiepreisen sehr wohl zurückging. Sie folgern daraus, dass andere Faktoren wie unumkehrbare technische Effizienzfortschritte vorliegen müssen und bei der Untersuchung von Rebound-Effekten mit makroökonomischen Methoden unbedingt mit zu berücksichtigen sind. Basierend auf Tests mit ökonometrischen Modellen kommen sie zur Schlussfolgerung, dass die Preiselastizität der Energienachfrage für steigende und fallende Preise unterschiedlich ist; für sinkende Preise sind sie nahe bei null. Daraus leiten sie ab, dass der finanzielle Rebound-Effekt bei Haushalten sehr niedrig sein sollte. Der Befund, dass Preiselastizitäten bei steigenden Energiepreisen höher sind als bei fallenden, wird auch durch Gately (1992; 1993) und Dargay und Gately (1994; 1995) unterstützt. Dargay (1992) zum Beispiel findet eine fünffach höhere Elastizität während der Preissteigerungen nach der ersten Ölkrise als während dem Erdölpreissrückgang ab 1985.

### 4.3.3 Haushaltsgeräte

**Kurz- und langfristiger Rebound bei Haushaltsgeräten.** In einer Meta-Analyse von Studien zum Stromverbrauch von Haushalten untersuchen Espey und Espey (2004) systematische Zusammenhänge der 120 in den einzelnen Studien errechneten Preis-Elastizitäten. Als obere Bandbreite für den

kurzfristigen Rebound-Effekt werden 20 bis 35% (für die Summe aller Haushaltsgeräte), langfristig 80 bis 85% geschätzt. Die bei dieser Meta-Analyse verwendeten Rebound-Definition schließt Wohlfandeffekte teilweise mit ein und gelangt deshalb zu Schätzungen, welche höher sind als z.B. in Sorrel et al. (2007).

**Gründe für Zunahme des Haushaltsstromverbrauchs.** JRC/IE (2009) untersucht die Treiber für den Stromverbrauch in Gebäuden in der EU27 und vorhandene Einsparpotenziale. Eingegangen wird auch auf mögliche Politikinstrumente auf EU- und Nationalstaatsebene für den Gebäudesektor und für Elektromotoren. Teile der Verbrauchszunahme lassen sich zurückführen auf die Zunahme der Anzahl der Haushalte und des verfügbaren Einkommens (siehe dazu auch Maxwell 2011) sowie auf die Zunahme der Anzahl stromverbrauchender Haushaltsgeräte (eine Folge des Einkommens sowie des technologischen Fortschritts), die Zunahme der Raumkühlung namentlich im mediterranen Raum sowie auf Standby von IKT-Geräten.

**Rebound-Effekte in Haushalten im Vereinigten Königreich.** Owen (2006; 2007) untersucht die Gründe für die Verdopplung des Stromverbrauchs pro Haushalt von den 1970er bis zu den 2000er Jahren trotz Effizienzsteigerungen bei den meisten Gerätetypen von ca. 2% pro Jahr. Haupttreiber ist die Zunahme der Anzahl stromverbrauchender Geräte pro Haushalt, namentlich auch mehrerer Geräte des gleichen Typs (wie Fernseher und Kühlschrank). Ähnliche Trends im Haushalts-Stromverbrauch hat auch die Danish Energy Agency (2010) ermittelt.

**Rebound-Effekte in Katalonien.** González (2010) führt ein Review der empirischen Literatur zu direkten Rebound-Effekten bezüglich aller stromverbrauchenden Haushaltsgeräte durch. Für katalonische Haushalte wird mit ökonomischen Ansätzen ein direkter Rebound-Effekt von 35% (kurzfristig) bis 49% (langfristig) geschätzt.

**Schwierigkeiten der Datenerhebung bei Gerätestudien.** Parti und Parti (1980) stellen eine Methode vor, um den Haushalts-Stromverbrauch über einen Zeitraum von 12 Monaten den einzelnen Gerätekategorien zuzuordnen, auch wenn dazu direkte Messdaten fehlen. Damit können Preis- und Einkommenselastizitäten geschätzt werden. Laut Barker et al. (1995) variieren Nachfrageeffekte mit Preishöhe, Ursprung, Steuerbelastung, Sättigungseffekten usw.

#### 4.3.4 Raumnutzung sowie Heizen, Lüften, Kühlen (HLK)

**Zusammenhänge zwischen Energieeffizienz und Raumeffizienz.** Wilson und Boehland (2005) untersuchen Trends im Energiebedarf von U.S.-Einfamilienhäusern und empfehlen eine Reduktion der Kubaturen zur Erhöhung der Gebäudequalität und der Ressourceneffizienz. Sie untersuchen dabei auch, inwieweit der Platzbedarf von Energieumwandlungseinheiten (Heizungen, Kühlaggregate usw.) eine Rolle spielt. Sie kommen zum Ergebnis, dass die Anlagen infolge des technischen Fortschritts kleiner werden und infolge von Kaufkraftzunahme die mittleren Energiebezugsflächen zunehmen.

**Autonome Entwicklung vs. politikinduzierter Effizienzfortschritt.** Khazzooms (1980) grundlegende Arbeit steht exemplarisch für den großen Stellenwert von Energieeffizienz-Mindestvorschriften für PKW und Haushaltsgeräten in der Debatte um den Rebound-Effekt. Dabei wird stark vereinfachend angenommen, dass bei einer Verschärfung der minimal vorgeschriebenen Energieeffizienz um zum Beispiel 1% der entsprechende Energiebedarf, ceteris paribus, um 1% abnehmen sollte. Oft wird dabei aber der autonome technische Fortschritt vernachlässigt, der auch nicht einfach bestimmbar ist. Die Wirkung staatlicher Mindestvorschriften wird deshalb tendenziell überschätzt.

**Indikatoren für Rebound-Effekte bei Raumheizung.** Fanger (1970) sowie Frey und Labay (1988) betonen, dass die Raumtemperatur nur eine von mehreren Determinanten für Wohlbefinden in beheizten Räumen ist; auch das Ausmaß an Aktivität, Durchlüftungsraten, relative Feuchtigkeit und die Oberflächentemperatur von Wänden und Fußböden spielen eine Rolle. Dies ist potenziell relevant für

den Rebound-Effekt: Nach einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle kann (wenn eine Abschöpfung der Effizienzgewinne über höhere Energiepreise nicht umsetzbar ist) ein Rebound-Effekt u.U. auch durch andere Begleitmaßnahmen, welche die obigen Indikatoren berücksichtigen, vermieden oder eingedämmt werden.

**Metaanalyse von Rebound-Studien zu Raumheizung.** Sanders und Phillipson (2006) untersuchen die meist festgestellten Rebound-Effekte nach der thermischen Isolierung von Wänden und Dächern. Diese Diskrepanz wird beeinflusst durch geänderte Innentemperaturen und einem „Komfortfaktor“, aber auch die Qualität der fachmännischen Umsetzung der Isolation, die Raumbelegung und Raumlüftung spielen eine Rolle. Deshalb ist nur ein Teil des Rebound-Effekts auf Verhaltensänderungen zurückzuführen; bei der ex-ante Berechnung des erwarteten Energieverbrauchs nach der Sanierung der Gebäudehülle sollten Gebäudephysik und andere Indikatoren des Raumklimas einbezogen werden; sie würden zu einer Reduktion des errechneten Rebound-Effekts führen. In einer Metaanalyse von 13 Studien findet die Studie, dass ca. 50% der errechneten Einsparungen aufgrund solcher Einflüsse nicht eintreten wird und methodisch nicht einem verhaltensinduzierten Rebound-Effekt zugeordnet werden sollten. Auch Martin und Watson (2006) untersuchen den Rebound-Effekt nach der energetischen Sanierung der Gebäudehülle und den Einfluss einer allfälligen Sanierungsprämie.

**Rebound-Effekt bei Raumheizung je nach Einkommenskategorie.** Nach einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle reduzieren sich die marginalen Heizkosten, was sich zum Beispiel durch einen Rebound-Effekt in der Form höherer Raumtemperaturen im Winter äußern könnte. Je nachdem, ob ein ökonometrischer „top-down“-Ansatz verwendet wird oder eine „bottom-up“-Berechnung, weichen die Zahlen zum identifizierten direkten Rebound-Effekt meist stark voneinander ab:

- ▶ Hong et al. (2006) fanden mit einem top-down-Ansatz bei einem UK-Gebäude-Sanierungsprogramm Rebound-Effekte über 50% für Haushalte mit einem niedrigen Einkommen.
- ▶ Madlener und Hauertmann (2011) schätzen für 11.000 deutsche Haushalte den direkten Rebound-Effekt bei Raumheizung anhand der Energiepreiselastizität der Energienachfrage. Sie differenzieren ihre Ergebnisse für Hauseigentümer und Mieter einerseits, und nach Höhe des Einkommens innerhalb dieser Kategorien andererseits. Die Autoren stellen generell für Mieter einen viel höheren Rebound-Effekt fest als für Hauseigentümer und unter den Mietern bei den Haushalten mit niedrigerem Einkommen: in dieser Kategorie von Haushalten wird das Einsparpotenzial durch eine energieeffizientere Heizung fast um die Hälfte gekürzt. Die Autoren begründen diese Feststellung damit, dass der Rebound-Effekt höher ist, wenn die durchschnittliche Zimmertemperatur weiter von der Komforttemperatur entfernt ist, was bei den Mietern mit niedrigerem Einkommen häufiger der Fall ist als bei Haushalten mit einem höherem Einkommen.
- ▶ Schwarz und Taylor (1995) verwenden Querschnittsdaten von 1.188 US-Haushalten in Einfamilienhäusern. Es wurde versucht, die in der Studie erfasste Einstellung des Raumthermostaten vorherzusagen über die unabhängigen Variablen Energiepreis, Außentemperatur, Energiebezugsfläche, Haushaltseinkommen und Dämmung der Gebäudehülle. Junge oder ältere Haushaltangehörige sind ebenfalls wichtige Determinanten. Es wurde ein Anstieg der mittleren Thermostateneinstellung um nur 0,02° C festgestellt und daraus „bottom-up“ ein Werteintervall für den direkten Rebound-Effekt von 0,6% bis 3,4% ermittelt, was unterhalb der meisten Schätzungen aus der Literatur ist.
- ▶ Hseuh und Gerner (1993) verwenden Daten von 1.281 U.S.-Einfamilienhäusern ab 1981. Mit einem ökonometrischen (top-down) Modell ermitteln sie direkte kurzfristige Rebound-Effekte von 35% (bei elektrischer Raumheizung) bis 58% (Gasheizung).
- ▶ Klein (1987; 1988) verwendet einen vergleichbaren Datensatz von mehr als 2.000 U.S.-Haushalten aus 1973 und 1981 (d.h. von der ersten Erdölkrise beeinflusst), kombiniert mit ingenieurtechnischen Modellen der Gebäudehülle und des Wärmebedarfs sowie von Kapitalkosten

für verschiedene Heizungstechnologien. Damit können die Zielgrößen Gesamtkosten für Raumheizung, Anteil der Energiekosten daran sowie Bedarf an Raumheizung getrennt betrachtet werden. Er ermittelt so top-down einen direkten Rebound-Effekt von ca. 27%. Preis-induzierte Rückgänge des Energiebedarfs für Raumheizung können zur Hälfte auf einen Nachfragerückgang nach Raumheizung, zur anderen Hälfte auf bessere Gebäudehüllen zurückgeführt werden (d.h. eine Substitution von Energiekosten durch Kapital). Die Simulation zeigt auch den größeren Einfluss von steigenden Energiepreisen auf Haushalte mit niedrigem Einkommen.

- ▶ Guertin et al. (2003) verwenden ausführliche Befragungsdaten von 440 kanadischen Einfamilienhäusern und kombinieren ein ökonometrisches Modell mit einer „bottom-up“ Berechnung des Energiebedarfs für Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtung und Haushaltsgeräte. Sie gelangen zu langfristigen Rebound-Effekten zwischen 29% (hohen Einkommen) und 47% (niedrige Einkommenskategorien). Den größten Einfluss auf die Unterschiede zwischen den Einkommenskategorien hat die Raumwärme. Die Studie konnte eine klare Abhängigkeit der eingesetzten Brenntechnologie vom Einkommen zeigen. Haushalte mit höherem Einkommen investierten mehr in effizientere Brenner; sie sparen damit mehr Energie ein, die Rebound-Effekte können aber größer ausfallen.
- ▶ Haas und Biermayer (2000) verwenden mehrere Ansätze, um den direkten Rebound-Effekt bei 11 energetisch sanierten österreichischen Mehrfamilienhäusern zu schätzen; die Einschränkungen der Ansätze, deren Resultate sich in der Tendenz unterstützen, werden erläutert. Sie schätzen den Rebound-Effekt auf 15% bis 30%. Sie betonen die Wichtigkeit von Mindestanforderungen für Elemente der Gebäudehülle sowie – in Zeiten niedriger Energiepreise (die zum Zeitpunkt der Studie ein historisches Tief erreicht hatten) – zusätzliche finanzielle Anreize für die Sanierung der Gebäudehülle.
- ▶ Douthitt (1986) untersucht 370 kanadische Haushalte nach der energetischen Sanierung der Gebäudehülle. Er findet eine eher hohe Preiselastizität der Erdgasnachfrage für Raumheizungs- und Warmwasserzwecken und gelangt zu direkten Rebound-Effekten von kurzfristig ca. 15% und langfristig 25% bis 60%.

#### Studien zu **Energieverhalten und Politikinstrumente zu dessen Beeinflussung:**

- ▶ Linden et al. (2006) untersucht Energieverhalten im Privathaushalt und Politik-Instrumente für Verhaltensänderungen. Trotz den starken Informationskampagnen nach den beiden Ölkrisen und der Einführung von Energie-Labeln auf Geräten sind viele Haushalte immer noch „energieunbewusst“ und mehrere energieeffiziente Verhaltensweisen werden nicht wegen des Energiesparens angenommen, sondern rein aus Zeitmangel.
- ▶ Haas et al. (1998) hat die relative Bedeutung der Gebäudehüllenqualität, des Energie-Verhaltens, des Wetters und des Gebäudetyps auf die resultierende Raumwärme-Nachfrage untersucht. Insgesamt wird ein direkter Rebound von 15% bis 30% identifiziert. Die politischen Schlussfolgerungen decken sich mit jenen aus Haas und Biermayer (2000).
- ▶ Hens et al. (2010) untersuchen den Zusammenhang zwischen angenommenen und tatsächlich gemessenen Raumtemperaturen in verschiedenen Raumtypen in energetisch sanierten und nicht-sanierten Gebäuden. Sie zeigen auch den Zusammenhang auf zwischen Energiepreisen und dem direkten Rebound-Effekt; dieser Zusammenhang ist nicht sehr ausgeprägt, der Rebound-Effekt tritt meist nach einer Effizienzsteigerung auf, auch wenn die Energiepreise niedrig sind.

**Energiebedarf für Raumkühlung und Diskontraten je Einkommensklasse.** Hausman (1979) untersucht den Trade-off zwischen höheren Anschaffungspreisen für energieeffiziente Kühlgeräte und höheren Betriebskosten. Modellgestützt wird eine nur niedrige Preiselastizität der Stromnachfrage für Raumkühlung gefunden. Privatkonsumenten verwenden eine (sehr hohe) Diskontratte von ca.

20% beim Kauf von Raumkühlungsgeräten; die Diskontrate verhält sich invers zum Einkommen (niedrige Einkommensklassen verwenden höhere Diskontraten).

**Rebound-Effekte in Frankreich.** Das französische Umweltministerium, MEDDE (2010) hat weitere Evidenz für den Rebound-Effekt im Zusammenhang mit Raumwärme sowie Straßentransport gebracht. Verwendet werden Input-Output-Tabellen. Sie zeigen, dass von 1990 bis 2007 auf Produktbasis namhafte Effizienzfortschritte stattgefunden haben, welche aber vollständig kompensiert wurden durch erhöhte Produktion und Nachfrage. Eine weitere französische Studie, ADEME (2010), wird die direkten und indirekten Rebound-Effekte durch direkte Messung von Raumwärme- und Warmwasser-Bedarf von französischen Haushalten erfassen.

**Energiebedarf für Warmwasser.** Guertin et al. (2003) schätzen den direkten Rebound-Effekt von Durchflussbegrenzern („Sparbrausen“) auf ca. 36%, was höher ist als aus anderen U.S.-Metastudien gemäß Nadel (1993, zitiert durch Maxwell und McAndrew 2011). Gemäß Green Building Magazine (2008) sollten Durchflussbegrenzer mindestens 8 Liter pro Minute zuweisen, andernfalls nimmt die Nutzerakzeptanz stark ab und die Gerätezusätze werden wieder demontiert oder ersetzt.

### **Messschwierigkeiten bei Studien im Bereich HLK.**

- ▶ Hartman (1988) betont, dass die meisten Studien zur Wirksamkeit von Energiespar-Programmen nicht auf den „self-selection bias“ untersucht wurden, bzw. dessen Effekt nicht separat abgeschätzt wurde. „Self-selection bias“ kann dann entstehen, wenn die im Rahmen einer Stichprobe untersuchten Personen nicht zufällig oder systematisch ausgewählt werden, sondern freiwillig entscheiden können ob sie zur Stichprobe gehören möchten. Dies führt dazu, dass die Stichprobe nicht unbedingt repräsentativ ist und somit die tatsächliche Wirksamkeit von Energiesparprogrammen deshalb deutlich niedriger sein kann, als er in solchen Studien ausgewiesen wird.
- ▶ Berry (1983) analysiert die mittleren Unterschiede zwischen Gruppen von Personen, welche freiwillig bei Energiesparprogrammen von Energieversorgern teilnehmen, und Nichtteilnehmenden. Es werden hier drei Ansätze vorgeschlagen, um den oben bereits beschriebenen „self-selection bias“ umzugehen: (1) Verwendung einer Kontrollgruppe; (2) Verwendung einer geschichteten Stichprobe im Hinblick auf die vorhergesagte Energienachfrage des Haushalts; (3) multivariate Regressionsanalysen.

**HLK-Studie mit Fokus auf Politikausgestaltung.** Biermayr und Schriegl (2005) unterstreichen die Bedeutung von Rebound-Effekten im Bereich der Wohnbausanierung und bestätigen weitestgehend die Erkenntnisse der nationalen und internationalen Literatur. Es zeigt sich, dass die Möglichkeiten, Rebound-Effekte zu reduzieren, beschränkt sind, wenn die Komfortgewinne der Gebäudenutzer gewahrt werden sollen. Dennoch kann im technischen Bereich, beispielsweise durch eine Optimierung des Heizsystems, aber auch durch intelligente Regelungen, welche den Spielraum der Gebäudenutzer auf ein sinnvolles Maß beschränken, Einfluss auf den Rebound-Effekt genommen werden. Des Weiteren sind auch förderpolitische Maßnahmen möglich, welche die Ursachen von strukturellen Rebound-Effekten, wie die Wohnflächenvergrößerung, beeinflussen.

### **4.3.5 Beleuchtung**

**Wird sich der Rebound bei Beleuchtung fortsetzen?** Die Zunahme der Nachfrage nach Beleuchtung ist eines der klassischen Fallbeispiele zur Illustration des Zusammenspiels zwischen technischem Fortschritt, Energiepreisen, neuen Energieträgern, Energie-Dienstleistungen und Rebound-Effekten (Bowers 1998); mit sinkenden Kosten und besserer Technik kamen neue Energiedienstleistungen erst hinzu (Außenbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung). Im Vereinigten Königreich kam es von 1800 bis 2000 um einen Anstieg der Beleuchtung um den Faktor 25.000 (Fouquet und Pearson 2006). Eine Betrachtung auf der Basis historischer Daten führt damit zwangsläufig zu hohen direkten

Rebound-Effekten; jedoch argumentieren Fouquet und Pearson (2006), dass eine gewisse Sättigung erreicht und die Zuwachsraten in den nächsten Jahren geringer ausfallen dürften. Andererseits betonen Tsao et al. (2010), dass auch die aktuell neuen Technologien (halbleitende LEDs, organische OLED) zu neuen Möglichkeiten und Effizienzstufen und damit abermals zu einem Anstieg der Nachfrage nach Beleuchtung führen könnten, welcher einhergehen würde mit einem Produktionsanstieg, aber auch mit einer Energiemehrnachfrage und beträchtlichen Ressourcen für die benötigte Elektronik.

In einer Breitenbefragung von Haushalten in Deutschland wurden von Schleich et al. (2014) zur Berechnung von Rebound-Effekten technische Angaben zum alten und neuen Leuchtmittel beim letzten Lampentausch (innerhalb der letzten zwei Jahre) erhoben. Für die effizienteren Leuchtmittel wurde der direkte Rebound-Effekt über folgende Gleichung berechnet:  $1 - (\text{beobachtete Stromersparnis}) / (\text{technisch mögliche Stromersparnis})$ . Im Durchschnitt ergab sich ein moderater Rebound-Effekt von 6% für alle Leuchtmittel (N=603), und 3% für ein Hauptleuchtmittel im Wohn-Essbereich (N=131). Über eine Komponentenzerlegung konnte dieser Effekt für alle Leuchtmittel (für Hauptleuchtmittel) zu ca. 60% einer gesteigerten Helligkeit und zu ca. 40% (60% für Hauptleuchtmittel) einer längeren Brenndauer zugeordnet werden. Diese Quantifizierung des Helligkeits-Effekts sowie die Komponentenzerlegung stellen wesentliche Ergänzungen der empirischen Literatur zum Rebound-Effekt bei der Beleuchtung dar, die bisher nur den Brenndauer-Effekt umfasst.

**Progressive Gestaltung relativer Effizienzvorschriften.** Callwell (2010) hat für die letzten 20 Jahre eine Nachfragezunahme nach Beleuchtung um 20% festgestellt. Er betont, dass Effizienzstandards progressiv ausgelegt werden sollten, d.h. ein Flachbildschirmfernseher sollte pro Quadratmeter Bildschirmfläche weniger Energie verbrauchen dürfen, je größer die Bildschirmdiagonale ist. Andernfalls wird der direkte Rebound-Effekt große Anteile der theoretisch möglichen Energieeinsparungen kompensieren.

**Rebound wegen Rückorientierung.** Davis (2010) thematisiert Rebound-Effekte, wenn Nutzer zu klassischen Glühlampen zurückkehren, weil ihnen das Lichtspektrum von Fluoreszenzlampen nicht zusagt oder diese (z.B. wegen der Größe) Anwendungseinschränkungen unterworfen sind (ein anderer Grund für die Rückorientierung kann Reaktanz bzw. Dissonanzvermeidung sein, d.h. die Konsumenten sperren sich mit neuen persönlichen Normen gegen vorgeschriebene Verhaltensänderungen wie z.B. ein Glühlampen-Verkaufsverbot; die Quecksilber-in-Energiesparlampen-Diskussion in Deutschland ist ein Beispiel dafür). Die Studie zeigt, dass treibende Faktoren für eine Rückorientierung zu klassischen Glühlampen Ersatzkosten, technologische Verfügbarkeit, Gewohnheiten und persönliche Normen sowie Unzufriedenheit mit der neuen Technologie, auch infolge wahrgenommener Kinderkrankheiten, sind. Diese Faktoren sind im Hinblick auf den Markteintritt von LED-Beleuchtung zu berücksichtigen.

**Mögliche Mehrnachfrage der LED-Technologie.** Tsao et al. (2010) untersuchen, welche zusätzlichen Anwendungen und welche Mehrnachfrage nach Licht infolge der LED-Technologie entstehen könnten. Die Autoren finden ein hohes Nachfragepotential nach Licht, wenn effizientere und kostengünstigere Beleuchtungstechnologien entwickelt werden. Diese erhöhte Nachfrage nach Licht bietet zusätzliches Potential für die Steigerung der Produktivität der Menschheit, die wiederum eine Steigerung des damit verbundenen Energieverbrauchs mit sich zieht. Die Autoren nennen Sättigungseffekte als mögliche Einschränkung dieser Auswirkungen von effizienterer Beleuchtung sowie die Möglichkeit, regulatorisch einen Einfluss auf die Nutzung von effizienter Beleuchtung zu nehmen.

**Heat Replacement Effect.** Maxwell (2011) fasst unter dem „Heat Replacement Effect“ die reduzierten Wärmeverluste von effizienteren elektrischen Verbrauchern zusammen, die in beheizten Gebäuden zum Einsatz kommen. Es wird argumentiert, dass eine Klassifikation als Rebound-Effekt fraglich sei, weil es sich um eine technische Folge einer Thermostaten-Einstellung handelt und nicht um eine von einem Konsumenten ausgehende Verhaltensänderung. Der HRE ist im Rahmen der Rebound-

Diskussion teilweise relevant, nämlich dann, wenn es im Bereich elektrischer Apparate und Beleuchtung um ex-ante-Schätzungen (ingenieurwissenschaftliche Schätzungen) der erwarteten Energieeinsparungen von Effizienzmaßnahmen und -programmen geht; hier wären die Einsparungen stets auch um den HRE zu korrigieren. Für die konkrete Ausgestaltung einzelner Politikmaßnahmen hat der HRE jedoch keine Bedeutung.

#### 4.3.6 Mobilität

**Direkter Rebound (Autokilometer).** Greene et al. (1999b) schätzen die Mehrnachfrage nach Autokilometern ab, wobei sie die Steigerung der Energieeffizienz von PKW als exogen annehmen. Sie schätzen den direkten Rebound-Effekt der gefahrenen Autokilometer für Haushalte der USA anhand von Umfragedaten in Abstand von je ca. drei Jahren über einen gesamten Zeitraum von 15 Jahren. Im Durchschnitt ergibt sich aus ihren Schätzungen ein niedriger direkter Rebound-Effekt von 23% für alle Haushalte, die einen bis fünf PKW besitzen.

**Direkter Rebound (Autokilometer vs. Kraftstoffnachfrage).** Über eine Metaanalyse von 51 empirischen Studien erhalten Hanley et al. (2002) die langfristige Preiselastizität der Kraftstoffnachfrage. Auf dieser Basis erhalten sie eine obere Grenze für den Rebound-Effekt von 64%. Zum Vergleich zeigen drei Schätzungen der langfristigen Preiselastizität der Autokilometer eine obere Grenze von 30%. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten zeigt die Bedeutung der Kraftstoffpreise für die langfristige Entwicklung der Energieeffizienz. Dieser Vergleich zeigt auch, dass die Verwendung der Kraftstoffnachfrage als Basis für die empirische Abschätzung des direkten Rebound-Effekts zu einer systematischen Überschätzung führen würde. Es ist zu bemerken, dass die Metaanalyse von Hanley et al. nicht die gleichen Definitionen für Rebound-Effekte verwendet wie der vorliegende Bericht. Was in der Metaanalyse als Rebound-Effekt aufgefasst wird, ist gemäß der ausdifferenzierten Definition dieses Berichts größtenteils eine wachstumsinduzierte Mehrnachfrage.

**Benzinpreiselastizität.** Graham und Glaister (2002a) untersuchen Motorradfahrer bezüglich ihrer Preissensitivität auf Benzinpreisveränderungen und den damit einhergehenden Einkommens- und Preiseffekten. Die Ergebnisse zeigten beträchtliche Unterschiede zwischen den kurz- und langfristigen Benzinpreis-Elastizitäten, je nach geographischem Bezug der Daten und je nach angewandter Methode für die Schätzung. Allerdings ergibt sich aus dem Vergleich, dass langfristige Preiselastizitäten meistens zwischen -0,6 und -0,8 liegen, wohingegen kurzfristige Preiselastizitäten der Nachfrage nach Benzin mit -0,2 bis -0,3 ein viel geringeres Ausmaß haben. Dies zeugt von einer zeitlichen Verzögerung der Anpassung der Nachfrage nach Benzin an Preisveränderungen, da die Veränderung langfristig höher ausfällt als kurzfristig. In der Studie wird darüber hinaus festgestellt, dass Benzinpreisveränderungen sich mehr auf die Menge an verbrauchtem Benzin auswirkt als auf das Verkehrsvolumen. Die Einkommenselastizität der Nachfrage nach PKWs scheint laut der Studie sehr hoch zu sein, weshalb Benzinpreise stärker ansteigen müssten als das Einkommen, um die Nachfrage nach Benzin zu stabilisieren.

**Einfluss von unabhängigen Variablen auf Benzinnachfragemodelle.** Espey (1998) geht anhand einer Meta-Analyse auf die Frage ein, ob es Faktoren gibt, welche Schätzungen für Preis- und Einkommenselastizitäten in Benzinnachfrage-Studien beeinflussen. Dafür wurden in vier ökonometrischen Modellen die in den Studien verschiedenen kurz- und langfristigen Elastizitäten als abhängige Variablen benutzt und diese in Bezug auf unabhängige Variablen wie der funktionalen Form, Lag-Struktur, Zeitspanne, nationale Umstände und weitere Eigenschaften des jeweils eingesetzten Schätzungsverfahrens untersucht. Espey fand heraus, dass die in den Studien aufgeführten Elastizitäten stark auf Fahrzeugbesitz-Veränderungen reagierten. Ebenso überschätzen statische Modelle die kurzfristigen Elastizitäten, während die langfristigen Elastizitäten unterschätzt werden.

**Preisasymmetrien.** In der Arbeit von Gately (1992) geht es um die Preisreversibilität der Benzinachfrage im Straßenverkehr. Die Arbeit stützt sich auf ein ökonomisches Modell, welches Instru-

mente der Preiszerlegung zur Messung von verschiedenen Preiserhöhungen und -senkungen verwendet, was daraufhin das Testen von irreversiblen Nachfrageverläufen sowie des allfälligen Auftretens von Hysterisis ermöglichte. Die Ergebnisse zeigten, dass Konsumenten nicht gleich auf Preisveränderungen reagieren und die Höhe und Zeitspanne der Preiserhöhung bzw. -senkung nicht zwingend die Nachfrage beeinflusst. Dies bedeutet auch, dass das angenommene Symmetrieverhalten in ökonomischen Modellen zum Beispiel auch einseitige Elastizitätsschätzungen hervorbringen könnte. Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass diese Preisasymmetrien bedeutende Auswirkungen auf die Benzinnachfrage, die Zunahme vom Straßenverkehr, Preiselastizitätsschätzungen und auf preisabhängige Transportregelungen haben könnten. Für Deutschland konnten Frondel und Vance (2013) allerdings keine asymmetrische Reaktion des Verhaltens auf Preiserhöhungen bzw. Preissenkungen feststellen. In ihrer Studie betrachten sie Daten zum Mobilitätsverhalten von deutschen Haushalten im Zeitraum 1997 bis 2009, gemessen durch die Benzinpreiselastizität der Mobilitätsnachfrage. Sie messen einen Rebound-Effekt von 58% und stellen zusätzlich fest, dass Veränderungen im Mobilitätsverhalten nach Benzinpreiserhöhungen vollkommen aufgehoben zu sein scheinen, wenn die Preise wieder zurückgehen.

**Hohe Benzinsteuern wegen schwachem Rebound.** Greene (1992) analysierte den Rebound-Effekt im Fahrzeugverkehr in den Vereinigten Staaten zwischen den Jahren 1966 und 1989. Die Ergebnisse zeigten, dass der Rebound-Effekt zwischen 5 und 15% lag und somit eher schwach ausgeprägt war. Ebenfalls war interessant, dass diese Zahlen vor allem auf den kurzfristigen Rebound-Effekt zurückzuführen waren; es zeigten sich keine signifikanten langfristigen Effekte. Daraus lässt sich schließen, dass die möglichen Energieeinsparungen durch effizientere Fahrzeuge nur geringfügig durch längere Fahrtstrecken verringert werden könnten und dass wegen der geringen Preiselastizität nur eine relativ hohe Benzinsteuer einen Einfluss auf den verminderten Gebrauch von Fahrzeugen haben könnte.

**Kurz- versus langfristiger Rebound-Effekt.** Jones (1993) baut auf die Arbeiten von Greene (1992) auf, formuliert aber andere statistische Testmodelle. Dies führt jeweils zu vergleichbaren eher niedrigen kurzfristigen Rebound-Effekten, lässt aber je nach Modellwahl langfristige Rebound-Effekte bis 30% als möglich erscheinen.

**Einkommenseffekt.** Small und van Dender (2005) schätzen den Rebound-Effekt für Fahrzeuge in verschiedenen US-Staaten zwischen 1966 und 2001 und analysieren diesen hinsichtlich des Einkommens. Dabei erhalten sie kurz- und langfristige Rebound-Effekte zwischen 4,7% und 22%, wobei die Stärke des Effekts bei hohem Einkommen abnimmt. Gemäß Small und Van Dender reduziert sich der kurzfristige Rebound-Effekt mit steigendem Einkommen; bei einer Einkommenserhöhung von 10% beispielsweise fällt der kurzfristige Rebound-Effekt um fast 1 Prozent-Punkt geringer aus.

**Anpassung auf Benzinpreisveränderungen.** Puller und Greening (1999) untersuchen die Dynamik und Komposition von Anpassungen in verschiedenen amerikanischen Haushalten in Bezug auf den realen Preis von Benzin. Während die insgesamten Preiselastizitäts-Schätzungen mit den Literaturergebnissen übereinstimmen, stellen Puller und Greening fest, dass die Konsumenten ihre Ausgaben anfänglich viel stärker verringern, als aufgrund der gesamten Elastizität anzunehmen wäre.

**Steuerprogression.** West (2004) analysiert in seiner Arbeit Einkommensverteilungseffekte, indem die gesamte Nachfrage nach Fahrzeugen und Fahrdistanz anhand einer Konsumentenumfrage geschätzt wird. Neben der Untersuchung des Einflusses der Progression von Benzinsteuern und anderen von der gefahrenen Strecke abhängigen Steuern (Road Pricing, Straßenzölle, Schwerverkehrsabgabe usw.) weist West auch darauf hin, dass Steuern auf die Größe des Motors oder Subventionen für den Kauf von neuen Fahrzeugen wesentlich regressiver sind als die Benzinsteuer auf die Fahrleistung.

**Methode zur Berücksichtigung von Rebound in Lebenszyklusanalysen (LCA).** Girod et al. (2009) schlagen eine Methode vor, bei der die übliche Annahme der konstanten Nachfrage (wenn eine Le-

benszyklusanalyse Produkt A mit Produkt B vergleicht, wird angenommen, dass beide in gleicher Menge konsumiert würden) durch eine "Konsum wie üblich"-Annahme ersetzt wird. Sie zeigen anhand eines detaillierten Datensatzes zum Konsum von über 12.000 Haushalten, wie der marginale Konsum lautet und in eine LCA aufzunehmen wäre. Die Ergebnisse zeigen, dass Haushalte aus Umweltsicht sehr wohl kohärent konsumieren: Umweltschonendes Konsumverhalten in einzelnen Sektoren (wie Ernährung oder Mobilität) kann zu indirekten Rebound-Effekten führen, der marginale zusätzliche Konsum findet aber im Durchschnitt in Ressourcen-extensiveren Sektoren statt, so dass der Rebound-Effekt zwar vorhanden ist, es aber nicht zu backfire kommt.

**Analyse von Rebound-Effekten bei Hybridfahrzeugen mittels Kontrollgruppen.** De Haan et al. (2006; 2007) untersuchen, ob direkte Rebound-Effekte beim Kauf von neuen Hybridautos (entweder Zunahme der Autogröße oder Zunahme der Anzahl Autos pro Haushalte) vorliegen. Dazu werden 367 Toyota Prius-Käufer mit je 500 Käufern einer nach soziodemographischen Kriterien vergleichbaren Kontrollgruppe verglichen. Die Hybridkäufer zeigen eine Abnahme der Autogröße, während die Kontrollgruppe eine Zunahme aufweist. Die Hybridkäufer zeigen auch weniger Erst- oder Zusatzkäufe im Vergleich zur Kontrollgruppe. Demnach können keine direkten Rebound-Effekte nachgewiesen werden. Nicht untersucht wurden hier die gefahrenen Kilometer. Dies wurde in Dickinson und de Haan (2009) für das Hybridfahrzeug Lexus RX400h durchgeführt. Es zeigte sich, dass auch dieser mögliche direkte Rebound-Effekt nicht nachgewiesen werden konnte: In Haushalten mit einem Hybridfahrzeug wurde insgesamt (über alle Autos betrachtet) weniger gefahren; auch das Hybridfahrzeug selber wurde nicht mehr gefahren. Einschränkend sollte festgehalten werden, dass die damals untersuchten Hybridkäufer sicherlich als Pioniere einzustufen sind. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Käufergruppen, namentlich den Massenmarkt, ist nicht a priori gegeben.

**Einfluss des Benzinpreises.** Anhand von national verfügbaren Datenreihen von 1966 bis 2007 über Fahrtdistanzen von privaten Fahrzeugen und leichteren LKWs untersucht Greene (2012) den Rebound-Effekt aus Motoreffizienzgewinnen in Bezug auf seine Existenz, Größe und Stabilität. Greene kommt zwar zum Ergebnis, dass der Benzinpreis einen erheblichen Effekt auf die Fahrtdistanz hat, die erhöhte Motoreffizienz jedoch keinen Einfluss auf die Fahrtdistanz besitzt. Weitere Untersuchungen zeigten, dass der Einfluss des Benzinpreises nicht immer konstant war und dass das Modell von Small und Van Dender (2007) über den verminderten Rebound bei steigendem Einkommen mit seinen Ergebnissen größtenteils übereinstimmte.

**Cross-country Studie über Rebound-Effekte im Straßenverkehr.** Johansson und Schipper (1997) untersuchen in ihrer Arbeit die länderübergreifenden Rebound-Effekte im Straßenverkehr in 12 OECD-Länder. Dafür waren Schätzungen der gesamten Fahrzeugflotte, des durchschnittlichen Benzinverbrauchs und der jährlichen Fahrtdistanz nötig. Während die langfristige Preiselastizität der Benzin-Nachfrage zu einem großen Teil auf die Höhe des Benzinverbrauchs der effizienter werdenen Fahrzeugen zurückzuführen ist, hängt die langfristige Einkommens-Elastizität vor allem von der mittleren Fahrzeuggröße ab. Die Auswirkungen veränderter Steuern auf den Fahrzeugbesitz oder -gebrauch sind nach Johansson und Schipper (1997) zwar bedeutend, jedoch immer noch schwächer als die durch Benzinsteuerveränderungen.

**Potenzial von Benzinsteuer in den USA.** Anhand von Daten von allen amerikanischen Staaten, erstellen Haughton und Sakar (1996) verschiedene Modelle für den Benzinverbrauch pro Meile, die Fahrtdistanz pro Fahrzeuglenker und die Todesfälle pro gefahrene Meile. Die Eigenpreis-Nachfrageelastizität für Benzin wird für die Fälle mit und ohne erhöhte Benzinsteuer errechnet und liegt kurzfristig zwischen  $-0,12$  und  $-0,17$  und langfristig zwischen  $-0,23$  und  $-0,35$ . Als Beispiel wird genannt, dass eine Steuer von US\$ 1 den Autogebrauch um 15–20%, die Fahrtdistanz um 11–12% und Todesfälle um 16–18% verringern würde, während die Steuereinnahmen um jährlich US\$ 100 Milliarden zunehmen würden.

**Rebound-Effekte in Deutschland zwischen 1997 und 2005.** Frondel et al. (2008) analysieren anhand eines Panels über die täglichen Reisedistanzen von Haushalten in Deutschland zwischen 1997 und 2005 den Rebound-Effekt durch Verbesserungen in der Treibstoffeffizienz. Unter Berücksichtigung von drei verschiedenen Rebounddefinitionen, finden Frondel et al. (2008) heraus, dass der Rebound zwischen 57% und 67% liegt, also bedeutend höher als in vorhergehenden Studien. Dieses Resultat lässt sich möglicherweise darauf zurückführen, dass Frondel et al. (2008) nicht zwischen wachstumsinduzierter und effizienz-induzierter Mehrnachfrage unterschieden haben. Frondel et al. (2012) erweitern diese Analyse anhand von Daten aus den folgenden Jahren 2006 bis 2009 und ergänzen sie durch eine vierte Definition des Rebound-Effekts, basierend auf die Benzinpreiselastizität der Mobilitätsnachfrage. Sie untersuchen diese Daten auf Heterogenität des Rebound-Effekts in Bezug auf Einkommen, der Anzahl von Fahrzeugen im Haushalt, den Wohnort in der Stadt oder auf dem Land und der Intensität der Mobilität des Haushalts. Im Gegensatz zu Studien mit Daten aus den USA, die unterschiedliche Rebound-Effekte je nach Einkommensklassen feststellen, finden die Autoren hier nur beim letzten Kriterium eine statistisch signifikante Heterogenität: der Rebound-Effekt ist höher bei Haushalten, die wenig fahren als bei Haushalten, die viel fahren.

**Französisches Bonus-Malus-System für Neuwagen.** Das französische Ministerium für Umwelt, Energie, nachhaltige Entwicklung und maritime Angelegenheiten (MEDDE 2009) untersucht das 2008 in Kraft getretene „*écopastille*“-Bonus-Malus-Modell. Die gesamt-wirtschaftlichen Kosten des Systems können positiv oder negativ sein, je nach Annahme der energetischen Wirkung und der Opportunitätskosten für die staatlichen Mittel. Es wird ein Rebound-Effekt von 20% in Relation zur prognostizierten energetischen Einsparung errechnet.

**Rebound-Effekte in China je Einkommensgruppe.** Wang et al. (2012) schätzen den direkten Rebound im Straßenverkehr in China; dieser nimmt mit zunehmenden Haushaltseinkommen ab. Die verwendete Definition des Rebound-Effekts ist nicht konsistent mit jener der vorliegenden Studie, die Größe von 96% scheint auch für chinesische Verhältnisse unrealistisch.

**Der Einfluss von „soft“ Variablen.** Matiaske et al. (2011) analysieren, inwiefern bestimmte Variablen den Rebound-Effekt beeinflussen. Datenerhebungen des Deutschen Sozioökonomischen Panels (SOEP) von 1998 und 2003 wurden benutzt, um zu zeigen, dass eine erhöhte Motoreffizienz tatsächlich weitere Fahrdistanzen bedeuten und dass sogenannte „soft variables“ wie eine umweltfreundliche Einstellung, Einkommen und Fahrleistung zur Arbeit durchaus einen Einfluss auf das Resultat haben könnten. Ebenfalls kann der Besitz eines Jahrestickets für den öffentlichen Transport die Benutzung des eigenen Fahrzeugs deutlich reduzieren.

**Messschwierigkeiten.** Schipper et al. (1993) untersuchen den Einfluss von Messschwierigkeiten, weil der tatsächliche Kraftstoffverbrauch seitens PKW (unter Abgrenzung von LKW und leichten Nutzfahrzeugen) sowie die pro Fahrzeugkategorie zurückgelegten Distanzen nur ungefähr bekannt sind.

#### 4.3.7 Mobilität-Studien mit einem Fokus auf Politikausgestaltung

**Wirkung der C.A.F.E.-Regulierung.** Goldberg (1996) untersucht die Auswirkungen der Corporate Average Fuel Economy-Vorschriften auf Verkaufspreise, Verkäufe und mittleren Kraftstoffverbrauch, auf der Basis der Verbraucherausgaben-Befragung 1984 bis 1990. Daraus ergibt sich, dass die Nutzung von Fahrzeugen kurzfristig nicht auf Kraftstoff-Preisveränderungen reagiert, dagegen reagiert der Fahrzeugkauf auf Veränderungen der Fahrzeugpreise und der Kraftstoffpreise. Die Auswirkungen von C.A.F.E. werden anderen möglichen Politikmaßnahmen wie z.B. einer Erhöhung der Kraftstoffsteuern gegenübergestellt. Das Ergebnis der Studie zeigt zum einen, dass eine höhere Effizienz nicht unbedingt durch mehr Fahrten ausgeglichen wird. Zum anderen scheinen Politikmaßnahmen, die eine Veränderung der Fahrzeugflotte zu effizienteren Fahrzeugen anstreben, bei gleicher Effektstärke

mit geringeren (politisch eher akzeptierten) Eingriffen verbunden zu sein, als Politikmaßnahmen, die die Kraftstoffnutzung durch Steuererhöhungen beeinflussen.

**Haushalt-Konsumerhebungen und Rebound-Effekte.** Girod und Haan (2009) untersuchen Rebound-Effekte, welche im Zusammenhang mit dem Kauf von neuen Hybridautos auftreten könnten. Sie verwenden außerdem die Einzeldatensätze der Schweizer Einkommens- und Verbrauchserhebung und zeigen eine Methode, wie nationale Erhebungen zu Haushaltskonsum für die Analyse von direkten und indirekten Rebound-Effekten verwendet werden können. Dies erlaubt es, bei der Ausgestaltung politischer Instrumente in einem früheren Stadium die Entstehung von Rebound-Effekten zu antizipieren und damit wenn möglich zu minimieren: Wichtig ist, den marginalen Zusatzkonsum auf Ressourcen-extensive Produkte und Sektoren zu lenken. Information und Labeling sind hier geeignete Politikinstrumente.

**Internalisierung externer Kosten.** Ruzzenenti & Basosi (2008) untersuchen die Internalisierung externer Kosten im Transportsektor als Maßnahme zur Vermeidung von Rebound-Effekten. Sie untersuchen namentlich die Eignung von Straßenzöllen und Straßenbenutzungsgebühren für Gütertransport auf der Basis der Energieeffizienz bzw. der pro Kilometer ausgestoßenen Treibhausgasemissionen. Auch erhöhte Kraftstoffsteuern stellen eine Option dar, wie auch ein weitergehendes Labeling von Konsumgütern mit den damit im Lebenszyklus einhergehenden Umweltbelastungen.

**Rebound als Teil der Bewertung alternativer Politikinstrumente.** Litman (2009) vergleicht vier Ansätze zur Reduktion des Energiebedarfs im Transportsektor; für jeden Ansatz werden die Fahrleistung sowie davon abhängige Größen wie Stau und Unfälle analysiert. Effizienz-Mindestvorschriften sowie die Förderung gewisser alternativer Kraftstoffe können dabei zu einem Anstieg der Fahrleistung führen. Höhere Kraftstoffsteuern führen zu höherer Effizienz und gleichzeitig einer Abnahme der Gesamtfahrleistung. Mobilitätsmanagement kann die deutlichste Abnahme bei der Fahrleistung bewirken. Die meisten herkömmlichen Bewertungsmethoden blenden mögliche Zu- oder Abnahmen der Gesamtfahrleistung aus und führen deshalb zu einer Überbewertung von rein auf Effizienz fokussierten Ansätzen, und unterschätzen die Bedeutung von kombinierten und Mobilitätsmanagement-Ansätzen.

**Mehrverkehr infolge höherer Zeiteffizienz.** Die Erhöhung der Straßenkapazität induziert zusätzliche Fahrten zu Stoßzeiten (Goodwin 1996; Victoria Transport Institute, 2010). Die Erhöhung der Kapazität von Autobahnen generiert zusätzlichen Verkehr und Maßnahmen zur Reduktion des Staus führen zu neuer Überlast an anderen Orten. Das Ausmaß des Mehrverkehrs hängt vom konkreten Fall ab, die Elastizität des Verkehrsaufkommens bezogen auf benötigte Reisezeit beträgt kurzfristig  $-0.5$ , längerfristig bis zu  $-1.0$ . D.h. dass Kapazitätserhöhungen typischerweise zwischen 10% (kurzfristig) und 20% (längerfristig) Mehrverkehr induzieren können, welcher oft auf jenen Straßenverbindungen anfällt, bei denen mithilfe der Kapazitätserhöhung eine Entlastung angestrebt wurde.

**CO<sub>2</sub>-Steuern zur Vermeidung indirekter Rebound-Effekte.** Das Institute of Engineering und Technology (2010) untersucht die Rolle von Rebound-Effekten bei der Suche nach Politikinstrumenten zur Reduktion des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des Verkehrs. Auch wenn die Wirkung von Effizienzmaßnahmen durch Rebound-Effekte teilweise kompensiert wird, ist die Abkehr von Effizienz kein Thema. Namentlich die Einführung von CO<sub>2</sub>-Steuern erscheint als gute Methode zur Vermeidung des indirekten Rebound-Effekts.

**Kilometerabhängige Stadtmautsysteme.** Litman (2006) untersucht, wie die heutige Londoner Stadtmaut („congestion charge“), welche zu jeder Tageszeit gilt und Autos Zugang zur Innenstadt gibt, ohne dabei die zurückgelegten Kilometer zu berücksichtigen, fahrleistungsabhängig gemacht werden könnte. Die Verteuerung des motorisierten Individualverkehrs kann grundsätzlich der Bekämpfung von Rebound-Effekten dienen, wobei der größte Teil der Zunahmen der PKW-Kilometer auf Wachstumseffekte und erhöhte Zeiteffizienz durch schnellere Straßen, nicht jedoch auf Preisvor-

teile infolge effizienterer Antriebe zurückgeführt werden kann und insofern ein energetischer Rebound gar nicht vorliegt. Bei Stadtnautsystemen stehen vor allem die lokale Verkehrs- und allenfalls Luftschadstoff-Situation im Vordergrund, solche Instrumente können dann nicht mehr als Rebound-Eindämmungs-Instrumenten verstanden werden.

**Verkehrszunahme und energetischer Rebound-Effekt.** Mit einem umfassenden Modellansatz versuchen Hymel et al. (2010) zu untersuchen, welche Treiber hinter der Zunahme des motorisierten Individualverkehrs stehen. Neben Fahrkosten und Straßenkapazität wird auch der Einfluss erhöhter Motoreffizienz auf die Entstehung von Staus untersucht. Staus führen erwartungsgemäß zu einem Rückgang der Straßenkilometer, vor allem für höhere Einkommensgruppen. Der Rebound-Effekt nimmt mit zunehmenden Einkommen ab und mit steigendem Kraftstoffpreis zu. Wenn aufgrund effizienterer Fahrzeuge aber die Nachfrage nach motorisiertem Individualverkehr an Orten und zu Zeiten steigt, an denen Staus entstehen, werden durch diesen Rebound-Effekt die Staus noch verstärkt. Dies müsste wiederum zum Rückgang der Nachfrage nach motorisiertem Individualverkehr führen, was den durch effizientere Fahrzeuge entstandenen Rebound-Effekt dämpfen müsste. Die Autoren zeigen allerdings, dass letzterer Einfluss auf den Rebound-Effekt nicht sehr hoch ist.

**Einkommensabhängigkeit des Rebound-Effekts im Straßenverkehr.** Small (2007) wie auch Small und Van Dender (2005) untersuchen Rebound-Effekte auf Basis von U.S.-Daten von 1966 bis 2001, unterscheiden dabei auch endogene Effizienzeffekte und differenzieren den Rebound-Effekt nach Einkommensgruppe, Urbanisierungsgrad und Kraftstoffpreis. Der kurz- und langfristige Rebound-Effekt wird mit 4,5% bis 22% geschätzt, weil allerdings die Einkommen zu- und die Rohölpreise abnahmen, gelangte die gleiche Auswertung für den kürzeren Zeitraum 1997 bis 2001 zu Ergebnissen von nur noch 2,2% bzw. 10,7%.

## 4.4 Unternehmen

### 4.4.1 Allgemeines

**Substitution zwischen den Produktionsfaktoren Kapital, Arbeit sowie Energie und Ressourcen.** Bereits Becker (1965) weist daraufhin, dass die Arbeitskosten in aller Regel viel höher sind als die Energiekosten und dass dieses Verhältnis zunimmt. Damit besteht über den ganzen Zeitraum seit Beginn des 20. Jahrhunderts ein starker Anreiz zur Substitution von Arbeitskosten durch Energie/Ressourcen-Kosten.

**Technologie- vs. Effizienz-orientierte Politikansätze.** Nach Birol et al. (2000) sollten die beiden klassischen sich gegenüberstehenden Politikansätzen, nämlich die Förderung effizienter Technologie und die Besteuerung von Energiebedarf, gleichzeitig weiterentwickelt und koordiniert eingesetzt werden. Die Autoren argumentieren, dass eine politische Einflussnahme nur auf die Energiepreise (z.B. durch Steuern) nicht unbedingt zielführend ist; es sind auch technologische Verbesserungen notwendig, die zum weiteren Wachstum beitragen, auch wenn die realen Energiepreise allmählich steigen. Dieser Instrumenten-Mix funktioniert allerdings nur, wenn zum einen die Preissetzung auf den Märkten relativ transparent erfolgt, eine schnelle Reaktionen auf veränderte strukturelle Gegebenheiten sowie eine schnelle Diffusion neuer Technologien möglich sind. Zum anderen müssen Politikmaßnahmen zur Förderung von Verbesserungen der Energietechnologien vor allem in den Bereichen Grundlagenforschung, Koordination und Diffusion neuer Technologien, weiter gestärkt werden.

**Bestimmung und Ausmaß des gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekts.** Dimitropoulos (2007) untersucht die Bedeutung des gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekts, dessen Größe unter Experten weiterhin umstritten ist. Er führt dies auf das Fehlen eines geeigneten theoretischen Rahmens und nicht-eindeutige historische Evidenz zurück. Er zeigt im Überblick die theoretischen und empirischen Beiträge zum gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekt und versucht die in der Literatur vorhandenen Abweichungen zu erklären. Guerra und Sancho (2010) untersuchen einen neuen Modell-basierten

Ansatz zur Bestimmung des gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekts, und zeigen, dass die Verwendung von ingenieurwissenschaftlichen ex-ante-Einsparpotenzialen in CE-Modellen zu einer Unterschätzung des gesamtwirtschaftlichen sowie eine Überschätzung des direkten Rebound-Effekts führen kann.

**Gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte und Backfire.** Madlener und Alcott (2009) erörtern die Konsequenzen der weiterhin fehlenden akzeptierten Ansätze zur Bestimmung des gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekts. Die Folge ist, dass weiterhin nicht immer klar ist, ob Effizienz-orientierte Politikmaßnahmen zu Rebound-Effekten größer 100% führen können, und damit die Ressourcenbelastung erhöhen, anstatt sie zu reduzieren. Schettkat (2011) weist dazu den bestehenden Forschungsbedarf namentlich auf Seite des Konsumentenverhaltens aus. Beispielsweise sollte festgestellt werden, ob die Preiselastizität der Energienachfrage symmetrisch, asymmetrisch, oder konstant ist, da die Energienachfrage vielleicht bei steigenden oder sinkenden Energiepreise vielleicht nicht gleich reagiert, bzw. kurz- oder langfristig sich auch verändert. Ebenfalls sollten Konsumentenreaktionen bezüglich Preisschwankungen und Informationen genauer berücksichtigt werden. Backfire sieht der Autor allerdings als sehr unwahrscheinlich, wenn die wachstumsbezogenen von den Effizienz-induzierten Effekten getrennt werden.

**Innovationswirkung höherer Energiepreise.** Grubb (1995) untersucht und bestätigt, dass höhere Energiepreise technische Innovationen und höhere Energieeffizienz induzieren, was es wiederum dem Marktregulator (Staat) erlaubt, die beschleunigte Entwicklung bei der Effizienz in entsprechende Regulierungen aufzunehmen.

**Gegenseitige Abhängigkeit von Effizienzförderung und Energiesteuern.** Verhoef und Nijkamp (2003) nehmen sich des doppelten Problems an, dass energiepolitische Politikmaßnahmen zur Erhöhung der Energie-Effizienz einerseits (bekanntlich) zu Rebound-Effekten führen können, und dass andererseits Energiesteuern auch dazu führen können, dass Firmen Effizienzmaßnahmen nicht umsetzen (z.B. wenn die Energiesteuer je Energieträger unterschiedlich ist und die Effizienzmaßnahme einen Wechsel hin zu einem höher besteuerten Energieträger bedeuten würde). Daraus leiten die Autoren ab, dass erst die abgestimmte gleichzeitige Einführung beider Ansätze zu einer volkswirtschaftlich optimalen Marktdurchdringung und neuen, energieeffizienteren Technologien führt.

**Rebound-Effekte bei preisunelastischer Energienachfrage.** Turner (2009a; 2009b) verwendet ein CGE-Modell, um die Bedingungen für das Entstehen gesamtwirtschaftlicher Rebound-Effekte im Vereinigten Königreich zu untersuchen. Frühere Forschung legte die Vermutung nahe, dass auch bei Substitutionelastizitäten nahe bei null Rebound-Effekte auftreten können. Turner (2009a) untersucht dies eingehend und kommt zum Schluss, dass es zwar auch bei einer sehr preisunelastischen (direkten und indirekten) Energienachfrage zu Rebound-Treibern kommen kann, dies aber in der Regel kompensiert wird durch negative Einkommens-, Wettbewerbs- und Desinvestitionseffekte: Allfällige zusätzliche Energienachfrage nach effizienter gewordenen Energiedienstleistungen kostet auch mehr (was in der geringen Preiselastizität zum Ausdruck kommt), diese Gelder fehlen anderswo bzw. machen sich als Opportunitätskosten bemerkbar. Letzteres kann dazu führen, dass die langfristigen Rebound-Effekte kleiner sind als die kurzfristigen, was im Widerspruch steht zu älteren wissenschaftlichen Veröffentlichungen.

**Rebound-Eindämmung je Wirtschaftssektor.** Saunders (2010) stellt eine ökonometrische Analyse des historischen (1960 bis 2005) Energieverbrauchs der USA vor, getrennt nach 30 Sektoren sowie aggregiert. Die Resultate zeigen je Sektor sehr unterschiedliche Ausmaße des direkten Rebound-Effekts. Die Auswirkungen von Politikmaßnahmen zur Eindämmung des Rebound-Effekts haben deshalb sektoral unterschiedliche Auswirkungen. Eine Energie- oder CO<sub>2</sub>-Steuer, welche für alle Sektoren gleich ist, würde einzelne Sektoren möglicherweise benachteiligen. Dies zeigt die Bedeutung der Prüfung sektorscharfer Ansätze.

**Längerfristige indirekte Rebound-Effekte.** Maxwell und McAndrew (2011) betonen, dass gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte modelliert werden sollten, nicht empirisch geschätzt. Barker et al. (2009) untersuchen, welche indirekten Rebound-Effekte bei der Anwendung des CGE-Modells E3MG auftreten, das auch für IPCC AR4 WG3 (2007) verwendet wurde. Dazu wird für den Zeitraum 2013 bis 2030 der Effekt von Politikmaßnahmen in den Transport-, Gebäude- (private Haushalte und Dienstleistungen) und Industriesektoren modelliert. Es wird auf Basis von Schätzungen aus der Literatur ein direkter Rebound-Effekt in Höhe von 10% angenommen. Der gesamte Rebound-Effekt setzt sich im Modell zusammen aus:

- ▶ dem direkten Rebound-Effekt;
- ▶ dem Effekt niedrigerer Energiekosten aufgrund von Effizienzsteigerungen auf die Energienachfrage in den betrachteten Sektoren;
- ▶ dem Effekt höherer Konsumausgaben durch mehr verfügbares Realeinkommen aufgrund von niedrigeren „traditionellen“ Ausgaben für Energie;
- ▶ dem Effekt von zusätzlichen nötigen Investitionen in energieeffiziente Technologien.

Die Autoren kommen mit ihrem Modell auf einen gesamten Rebound-Effekt in Höhe von 31% für den Zeitraum bis 2020 und 52% bis 2030. Dies bedeutet, dass die Energienachfrage um 31%, bzw. 52% höher ausfallen könnte als im WEO 2006 (IEA 2006) oder durch das IPCC AR4 (2007) WG3 vorgesehen wird, da die oben beschriebenen Effekte und ihre Folgen auf die Energienachfrage bisher in diesen Modellen nicht berücksichtigt werden.

**Rebound-Effekt und Environmental Kuznets Curve.** Turner und Hanley (2010) untersuchen den Zusammenhang zwischen Energie-Effizienz und CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf für Schottland. Die Umwelt-Kuznets-Kurve (englisch Environmental Kuznets Curve, EKC) ist eine Hypothese aus der Umweltökonomik über den Zusammenhang zwischen Pro-Kopf-Einkommen eines Landes und Grad der Umweltverschmutzung. Sie besagt, dass die Emissionen verschiedener Umweltschadstoffe in einer sich entwickelnden Volkswirtschaft zunächst bis zu einem Gipfel zunehmen und danach mit weiter zunehmendem Pro-Kopf-Einkommen wieder abnehmen. Ähnlich der eigentlichen Kuznets-Kurve hat die EKC also die Form eines umgekehrten „U“. Die EKC wurde für einige Luftschadstoffe, die direkt die Gesundheit beeinträchtigen, bestätigt, nicht jedoch für Treibhausgasemissionen. Ähnliche Ergebnisse gibt es für weitere Umweltindikatoren, zum Beispiel Abfallmengen, Zugang zu Sanitäreinrichtungen oder Energieverbrauch: Die EKC findet sich eher, wenn Emissionen unmittelbar gesundheitsschädlich sind, nicht jedoch, wenn vor allem externalisierte Schäden auftreten. Turner und Hanley (2010) verwenden ein CGE-Modell, um den Zusammenhang zwischen Effizienz und CO<sub>2</sub>-Emissionen pro BSP zu untersuchen. Als wichtigsten Parameter stellt sich die Preiselastizität der Energienachfrage heraus. Turner et al. (2010) zeigen, dass Backfire-Effekte (Rebound-Effekt größer als 100%) nur dann vorkommen, wenn eine erhöhte Energie-Effizienz in einem sehr energieintensiven Industriesektor auftritt.

**Verhältnis direkter zu indirekter Rebound.** 4CMR (2006) schätzen für das Vereinigte Königreich für den Zeitraum 2005 bis 2010 den direkten bzw. indirekten Rebound-Effekt in den Sektoren Haushalt, Straßenverkehr, Industrie und Dienstleistungen auf 11% (direkt) bzw. 15% (indirekt). Die größten direkten Rebound-Effekte kommen beim Straßenverkehr und in Haushalten vor, die größten indirekten Effekte bei energieintensiven Sektoren bzw. allgemein in der Industrie. Im Dienstleistungssektor sind die Rebound-Effekte am geringsten.

Ein **hybrides Leistungsbündel (HLB)** ist ein im akademischen Diskurs entwickeltes Konzept zur Verwirklichung nachhaltiger Produkte und nachhaltigen Konsums. Anstelle des traditionellen Fokus auf Produkte wird der Fokus auf eine Mischung aus Produkten und produktbasierten Dienstleistungen gelegt. Ein Beispiel ist der lokale Energieversorger, der nicht mehr Heizgas verkauft, sondern die Heizung in sein Eigentum übernimmt, steuert, ggf. modernisiert oder auf andere Energieträger um-

stellt, und für die gewährleistete Raumwärme bezahlt wird. HLB sind gekennzeichnet durch eine integrierte und sich gegenseitig determinierende Planung, Entwicklung, Erbringung und Nutzung von Sach- und Dienstleistungsanteilen (hybride Wertschöpfung) und auf diese Weise zur Lösung eines bestimmten Kundenproblems geeignet. Hybride Leistungsbündel finden nicht nur auf Business-to-Business Ebene Anwendung, sondern können auch im B2C-Bereich (Beispiel: Mobiltelefon mit Vertrag) auftreten. Eine scharfe Trennung zwischen klassischen Produkt und Dienstleistungen ist damit nicht mehr möglich.

HLB sind für die Rebound-Diskussion deshalb relevant, weil Effizienzgewinne nicht beim Konsumenten, sondern beim Anbieter von produktbasierten Dienstleistungen anfallen. Dies verhindert in den meisten Fällen das Auftreten direkter Rebound-Effekte. Im Folgenden wird das Konzept des Hybriden Leistungs-Bündels als Synonym zum Konstrukt des Product Service System (PSS) im angelsächsischen Sprachraum betrachtet.

- ▶ UNEP (2000) betonen das Potenzial von HLB/PSS für deutliche Fortschritte in der Ressourcen-Effizienz, insbesondere dann, wenn Privatkonsumenten für die Adoption neuer effizienter Technologien investieren müssten. Im Rahmen von HLB/PSS werden Investitionen für erhöhte Effizienz früher getätigt, die Preisvorteile liegen beim Anbieter. Der Konsument wählt HLB/PSS, um sich nicht mit den komplexen technischen Optionen bei der Anlagen-Erneuerung auseinandersetzen zu müssen. Generell bietet HLB dem Konsument vor allem mehr Planungssicherheit und weniger finanzielles Risiko. Auf Seiten des Konsumenten gibt es aber (mindestens in jenen Jahren, bis die Investition-Mehrkosten amortisiert wurden) keine Preisänderung und damit keine Treiber für finanziellen Rebound. Auch bei PSS können allerdings (in einem geringeren Ausmaß) Rebound-Effekte auftreten.
- ▶ Mont (2002) analysiert die drei wichtigsten Unsicherheiten, welche der weiteren Verbreitung von PSS-Geschäftsmodellen entgegenstehen. Es sind dies der Wille der beteiligten Firmen (welche bis anhin noch auf rein produktbasierte Geschäftsmodelle ausgerichtet sind), die Akzeptanz seitens der Konsumenten, und die umweltseitigen Auswirkungen. Letztere sind nicht automatisch positiv. Erfolgreiche PSS erfordern deshalb Änderungen in den sozialen Strukturen, um nachhaltig funktionieren zu können. Damit sind PSS eher ein mittel- bis langfristiges Politikinstrument zur Bekämpfung des Rebounds, stehen aber kurzfristig nur in beschränktem Umfang zur Verfügung.

#### 4.4.2 Industrie

**Rebound in der Industrie und Decoupling.** Bentzen (2004) analysiert Zeitreihen für die U.S. Industrie mit der DOLS (dynamic orthogonal least square)-Methode. Unter Berücksichtigung asymmetrischer Preiseffekte wird ein direkter Rebound-Effekt von 24% geschätzt. Zur Gewährleistung einer weiteren Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Endenergieverbrauch schlägt der Autor deshalb vor, Energiesteuern oder andere Politikmaßnahmen einzuführen, mit dem Ziel, dass Energiedienstleistungen trotz höherer Energie-Effizienz gleich teuer bleiben.

**Fallstudie zum Konsum von Fleischwaren und Milchprodukten.** Weidema et al. (2008) untersuchen die Ernährungssektoren Fleisch und Milchprodukte, welche zusammen 24% der gesamten Umweltwirkungen und 12% der Treibhausgasemissionen des Endkonsums der EU27, aber nur 6% des "economic value" ausmachen. Analysiert werden Ansätze zur Reduktion der Ressourcenintensität dieser Ernährungssektoren. Die Studie stellt finanziell induzierte, Zeiteffizienz-, Landbedarfs- und Technologie-bestimmte Rebound-Effekte fest. Die Studie ermittelt einen direkten Rebound-Effekt von 35% für den Konsum von Fleischwaren und Milchprodukte auf Basis der beobachteten Preiselastizitäten. Die meisten potenziellen Politikmaßnahmen führen zu einer Verteuerung der Produktkosten, weil sie externe Kosten internalisieren. Damit sollte der direkte Rebound-Effekt der Politikmaßnahmen in der Regel negativ ausfallen. Die Berücksichtigung von Rebound-Effekten führt bei Politikmaßnahmen in diesen Sektoren also gar zu einer nochmals stärkeren Wirkung.

**Fallstudie zu Ernährung, Bekleidung und Energiedienstleistungen.** Kratena et al. (2010) führen auf Basis der Konsumdaten von 3500 österreichischen Haushalten eine mikroökonomische Studie durch. Sie berechnen Preiselastizitäten (welche dann mit Rebound-Effekten gleichgesetzt werden) für Ernährung, Bekleidung und Energiedienstleistungen (Verkehr, Raumwärme, Strom für Haushaltsgeräte). Preiselastizitäten bis 2020 werden abgeschätzt und mit mutmaßlichen künftigen Effizienzsteigerungen in Verbindung gebracht. Bis 2020 würden zusätzliche Energiesteuern die Rebound-Effekte einzudämmen vermögen. Die Autoren stellen fest, dass ambitionöse Effizienz-Vorschriften und Energiesteuern sich für die Klimapolitik ideal ergänzen.

#### 4.4.3 Dienstleistungen

**Teleworking.** Cremer et al. (2003) untersuchen u.a. den Einfluss moderner Dienstleistungen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010. Eine Zunahme der Telearbeit hat einen höheren Stromverbrauch zur Folge, direkt durch den Strombedarf von Informations- und Kommunikationstechniken sowie indirekt durch Auswirkungen wie Beleuchtung, Raumwärme, Warmwasser und Kochen. Das Gutachten stellt überwiegend eine Verbrauchsverlagerung von den Büros in die privaten Haushalte fest, so dass eine Netto-Energieeinsparung lediglich durch die erwartete Verringerung der Verkehrsleistung für den Weg zur Arbeit zu erwarten ist.

**Arbeitswegverschiebung statt -verzicht bei Teleworking-Modellen.** Rietveld (2011) untersucht Rebound-Effekte, welche den oft behaupteten Energie-Einsparungen namentlich im Verkehr aufgrund vermehrter Heimarbeit entgegenstehen. Solange der Fokus mehr auf Stauvermeidung denn auf Energieeinsparung liegt, werden Heimarbeit und flexiblere Arbeitszeitmodelle eher zu einer Anpassung der Pendelzeiten an die Verkehrsverhältnisse führen denn zu einer Vermeidung von Pendelwegen. Eine konsequentere Umsetzung in den beteiligten Firmen, welche auch interne Reorganisations- und Änderungen beim Personaleinsatz umfasst, ist erforderlich, um eine Reduktion beim Straßenverkehr zu erreichen.

**E-Commerce.** Eine andere moderne Dienstleistung, deren Einfluss auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010 von Cremer et al. (2003) untersucht wird, ist E-Commerce. Der Nettoeffekt des E-Commerce auf den Energieverbrauch ist nicht eindeutig zu bestimmen, aber insbesondere sind Auswirkungen auf den Energiebedarf des Verkehrs durch potenzielle Veränderungen des Mobilitätsverhalten und der Hersteller und Händler durch mögliche Flächenreduktionen zu erwarten.

#### 4.4.4 Transportwesen

**Direkte Rebound-Effekte im Straßengütertransport.** Allgemein ist zu erwarten, dass im preissensitiveren und rationaler kalkulierenden Straßengütertransport die direkten Rebound-Effekte geringer ausfallen als beim Straßenpersonentransport, bei dem dafür die indirekten Rebound-Effekte höher sind.

- ▶ Anson & Turner (2009) identifizierten für den Straßengütertransport in Schottland bei einer Effizienzsteigerung von LKW von 5% sowohl einen direkten (36% kurzfristig und 38% langfristig) wie auch einen indirekten Rebound-Effekte, letzteres unter Anwendung eines CGE-Modells.
- ▶ Graham & Glaister (2002b) haben eine Literaturstudie zu den publizierten Preiselastizitäten des Straßenpersonentransports durchgeführt, wobei 42% der Studien einen Bereich des direkten Rebound-Effekts von 40% bis 80% angeben. Dabei wurden allerdings Studien, welche die wachstumsbedingte Mehrnachfrage auch zum Rebound-Effekt zählen und nicht die Effizienz-induzierte Mehrnachfrage abtrennen, auch in die Literaturstudie aufgenommen.
- ▶ Gately (1990) haben mit einer ökonometrischen Analyse für die USA für den Straßengütertransport einen direkten Rebound-Effekt von 37% geschätzt.

- ▶ Matos und Silva (2011) untersuchen, wie sich höhere Energieeffizienz im Straßengütertransport in reduzierten Transportkosten umsetzt. Basierend auf Daten Portugals von 1987–2006 wurde ein direkter Rebound-Effekt von 24% eruiert. Festgestellt wurde auch, dass Logistikunternehmen betriebliche Effizienzfortschritte höher bewerten als energetische.

## 4.5 Öffentlicher Sektor

**Öffentliche Gebäude.** Nadel (1993) fasst die Resultate mehrerer Evaluationsstudien im Auftrag von U.S.-Stromlieferanten zusammen, welche direkte Rebound-Effekte von maximal 10% für Beleuchtung und von nahe 0% für Warmwasser nahelegen, während die Resultate für Kühlen und Gefrieren kein einheitliches Bild zeigen.

## 4.6 Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)

Mit dem Themenfeld rund um die Entwicklung, Verbreitung und Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ist vielfach die Hoffnung verbunden, dass IKT zu einer nachhaltigeren Lebensweise beitragen kann, indem sie z.B. hilft, Wege zu vermeiden (für soziale Kontakte, Arbeitswege, Dienstreisen etc.), eine bessere Verknüpfung und somit effizientere Nutzung von Verkehrsmitteln im Personen- und Güterverkehr gewährleistet, eine sparsamere Nutzung von Energiedienstleistungen oder papierlose Büros ermöglicht. In den letzten zwei Jahrzehnten haben im Bereich der IKT umfassende Entwicklungen stattgefunden. Viele Anwendungen wie Mobilfunk, Breitbandinternet und integrierte Steuerungsgeräte haben breite Verwendung in der Gesellschaft und in den verschiedensten Lebensbereichen gefunden. Mit der Entwicklung, Verbreitung und Anwendung von IKT, um Bedürfnisse und Prozesse ressourceneffizienter und zeiteffizienter zu befriedigen bzw. abzuwickeln, scheinen aber auch Effekte einherzugehen, welche eine Mehrnachfrage und Mehrnutzung von IKT zur Folge haben. Bei IKT lassen sich dementsprechend verschiedene Bezüge zur Effizienz- und Rebound-Thematik feststellen, welche sowohl energetische als auch nicht-energetische Rohstoffe betreffen, aber auch die Zeit, welche für die Nutzung von IKT aufgewendet wird und so wiederum eng mit dem Energieverbrauch zusammenhängt.

Schettkat (2011) weist zudem darauf hin, dass Zeiteffizienzgewinne für die Reduktion von Arbeitszeit genutzt werden können, dabei aber wiederum zu vermehrten energie- oder ressourcenintensiven Freizeittätigkeiten führen können. Hier kann man – analog zur Betrachtung energetischer Rebound-Effekte – das Vorliegen eines gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekts vermuten. Hilty (2007) sowie Casal et al. (2005) nehmen an, dass durch IKT erzielbare Zeiteffizienzgewinne, beispielsweise im Bereich von Straßen- und Fahrzeugtechnologie, zumindest teilweise in Form von längeren zurückgelegten Entfernungen kompensiert werden – somit kann hier vom Vorliegen eines direkten Rebound-Effekts ausgegangen werden. Zu den allgemeinen Potentialen von IKT, Arbeits- oder Wegzeit effizienter zu nutzen, existiert eine Vielzahl von Studien, auf die in der folgenden Diskussion energetischer und nicht-energetischer Rebound-Effekte im Bereich von IKT jedoch nicht näher eingegangen wird.

Neben einer effizienteren Befriedigung von Prozessen bzw. Bedürfnissen können durch die Nutzung von IKT aber auch erst neue Bedürfnisse und Verhaltensweisen entstehen, welche ohne die technischen Möglichkeiten gar nicht vorhanden bzw. entstanden wären (z.B. die breite Teilnahme an sozialen Netzwerken oder die Verwendung mobiler Endgeräte zur Kommunikation auf Reisewegen). Dies kann wiederum dazu führen, dass die Nutzung von und Nachfrage nach IKT stark ansteigt. Dadurch kann auch der Bedarf an Ressourcen, die zur Herstellung und Nutzung der entsprechenden Geräte benötigt werden, steigen; neben Energie sind dies unter anderem Metalle. Somit können die Energie- und Ressourceneinsparungen, welche durch eine Dematerialisierung der Wertschöpfung und effizientere Befriedigung von Bedürfnissen mit Hilfe von IKT möglich sind, durch solche sekundären Effekte zumindest teilweise aufgehoben zu werden.

Auch der Papierverbrauch in „digitalen“ Büros könnte mit Rebound-Effekten einhergehen. So ist durch die Nutzung des Kommunikationsmediums E-Mail eine Reduktion des Papierverbrauchs zu Kommunikationszwecken möglich. Eine Förderung solcher Kommunikationsformen kann somit als eine Maßnahme zur Förderung einer effizienten Papiernutzung interpretiert werden. Gleichzeitig ermöglicht diese Form der Kommunikation allerdings einen starken Anstieg der Zahl der versendeten Nachrichten, die unter Umständen zum Lesen oder Archivieren wieder ausgedruckt werden, was insgesamt zu einer Steigerung des Papierverbrauchs führen kann. Laut der „Daten zur Umwelt“ des Umweltbundesamts lag der Papierverbrauch in Deutschland im Jahr 1990 bei ca. 194 kg pro Einwohner, 2010 bei ca. 243 kg pro Einwohner (eine Steigerung um jährlich 1,25%). Eine genauere Rebound-Analyse ist aber nicht möglich, weil E-Mails als „general purpose technology“ (siehe Sorell 2007) nicht bloß ein Ersatz für den Papierbrief darstellen, sondern neue Anwendungen und Produkte erlauben.

Insgesamt ist das Feld der wissenschaftlichen Literatur zum durch IKT bedingten Ressourcenverbrauch sehr breit und die meisten Arbeiten stellen keinen direkten Bezug zum Vorliegen von Rebound-Effekten her. Hilty (2007) identifiziert beispielsweise IKT als einen Treiber für Ressourcennachfrage. Durch die zunehmende Digitalisierung von Alltagsgegenständen steigt die Nachfrage nach IKT. Auch wenn bei der Herstellung Ressourceneffizienzgewinne zu verzeichnen sind, führen die neuen Anwendungsbereiche letztendlich zu einem gesteigerten Ressourcenverbrauch. Diese neuen Anwendungsbereiche dürften jedoch keine direkten Effekte der Effizienzverbesserungen sein, sondern vielmehr im Rahmen der generellen technologischen Weiterentwicklung bzw. des generellen Wachstums entstehen. Somit scheinen hier weitgehend parallele Effekte vorzuliegen. Auch auf Basis weiterer Studien zum Umwelt- und Energieverbrauch von IKT, welche unter anderem von Erdmann et al. (2004), Melville (2010) und Malmodin et al. (2010) vorliegen, ist eine Trennung zwischen der exogenen Entwicklung neuer Anwendungsfelder und effizienzbedingter Effekte nicht möglich.

Zusammenfassend lässt sich also vermuten, dass im IKT-Bereich sowohl Steigerungen der Ressourceneffizienz als auch eine zeiteffizientere Gestaltung von Prozessen zum Auftreten von Rebound-Effekten führen können. Treiber für Mehrnachfrage und Mehrverbräuche im IKT-Bereich dürften aber v.a. Wachstumseffekte bzw. die generelle technologische Entwicklung sein, welche nur z.T. auf Effizienzverbesserungen abzielt. Eine umweltpolitische Förderung der Entwicklung und Anwendung von IKT zur Verbesserung des effizienten Einsatzes von Ressourcen findet nur in eng abgesteckten Einsatzfeldern (wie beim „smart-metering“) statt, so dass mögliche Rebound-Effekte hauptsächlich autonome Entwicklungen darstellen. Somit erscheint IKT allgemein für eine weitere Betrachtung im Rahmen dieser Studie nicht als sinnvoll.

**Drahtlosübertragung von Daten in UMTS-Netzwerken.** Laut Faist et al. (2004) sind UMTS-Datensysteme 30% energieeffizienter (pro Datenpaket) geworden, die höhere Bandbreite wird aber zu einem starken Anstieg des Datentransports führen. Laut Girod et al. (2010) ergibt sich daraus einen Anstieg des Energieverbrauchs um 240%. Treibender Faktor ist die höhere Zeiteffizienz. Darüber hinaus werden neue Anwendungen erst ermöglicht (Video-Streaming usw.). Infolgedessen werden Zeitbudgets von anderen Energiedienstleistungen hin zu UMTS-kommunizierenden Geräte transferiert.

**Papierloses Büro und IKT.** Laut Hilty/Ruddy (undatiert) führen IKT-Technologien zu einem Anstieg des Papierverbrauchs im Dienstleistungssektor. Haupttreiber ist die höhere Zeiteffizienz infolge neuer IKT-Lösungen, welche das Auffinden und Ausdrucken von Dokumenten vereinfacht. Auch Schneidewind et al (2002) betonen die Wichtigkeit der Zeiteffizienz bei der Analyse von Ansätzen für Papierlose Arbeitsumgebungen. Die durch die Anwendung der IKT-Technologien ausgelösten organisatorischen und institutionellen Veränderungen sind demnach die relevante Analyseebene.

## 4.7 Rebound-Effekte in Entwicklungsländern

**Global vs. nationaler Footprint.** Druckman und Jackson (2009) untersuchen ebenfalls den Übergang westlicher Volkswirtschaften hin zu größeren Anteilen des Dienstleistungssektors. Die Auslagerung von Herstellungsschritten in Entwicklungsländern kann zu scheinbaren Reduktionen des ökologischen Fußabdrucks führen, weil in den nationalen Systemgrenzen eine Abnahme der Umweltbelastung zu Buche schlägt. Für eine korrekte Rebound-Betrachtung sind eine globale Systemgrenze und der Einbezug aller Lebensphasen eines Produkts zu beachten.

**Direkte Rebound-Effekte bei Klimaanlageanlagen.** Wire (1997) analysiert, inwieweit eine erhöhte Effizienz von tragbaren Klimaanlageanlagen zu einem direkten Rebound-Effekt führen kann. Diese könnten entstehen, weil in Entwicklungsländern der Markt noch nicht gesättigt ist und viele „marginale Konsumenten“ zum erstmaligen Erwerb einer Klimaanlage übergehen könnten, sobald sich deren Energiekosten verringern.

**Rebound-Effekt nach Kohle für Kochzwecke.** Zein-Elabdin (1997) schätzt den mutmaßlichen direkten Rebound-Effekt von energieeffizienten Kochherden in Khartum ab, indem sie die Effizienzsteigerung mit dem Produkt aus der Preiselastizität der Nachfrage nach Kohle und dem Anteil der Kohle am Haushaltbudget multiplizieren. Unter Hinzunahme zusätzlicher indirekter Rebound-Effekte gelangt Zein-Elabdin (1997) zu geschätzten Rebound-Effekten von 42%.

**Rebound-Effekte bei der Umstellung von Kerosin- auf Batterielampen.** Roy (2000) berichtet von einem staatlichen Programm der Gratisdistribution von solarbetriebenen Batterieleuchten in einem ländlichen Dorf in Indien. Infolge ihrer höheren Qualität in Vergleich mit Kerosinlampen verdoppelte sich die Menge der nachgefragten Leuchtstunden von zwei auf vier pro Tag, wobei die Kerosinlampen weiterhin eingesetzt wurden, wenn die Batterien leer waren. Der direkte Rebound-Effekt betrug damit im Mittel 50%. Das „eingesparte“ Kerosin wurde für Kochzwecke verwendet oder verkauft, womit das Programm insgesamt nicht zu Energieeinsparungen führte – dafür zu höherem Wohlstand. Dieses Programm wird als exemplarisch beurteilt für Rahmenbedingungen, bei denen die Nachfrage nach Licht noch nicht gesättigt ist. In solchen Fällen könnte nur eine klare Preispolitik den Rebound-Effekt eindämmen.

**Rebound-Effekte in China.** Ouyang et al. (2010) schätzen das Ausmaß des Rebound-Effekts in China im Bereich von Haushalten auf 30% bis 50%, und leiten daraus ab, dass China seine energiepolitischen Ziele zur Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energiequellen nicht erreichen kann, wenn keine eigenständige Politik zur Eindämmung der Rebound-Effekte eingeführt wird.

## 5 Vier relevante Themenbereiche für den energetischen Rebound-Effekt

In diesem Kapitel versuchen wir, die Einsichten aus den vorangehenden Kapiteln zu bündeln und zu gewichten. Wir zeigen auf, welche vier Themenbereiche beim energetischen Rebound im Vordergrund stehen. In Kap. 8.3 werden dann mögliche Handlungsansätze, teilweise basierend auf den Einsichten aus der wissenschaftlichen Literatur, teilweise basierend auf Expertenschätzungen, skizziert. Im Handbuch (Semmling et al. 2014), das auf dem vorliegenden Bericht aufbaut, werden solche Lösungsstrategien konkreter dargelegt und deren Anwendung, hauptsächlich für Beispiele aus dem Handlungsfeld Energie, beschrieben.

### 5.1 Bedeutung der baulich-betrieblich korrekten Umsetzung von Effizienzmaßnahmen zur Identifikation des eigentlichen Rebound-Effekts

Bei genauerer Analyse vermeintlich hoher empirisch erhobener Rebound-Effekte lässt sich vielfach feststellen, dass entweder die (ingenieurwissenschaftliche) Ex-post-Schätzung zu hoch (zu optimistisch) ist oder aber dass die Effizienzmaßnahmen in baulicher oder betrieblicher Hinsicht gar nicht so umgesetzt wurden, dass die ingenieurwissenschaftlich errechneten Einsparungen überhaupt auftreten konnten.

Die Prüfung der baulich-betrieblich korrekten Umsetzung ist aus zwei Gründen wesentlich: Erstens erlaubt sie die Identifikation des eigentlichen Rebound-Effekts und vermeidet dessen Überschätzung. Zweitens können Erkenntnisse zur verbesserten baulich-betrieblichen Umsetzung gewonnen und damit künftige Effizienzverluste vermieden werden.

Wie in Kapitel 4 erwähnt, werden Rebound-Effekte tendenziell überschätzt. Viele Studien mit dem Ziel einer ex-ante Schätzung beruhen in ihrer Analyse bloß auf Sektor-übergreifenden Unterschieden in den Energiepreisen. Die Identifikation der eigentlichen Rebound-Effekte stellt ein grundlegender Aufgabenbereich beim energetischen Rebound dar, wie in der Literatur zu Rebound oft betont wird. Es geht hier um die *korrekte empirische Quantifizierung* von Rebound-Effekten, der Differenzierung *echter (effizienz-induzierter) Rebound-Effekte* von Mehrnachfrage infolge allgemeinen Wachstums sowie eben um die Identifizierung von *Mängeln* bei der baulichen Umsetzung und im alltäglichen Betrieb der effizienten Technologie.

Namentlich die Bedeutung der baulich-betrieblich korrekten Umsetzung von Effizienzmaßnahmen wird oft unterschätzt. Unter baulich oder betrieblich nicht-optimaler Umsetzung verstehen wir insbesondere mangelhafte Qualität auf der Baustelle (z.B. verdeckte Mängel bei der Isolation von Gebäudehüllen), mangelhafte Konzeption des Gesamtsystems (nicht-optimale oder gänzlich fehlende Abstimmung einzelner Bauteile, z.B. neue Heizkörper mit Thermostaten, aber keine Anpassung der Heizungssteuerung) oder ungenügende Umsetzung durch die Nutzer (z.B. Gebäudebewohner, Geräteanwender oder Autofahrer).

### 5.2 Rebound berücksichtigen bei der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen und Maßnahmenpaketen

Ein weiterer wichtiger Aufgabenbereich ist die Berücksichtigung von Rebound-Effekten bei der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen und Maßnahmenpaketen. Dem sogenannten Rebound-Proofing wird in der Literatur zu Rebound eine wichtige Rolle eingeräumt. So finden sich in vielen Studien Empfehlungen zur Berücksichtigung des Rebound-Effekts bei geplanten Politikmaßnahmen. Entsprechende Empfehlungen konzentrieren sich auf Bereiche, bei denen beispielsweise durch eine Normenverschärfung höhere Effizienzniveaus erzwungen werden, welche zu Kostenreduktionen bei Konsumenten führen und deshalb das Potenzial bergen finanziell begründete Rebound-Effekte zu

verursachen. Auch hier gilt es zwischen autonomer Mehrnachfrage und effizienzinduzierter Mehrnachfrage zu unterscheiden.

Zentral für die Abschätzung der Rebound-Effekte bei Maßnahmenpaketen ist die Identifikation des gesamtwirtschaftlichen Rebounds mithilfe von allgemeinen Gleichgewichtsmodellen.

Einige Studien weisen zudem daraufhin, dass Strategien zur Verhaltensänderung bei Konsumententscheidungen nur erfolgreich sein können, sofern sie deren Gründe ansprechen. Dies gilt sowohl bei Haushalten wie auch bei Unternehmen. Dabei sind drei Hindernisse für energieeffiziente Verhaltensweisen zu berücksichtigen:

- ▶ Mangelndes Wissen
- ▶ Niedrige Priorität des Energiesparens und relativ geringe Energiekosten
- ▶ Mangel an akzeptierten Handlungsalternativen

Eine Überbrückung dieser Hindernisse bedingt umfangreiche Informationsstrategien, die Wissen, Wahrnehmung, Kognitionen, Absichten und persönliche Normen beeinflussen. Auf diese Weise können die Rebound-Effekte für sinnvoll aufeinander abgestimmte Maßnahmenpakete sogar geringer ausfallen als die Summe der Rebound-Effekte der getrennt für sich betrachteten Maßnahmen.

Ein weiterer Aspekt liegt in der Bedeutung der Zeitintensität bei der Erörterung von Rebound-Effekten. Diese ist insbesondere bei den Haushalten von Bedeutung. Dabei kann u.a. von einer Relevanz der Zeitintensivität bei Haushaltstätigkeit gesprochen werden. Einerseits können in diesem Kontext auftretende Rebound-Effekte auf Effizienzsteigerungen zurückgeführt werden. Andererseits fallen entsprechende Effekte bei zeitintensiven Tätigkeiten geringer aus als bei jenen von kurzer Dauer. Dabei zeigen Studien, dass die zeitliche Dimension eine besonders große Rolle spielt, wenn die Energiekosten niedrig und das Einkommensniveau hoch sind, da entsprechend die Opportunitätskosten der Zeit hoch veranschlagt werden.

### **5.3 Rebound-robuste Ausgestaltung von Politikmaßnahmen**

In Zeiten intensiver gesetzgeberischer Tätigkeit im Rahmen der „Energiewende“ sowie der Klimapolitik ist von zentraler Bedeutung, dass neue oder angepasste Politikmaßnahmen möglichst reboundmindernd ausgelegt werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Unterscheidung zwischen autonomen Rebound-Effekten einerseits und Politik-induzierten Rebound-Effekten andererseits. Nur bei letzterer Kategorie ist eine rebound-mindernde Ausgestaltung überhaupt möglich, während für erstere Kategorie nur zusätzliche Politikmaßnahmen zur spezifischen Reduktion allgemeiner Rebound-Effekte in Frage kommen (siehe nächstes Unterkapitel).

In diesem Kontext muss ein besonderes Augenmerk auf die progressive Auslegung von Effizienznormen gelegt werden. Diese können beispielsweise im Kühlbereich und in der Unterhaltungstechnik Anwendung finden. Beispielsweise ist denkbar, dass bei Flachbildschirmfernseher pro Quadratmeter Bildschirmfläche weniger Energie verbraucht werden darf, je größer die Bildschirmdiagonale ist. Ziel ist hier die Verhinderung eines direkten Rebound-Effekts, bei dem Energieeffizienzgewinne durch Investitionen in größere Bildschirmflächen zunichte gemacht werden.

Auch im Kühlbereich können direkte Rebound-Effekte auftreten, wenn aufgrund von Effizienzvorschriften die Kosten für den Betrieb von Kühlanlagen sinken und dadurch „marginale Konsumenten“ zum erstmaligen Erwerb entsprechender Anlagen angeregt werden. Eine Rebound-robuste Ausgestaltung von Politikmaßnahmen kann jedoch schwierig sein, beispielsweise wenn es sich um ein Entwicklungsland handelt. Hier gilt es gesellschaftliche Bedürfnisse und energiepolitische Ziele aufeinander abzustimmen.

## 5.4 Spezifische Maßnahmen zur Bekämpfung von Rebound-Effekten

Lösungsstrategien zur spezifischen Bekämpfung von (autonomen oder durch *andere* Politikinstrumente induzierten) Rebound-Effekten haben das Ziel entsprechende Effekte, die aus Politikmaßnahmen und unreflektierten individuellen Verhaltensweisen resultieren, zu verhindern. Im Vordergrund stehen, nach Auswertung der Literatur, folgende Umstände, die Rebound-Effekte begünstigen:

Schnelle Amortisation von Investitionen in verbesserte Effizienz;

Hohe Einsparungen bei den Nutzungskosten aufgrund verbesserter Effizienz;

Starke Prägung der Nutzung durch Gewohnheiten, welche sich an einer Kenngröße ausrichten, die der höheren Effizienz entgegen steht (Beibehalten von Fensterlüftung, 95°-Wäsche, PKW-Motoren mit großem Hubraum usw.)

Noch unbefriedigte Bedürfnisse im Zusammenhang mit Nutzung einer Ressource

Geringes Problembewusstsein bei Konsumenten, Schwächung von Normen und/oder Fehleinschätzung der Effekte von Maßnahmen sowie Verhaltensänderungen

In Kap. 8.3.2 dieses Berichts sowie im Handbuch (Semmling et al. 2014) werden mögliche Lösungsstrategien formuliert, welche zur spezifischen Bekämpfung allgemeiner Rebound-Effekte geeignet sind (namentlich Energiesteuern sowie Cap-and-trade-Ansätze).

## 6 Auftreten von Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen

Nur wenige Studien beschäftigen sich mit dem Auftreten von Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen. Giljum et al. (2008) erwähnen zwar die allgemeine Existenz von Rebound-Effekten im Bereich von Materialeinsatz und Ressourcenproduktivität. Jedoch findet an dieser Stelle weder eine Quantifizierung des Effekts noch eine weitergehende Betrachtung der Ursachen statt. Auch Hueseman (2003) vermutet, dass der absolute Anstieg des Ressourcenverbrauches trotz Effizienzsteigerungen zumindest teilweise durch Rebound-Effekte verursacht wird. Jedoch erfolgt auch hier keine Betrachtung der Größenordnung oder der Ursachen dieser Effekte. Peters et al. (2012b) diskutieren psychologische Faktoren als Ursachen für Rebound-Effekte allgemeiner Art. Studien, welche die Rolle psychologischer Einflussfaktoren für nicht-energetische Ressourcen untersuchen, liegen allerdings bislang nicht vor. Psychologische Faktoren dürften eher bei Privatkonsumenten eine Rolle spielen; im industriellen Bereich ist hauptsächlich vom Einfluss finanzieller Einflussfaktoren auszugehen, da hier bei Entscheidungen Kosten bzw. Einsparungen explizit betrachtet und i.d.R. ökonomisch rational kalkuliert werden.

Eine Reihe von Veröffentlichungen, die sich mit dem Auftreten von Rebound-Effekten allgemein beschäftigen (z.B. Alcott 2008; Alfredsson 2004; Figge, Hahn 2004), ist der Diskussion von Suffizienz und Effizienz sowie Wachstumsgrenzen zuzuordnen. Diese Diskussion wird im vorliegenden Bericht entsprechend der Abgrenzung des Untersuchungsrahmens nicht aufgegriffen. Da auch in diesen Studien keine weitergehende Analyse deren Größenordnung von Rebound-Effekten und ihrer Ursachen vorgenommen wird, finden sie in der weiteren Betrachtung keine Berücksichtigung.

Die Trennung von autonomen und politisch induzierten Rebound-Effekten ist wichtig, um Bereiche zu identifizieren, in denen Handlungsbedarf zur Vermeidung von Rebound-Effekten bei politischer Effizienzförderung besteht (s. Kapitel 3.1.2). Deswegen ist auch im Bereich nicht-energetischer Ressourcen eine entscheidende Frage, inwieweit Rebound-Effekte infolge umweltpolitischer Maßnahmen entstehen. Maßnahmen zur Förderung der Effizienz bei nicht-energetischen Ressourcen umfassen – wie im Bereich energetischer Ressourcen – ein umfangreiches Instrumentarium. Hierzu sind als relevante politische Maßnahmen neben Effizienzvorschriften (Bahn-Walkowiak et al. 2010) und -standards (Schettkat 2011) auch Nutzungsbeschränkungen (Caps), Substitution, Besteuerung (oder anderweitige Verteuerung) (Schettkat 2011) und freiwillige Selbstverpflichtungen zu nennen. Inwieweit und bei welchen nicht-energetischen Ressourcen diese Instrumente zum Auftreten von Rebound-Effekten führen können, wird in der Literatur nur ansatzweise diskutiert. Bahn-Walkowiak et al. (2010) untersuchen differenzierte Mehrwertsteuersätze zur Förderung eines ressourceneffizienteren Konsums, beschränken sich aber auf energetische Ressourcen. Giljum et al. (2008) empfehlen die Einführung einer Materialeinsatzsteuer, um Rebound-Effekten im Bereich des Materialeinsatzes und der Ressourcenproduktivität vorzubeugen. Die Effekte einer solchen Steuer werden von den Autoren jedoch nicht weitergehend untersucht.

Im Folgenden werden die Ressourcen Fläche, Rohstoffe sowie Wasser näher betrachtet, inwieweit und unter welchen Voraussetzungen bei Effizienzförderung mit Rebound-Effekten zu rechnen ist. Hierbei werden auf Basis vorliegender Erkenntnisse zu Rebound-Effekten im energetischen Bereich Analogieschlüsse vorgenommen. Das heißt, die Einflussfaktoren, welche für energetische Rebound-Effekte relevant erscheinen, werden hinsichtlich ihrer Rolle für Rebound-Effekte bei den entsprechenden nicht-energetischen Ressourcen diskutiert. Es wird eine allgemeine Abschätzung vorgenommen, unter welchen Voraussetzungen verstärkt mit dem Auftreten von Rebound-Effekten zu rechnen ist.

## 6.1 Fläche

Die kontinuierliche Ausweisung und Inanspruchnahme neuer Siedlungs- und Verkehrsflächen führt zu einer zunehmenden Beanspruchung von Flächen. Mit der Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen gehen zudem Zersiedelungs- und Verinselungsprozesse einher, die vormals zusammenhängende Natur- und Lebensräume zerschneiden. Ziel der Bundesregierung ist, den täglichen Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Deutschland bis zum Jahr 2020 auf 30 Hektar zu begrenzen. Im Zeitraum 2007 bis 2010 lag dieser noch bei 87 ha/Tag (Statistisches Bundesamt 2011). Im Vergleich mit dem Zeitraum 1997–2000 ist der Verbrauch von 129 ha zwar deutlich zurückgegangen, ist aber immer noch weit von der Zielgröße entfernt. Nur durch eine weitere deutliche Verringerung der zusätzlichen Flächeninanspruchnahme sowie eine effizientere Nutzung vorhandener Flächen ist das mittelfristige Flächenverbrauchsziel zu erreichen (UBA 2012).

Zur Bestimmung der Effizienz der baulichen Flächennutzung sind in den §§ 16 ff. der Baunutzungsverordnung verschiedene Messgrößen zum ‚Maß der baulichen Nutzung‘ eines Grundstückes definiert. Das Maß der baulichen Nutzung wird durch die Grundflächenzahl, die Geschossflächenzahl und die Baumassenzahl sowie durch die Anzahl der Vollgeschosse bzw. die Höhe der baulichen Anlage bestimmt. Das zulässige Maß der baulichen Nutzung stellt eine Plangröße dar, die in der Regel nicht voll ausgenutzt wird. Aus diesem Grunde wird in der Literatur die Effizienz der baulichen Nutzung einer Fläche durch die Geschossflächendichte angegeben. Sie stellt die tatsächliche Dichte gemessen in realisierter Geschossfläche bezogen auf die Grundstücksfläche dar (vgl. Siedentop et al 2006, S.44 f.).

Die anhaltend hohe tägliche Flächeninanspruchnahme in Deutschland hängt mit folgenden Faktoren zusammen (vgl. BBSR 2007):

- ▶ wachsende individuelle Wohnflächenansprüche sowie eine steigende Zahl von Einpersonenhaushalten,
- ▶ Flächenansprüche großflächiger Handels- und Dienstleistungsbetriebe,
- ▶ disperse Siedlungsentwicklung durch anhaltende Suburbanisierungsprozesse von Bevölkerung, produzierendem Gewerbe, Handel und zunehmend auch Dienstleistungen,
- ▶ Probleme und Hemmnisse bei der Reaktivierung von Brachen, die parallel zum Baugeschehen "auf der grünen Wiese" in vielen Kernstädten zu einer zunehmenden Dekonzentration führen.

Für eine erfolgreiche Verringerung des Flächenverbrauchs ist von Interesse, inwieweit Maßnahmen zur effizienteren Nutzung von Fläche zu Verhaltensänderungen und einer daraus resultierenden Mehrnachfrage nach Fläche, d.h. zu Rebound-Effekten führen. Diese sind allerdings nicht nur in Hinblick auf das Flächenverbrauchsziel von Interesse, sondern auch in Bezug auf andere umweltpolitische Ziele. So setzt eine effektive Reduktion des Energiebedarfs im Gebäudebereich auf Basis flächenbezogener Kennwerte (wie im Rahmen der Energieeinsparverordnung, welche Höchstwerte für den Primärenergiebedarf bezogen auf die Geschossfläche von Neubauten vorschreibt) voraus, dass diese Fläche unverändert bleibt bzw. nicht ansteigt.

Auch die Art und Weise einer geeigneten landwirtschaftlichen Flächennutzung spielt angesichts der mangelhaften Ernährungssituation in vielen Entwicklungsländern sowie des steigenden Nahrungsmittelbedarfs einer wachsenden Weltbevölkerung eine wichtige Rolle. Um den Nahrungsmittelbedarf zu decken und gleichzeitig einer Ausweitung landwirtschaftlich genutzter Fläche entgegenzuwirken, werden Möglichkeiten einer effizienteren Nutzung landwirtschaftlicher Fläche kontrovers diskutiert. Durch intensive Landwirtschaft beispielsweise wird angestrebt, auf gegebener Fläche höhere Erträge durch den Einsatz von Düngemitteln, speziellem Saatgut sowie maschineller Bodenbearbeitung und Bewässerung zu erzielen. Eine intensivere Bewirtschaftung kann somit zu einem erhöhten Verbrauch von Wasser und Düngemitteln wie Phosphor und anderen Mineralstoffen führen.

Laut der Welternährungsorganisation haben seit den 60er-Jahren Produktivitätsverbesserungen und intensiviertere Erntezyklen etwa 85% zur globalen Produktionssteigerung in der Landwirtschaft beigetragen. Lediglich der restliche Anteil der historischen Produktivitätssteigerung von etwa 15% ist weltweit auf eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche zurückzuführen. In Industrieländern spielt die Flächenausweitung dabei eine noch geringere Rolle, in Entwicklungsländern liegt der Wert dagegen mit 25% etwas höher, jedoch wird hier für die kommenden Jahre ein Rückgang prognostiziert (FAO 2002).

Bei der Bestimmung der Größenordnung von Rebound-Effekten sind entsprechende Nachfrageänderungen infolge von Effizienzsteigerungen, d.h. Rebound-Effekte, von rein wachstumsbedingten Nachfragesteigerungen zu trennen (z.B. aufgrund der steigenden Zahl bzw. steigenden Wohnflächenansprüchen privater Haushalte oder aufgrund des wachsenden Nahrungsmittelbedarfes einer zunehmenden Weltbevölkerung) (siehe Kapitel 3.1.1). Im Bereich der Rebound-Effekte ist zwischen Rebound-Effekten infolge autonomer Effizienzverbesserungen sowie Rebound-Effekten, welche infolge politisch geförderter Effizienzsteigerungen auftreten, zu unterscheiden. In der vorliegenden Studie sind insbesondere politisch induzierte Rebound-Effekte von Interesse. Die Zahl der bisher in Deutschland existierenden Politikmaßnahmen, die auf eine effiziente Flächennutzung abzielen, ist allerdings noch sehr begrenzt.

Zur Förderung einer effizienteren Flächennutzung kommen grundsätzlich mehrere Arten umweltpolitischer Instrumente infrage. Hierzu zählen neben den klassischen Instrumenten der Bauleitplanung nach §§ 5-10 Baugesetzbuch (BauGB) auch informative, kooperative und ökonomische Instrumente (vgl. Tomerius/ Frick 2009):

Zu den informatorischen Instrumenten zählen einerseits Maßnahmen, welche eine öffentliche Diskussion über die aktuelle Flächenproblematik zur Bewusstseinsbildung innerhalb der Bevölkerung in Gang setzen, andererseits Maßnahmen, welche der Information der Kommunalpolitik und planenden Verwaltung dienen, wie die Erfassung aller Baulandpotentiale in einem Baulandkataster.

Kooperative Instrumente fördern die interkommunale oder überregionale Kooperation und Abstimmung des kommunalen und (über)regionalen Handelns. Dies kann beispielsweise über eine interkommunale Bauleitplanung (§§ 203-205 BauGB) oder die gemeinsame Aufstellung eines regionalen Flächennutzungsplans nach § 9 Abs. 6 Raumordnungsgesetz geschehen. Eine weitere Möglichkeit sind kooperative Zusammenschlüsse von Akteuren aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft beispielsweise in Städtenetzen, Flächenbündnissen oder Stadt-Umland-Verbänden.

Zu den ökonomischen Instrumenten, welche die Entscheidungen privater und kommunaler Akteure in Bezug auf Nachfrage bzw. Ausweisung beeinflussen sollen, gehören insbesondere fiskalische Maßnahmen und Nutzungsrechte. Beim "fiskalischen Controlling" werden die langfristigen Kosten und Nutzen einer spezifischen Entwicklung einer Siedlungsfläche berechnet. Mit Hilfe geeigneter softwaregestützter Tools lassen sich Steuerermehreinnahmen den Folgekosten der Flächennutzung gegenüberstellen. Eine auf Bundesebene geführte Diskussion betrifft die Reform der Grundsteuer. Dabei wird zum einen eine mögliche Besteuerung nach dem Wert einer Fläche diskutiert (Bodenwertsteuer), durch die planungsbedingte Wertsteigerungen ausgeglichen werden sollen. Andererseits kann die Besteuerung auch an den Grad der Naturbeeinträchtigung je nach Nutzung anknüpfen (Flächennutzungssteuer). Ein weiteres mögliches Instrument stellen handelbare Flächennutzungsrechte (z.B. in Form von Zertifikaten analog zu einem Emissionshandelssystem) dar (vgl. Ostertag et al. 2010; Walz et al. 2009). Darüber hinaus werden schon seit längerem Möglichkeiten zur Einführung einer Flächenkreislaufwirtschaft (Wiedernutzung von Brachflächen) diskutiert (vgl. z.B. DIFU 2006).

Seidl et al. (2009) gehen jedoch davon aus, dass auch bei effizienter Nutzung bereits ausgewiesener Flächen langfristig mit einer fortgesetzten Inanspruchnahme von Freiflächen gerechnet werden muss, solange keine absoluten Flächenverbrauchsgrenzen gesetzt werden. Einer Reduzierung des

Flächenverbrauchs wirkt zudem eine Reihe von Maßnahmen in anderen Politikbereichen entgegen, wie die steuerliche Bevorzugung von Pendlern und die finanzielle Förderung des Eigenheimbaus. Auch die Bildung von Bodenpreisen ohne die Berücksichtigung der ökologischen Folgen der Flächenbeanspruchung in Form der oben beschriebenen Flächennutzungssteuer führt bislang zu hohen Bodenpreisen in verdichteten Gebieten und niedrigen Preisen in peripheren Regionen und setzt somit kaum Anreize für flächeneffizientes Bauen außerhalb von Ballungsgebieten.

In Deutschland existiert bezüglich der Neuinanspruchnahme von Fläche für Siedlung und Verkehr eine breite Datenbasis. Über die statistischen Landesämter sind Informationen zur Einwohnerdichte, Ausweisung von Gewerbeflächen, Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie Nutzung landwirtschaftlicher Flächen zugänglich. Rebound-Effekte als Folge von Maßnahmen zur Förderung einer effizienteren Nutzung sind bisher jedoch nicht betrachtet worden. Rebound-Effekte erscheinen grundsätzlich möglich, da die angebotenen Flächen für die Neubebauung – bei Anwendung der o.g. Instrumente – grundsätzlich knapper werden. Wenn Flächen daraufhin effizienter genutzt werden, können sinkende Preise zu einem Wiederanstieg der spezifisch (also pro Person oder pro Beschäftigtem) genutzten Fläche führen. Weiterhin können möglicherweise auch andere Effekte, z.B. psychologischer Art, zu einer Ausweitung der Flächennutzung beitragen, so dass die theoretisch möglichen Flächeneinsparungspotenziale nicht voll ausgenutzt werden. So könnte beispielsweise der Umzug in eine Siedlung mit verdichteter Bauweise für eine problembewusste Person als Rechtfertigung bzw. Erlaubnis dienen, eine höhere Wohnfläche in Anspruch zu nehmen als bei Umzug in eine Siedlung mit konventioneller Bauweise.

Um den Handlungsbedarf zur Eingrenzung von Rebound-Effekten bei der Förderung einer effizienteren Flächennutzung abschätzen zu können, werden im Folgenden Thesen für die Wirkweise von Einflussfaktoren im Bereich Flächennutzung auf Grundlage der vorliegenden Erkenntnisse zu Rebound-Effekten formuliert:

- ▶ Je höher die ungedeckte Nachfrage (d.h. das unbefriedigte Bedürfnis) nach landwirtschaftlichen Produkten ist, desto höher sind bei Maßnahmen zur effizienteren Nutzung von landwirtschaftlicher Fläche Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Rebound-Effekten durch eine Ausweitung der Produktion.
- ▶ Sinken durch effizientere Nutzung die Kosten bzw. steigen die Erträge pro landwirtschaftlich bewirtschaftete Flächeneinheit, werden finanzielle Mittel frei. Diese lassen sich für zusätzliche flächenintensive Tätigkeiten verwenden. Das bedeutet: Insbesondere dort, wo eine unbefriedigte Nachfrage nach Agrarprodukten besteht und/oder durch eine kostengünstigere Produktion und niedrigere Preise ein größerer Absatz erwartet werden kann, ist es wahrscheinlich, dass die eingesetzte Fläche ausgeweitet bzw. freiwerdende Flächen erneut genutzt werden, um die Produktion zu erhöhen. Aufgrund der mangelnden Nahrungsmittelversorgung weiter Teile der Weltbevölkerung ist somit zu erwarten, dass Produktivitätssteigerungen in vielen Fällen zu einer Erhöhung der Erträge und nicht zu einer Reduktion der beanspruchten Fläche führen. Zudem ist vorstellbar, dass freiwerdende Flächen aus der Nahrungsmittelerzeugung für Energiepflanzenanbau genutzt werden, da hier seit einigen Jahren eine steigende Nachfrage zu beobachten ist.
- ▶ Wenn eine effizientere Bauweise zu günstigeren Preisen pro Flächeneinheit führt, kann dies zu Rebound-Effekten führen
- ▶ Falls eine effizientere Flächennutzung eine Verringerung der Kauf- bzw. Mietpreise pro Flächeneinheit bewirkt, kann dies dazu führen, dass die pro Person oder pro Einheit genutzte Fläche wieder ansteigt. In diesem Fall fällt der erzielte Effizienzgewinn geringer aus als theoretisch möglich, d.h. es treten Rebound-Effekte auf. Allerdings legt die Preisentwicklung in Wohngebieten – sowohl in geschlossener als auch offener Bauweise – nahe, dass eine verdichtete Bauweise den Anstieg der Grundstückspreise zumindest nicht wesentlich bremsen kann. Vielmehr dürften hohe Bodenpreise eher zu einer effizienten Flächennutzung beitragen. Folglich sind Wahrscheinlich-

keit und Ausmaß von Rebound-Effekte aufgrund niedrigerer Grundstückspreise eher gering. Je nach Lage kann verdichtetes Bauen jedoch indirekte Rebound-Effekte auslösen: Wenn in Wohngebieten mit verdichteter Bauweise auch Grünflächen und andere Naherholungsmöglichkeiten reduziert zur Verfügung stehen, kann dies zu einer erhöhten Flächennutzung an anderer Stelle führen. Beispiele hierfür sind Kleingärten in Stadtrandlage oder vermehrte Straßennutzung durch (Freizeit-)Verkehr.

Insgesamt erscheinen Wahrscheinlichkeit und Relevanz von direkten Rebound-Effekten im Bereich der Flächennutzung im Vergleich zu anderen Bereichen eher gering. Allenfalls bei landwirtschaftlichen Nutzungen ist ein gewisser Handlungsbedarf erkennbar, bei Förderung effizienter Flächennutzung direkte Rebound-Effekte zu begrenzen. Bei Förderung effizienter Wohnbebauung ist vorstellbar, dass indirekte Rebound-Effekte auftreten.

## 6.2 Rohstoffe

Endliche Vorkommen von Rohstoffen wie Kupfer, Phosphor oder seltene Erden stellen prinzipiell eine Ressourcenknappheit dar, der mit der Entwicklung von Effizienz-, Recycling- und Substitutionsmaßnahmen begegnet werden kann. In welchem Umfang durch diese Maßnahmen die endlichen Vorräte geschont werden können, ist wiederum verknüpft mit der Frage nach Rebound-Effekten infolge der Maßnahmen. Dabei ist zu beachten, dass neben der Rohstoffnutzung auch der Energieverbrauch von Produktionsprozessen sowie die energie- und prozessbedingten Treibhausgasemissionen umweltpolitisch bedeutsam sind.

Zunächst erscheint kein Rohstoff derzeit so limitiert zu sein, dass dies zu einer Begrenzung der Herstellung bestimmter Produkte führt. Somit ist bei Effizienzmaßnahmen zumindest kein Rebound-Effekt in Höhe von 100% aufgrund der reinen Verfügbarkeit der Rohstoffe zu erwarten. Effizienzmaßnahmen beim Rohstoff- und Materialeinsatz können aber zu einer verringerten gesamtwirtschaftlichen Nachfrage und sinkenden Rohstoffpreisen führen, was wiederum Rebound-Effekte zur Folge haben kann. Zum einen kann die Herstellung von Produkten, für die der jeweilige Rohstoff verwendet wird, bei sinkenden Kosten aufgrund eines effizienteren Rohstoffeinsatzes ausgeweitet werden. Zum anderen kann ein Rohstoff bei sinkenden Kosten für weitere Anwendungsgebiete eher in Frage kommen. Nachfolgend wird eine Reihe von Rohstoffen diskutiert, bei denen grundsätzlich das Vorliegen von Rebound-Effekten denkbar ist. Hierzu zählen z.B. Kupfer, Phosphor und seltene Erden. Rebound-Effekte können beispielsweise dann existieren, wenn Rohstoffe einen signifikanten Anteil an den Herstellungskosten eines Produktes haben und Kostensenkungen höhere Gewinne für die Hersteller oder Einsparungen für die Konsumenten bedeuten können.

Kupfer findet aufgrund seiner guten elektrischen Leitfähigkeit vor allem in der Elektrotechnik Verwendung. Neben dem Einsatz in Kabeln wird das Metall in zahlreichen elektrischen Geräten verbaut. Darüber hinaus werden aus Kupfer zahlreiche Legierungen hergestellt (z.B. Bronze, Messing), diese werden zum Beispiel als Werkstoff für Münzen oder in der Bauwirtschaft eingesetzt. Die weltweit größten Kupferproduzenten befinden sich in Südamerika, wo das Metall im Tagebauverfahren gewonnen wird. Aufgrund seiner beschränkten Substituierbarkeit und der weltweit rapide ansteigenden Nachfrage haben sich die Einfuhrpreise für Kupfer nach Deutschland seit 2005 mehr als verdoppelt (Statistisches Bundesamt 2012). Effizienzpotentiale beim Einsatz von Kupfer als Werkstoff sehen Lucas et al. (2008) beispielsweise im Bereich des Fahrzeugbaus. Hier kann durch Steigerung der Spannung für Bordnetze in Automobilen, wodurch geringere Kabeldurchmesser möglich werden, die benötigte Menge Kupfer für die Herstellung von Kabelbäumen reduziert werden. Auch die Entwicklung neuer Legierungen kann zu einer Reduktion des Bedarfs an Kupfer führen. Jedoch ist der Anstieg der Nachfrage nach Kupfer in der Automobilindustrie vor allem auf Entwicklungen zurückzuführen, welche unabhängig von Effizienzsteigerungen sind, wie z.B. die Verbreitung neuer elektronischer Assistenzsysteme. Eine Identifikation des Anteils der Nachfragesteigerung, welcher auf Re-

bound-Effekte zurückzuführen ist, ist kaum möglich. Die Tatsache, dass manche Kupferanwendungen Substituierbarkeiten aufweisen (Glasfaser, Aluminium), deutet jedoch darauf hin, dass für diesen Rohstoff nicht von hohen direkten Rebound-Effekten auszugehen ist.

Das Haupteinsatzgebiet von Phosphor ist die Verwendung als Phosphat in Düngemitteln. Darüber hinaus kommt es in anderen Bereichen der chemischen sowie der pharmazeutischen Industrie zum Einsatz. Aufgrund der begrenzten an Land abbaubaren Phosphorvorkommen gewinnen vor allem Recyclingverfahren an Bedeutung (Ostertag et al. 2010). Weiterhin können Verfahrensänderungen in der Landwirtschaft zu einer Reduktion des Phosphor-Bedarfs führen, so dass das Auftreten von Preiseffekten denkbar ist, die wiederum zu einer Nachfragesteigerung führen können. Beispielsweise können sinkende Preise für Düngemittel zu einer verstärkten Produktion von landwirtschaftlichen Produkten führen, die dann wieder eine erhöhte Nachfrage nach Düngemitteln zur Folge hat.

Seltene Erden kommen in vielfältigen Bereichen der Elektrotechnik und Elektronik zum Einsatz. So werden Magnete, die in Generatoren eingesetzt werden, mit seltenen Erden legiert. Außerdem werden seltene Erden z.B. zur Herstellung von LCD- und Plasmabildschirmen und Lasern benötigt. Der Hauptteil (97%) der Förderung stammt aus China; der freie Handel mit seltenen Erden ist stark eingeschränkt (BGR 2012). Somit ist davon auszugehen, dass der Zugang zu seltenen Erden für verschiedene Schlüsselindustrien zukünftig einen kritischen Engpass darstellen kann oder bereits darstellt. Auch im Bereich der seltenen Erden werden daher Recyclingmöglichkeiten untersucht (Schüler et al. 2011). Außerdem wird die Möglichkeit ihrer Substitution diskutiert (Ziemann, Schebek 2010). Da das Angebot auf dem Weltmarkt für die meisten der seltenen Erden von wenigen Akteuren bestimmt wird, dürften Unternehmen bestrebt sein, eine Abhängigkeit von monopolistischen Rohstoffanbietern durch Effizienzsteigerungen zu reduzieren. Ein stärkerer Wettbewerb auf der Angebotsseite könnte dagegen zu sinkenden Preisen und dementsprechend zu einer vermehrten Ressourcennutzung durch Produktionssteigerungen führen.

Ein weiteres Feld, in dem ein Vorliegen von Rebound-Effekten vorstellbar ist, ist die Entwicklung von Leichtbauwerkstoffen und -verfahren. Diese Werkstoffe können beispielsweise in der Automobilindustrie den Einbau zusätzlicher Komponenten oder die Erhöhung der Unfallsicherheit bei reduzierter Gewichtszunahme und damit Verbrauchssenkung des Fahrzeugs ermöglichen (Gerber 2010). Ein Beispiel hierfür sind sogenannte „Tailored Blanks“, also Blechplatinen, die an unterschiedlichen Stellen verschiedene Stärken aufweisen und somit bei großer Gewichtseinsparung eine gute Anpassung an die zu erwartenden Belastungen ermöglichen. Die Förderung der Verwendung von Leichtbauwerkstoffen und -verfahren ist damit eine Maßnahme, um Material- und Rohstoffeffizienz zu erhöhen. Da diese Maßnahme aber insbesondere auch den Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen reduzieren soll, wird sie hier der Betrachtung von energetischen Rebound-Effekten im Bereich Mobilität zugeordnet, die bereits vorangehend analysiert wurden.

In der wissenschaftlichen Literatur zu Rohstoff- und Materialeffizienz, welche auch die vorangehend beschriebenen Ressourcen betrifft, nimmt die Betrachtung von Rebound-Effekten bislang kaum Raum ein. Zudem sind nur wenige empirische Daten zur tatsächlichen Wirkung von Effizienzmaßnahmen im Ressourcenbereich zugänglich. Inwiefern Effizienz- und Recyclingbemühungen daher zum Auftreten von Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen führen, weil sie durch Effekte wie eine Reduktion der Kosten und eine Erhöhung der Verfügbarkeit eine Ausweitung der Produktion ermöglichen, ist an dieser Stelle nicht abschließend bewertbar. Auf Grundlage allgemeiner Erkenntnisse zu Rebound-Effekten lassen sich jedoch auch für Rohstoffe Thesen zu Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Rebound-Effekten ableiten:

- ▶ Je höher die Reduktion der Stückkosten durch eine Effizienzmaßnahme ausfällt, desto größer sind Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Rebound-Effekten.

- ▶ Haben die Kosten für einen Rohstoff einen relevanten Anteil an den Produktionskosten, lassen sich – durch einen effizienteren Rohstoffeinsatz – die Stückkosten verringern. Ein entsprechender Kostenvorteil gegenüber Konkurrenzprodukten macht es möglich, die bisherige Produktion auszuweiten und/oder die Produktpreise zu senken. Dadurch können sich Produktion und Nachfrage ressourcenintensiver Produkte erhöhen. Dies kann die theoretisch mögliche Einsparung an Rohstoffen zumindest teilweise wieder zunichtemachen.
- ▶ Die Erwartung künftig steigender Rohstoffpreise reduziert Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Rebound-Effekten.
- ▶ Bei den meisten Rohstoffen sind die Preise trotz aktueller konjunktureller Abkühlung stark gestiegen. Weitere Anstiege sind wahrscheinlich. Diese Erwartung setzt starke Anreize, Rohstoffe sparsam zu verwenden. Vor allem dann, wenn Rohstoffe knapp und dementsprechend teuer sind, wird in der Regel schon bei der Produktentwicklung eine möglichst effiziente Verwendung angestrebt bzw. frühzeitig nach Alternativen gesucht. Die Motivation, das Einsparpotenzial von Effizienzmaßnahmen voll auszunutzen, um konkurrenzfähige Produkte anzubieten, senkt daher die Wahrscheinlichkeit von Rebound-Effekten.
- ▶ Lässt sich ein Rohstoff als Substitut für andere Rohstoffe nutzen, steigt die Wahrscheinlichkeit bzw. das Ausmaß von Rebound-Effekten.
- ▶ Sinkt durch eine effizientere Nutzung der Preis für einen Rohstoff und lässt sich dieser als Substitut für andere Rohstoffe einsetzen, kann dies dazu führen, dass der Rohstoff verstärkt als Ersatz für andere Stoffe nachgefragt wird. Dadurch kann seine Verwendung wieder ansteigen. Sinkt beispielsweise – effizienzbedingt – der Preis für kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff, kann dies bewirken, dass dieser verstärkt als Substitut für Stahl und Aluminium dient, etwa im Fahrzeugbau oder der Luft- und Raumfahrt.
- ▶ Je geringer das Problembewusstsein der Konsumenten hinsichtlich der Rohstoffnutzung, desto größer sind Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Rebound-Effekten. Gleiches gilt, wenn keine Wirksamkeit eigenen Handelns wahrgenommen wird.
- ▶ Die Probleme, die durch die Nutzung kritischer Rohstoffe in Produkten entstehen, sind den meisten Konsumenten nicht oder nur sehr vage bewusst. Zudem ist für Konsumenten kaum wahrnehmbar, welche spezifischen Rohstoffe ein Produkt enthält und wie sich eigenes Handeln und Verhaltensänderungen auswirken. Zum Teil erschweren auch bestehende Strukturen und Angebote mögliche Verhaltensänderungen (beispielsweise erfolgt im Rahmen vieler Mobilfunkverträge eine Subventionierung von Neugeräten. Für Elektronikgeräte bestehen zudem häufig nur eingeschränkte und kostenintensive Reparaturmöglichkeiten). Diese Einflussfaktoren tragen zusammen mit Produktpreisen, die effizienzbedingt sinken, zu Rebound-Effekten bei.

Wird die effiziente Nutzung von Rohstoffen gefördert, können somit Rebound-Effekte auftreten. Als wesentlich erscheinen dabei vor allem finanzielle Faktoren bei Produktherstellern und Konsumenten. Sind finanzielle Einsparungen durch eine effizientere Nutzung bedeutend, können direkte und indirekte Rebound-Effekte auftreten. Bei den Konsumenten erscheinen zudem ein mangelndes Bewusstsein für die Probleme der Rohstoffnutzung sowie eine geringe wahrgenommene Wirksamkeit eigenen Handelns eine relevante Rolle für direkte Rebound-Effekte zu spielen.

### 6.3 Wasser

Aufgrund der ungleichen globalen Verteilung von Wasservorkommen und der auftretenden Knappheit in zahlreichen Ballungsgebieten ist die Reduzierung des Wasserverbrauchs ein zentrales Thema der internationalen Umweltpolitik. Auch in der deutschen Umweltpolitik findet der Wasserverbrauch Beachtung. So ist beispielsweise durch das Wasserhaushaltsgesetz bei jeglichen wasserrelevanten Maßnahmen eine sparsame Verwendung von Wasser vorgeschrieben (WHG 2009). Hier sind insbesondere die Kosten der Aufbereitung von Schmutzwasser, der Eintrag von Schadstoffen in Gewässer

und den Wasserkreislauf sowie der mit (Warm-) Wasserbereitstellung verbundene Energieverbrauch von Bedeutung. Rebound-Effekte sind somit auch hinsichtlich dieser Auswirkungen von Bedeutung. Zudem muss in einigen Gebieten aufgrund regional unzureichender Wasserverfügbarkeiten Wasser zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung über weite Strecken transportiert werden (Fernwasserversorgungen), auch wenn insgesamt Wasser in Deutschland kein knappes Gut darstellt und der Gesamtverbrauch in Deutschland seit vielen Jahren rückläufig ist (Statistisches Bundesamt 2010).

Zukünftig können in Deutschland regionale Versorgungsengpässe, aufgrund des Klimawandels und seiner Auswirkungen (bspw. in Brandenburg), nicht ausgeschlossen werden. Auf europäischer Ebene spielt der effiziente Umgang mit Wasser im Rahmen des „Blueprint to safeguard Europe’s Waters“ eine sehr wichtige Rolle (EC 2012). Von Seiten der Kommission wurden im Jahr 2012 Vorschläge zu Wassereffizienzzielen und -maßnahmen vorgelegt.

In der Rebound-Forschung werden Rebound-Effekte aufgrund einer effizienteren Nutzung von Wasser bislang nur wenig thematisiert (Madlener, Alcott 2011). Zwar werden in einigen Studien Rebound-Effekte infolge einer effizienteren Wassernutzung erwähnt (Llop 2008; Millock, Nauges 2010; Verkerk 2007), jedoch in den meisten Fällen nicht quantifiziert. Lediglich Verkerk (2007) geht explizit davon aus, dass ein Rebound-Effekt in der Größenordnung von bis zu 100% auftreten kann, falls Wasser einen limitierenden Produktionsfaktor darstellt und Einsparmaßnahmen somit zu einer Ausweitung von Produktionstätigkeiten führen können. Geller et al. (1983) haben den Effekt von Wassersparmaßnahmen durch den Einbau einfacher technischer Hilfsmittel in Haushalten in den USA (z.B. Durchflussbegrenzer) untersucht und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass die tatsächlich erzielten Einsparungen deutlich unter den erwarteten Werten liegen. Somit liegen gewisse, wenn auch sehr begrenzte, Hinweise vor, dass Wassereffizienzmaßnahmen sowohl in Haushalten als auch in der Industrie bzw. Landwirtschaft zu relativ hohen direkten Rebound-Effekten führen können.

Dem stehen die Entwicklungen in den neuen Bundesländern beim Wasserverbrauch in den letzten beiden Jahrzehnten gegenüber: Vor dem Hintergrund stark gestiegener Wasserpreise kam es durch den Einsatz effizienter Techniken zusammen mit zusätzlichen Verhaltensänderungen zu einer deutlichen Reduktion des spezifischen Wasserverbrauchs in Haushalten. Neben Randbedingungen wie dem Wasserpreis sowie erzielten Kosteneinsparungen dürften Anwendungsbereich bzw. Technik sowie das bisherige Ausmaß der Befriedigung relevanter Bedürfnisse eine Rolle zu spielen, ob und inwieweit es infolge von erhöhter Wassereffizienz zu Änderungen des Nutzungsverhaltens im Sinne von Rebound-Effekten kommt.

Um den Handlungsbedarf zur Eindämmung von Rebound-Effekten bei der Förderung einer effizienteren Wassernutzung genauer einschätzen zu können, werden im Folgenden auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse zu Rebound-Effekten Thesen für die Wirkweise von Einflussfaktoren formuliert, welche für diesen Bereich von Bedeutung erscheinen:

- ▶ Je stärker Effizienzmaßnahmen die Wasserkosten senken, desto größer sind Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Rebound-Effekten.
- ▶ Zwar haben Wasserkosten nur einen geringen Anteil an den Konsumausgaben privater Haushalte. Gleichwohl kann der finanzielle Effekt von Effizienzmaßnahmen zu Rebound-Effekten führen, da sich in Deutschland ein gewisser Zusammenhang zwischen dem Wasserverbrauch privater Haushalte und dem Wasserpreis zeigt. In privaten Haushalten betragen die Kosten für Wasser und Abwasser – laut Statistischem Bundesamt – im Jahr 2010 etwa ein Prozent der gesamten Konsumausgaben eines Durchschnittshaushaltes. Laut Hillenbrand & Schleich (2009) weist der private Wasserverbrauch eine Preiselastizität in Höhe von  $-0,2$  auf. D.h. steigt der Preis um zehn Prozent, sinkt die Nachfrage um etwa zwei Prozent.
- ▶ Ist das Wassernutzungsverhalten in einem Anwendungsbereich stark durch Gewohnheiten geprägt, wirkt dies Rebound-Effekten entgegen.

- ▶ Vor allem in Privathaushalten ist die Wassernutzung durch Gewohnheiten geprägt. Diese stabilisieren das Verhalten und wirken Rebound-Effekten entgegen. Viele Verbraucher haben eine sparsame Wasserverwendung fest in ihren Gewohnheiten verankert. Dementsprechend ist der durchschnittliche Wasserverbrauch pro Haushalt seit mehreren Jahrzehnten rückläufig. Bei stark gewohnheitsmäßigem Verhalten ist ein Anstieg des Wasserverbrauchs durch Verhaltensänderungen, weniger wahrscheinlich.
- ▶ Ein hohes Problembewusstsein und starke Normen zum Wassersparen wirken Rebound-Effekten entgegen.
- ▶ In Deutschland sind persönliche und soziale Normen zum Wassersparen relativ stark verankert. Diese Normen sowie erlernte und entwickelte Gewohnheiten (s.o.) dürften eine bedeutendere Rolle spielen als der objektive Wasserpreis. Steigen Konsumenten auf wassereffizientere Technologien um, können sie sich weniger stark verpflichtet fühlen, Wasser zu sparen, d.h. Normen können abgeschwächt werden. Starke Normen, insbesondere in Verbindung mit einem ausgeprägten Problembewusstsein, erweisen sich dabei als sehr stabil. Sie können Rebound-Effekten entgegenwirken. In diesem Fall können Effizienzmaßnahmen sogar als Motivation für weitere Einsparungen wirken.
- ▶ Wenn relevante Bedürfnisse noch unbefriedigt sind und die Mehrnutzung effizienterer Technik eine höhere Bedürfnisbefriedigung bzw. Komfortgewinne bietet, ist das Auftreten einer Mehrnachfrage besonders wahrscheinlich.
- ▶ Das Vorhandensein unbefriedigter Nachfrage unterscheidet sich je nach Land bzw. Region erheblich. In gewissen Anwendungsbereichen sind individuelle Komfortgewinne und eine höhere Befriedigung ungesättigter Bedürfnisse durch eine Mehrnutzung eher möglich (z.B. beim Duschen) als in anderen (z.B. Spülen der Toilette). Je nach Art der vormals unbefriedigten Nachfrage geht die Mehrnachfrage infolge effizienterer Technologie mit gesamtwirtschaftlichen Gewinnen einher. Ist mit der vermehrten Nutzung einer (effizienteren) Technologie kein Komfortgewinn bzw. unmittelbarer Nutzen erzielbar, sind Rebound-Effekte weniger wahrscheinlich.

Rebound-Effekte beim Wasserverbrauch erscheinen je nach Randbedingungen und Anwendungsbereich durchaus wahrscheinlich und relevant, zumal sie z.T. auch mit energetischen Rebound-Effekten einhergehen (z.B. bei der vermehrten Nutzung von Wasch- und Geschirrspülmaschinen sowie beim Warmwasserverbrauch insgesamt). Wassernutzung stellt zudem ein politisches Handlungsfeld dar, welches zukünftig sowohl international als auch national an Relevanz gewinnen dürfte. Beim Auftreten von Rebound-Effekten im Bereich Wasser spielen sowohl finanzielle als auch psychologische Einflussfaktoren eine Rolle, ebenso ggf. unbefriedigte Bedürfnisse bzw. eine unbefriedigte Nachfrage. Dabei können ein Problembewusstsein sowie starke Normen zur sparsamen Wassernutzung Rebound-Effekten entgegenwirken.

## 6.4 Rebound-Lösungsstrategien bei nicht-energetischen Ressourcen

Auf Basis des für die betrachteten nicht-energetischen Ressourcen aufgezeigten Handlungsbedarfs sind Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Rebound-Effekten bzw. deren Reduzierung notwendig. Die allgemeinen Lösungsstrategien können dabei analog zu den energetischen Ressourcen angewendet werden. Dabei scheinen in Bezug auf nicht-energetische Ressourcen vor allem die nachfolgend erwähnten Strategien sinnvoll.

Für eine ambitionierte Steigerung der Ressourceneffizienz muss beachtet werden, dass bereits existierende Rebound-Effekte reduziert und ihr künftiges Auftreten vermieden werden. Da wie bei energetischen Ressourcen auch hier oftmals mehrere Einflussfaktoren für das Auftreten von Rebound-Effekten verantwortlich sind, ist wiederum eine Kombination von Lösungsansätzen angeraten, um den verschiedenen Arten von Einflussfaktoren Rechnung zu tragen.

Generell erscheint es sinnvoll, beim Politikdesign eine präzise Reduzierung des absoluten Ressourcenverbrauchs anzustreben anstatt lediglich Einspareffekte durch bestimmte Effizienzsteigerungen als Ziel zu benennen. Dabei ist es wichtig, mindestens *direkte* Rebound-Effekte bereits bei Politikdesign und Gesetzesfolgenabschätzung zu berücksichtigen, um die Auswirkungen umweltpolitischer Maßnahmen auf den Ressourcenverbrauch realistisch abschätzen zu können. Auf der Basis des jetzigen Wissensstands erscheinen vor allem die Begrenzung der Ressourcennutzung durch Caps oder Nutzungslizenzen, die Erhöhung der Nutzungskosten durch Steuern oder Abgaben sowie der Einsatz von Kommunikationsmaßnahmen geeignet, um Rebound-Effekte im Bereich nicht-energetischer Ressourcen einzudämmen.

## 7 Stand des Wissens in ausgewählten umweltpolitischen Handlungsfeldern

In diesem Kapitel sollen für ausgewählte umweltpolitische Handlungsfelder die Treiber, Gründe und Arten von Rebound-Effekten analysiert und Ansätze für die Politikinstrumente zur Eindämmung dieser Rebound-Effekte zusammengefasst werden, auf Basis der Literaturstudie und der Definitionen des vorliegenden Berichts. Zu den folgenden vier Handlungsfeldern wurden Fact Sheets erstellt:

- ▶ Öffentliche und industrielle Beleuchtung
- ▶ Raumwärme in Privathaushalten
- ▶ Motorisierte individuelle Mobilität
- ▶ Nicht-energetische Ressourcen am Beispiel Wasser

### 7.1 Öffentliche und industrielle Beleuchtung

Tabelle 7: Fact Sheet „Öffentliche und industrielle Beleuchtung“

<b>Auftreten von Rebound-Effekten bei öffentlicher und industrieller Beleuchtung</b>
<b>Gegenstand</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>› Beleuchtung ist ein klassisches Beispiel zur Illustration des Zusammenspiels zwischen steigender Effizienz bei besserer Technik, sinkenden Kosten und steigender Nachfrage nach Energiedienstleistungen. Langfristige historische Betrachtungen deuten auf einen hohen Zuwachs der allgemeinen Beleuchtungsnachfrage hin. Neben der stetig besseren Technik spielen Wachstums- bzw. Wohlstandseffekte beim Anstieg der Nachfrage nach Beleuchtung eine wesentliche Rolle (siehe Kapitel 3.1.1). In diesem Fact Sheet wird thematisiert, welche weiteren Treiber speziell bei öffentlicher und industrieller Beleuchtung eine Rolle spielen, die für die Entstehung von Rebound-Effekten in diesem Kontext relevant sein können. Umweltpolitisch ist die Frage relevant, da ein Großteil des Stromverbrauchs durch Beleuchtung nicht durch private Haushalte, sondern durch öffentliche und industrielle Beleuchtung entsteht (in Deutschland nahezu 80%).</li> </ul>
<b>Treiber und Einflussfaktoren der Mehrnachfrage und Ausmaß der Rebound-Effekte</b>
<p>Hinweise aus vorliegenden Studien zu Treibern sind gering, ebenso Angaben zum Ausmaß von Rebound-Effekten. Gewisse Hinweise für Rebound-Effekte liegen vor, konkrete Versuche zur Quantifizierung sind aber bisher kaum erfolgt. Folgende Faktoren scheinen eine Rolle zu spielen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Anwendungsbereich und Technik: Insgesamt stellt der Stromverbrauch für Beleuchtung 15,5% des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland dar. Dieser Anteil fällt je nach Anwendungsbereich unterschiedlich aus: In Gewerbe, Handel und Dienstleistungen hat Beleuchtung mit 40,6% einen großen Anteil am Stromverbrauch dieses Sektors, dagegen beträgt er in der Industrie nur 4,8%, im Verkehrssektor nur 5,1% und 8,4% bei Privathaushalten (Daten für 2010, AGE 2011). Zusätzlich zur unterschiedlich hohen Bedeutung der Beleuchtung im Sinne von Stromkosten, unterscheidet sich in verschiedenen Anwendungsbereichen und Sektoren auch die Technik der Beleuchtung, die eingesetzt wird. Diese Faktoren sind als Rahmenbedingungen zu berücksichtigen bei der Betrachtung der Mechanismen in den verschiedenen Sektoren, die bei steigender Effizienz und Anstieg der Nachfrage nach Beleuchtung zusammenspielen können.</li> </ul>

- › Einsparung von Stromkosten vs. Anschaffungskosten für effizientere Beleuchtung: Diverse Studien belegen die wesentlichen Einsparungen der Stromkosten durch Investitionen in Energiesparlampen, was ein Treiber für einen Anstieg der Nachfrage nach Beleuchtung sein kann. Allerdings ist diese Kosteneinsparung mit erheblichen Anschaffungskosten verbunden, was wiederum eine Hürde bei der Diffusion von effizienteren Leuchtmitteln darstellt. Es ist allerdings auch vorstellbar, dass Energiesparlampen länger in Betrieb gelassen und weniger ausgeschaltet werden, weil ihre Nutzung als „effizienter“ vom Nutzer wahrgenommen wird, ohne dass eine genaue Buchhaltung über die tatsächlich entstehenden Kosten geführt wird. Bei Privathaushalten, wo der Anteil der Stromkosten für die Beleuchtung oftmals nicht bewusst wahrgenommen wird, kann durch die Nutzung effizienterer Beleuchtung ein „gutes Gefühl“ entstehen, der ein Anreiz für eine zusätzliche Bedürfnisbefriedigung darstellt, auch wenn letztendlich diese Mehrnachfrage mehr Stromkosten für den Nutzer verursacht.
- › Sättigungseffekte und Bedürfnisbefriedigung: ein weiterer Faktor, der für die Entstehung von Rebound-Effekten eine Rolle spielen kann, ist, ob noch eine weitere Bedürfnisbefriedigung durch eine vermehrte Nutzung von Beleuchtung erzielt werden kann. Für die Entstehung einer Mehrnachfrage nach Beleuchtung muss Bedarf bestehen, zusätzliche öffentliche Außenbereiche oder nachts industriell genutzte Räume zu beleuchten. Sättigungseffekte können in dieser Hinsicht die Entstehung von Rebound-Effekten eindämmen: Ab gewissen Beleuchtungsstärken ist bei öffentlicher und industrieller Beleuchtung kein zusätzlicher Nutzen mehr erzielbar.

#### Welche Rebound-Gründe (finanziell, sozialpsychologisch, regulatorisch) gibt es?

- › **Finanziell:** Durch die Nutzung effizienter Beleuchtungstechnologie können Stromkosten eingespart werden, was einen Anreiz für den Anstieg der Nachfrage nach Beleuchtung darstellen kann. Allerdings entstehen auch erhebliche Anschaffungskosten für die Investition in effiziente Beleuchtungstechnologie. Die Abwägung zwischen Stromkosteneinsparung und Anschaffungskosten für die Technologie bedingt die Entstehung eines finanziellen Rebound-Effekts. Bei öffentlicher oder industrieller Beleuchtung kann somit ein finanzieller Rebound-Effekt entstehen, wenn Stromkosten, insbesondere für Beleuchtung, planbar sind und eine Rolle spielen.

**Sozialpsychologisch:** Die für öffentliche und industrielle Beleuchtung zuständigen Entscheidungsträger führen Kostenberechnungen über die ganze Betriebsdauer einer Beleuchtungstechnologie durch; finanzielle Rebound-Gründe stehen deshalb im Vordergrund. Allenfalls könnte eine bisher nicht beleuchteter öffentlicher Bereich „dank“ neuer, effizienter Technik erstmals beleuchtet werden, wobei sozialpsychologische Faktoren beim Umscheid zur erstmaligen Beleuchtung eine Rolle spielen könnten.

#### Welche Rebound-Gründe (direkt, indirekt, gesamtwirtschaftlich) gibt es?

- › **Direkter Effekt:** Wenn durch effizientere Beleuchtung in Städten aufgrund von Kostensenkungen im Stromverbrauch nachts öffentliche Räume und Straßen besser beleuchtet werden können, kann ein direkter Rebound-Effekt entstehen. Wenn mit herkömmlichen Leuchtmitteln die erwünschte Beleuchtung aus Kostengründen noch eingeschränkt ist, kann die Nachfrage nach öffentlicher Beleuchtung durch Effizienzverbesserungen mit geringeren Kosten gedeckt werden. Durch eine bessere öffentliche Beleuchtung steigt auch möglicherweise das Sicherheitsgefühl, weil z.B. die Zahl der Überfälle oder der Verkehrsunfälle verringert werden kann. Wenn aufgrund einer unzureichenden öffentlichen Beleuchtung das Sicherheitsbedürfnis noch unbefriedigt ist, kann bei einer effizienteren und somit kostengünstigeren Beleuchtungstechnologie die Nachfrage nach öffentlicher Beleuchtung steigen.

### Auswahl möglicher Politikinstrumente zur Eindämmung des Rebounds im Bereich Beleuchtung

- › Bislang existieren keine Politikinstrumente, die explizit Rebound-Effekte im Bereich industrieller und öffentlicher Beleuchtung adressieren. Die Erhöhung der Steuerbelastung auf Elektrizität im Gleichschritt mit der Effizienzsteigerung ist kaum umsetzbar, da Elektrizität nicht nur für Beleuchtung verwendet wird und sich der entsprechende Anteil kaum getrennt besteuern lässt. Die Einführung einer Bewilligungspflicht für die erstmalige Beleuchtung neuer öffentlicher und industrieller Außenräume, gekoppelt an Effizienzvorschriften (mit Sanierungspflichten) für bestehende Beleuchtungssysteme wäre zu prüfen.

### Weiterführende Informationen und Literatur

- › AGEB 2011: Anwendungsbilanzen für die Energiesektoren in Deutschland in den Jahren 2009 und 2010. Studie beauftragt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft 2010: Elektrizität: Schlüssel zu einem nachhaltigen und klimaverträglichen Energiesystem. Zuletzt eingesehen am 23.10.2012, unter <http://www.studien.dpg-physik.de>
- Fouquet, R. und P.J.G. Pearson 2006: Seven centuries of energy services: the price and use of light in the United Kingdom. *The Energy Journal*, Vol. 27, No. 1.
- Frondel, M. und S. Lohmann 2011: The European Commission's Light Bulb Decree: Another costly regulation? *Ruhr Economic Papers* No. 245. Bochum, Essen: RUB, RWI.
- Tsao, J. Y.; H. D. Saunders; J. R. Creighton; M. E. Coltrin und J. A. Simmons 2010: Solid-state lighting: an energy-economics perspective. In: *Journal of Physics D: Applied Physics* 43 (35).
- Van der Bergh, J.C.J.M. 2010: Energy Conservation more effective with rebound policy. *Environmental and Resource Economics*, 48 (1): 43-58.

## 7.2 Raumwärme in Privathaushalten

Tabelle 8: Fact Sheet „Raumwärme in Privathaushalten“

### Raumwärme in Privathaushalten

#### Treiber der Mehrnachfrage und Ausmaß der Rebound-Effekte

- › Zwar sinken pro Kopf der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen für private Raumwärme, jedoch weniger stark als man es aufgrund der technischen Fortschritte im Bereich der Heizungsanlagen und Gebäudeisolierung erwarten könnte.
- › Bei Raumheizungen wurden empirisch Rebound-Effekte um 30% festgestellt – mögliche Ursachen sind erhöhte Raumtemperatur, Anstieg der beheizten Fläche bzw. Räume (nach einer energetischen Sanierung werden die Türen zu bis dahin kühleren Schlafzimmern nicht mehr geschlossen) oder der Verzicht auf Temperaturabsenkung bei Abwesenheit.
- › Wohlstands- und Verhaltenseffekte spielen eine große Rolle: Die Zunahme der beheizten Wohnfläche pro Kopf ist primär ein Wohlstandseffekt. Auch die Akzeptanz höherer Raumtemperaturen in der Heizperiode (früher trug man zuhause im Winter ein Pullover, heute nicht mehr) ist primär ein Wohlstandseffekt, diese Präferenzverschiebung wurde aber auch durch bessere Gebäudehüllen teilweise erst ermöglicht.
- › Das Thema ist von hoher umweltpolitischer Relevanz: Parallel zur Präferenz hin zu höheren Raumtemperaturen im Winter nimmt auch die Akzeptanz hoher Temperaturen im Sommer ab, weshalb Wohnräume immer mehr klimatisiert werden. Infolge des Klimawandels ist zu erwarten

ten, dass diese Tendenz und damit der Energiebedarf im Gebäudebereich weiter steigen wird.

#### Welche Rebound-Gründe (finanziell, sozialpsychologisch, regulatorisch) gibt es?

- › **Finanziell:** Die Wirtschaftlichkeit einer energieeffizienten Bauweise bei Neubauten ist zu heutigen Energiepreisen unsicher. Die EnEV-Vorschriften sind der Haupttreiber für erhöhte Energieeffizienz bei Neubauten, weniger die erzielbaren Kosteneinsparungen. Nur unter der Annahme steigender Energiepreise und niedriger Diskontraten könnte ein Treiber für finanziellen Rebound vorliegen. Bei der nachträglichen energetischen Sanierung sind die Investitionen höher, über die Lebensdauer der Gebäudeelemente gesehen entsteht auch unter der Annahme steigender Energiepreise kein Preissignal.
- › **Sozialpsychologisch:** Es gibt Indizien aus Vorstudien dafür, dass – bereinigt um soziodemographischen Effekten wie Einkommen, Ausbildung und Haushaltgröße – die beheizte Wohnfläche pro Kopf bei Niedrigenergiehäusern größer ist als bei vergleichbaren “normalen” Häusern. Es gibt auch Indizien dafür, dass Bewohner von Niedrigenergiehäusern vermehrt Flugreisen konsumieren. Somit ist davon auszugehen, dass hier – ähnlich wie im Bereich des motorisierten Individualverkehrs – eine mentale Buchhaltung stattfindet. Auch persönliche sowie soziale Normen, möglichst wenig zu heizen, um Heizenergie zu sparen, können durch eine Effizienzverbesserung geschwächt werden. Sehr starke Normen scheinen aber eher stabil zu sein und damit Verhaltensänderungen entgegenzuwirken.

**Regulatorisch:** Das Vorschreiben von Wärmedurchgangskoeffizienten je Gebäudeelement führt an sich nicht zu Rebound-Effekten. Wenn aber die Anteile namentlich der Glasflächen nicht reguliert werden, kann es zu einer Erhöhung des Verglasungsanteils an Gebäudefassaden kommen, was zu einem höheren Wärmebedarf im Gebäude führt. Die EnEV berücksichtigt solche Effekte bereits dahingehend, dass größere Wärmeverluste durch größere Fensterflächen aufgrund der Gesamtbilanzierung an anderer Stelle wieder kompensiert werden müssen. Das Vorschreiben solcher Effizienzkennzahlen für ganze Gebäude wiederum bezieht sich auf die Nutzfläche und fördert damit größere Gebäude (diese können die Kennzahlen einfacher einhalten).

#### Welche Rebound-Arten (direkt, indirekt, gesamtwirtschaftlich) gibt es?

- › **Direkt:** Erhöhte Raumtemperatur, Beheizung zusätzlicher Räume, Verzicht auf Temperaturabsenkung während Abwesenheit; „Regulierung der Heizung über das Fenster“
- › **Indirekt:** Wie oben ausgeführt, bestehen kaum Treiber für finanzielle Rebound-Effekte. Da überdies der Konsum von (zusätzlicher) Raumwärme nicht zeitintensiv ist, treten (meist sozialpsychologisch erklärbare) Rebound-Effekte vor allem direkt auf; es gibt nur geringe Treiber für indirekte Rebound-Effekte.
- › **Gesamtwirtschaftlich:** Die energetische Sanierung von Gebäudehüllen und energieeffiziente Bauweisen bei Neubauten führen zu mehr „Grauer Energie“. Wenn dies regulatorisch nicht berücksichtigt wird, sondern nur auf Energiebedarf in der Betriebsphase von Gebäuden konzentriert wird, kann dies zu gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekten führen, und damit zu etwas geringeren Energieeinsparungen als wenn nur der direkte Rebound-Effekt betrachtet wird.

#### Auswahl möglicher Politikinstrumente zur Eindämmung des Rebounds bei Raumwärme in Haushalten

- › Bewilligungspflicht für Klimaanlage in Privathaushalten.
- › Nutzung der Potenziale von Gebäudeautomatisierung, z.B. Heizungssteuerung in den Wohnräumen (statt im Keller) mit Anzeige der aktuellen Raumtemperatur.
- › Erhöhung der Energiesteuern auf Heizenergie im Gleichschritt mit der Effizienzsteigerung des Gesamtgebäudebestands

- › Verwendung realistischer Umrechnungsfaktoren zwischen Energieträgern (Vermeidung von Zielkonflikten zwischen Energie- und Klimapolitik).

#### Weitere Informationen

- Relevanz anderer Indikatoren für Rebound-Effekte bei Raumheizung: Frey und Labay (1988)
- Metaanalyse von Rebound-Studien zu Raumheizung. Sanders und Phillipson (2006)
- Einkommensabhängige Rebound-Effekte bei Raumheizung: Hong et al. (2006), Madlener und Hauertmann (2011)

### 7.3 Motorisierter Individualverkehr

Tabelle 9: Fact Sheet „Motorisierter Individualverkehr“

#### Motorisierter Individualverkehr (MIV)

##### Treiber der Mehrnachfrage und Ausmaß der Rebound-Effekte

- › Die Pro-Kopf-Mobilität nimmt in Deutschland (wie in allen anderen Ländern der Welt) zu. Pro Kopf nahmen Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen für MIV bis Ende der 1990er Jahre zu, stabilisierten sich dann, und zeigen seit Mitte der 2000er Jahre eine leichte jährliche Abnahme.
- › Eine wesentliche Rolle von Wachstumseffekten ist unbestritten: Eine Zunahme des BIP pro Kopf geht nach gängiger Auffassung mit einem Ausbau des Tertiärsektors und einer höheren Spezialisierung der Arbeitskräfte einher, was zu mehr Mobilität führt. Weiterhin führt ein höheres BIP pro Kopf zu mehr Freizeitverkehr.
- › Die Schätzungen, welcher Teil der Mehrnachfrage Effizienz-induziert ist (d.h. ohne Effizienz-Zunahme nicht stattgefunden hätte), gehen weit auseinander. Makroökonomische Studien nennen Rebound-Effekte von 30% bis über 50%, dürften aber Wachstumseffekte beinhalten. Studien auf Basis von Preiselastizitäten nennen 10% bis 30%. Bei Hybridautos wurden – in den ersten Jahren nach Markteinführung – gar negative Rebound-Effekte festgestellt (d.h. der Wechsel zum Hybridantrieb ging mit einem Rückgang der mittleren Fahrzeuggröße einher, und die Fahrleistung aller Autos im Haushalt sank [Dickinson und de Haan 2009]).
- › Relevanz: Bis 2020 wird die Effizienz von Neuwagen, getrieben durch politische Vorgaben, stark zunehmen (mit schätzungsweise 2,5% bis 3,0% pro Jahr). In Folge dieser Effizienzsteigerungen könnten Rebound-Effekte auftreten.

##### Welche Rebound-Gründe (finanziell, sozialpsychologisch, regulatorisch) gibt es?

- › **Finanziell:** Auch wenn die öffentliche Wahrnehmung eine andere ist: Betrachtet man die realen (inflationsbereinigten) Treibstoffkosten und die zunehmende Effizienz der Fahrzeuge, nehmen die Treibstoffkosten pro Kilometer ab. Es gibt damit finanzielle Einsparungen, d.h. Gründe für finanziellen Rebound.
- › **Sozialpsychologisch:** Beim Kauf eines effizienteren Autos führen Konsumenten keine detaillierte Berechnung möglicher Einsparungen durch und verwenden sehr hohe Diskontraten. Durch eine Effizienzverbesserung können persönliche wie auch soziale Normen, das Auto möglichst wenig zu nutzen, geschwächt werden. Sehr starke Normen scheinen dabei das Verhalten eher zu stabilisieren, d.h. Verhaltensänderungen entgegenzuwirken. Im Bereich MIV sind Rebound-Effekte stets auch sozialpsychologisch und nicht nur finanziell zu interpretieren (und zu bekämpfen). Insbesondere bei Alternativenantrieben (Hybrid-, Elektroantriebe) können sozialpsychologische Effekte zu Rebound führen.
- › **Regulatorisch, Super-Credits für Elektrofahrzeuge:** Die Politik stellt bei PKW und leichten Nutz-

fahrzeugen (LNF) stark auf den g CO<sub>2</sub>/km-Wert ab (PKW: 130 g im 2015; LNF: 175 g im 2017).

1. Dies führt zu verstärktem Optimierungsverhalten der Fahrzeughersteller auf die Politik-Zielgröße hin. Der Realverbrauch im Alltag geht weniger zurück als der Normverbrauch gemessen im Typenprüfzyklus. Die erwarteten Einsparungen treten deshalb nur teilweise ein. Durch Leichtbaumaterialien und aufwendigere Technik steigt auch die von Politik-Zielgröße nicht erfasste graue Energie.
2. Die Verwendung von g CO<sub>2</sub>/km-Mittelwerten führt dazu, dass ein vermehrter Verkauf von Kleinwagen den Mittelwert senken, aber absolut zu mehr Autos auf den Straßen führen kann, was zu einer Energie-Mehrnachfrage führen würde.
3. Die Anrechnung von Elektrofahrzeugen mit 0 g CO<sub>2</sub>/km beim Vollzug der 130 g- und 95 g CO<sub>2</sub>/km-Regelung für Neufahrzeuge führt dazu, dass „dank“ jedem Elektrofahrzeug ein zusätzliche Fahrzeuge mit höheren g CO<sub>2</sub>/km-Werten in Verkehr gesetzt werden können. Dies führt sowohl zu einer starken Förderung von Elektrofahrzeugen (auch wenn sie nicht energieeffizient sind), erhöht damit den Fahrzeugbestand, und erleichtert gleichzeitig das Erreichen des Zielwerts für nicht-elektrische Fahrzeuge (was zu einer Abnahme der mittleren Effizienz führt).

- › Regulatorisch, Abwrackprämie: Solche Prämien können den vermehrten Ersatz von kaum mehr benutzten Altfahrzeugen durch einen Neuwagen bewirken. Solche qualitativ besseren Neuwagen können dann mehr Mobilität generieren. Die staatliche geförderte Verjüngung der Fahrzeugflotte führt somit zu einem Anstieg der Fahrzeugkilometer.

#### Welche Rebound-Arten (direkt, indirekt, gesamtwirtschaftlich) gibt es?

- › Direkt: Autofahren kostet nicht nur Geld, sondern auch Zeit. In Deutschland sind die ökonomisch quantifizierbaren Zeitkosten pro Autokilometer etwa gleich hoch wie die Fahrzeugkosten (inkl. Energiekosten). Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit direkter Rebound-Effekte stark: Autonutzer, welche auf ein effizienteres Fahrzeug umsteigen, haben nicht mehr Zeit und fahren deshalb auch nicht mehr. Erhöhte Energieeffizienz im MIV kann aber dazu führen, dass Konsumenten vom ÖV auf den MIV umsteigen und dadurch mehr Auto fahren als vorher. Direkte Rebound-Effekte können zudem durch den Erwerb größerer Autos auftreten.
- › Indirekt: Weil die Treibstoffkosten pro Kilometer sinken, die Konsumenten aber nur in beschränktem Ausmaß mehr Auto fahren (Ausnahme: Wechsel von ÖV zu MIV), steigt im MIV-Bereich die Wahrscheinlichkeit indirekter Rebound-Effekte. Dies schwächt die energetischen Konsequenzen ab, da anderer Konsum meist weniger energieintensiv ist als MIV. Ausnahme ist der Konsum zusätzlicher Flugreisen, hier besteht eine große Gefahr indirekter Rebound-Effekte, da über sozialpsychologische Mechanismen Effizienzverbesserungen im MIV als Rechtfertigung für Flugreisen dienen könnten („ich fahre im Alltag effizient/hybrid/elektrisch, also darf ich für den Urlaub das Flugzeug nehmen“).
- › Gesamtwirtschaftlich: Die gesamtwirtschaftlichen Effekte entstehen durch graue Energie bei Herstellung, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen und Straßen.

#### Zu welchen potenziellen Rebound-Effekten gibt es bereits „Gegeninstrumente“?

- › Die „3. Säule“ der EU-Strategie zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Autos (COM(95)689) hat in den meisten Mitgliedstaaten zur Einführung von Energieeffizienz-Labels für Neuwagen geführt (mit Kategorien A bis G). In NL, E, CH, D ist die zur Kategorieneinteilung verwendete Effizienzgröße von Fahrzeuggewicht oder Fahrzeuggrundfläche abhängig. Der Relativitätsgrad erreicht aber nur ca. 40%, d.h. das Energieeffizienz-Label ist progressiv ausgelegt. Leichtere bzw. kleinere Fahrzeuge werden bei gleicher Antriebstechnologie als effizienter eingestuft. Der Umstieg auf kleinere Fahrzeuge wird somit weiterhin gefördert. Solche teilweise relativen Labels sind damit für sich betrachtet rebound-neutral. Dies im Gegensatz zum Beispiel zu

Kühlschränken mit vollständig relativer Energiekennzeichnung: Der Stromverbrauch wird dividiert durch den Rauminhalt des Kühlschranks, was ein zu 100% relatives Energieeffizienz-Label ergibt. Bei gleicher Technologie wird der größere Kühlschrank als effizienter eingestuft, eine solche Kennzeichnung kann deshalb zum Kauf größerer, vermeintlich effizienterer Geräte führen.

- › Der 130 g CO<sub>2</sub>/km-Zielwert für PKW gilt für ein bestimmtes mittleres Fahrzeug-Referenzgewicht. Wenn aber ein Hersteller im Durchschnitt schwerere PKW herstellt, erhöht sich auch der herstellerspezifische Zielwert (und umgekehrt). Die Erhöhung entspricht aber bewusst nur 60 % des sich physikalisch aufgrund des Mehrgewichts ergebenden Mehrverbrauchs ab. Für Hersteller wird es deshalb schwieriger, den Zielwert zu erreichen. Bei leichten Nutzfahrzeugen ist ein 175 g CO<sub>2</sub>/km-Zielwert für 2017 festgelegt worden. Hier beträgt der Ausgleich jedoch 100 %: Wenn ein Hersteller schwerere LNF baut, erhöht sich auch der herstellerspezifische Zielwert und gleicht den verbrauchserhöhenden Effekt des Zusatzgewichts vollständig aus. Das vermehrte Herstellen schwerer LNF kann deshalb helfen, den herstellerspezifischen Zielwert zu erreichen. Dies stellt ein regulatorischer Rebound-Effekt her.

#### Politikinstrumente zur Eindämmung des Rebounds bei MIV

- › Erhöhung der Kraftstoffsteuern im Gleichschritt mit der Effizienzsteigerung: Da die Effizienz der Neuwagen (PKW und LNF) bis 2020 jährlich um mehrere Prozentpunkte zunimmt, könnten zur Vermeidung von Rebound-Effekten die Kraftstoffsteuern im Gleichschritt erhöht werden (Zielgröße: Gleichbleibende fiskalische Belastung pro gefahrener Strecke).
- › Statt der Förderung von Alternativantrieben oder Alternativtreibstoffen könnte die energetische Effizienz als Politik-Zielgröße verwendet werden, vorzugsweise zunehmend unter Einbezug aller Lebensphasen (inkl. Herstellung und Entsorgung)
- › Der Kraftstoffverbrauch im Normprüfzyklus könnte als Politik-Zielgröße allmählich ersetzt werden durch Kraftstoffverbrauch im Alltag bzw. eine Annäherung daran (analog zum Vorgehen des U.S. EPA, welches Korrekturaufschläge verwendet).
- › Förderinstrumente für Elektrofahrzeuge, alternative Antriebe und dergleichen könnten mit einem automatischen „Ablaufdatum“ versehen werden, welches auf Zeit, Marktanteil oder Absatzvolumen basieren kann.
- › Elektrofahrzeuge könnten beim Vollzug der 130 g- und 95 g CO<sub>2</sub>/km-Regelung für Neufahrzeuge gesondert berücksichtigt werden, hierfür wäre ein Energieeffizienz-Kriterium (nicht CO<sub>2</sub>-Effizienz-Kriterium) nötig.

#### Zeit-Rebound

- › Menschen tendieren gar nicht dazu, das Zeitbudget für Mobilität gegen Null zu reduzieren. Ein gewisses Zeitbudget ist akzeptiert oder wird gar angestrebt, da Unterwegssein nicht nur Mittel zum Zweck, sondern auch Zweck an sich ist.
- › Jede Beschleunigung von Verkehrsmitteln (schnellere Züge, bessere Umsteigeverbindungen; neue Autobahnen, Reduktion des Staus) führt damit zu Mehrverkehr und zu entsprechendem Ressourcenverbrauch. Natürlich kann die Beschleunigung auch gezielt herbeigeführt werden, um Umsteige-Effekte weg von ressourcenintensiveren Verkehrsträgern auszulösen (z.B. vom Flugzeug hin zum Bahnfernverkehr). Aus Rebound-Sicht geht die Verteuerung des Flugverkehrs nicht mit Rebound-Risiken einher, die Beschleunigung des Bahnfernverkehrs schon.

## Weitere Informationen

- Berücksichtigung des direkten Rebounds bei der Potenzialabschätzung eines Bonus-Malus-Systems beim Neuwagenkauf: MEDDE (2009)
- Kombination von Effizienzmaßnahmen mit anderen Instrumenten inkl. Mobilitätsmanagement: Litman (2009)
- Internalisierung externer Kosten (als umfassendere Alternativ zu Erhöhung Kraftstoffsteuern): Ruzzenenti & Basosi (2008)
- Vermeidung indirekten Rebounds durch CO<sub>2</sub>-Steuern: Institute of Engineering und Technology (2010)
- Indirekter Rebound (marginaler Konsum): Girod und de Haan (2009)
- Einkommensabhängigkeit: Hymel et al. (2010); Small (2007); Small und Van Dender (2005)

## 7.4 Auftreten von Rebound-Effekten bei nicht-energetischen Ressourcen am Beispiel der Ressource Wasser

Tabelle 10: Fact Sheet „Nicht-energetischer Rebound am Beispiel von Wasser“

### Rebound-Effekte bei nicht-energetischen Ressourcen am Beispiel der Ressource Wasser

#### Gegenstand

- › Wasser ist die Grundlage allen Lebens; regional und zeitlich kann es zu Knappheiten kommen. Wasser ist nicht durch andere Ressourcen substituierbar. Zwischen den verschiedenen Qualitätsstufen (Süß-, Trink-, Regen-, Irrigations-, Klär-, Brack-, Salzwasser) ist Substitution teilweise möglich. Zur Erschließung und Aufbereitung von Wasser ist zum Teil Energie nötig: Zum Beispiel lässt sich unter Einsatz von Energie Salzwasser zu Trinkwasser aufbereiten, und es gibt namhafte Lagerstätten fossilen Wassers (Aquifere), welche unter Einsatz von Energie erschlossen werden können.

Der effiziente Umgang mit Wasser ist dementsprechend ein zentrales Thema sowohl der internationalen als auch nationalen Umweltpolitik. In Deutschland erscheinen als relevante Treiber für entsprechende Maßnahmen bisher vor allem die Kosten der Wasserver- und Abwasserentsorgung, der Eintrag von Schadstoffen in Gewässer und den Wasserkreislauf sowie der mit der (Warm-) Wasserbereitstellung verbundene Energieverbrauch. Aber auch eine unzureichende Wasserverfügbarkeit spielt in gewissen Regionen in Deutschland eine Rolle, deren Bedeutung aufgrund des Klimawandels und seiner Auswirkungen zunehmen wird.

#### Treiber der Mehrnachfrage und Ausmaß der Rebound-Effekte

Hinweise aus vorliegenden Studien zu Treibern sind gering, ebenso Angaben zum Ausmaß von Rebound-Effekten. Studien, welche Rebound-Effekte aufgrund einer effizienteren Nutzung von Wasser thematisieren, sind sehr begrenzt. Gewisse Hinweise für Rebound-Effekte liegen vor, konkrete Versuche zur Quantifizierung sind aber bisher kaum erfolgt. Folgende Faktoren scheinen eine Rolle zu spielen:

- › Limitierender Produktionsfaktor: Stellt Wasser einen limitierenden Produktionsfaktor dar (z.B. in der Landwirtschaft), ermöglichen Effizienzmaßnahmen eine Ausweitung von Produktionstätigkeiten.
- › Anwendungsbereich bzw. Technik: Sind in einem Anwendungsbereich (z.B. Duschen/Baden, Toilettenspülen, Wäsche waschen, Bewässerung) Verhaltensänderungen möglich bzw. gibt es bei der Anwendung der effizienteren Technik (z.B. Durchflussreduzierer, wassersparende

Wasch- und Spülmaschinen, Bewässerungssysteme mit Tröpfchenirrigation) einen Verhaltensspielraum, so scheinen Rebound-Effekte eher möglich.

- › Sättigungseffekte/Bedürfnisbefriedigung: Sind relevante Bedürfnisse (z.B. Bedürfnis nach Hygiene) bei der Nutzung von Wasser noch unbefriedigt und kann ein Komfortgewinn bzw. eine weitere Befriedigung dieser Bedürfnisse durch eine vermehrte Nutzung erzielt werden, so sind entsprechende Verhaltensänderungen und somit direkte oder indirekte Rebound-Effekte eher zu erwarten, als wenn es bereits zu einer Sättigung gekommen ist.
- › Gewohnheiten: Diese können das Verhalten im Umgang mit Wasser stabilisieren und dazu führen, dass Verhaltensänderungen nach Übernahme effizienter Technologien ausbleiben. Auf der anderen Seite können Gewohnheiten aber auch dazu führen, dass eine wassersparende Technik nicht optimal genutzt wird, wenn dazu Änderungen des gewohnheitsmäßigen Verhaltens notwendig sind.

#### Welche Rebound-Gründe (finanziell, sozialpsychologisch, regulatorisch) gibt es?

- › **Finanziell:** Kosteneinsparungen durch Einsatz effizienter, d.h. Ressourcen-schonender Techniken, können Rebound-Effekte verursachen, insbesondere wenn der Preis für die Ressource gleich bleibt. Der starke Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs in Haushalten in den neuen Bundesländern wurde durch den Einsatz effizienter Techniken zusammen mit zusätzlich wassersparenden Verhaltensänderungen erzielt. Der parallel stark angestiegene Wasserpreis dürfte dabei bewirkt haben, dass das Potenzial der durchgeführten Effizienzmaßnahmen weitgehend ausgeschöpft wurde. Die erzielbaren Verbrauchsreduktionen wurden folglich nicht bzw. lediglich in geringerem Maße durch Rebound-Effekte kompensiert, z.T. sogar durch weitere wassersparende Verhaltensänderungen unterstützt.
- › **Sozialpsychologisch:** Durch Effizienzverbesserungen können persönliche und soziale Normen zur sparsamen Nutzung von Wasser geschwächt werden. Sehr starke Normen scheinen aber relativ stabil zu sein und können Verhaltensänderungen entgegenwirken. In Deutschland scheinen Normen zur sparsamen Verwendung von Wasser durch die Sozialisation relativ stark verankert zu sein und somit Rebound-Effekte bei der Nutzung effizienterer Technik bislang einzudämmen. Solche Normen und das entsprechende Verhalten könnten sich bei nachfolgenden Generationen aber durch andere Lebensumstände und eine andere Sozialisation auch ändern, z.B. wenn das gesellschaftliche Problembewusstsein abnimmt, weil z.B. Aufforderungen zu wassersparendem Verhalten nicht mehr im selben Maße bzw. nicht mehr eindeutig kommuniziert werden.
- › **Regulatorisch:** Im November 2012 hat die Europäische Kommission ihre Strategie zum langfristigen Schutz der europäischen Wasserressourcen vorgestellt. In dieser Strategie ist unter anderem die Entwicklung von Wassereffizienzzielen vorgesehen. Potenzielle Regulierungen zur Förderung von Effizienz (z.B. ein Verkaufsverbot für Armaturen, die keine Durchflussbegrenzung aufweisen) könnten aufgrund finanzieller und sozialpsychologischer Treiber zu Rebound-Effekten führen, wenn sie nicht durch geeignete Maßnahmen zur Eindämmung von Rebound-Effekten begleitet werden.

#### Welche Rebound-Arten (direkt, indirekt, gesamtwirtschaftlich) gibt es?

- › **Direkter Effekt:** Wird die Duschzeit eingeschränkt, um Wasser bzw. Kosten zu sparen, trotz eines individuellen Bedürfnisses, länger zu duschen, so kann es nach Einbau eines wassersparenden Duschkopfes zu einer längeren Duschzeit kommen, so dass die theoretischen Einsparmöglichkeiten (bei gleichbleibendem Verhalten) nicht in vollem Umfang erreicht werden. Bei einer Toilettenspülung ist zunächst nicht davon auszugehen, dass häufigeres oder längeres Spülen zu einer besseren Bedürfnisbefriedigung oder einem Komfortgewinn führt. Allerdings kann eine wassersparende Toilettenspülung aus Komfortgründen möglicherweise eher

zur Entsorgung von Abfällen, wie gebrauchte Papiertaschentüchern oder organischen Abfällen genutzt werden. Zudem könnten bestehende Gewohnheiten dazu führen, dass die Technik nicht optimal genutzt wird (z.B. der richtige Gebrauch durch Drücken einer Wasserspartaste in der konkreten Situation unterlassen wird, weil es nicht der Gewohnheit entspricht).

In ariden Gebieten kann Wasser einen limitierenden Produktionsfaktor für die Landwirtschaft darstellen. Hier können Effizienzmaßnahmen zu einer Produktionsausweitung und somit zu einem hohen direkten Rebound-Effekt führen.

- › Indirekter Effekt: Die Nutzung von wassersparender Technik und dementsprechende Verbrauchsreduktionen, z.B. bei der Toilettenspülung oder durch wassersparende Wasch- und Spülmaschinen können dazu führen, dass die Wassernutzung für andere Zwecke, z.B. zur Körperhygiene oder zur Gartenbewässerung, ausgedehnt wird.

#### Auswahl möglicher Politikinstrumente zur Eindämmung des Rebounds im Bereich Wasser

- › Bislang existieren keine Politikinstrumente, die explizit Rebound-Effekte im Bereich Wasser adressieren. Maßnahmen, welche bei energetischen Rebound-Effekten diskutiert werden, um finanziellen Treibern zu begegnen, wie eine Erhöhung der Nutzungskosten staatlicherseits, sind im Wasserbereich schwer umsetzbar, da der Wasserpreis keine steuerlichen Komponenten enthält. Allerdings sieht die Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) nicht nur das Prinzip der Kostendeckung vor, sondern Wasserpreise sollen angemessene Anreize für die effiziente Nutzung der Ressource Wasser darstellen.

Maßnahmen, welche psychologische Einflussfaktoren wie Normen adressieren, sind dagegen leichter umsetzbar und könnten eine wichtige Rolle bei der Eindämmung von Rebound-Effekten spielen. Beispielsweise sollte individuelles Wassersparen weiterhin als sinnvolles und erwünschtes Verhalten kommuniziert werden und ein Bewusstsein zu den Auswirkungen, die mit der Nutzung von Wasser verbunden sind, vermittelt werden (auch wenn in manchen Gebieten aufgrund derzeit noch überdimensionierter Infrastrukturen Leitungssysteme vom Wasserversorger zusätzlich gespült werden müssen).

#### Weitere Informationen

Madlener, R.; Alcott, B. 2011: Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkopplung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum: Untersuchung zum Auftreten verschiedener Rebound-Effekte in unterschiedlichen Energie- und Umweltbereichen; enthält auch eine Zusammenfassung zum Thema Wasser.

Llop, M. 2008: Economic impact of alternative water policy scenarios in the Spanish production system: An input-output analysis. In: Ecological Economics (68), S. 288-294: In einer Analyse des Einflusses von Politikmaßnahmen auf den Wasserverbrauch im spanischen Industriesektor kommt die Autorin zu dem Ergebnis, dass die Annahme eines indirekten Rebound-Effektes gerechtfertigt ist.

## 8 Schlussfolgerungen und Ausblick

### 8.1 Definitorische Aspekte und Abgrenzung

Rebound-Effekte bezeichnen eine erhöhte Nachfrage nach ressourcenverbrauchenden Dienstleistungen und Produkten, die durch Effizienzverbesserungen entsteht und die somit die Wirkung von Effizienzmaßnahmen verringern kann. Damit ein Nachfragesignal entsteht, muss es finanzielle und/oder psychologische Faktoren geben, welche durch die Effizienzverbesserung beeinflusst werden. Auch regulatorische Faktoren können eine Rolle spielen: Falls zur Effizienzsteigerung technologiespezifische Förderung eingesetzt wird, können die Anreize für einzelne Technologien unausgewogen sein und insgesamt zu einer Mehrnachfrage führen.

Von Rebound-Effekten sind neben Energie auch andere physische Ressourcen wie Fläche, Wasser oder Rohstoffe sowie die nicht-materielle Ressource Zeit betroffen. So können Rebound-Effekte z.B. auftreten, bei Energiesparlampen (wenn diese seltener ausgeschaltet werden), Raumplanungszonen mit erhöhter baulicher Nutzung (wenn die Wohnfläche pro Person ansteigt), wassersparende Duschräumen (wenn diese zu längeren Duschzeiten führen) oder Umgehungsstraßen (die zu höherer Zeiteffizienz und deshalb häufig zu Mehrverkehr führen).

In makroökonomischen Vergleichen wird in der Regel die Änderung der Nachfrage über einen längeren Zeitraum in Relation zur gesamten Effizienzsteigerung gesetzt. Im Falle einer Steigerung der gesamten Nachfrage wird daraus geschlossen, dass Effizienzsteigerungen keinen Effekt hätten und Rebound-Effekte von 100% oder mehr vorliegen. Jedoch ignorieren solche Analysen den grundlegenden Einfluss des wirtschaftlichen Wachstums. Wenn die Nachfrage nach einem Gut oder einer Dienstleistung aber aufgrund einer wachstumsbedingt höheren Kaufkraft oder geänderten Konsumentenpräferenzen steigt, gilt diese Änderung nach der hier verwendeten Definition nicht als Rebound-Effekt. Solche Effekte auf den Verbrauch von Ressourcen, welche durch wirtschaftliches Wachstum ausgelöst werden, treten auch für Produkte und Dienstleistungen auf, bei denen keine Effizienzsteigerung stattgefunden hat (z.B. steigt die Nachfrage nach Fleisch mit dem BIP). Sie sind zweifelsohne von großer Bedeutung für die Bemühungen um eine nachhaltige Entwicklung; im Rahmen der vorliegenden Betrachtung von Rebound-Effekten stehen sie aber nicht im Fokus.

Rebound-Effekte werden im vorliegenden Bericht ausschließlich für materielle Ressourcen wie Energie, Fläche, Wasser und Rohstoffe betrachtet. Für die Analyse von Rebound-Effekten aufgrund höherer Zeiteffizienz wird auf Spielmann et al. (2008) verwiesen.

### 8.2 Erkenntnisse aus dieser Studie

- ▶ Um die Rebound-Forschung von allgemeinen Erörterungen über Wachstumseffekte abzugrenzen und die tatsächlichen Effekte von Effizienzverbesserungen bestimmen zu können, ist die Fokussierung auf die eigentliche Definition des Rebound-Effekts (durch erhöhte Ressourceneffizienz induzierte, und nicht bloß zeitlich parallel auftretende Mehrnachfrage) essentiell.
- ▶ Es ist zu unterscheiden zwischen direktem, indirektem und gesamtwirtschaftlichem Rebound-Effekt. Im Allgemeinen lassen sich nur direkte Rebound-Effekte empirisch erfassen. Die übrigen Effekte werden meist im Rahmen der Forschung zu nachhaltigem Konsum implizit oder explizit mitbetrachtet, z.B. bei Analysen zum Zusammenhang zwischen Einkommen und nachhaltigem Konsumverhalten (siehe Girod und de Haan 2009 zum Zusammenhang von Einkommen und Carbon Footprint).
- ▶ Auch die Zeit-Intensität der Nutzung einer Dienstleistung ist sehr wichtig. Wenn zusammen mit einer höheren Ressourceneffizienz auch eine höhere Zeiteffizienz eintritt, kann dies Rebound-Effekte hervorrufen oder verstärken. Gegenwärtig sind die Energiekosten meist deutlich niedriger als die Zeitkosten. Dies erklärt z.B. die nur geringe Preiselastizität der kurzfristigen Treibstoffnachfrage ebenso wie die Verkehrszunahme infolge von Straßenneubauten.

- ▶ Die Tatsache, dass Rebound-Effekte auftreten, ist allgemein anerkannt. Das Ziel sollte sein, sie zu minimieren. Dafür ist die Identifikation der Gründe für den aufgetretenen Effekt unabdingbar. Drei mögliche Arten von Gründen wurden identifiziert, wobei nur der erste (der finanzielle Rebound) in der gängigen ökonomischen Literatur betrachtet wird. Der sozialpsychologische Rebound sowie der regulatorische Rebound stellen sozio-psychologische bzw. politologische Ergänzungen dar, welche sich als notwendig erweisen, um auftretende Rebound-Effekte besser erklären zu können.
- ▶ Das Ziel sollte sein, Rebound-Effekte soweit wie möglich und sinnvoll zu minimieren (aber nicht zwingend auf Null zu reduzieren). Denn es geht an sich nicht darum, höheren Wohlstand z.B. bei von Energiearmut Betroffenen zu verhindern, also erwünschte Effekte, welche mit Rebound-Effekten einhergehen können. Vielmehr sollten unbefriedigte Bedürfnisse auf möglichst ressourcenschonende Weise befriedigt werden und – wo möglich, Alternativen zu einer erhöhten Nachfrage und Nutzung ressourcenverbrauchender Produkte geschaffen werden.
- ▶ Bessere Technik kostet mehr. In sehr vielen Fällen führen neue, energieeffiziente Technologien zwar zu reduzierten Energiekosten in der Betriebsphase, kosten dafür aber mehr in der Anschaffung. Bei neuen Technologien werden Verkaufspreise häufig so angesetzt, dass die Mehrinvestition in etwa der diskontierten künftigen Energiekostenreduktion entspricht. In solchen Fällen gibt es keinen ökonomischen Grund für Rebound-Effekte, wenn man von einer fixen Nachfrage ausgeht. Aufgrund der höheren Investitions- und der niedrigeren Betriebskosten besteht dann aber trotzdem ein Anreiz zur Mehrnutzung: Oft werden nur die marginalen Kosten in eine Konsumententscheidung mit einbezogen. Bei bereits etablierten Technologien (z.B. Energiesparlampen) sind die höheren Anschaffungskosten geringer als die diskontierte gesamte Energiekosteneinsparung, und es besteht ein klarer ökonomischer Grund für Rebound-Effekte.
- ▶ Die Kenntnis der Gründe ist zentral zur Entwicklung von Strategien zur Eingrenzung von Rebound-Effekten. Da bei Endkonsumenten bei der Wahrnehmung von Geldbeträgen meistens psychologische Effekte (Verlustaversion, Referenzpunkt-Effekte, sehr kurze Abschreibungsdauern, mentale Buchhaltung) auftreten, gehen finanzielle Gründe meist mit sozialpsychologischen Gründen einher.
- ▶ Manchmal wird befürchtet, Konsumenten könnten höhere Effizienz in einem Nachfragesektor (z.B. Kauf eines Niedrigenergiehauses) in einem anderen Sektor (z.B. Urlaubsreisen mit dem Flugzeug) kompensieren. Wie verschiedene empirische Untersuchungen aber gezeigt haben (Girod und de Haan 2010a), handeln umweltbewusste Konsumenten meist auch über mehrere Nachfrage-Sektoren hinweg kohärent und konsistent. Sie vermeiden damit die Entstehung des ökonomischen Rebound-Effekts.

## 8.3 Politische Handlungsempfehlungen zur Eindämmung von Rebound-Effekten

### 8.3.1 Allgemeine Schlussfolgerungen

Bei politischen Maßnahmen zur Vermeidung oder Eindämmung von Rebound-Effekten ist zu unterscheiden zwischen:

- ▶ Fragen zur Ausgestaltung von aus anderen Gründen ohnehin geplanten Politikmaßnahmen (“Low Rebound”-Ausgestaltung von Politikmaßnahmen), wobei diese Politikmaßnahmen oft nicht zur Energie-, Klima-, Umwelt- oder Ressourcenpolitik gehören;
- ▶ Potenzialabschätzungen von umweltpolitischen Maßnahmen zur Förderung der Ressourceneffizienz (wo die Maßnahmen selber idealerweise keine Rebound-Effekte verstärken, bei der Potenzialberechnung die normal auftretenden Rebound-Effekte aber in Abzug gebracht werden sollten); und

- ▶ Ausgestaltung von neuen Politikmaßnahmen, welche spezifisch zum Ziel haben, bereits vorhandene oder absehbare Rebound-Effekte zu reduzieren (oder gar gänzlich zu vermeiden), wobei solche Politikmaßnahmen zur Energie-, Klima-, Umwelt- oder Ressourcenpolitik gehören.

Dabei können die Grenzen zwischen diesen beiden Fällen fließend sein: Werden neue Verbrauchsvorschriften z.B. für PKWs eingeführt und wird gleichzeitig beschlossen, im Gleichschritt die Kraftstoffsteuern zu erhöhen, ist dies eine "Low Rebound"-Ausgestaltung der Effizienzvorschrift. Die Erhöhung der Kraftstoffsteuern kann aber auch, für sich betrachtet, als gezielte Rebound-Bekämpfungsmaßnahme aufgefasst werden.

Im Bereich der Energie-, Klima-, Umwelt- oder Ressourcenpolitik wird oft die Internalisierung externer Kosten angestrebt. In solchen Fällen werden ressourcenineffiziente Produkte teurer. Es entstehen Wettbewerbsvorteile für effiziente Produkte. Dies führt zu einem Anstieg der mittleren Effizienz. Diese wurde aber über eine Preiserhöhung erreicht, d.h. die Produkte (auch die effizienten) werden tendenziell teurer. Die effizienten Produkte werden aber weniger verteuert als die ineffizienten. Die Internalisierung externer Kosten weist deshalb kein kausaler Wirkungsmechanismus hin zu finanziellen Rebound-Effekten auf.

Neben der Internalisierung externer Kosten (was Energie bzw. Ressourcen verteuert und deshalb zu höherer Effizienz und reduzierten wirtschaftlichen Fehlallokationen führt) geht es in der Umweltpolitik oft auch um die Realisierung "tiefhängender Früchte" („low-hanging fruits“). Solche Effizienzmaßnahmen lohnen sich bereits zu heutigen Preisen, werden von den betreffenden Akteuren aber dennoch nicht umgesetzt (aus Unwissenheit, Trägheit usw.). Bei der Realisierung solcher „tiefhängende Früchte“-Maßnahmen kann es besonders in der Energiepolitik zu finanziellen Rebound-Effekten kommen.

Häufig sind Kombinationen von politischen Maßnahmen ("policy mixes") notwendig und auch sinnvoll. Sie sind auch bei der Eindämmung von Rebound-Effekten wirksam: Bei Effizienzmaßnahmen kann eine begleitende Kommunikation das Entstehen von sozialpsychologischen Rebound-Effekten verhindern.

Vorsicht ist geboten bei Instrumenten, welche eine Veränderung des Modal-Splits anstreben oder auch bei Treibhausgas- bzw. CO<sub>2</sub>-Abgaben, weil die i. d. R. angezielte und für den Rebound relevante Energieeffizienz nicht mit CO<sub>2</sub>-Effizienz gleichzusetzen ist.

Allgemein wurde festgestellt, dass die Überwindung von Ineffizienz häufig nicht mit gleichzeitiger Produktivitätssteigerung einhergeht (Saunders 2000). Hingegen kann die Förderung von technologischer Innovation langfristig zu Rebound-Effekten führen, namentlich wenn die geförderte, effiziente Technologie als Substitut für andere Technologien dient (Saunders 2000).

Die Theorie von Saunders (2000), wonach der Rebound mit steigender Elastizität der Substitution zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren zunehme, ist zwar im Grundsatz zutreffend, im Einzelfall aber mit Vorsicht anzuwenden. Opportunitätskosten für die Ausweitung der Nachfrage, inklusive Zeitkosten (namentlich im Bereich der Mobilität und bei Haushalt- und Unterhaltungsgeräten), können die Mehrnachfrage bremsen. Auch kann die Nachfrage bereits schlicht gesättigt sein. Auch bei steuerlichen Instrumenten, welche theoretisch nicht mit Rebound verbunden wären, wurde gezeigt, dass insgesamt entscheidend ist, ob vorher noch Effizienzpotentiale („low hanging fruits“) vorhanden waren. Falls dies der Fall ist, können Rebound-Effekte trotzdem auftreten (weil die „low hanging fruits“ endlich umgesetzt werden). Wichtig sind der Verwendungszweck von Steuereinnahmen bzw. die Rückerstattung von (indirekten Lenkungs-)Abgaben: Je nach Ressourcenintensität des Verwendungszwecks der zusätzlichen Steuereinnahmen kommt es zu einem indirekten Rebound.

### 8.3.2 Umweltpolitische Handlungsempfehlungen: 6 Lösungsstrategien zur Eindämmung von Rebound-Effekten

Im Rahmen dieses Projekts wurden mehrere Handlungsansätze identifiziert, wie Rebound-Effekte eingedämmt werden können. Aus umweltpolitischer Sicht lassen sie sich anhand von folgenden sechs Lösungsstrategien zusammenfassen. Da oft mehrere Faktoren (z.B. finanzielle und psychologische) bei Rebound-Effekten eine Rolle spielen, ist meist ein Policy-Mix sinnvoll, durch den mehrere dieser Lösungsansätze kombiniert werden.

- ▶ Lösungsstrategie 1: Effizienzförderung und Abgaben auf die Nutzung einer Ressource koppeln

Durch eine Effizienzförderung ergeben sich finanzielle Einsparungen. Diese ermöglichen es dem Verbraucher, mehr Einheiten des geförderten Produkts oder der Dienstleistung zu konsumieren. Wird parallel eine Abgabe auf den Verbrauch der Ressource – oder einer damit verknüpften Dienstleistung – eingeführt oder erhöht, schöpft diese die Einsparungen teilweise bis vollständig ab. Sie begrenzt somit mögliche Rebound-Effekte aufgrund finanzieller Faktoren. Dazu sollte die Abgabe (z.B. auf Ressourcen-, Energie- oder CO<sub>2</sub>-Verbrauch) so hoch angesetzt sein, dass sie die Kosteneinsparung, die durch Effizienzsteigerung entsteht, weitestgehend abschöpft.

Auch psychologischen Rebound-Effekten kann diese Lösungsstrategie möglicherweise entgegenwirken. Effizienzförderung gibt Verbrauchern ein Signal, welche Produkte oder Dienstleistungen umweltfreundlich(er) sind. Wird diese mit einer Abgabe gekoppelt, lenkt dies auch die Aufmerksamkeit darauf, wie Ressourcenverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Kauf eines geförderten effizienteren Produkts zusammenhängen. Dieses (neue) Bewusstsein kann langfristig Normen zu ressourcenschonendem Verhalten stärken. Zugleich kann so ein Anreiz geschaffen werden, das Produkt sparsam einzusetzen, um den Effizienzgewinn auszuschöpfen.

- ▶ Lösungsstrategie 2: Effizienzstandards nach Kategorien (Größe/Leistung) auslegen

Die Auflage (z.B. Effizienzstandard) wird mit Nutzenparametern wie Größe oder Leistung gewichtet. Das bedeutet, dass für verschiedene Größen- oder Leistungsklassen von Produkten unterschiedlich strenge Anforderungen gelten. Die Standards für größere Produkte sollten ambitionierter ausgestaltet werden: Beispielsweise dürfen dann größere Haushaltsgeräte weniger Ressourcen pro Nutzungseinheit verbrauchen als kleinere Geräte. Das Ziel ist, kleinere effiziente Produkte am Markt zu erhalten und sie nicht von größeren Produkten verdrängen zu lassen, die zwar pro Nutzungseinheit effizienter sind, aber letztlich absolut mehr Ressourcen verbrauchen.

Berücksichtigen Effizienzstandards Produkt-Kategorien wie Größe oder Leistung, kann dies zudem das Bewusstsein über den realisierten Effizienzgewinn stärken. Dies kann helfen, Rebound-Effekte, die durch psychologische Faktoren entstehen, einzudämmen. Denn es kann den Verbraucher ermuntern, beim Kauf nicht nur auf eine relativ höhere Effizienz, sondern auch auf absolute Einsparungen zu achten und diese auszuschöpfen.

- ▶ Lösungsstrategie 3: Nutzung einer Ressource durch einen „Cap“ beschränken

Pro Nutzer ist nur ein bestimmter Einsatz oder Konsum der Ressource erlaubt, sodass insgesamt ein absolutes Verbrauchsziel („Cap“) nicht überschritten wird. Diese Strategie zielt somit darauf, den absoluten Verbrauch einer bestimmten Ressource zu verringern. D.h. sie fokussiert nicht darauf, eine gewisse Menge an Einspareffekten zu erzielen. Je präziser dabei das Verbrauchsziel festgesetzt wird, desto zielsicherer wirkt diese Strategie. So würde etwa pro Auto und Bürger ein Verbrauchsziel bestimmt statt eines Einsparziels pro Auto. In diesem System lassen sich eventuell auftretende Einspareffekte nicht durch Mehrkonsum (finanzielle Rebound-Effekte) kompensieren. Denn die Nutzer sind gezwungen, das Verbrauchsziel einzuhalten. Auch das Bewusstsein, dass es notwendig ist, sparsam

mit der Ressource umzugehen, lässt durch die zwingende Einhaltung eines Verbrauchsziels schärfen. Dies wiederum wirkt psychologischen Rebound-Effekten entgegen.

Der Verbrauch wird dadurch verringert, dass die Nutzer auf individueller Ebene – über ein System von handelbaren Zertifikaten – ein Nutzungsrecht erhalten. Nutzer, die eine Ressource stärker – also über ihr individuelles Nutzungsrecht hinaus – konsumieren, müssen hierzu Zertifikate anderer Nutzer erwerben, die weniger Ressource benötigen. Dadurch wird die Ressource unter den Nutzern effizient verteilt, ohne dass das „Cap“ überschritten wird.

Beim Ausgestalten eines solchen Systems ist darauf zu achten, dass sich die beschränkte Ressource nicht durch eine Ressource substituieren lässt, die das System nicht erfasst. Auch sollte es nicht möglich sein, die damit verknüpfte Produktion oder Dienstleistung in einen anderen Sektor oder zu anderen Produkten zu verlagern, die das System nicht erfasst.

- ▶ Lösungsstrategie 4: Effizienzförderung und Standardeinstellungen bei der Nutzung einer Technologie koppeln

Standardeinstellungen („Defaults“) bei der Nutzung einer geförderten neuen Technologie können dazu verwendet werden, Rebound-Effekten, die durch ein ineffizientes individuelles Nutzerverhalten entstehen, entgegenzuwirken bzw. den Spielraum dafür einzuschränken.

Häufig werden noch im Werk einzelne technische Parameter als Standards bei bestimmten Produkten eingestellt. Wird per Werkseinstellung ein Energiesparmodus ausgewählt, so kann das Potential zum Effizienzgewinn besser ausgenutzt werden. Die Werkseinstellungen muss der Nutzer erst wieder gezielt aufheben. Dies wirkt eventuell auch psychologischen Rebound-Effekten entgegen. Denn der Nutzer muss sich bewusst mit der neuen Technologie und dem damit verknüpften Energieverbrauch auseinandersetzen, wenn er erwägt, die Werkseinstellungen zu ändern. Möglicherweise erhält er so eher einen Anreiz, zur Standardeinstellung zurückzukehren, die ihm garantiert, dass das Einsparpotential *voll ausgeschöpft wird*.

- ▶ Lösungsstrategie 5: Finanzielle Förderinstrumente für effiziente Technologien regelmäßig überprüfen

Werden effiziente Produkte und Dienstleistungen weiter gefördert, obwohl sie bereits am Markt etabliert sind, kann dies dazu führen, dass die Nachfrage nach der zugrunde liegenden Ressource unerwünscht wächst. Die Förderbedingungen bei Subventionen und Fördergeldern sollten deshalb verpflichtend regelmäßig überprüft werden. Zudem sollten Förderinstrumente mit einem „automatischen Ablaufdatum“ versehen werden. So kann sichergestellt werden, dass die Förderbedingungen angepasst werden, sobald die geförderten Produkte und Dienstleistungen auf dem Markt einen bestimmten Diffusionsgrad erreichen oder ein neuer, effizienterer Stand der Technik Platz greift.

Um finanzielle Rebound-Effekte zu hemmen, sollte die Subventionierungshöhe möglichst niedrig ausfallen. Auch sollte die Subventionierung von vornherein so gestaltet sein, dass die Höhe der Subventionen im Zeitverlauf abnimmt. Zudem sollten nur die effizientesten Produkte und Dienstleistungen gefördert werden.

- ▶ Lösungsstrategie 6: Einsatz von maßgeschneiderten Informations- und Kommunikationsmaßnahmen

Informations- und Kommunikationsmaßnahmen können psychologischen Rebound-Effekten entgegenwirken: Durch Effizienzsteigerungen können sich persönliche und soziale Normen abschwächen. Das Wissen, ein effizienteres Produkt zu verwenden, kann die Nachfrage und/oder die Nutzung des Produkts vermehren. Informations- und Kommunikationsmaßnahmen können hier gegensteuern, indem sie im konkreten Handlungsfeld das Problembewusstsein für den Ressourcenverbrauch schär-

fen und der Nutzer erfährt, wie es wirkt, wenn er sein Verhalten ändert. Informations- und Kommunikationsmaßnahmen können zudem sinnvoll sein, wenn Konsumenten die Ressourcen- bzw. Kosteneinsparungen überschätzen.

Informations- und Kommunikationsmaßnahmen sind vielfältig. Sie können u.a. folgende Formen annehmen:

- ▶ „individuelles Feedback“ zu den möglichen und tatsächlich erreichten Einsparungen, die der Nutzer einer Technologie durch sein Verhalten bewirkt;
- ▶ „Verhaltenstraining“ zum Umgang mit einer effizienten Technologie;
- ▶ Kennzeichnung von umweltfreundlichen Produkten nach bestimmten Kriterien;
- ▶ Kampagnen zur Schaffung von Vorbildern und zur Hervorhebung des erwünschten Verhaltens.

Informations- und Kommunikationsmaßnahmen sollten maßgeschneidert werden, um je nach Zielgruppe an spezifischen Faktoren anzusetzen. Zudem erscheinen sie oftmals nur dann sinnvoll, wenn sie mit weiteren effizienzfördernden Instrumenten kombiniert werden, da sie allein als wenig effektiv gelten.

## 8.4 Ausblick auf weitere Forschungsfragen

Der vorliegende Bericht hat Rebound-Effekte in allgemeiner Form als durch erhöhte Ressourceneffizienz induzierte Mehrnachfrage eingeführt und aufgezeigt, dass sie namentlich bei Energieeffizienzsteigerungen auch empirisch belegt werden können. Die Methoden zur empirischen Feststellung von Rebound-Effekten sind anspruchsvoll, namentlich bei korrekter Trennung von Wachstumseffekten und Rebound-Effekten im engeren Sinne. Dennoch reicht dies noch nicht aus, um Aussagen über mögliche Eindämmungsstrategien zu treffen. Zu diesem Zweck führt die vorliegende Arbeit die konsequente Unterscheidung von möglichen Einflussfaktoren ein, die vom individuellen Entscheidungsträger und seinem individuellen Entscheidungsverhalten ausgehen. Dabei wird berücksichtigt, dass Effizienztechnologien per se mit symbolischen Motiven und sozialen sowie persönlichen Normen („es ist mir wichtig, fortschrittliche, effiziente Produkte einzusetzen“) einhergehen können. Auch spielen psychologische Geldwahrnehmungseffekte (Verlustaversion, Referenzpunkt-Effekte, mentale Buchhaltung, sehr kurze Pay-Back-Zeiten) bei Konsumenten eine wichtige Rolle. Nicht zuletzt können niedrigere Betriebskosten zu einem Mehrverbrauch führen, wenn die höhere Anschaffungskosten (Energiesparlampen kosten mehr, benötigen dann aber weniger Strom) nicht mehr in Betracht gezogen werden. Dies alles liefert ein Erklärungsgerüst erstens für Rebound-Effekte, welche rein betriebswirtschaftlich nicht auftreten würden, und zweitens für das mögliche Ausbleiben von Rebound-Effekten, welche rein betriebswirtschaftlich erwartet worden wären.

Wie auch Sorell (2007) betont, ist das Auftreten von Rebound-Effekten namentlich infolge von Energieeffizienz-Maßnahmen zwar nicht mehr umstritten (auch wenn Effizienzverbesserungen unterschiedliche Effekte haben können, d.h. sich auch stabiles Verhalten wie positive Verhaltenseffekte zeigen können). Dennoch werden Rebound-Effekte bei der ex-ante-Prognose der Maßnahmen-Effizienz von energiepolitischen Vorhaben kaum berücksichtigt. Bei der ex-post-Analyse solcher Politiken wird außerdem in aller Regel nicht das Ausmaß des aufgetretenen Rebound-Effekts (was mit Unterscheidung von Wachstums- und Rebound-Effekten geschehen müsste) abgeschätzt. Dabei sind mittlerweile die Grundlagen und Erfahrungswerte vorhanden, um das Ausmaß zu erwartender Rebound-Effekte mindestens grob abzuschätzen. Die Annahme eines Rebound-Effekts von Null aufgrund fehlender Erfahrungswerten ist in diesem Kontext wissenschaftlich nicht mehr zulässig. Vor allem ist bei „general purpose technologies“ Vorsicht geboten. Solche Technologien bewerben sich gerade bei umwelt- und energiepolitischen Fragestellungen häufig um staatliche Subventionen oder vorteilhafte Normensetzung. In diesem Sinne ist die Empfehlung aus Saunders (2000), über die Sub-

stitutionselastizitäten den Rebound-Effekt abzuschätzen und zwischen Effizienz- und Technologieförderung zu entscheiden, weiterhin aktuell.

Rebound-Forschung ist demnach in der Essenz die Erforschung nachhaltigen Konsums im Allgemeinen bzw. von Einflussfaktoren für Nachfrageverschiebungen bei frei werdender oder zunehmender Kaufkraft im Speziellen. Dazu ist eine empirische Datenbasis zu Konsumverhalten und Haushaltsausgaben eine notwendige Ausgangsbasis. Künftiger Forschungsbedarf richtet sich darüber hinaus nach den Einflussfaktoren von Rebound-Effekten einerseits und nach den daraus resultierenden energie- und ressourcenpolitischen Schlussfolgerungen andererseits. Es lassen sich die folgenden Stoßrichtungen formulieren:

- a) Die Verknüpfung von Haushaltsausgaben (aus Einkommens- und Verbrauchserhebungen) mit deren Umweltbelastung gemäß Lebenszyklusinventardaten stellt eine Plattform für weitere künftige Forschung dar. Da letztlich die Umwelt- und Energiepolitik sowie der globale Klimaschutz in der Forschung zu Lebensstilen nachhaltigen Konsums ihren gemeinsamen Nenner haben, ist die Frage von zentraler Bedeutung, wohin sich der Haushaltskonsum bei steigendem durchschnittlichen Haushaltseinkommen (zusätzlicher Kaufkraft aufgrund erhöhter Effizienz) entwickelt bzw. je nach Lebensstil entwickeln könnte. Mit geeigneten Instrumenten kann eine Entwicklung nicht hin zu „mehr“ Konsum bzw. mehr Quantität (gemessen in physischen Einheiten), sondern zu „besserem“ Konsum bzw. mehr Qualität (höhere Preise pro physischer Einheit) gefördert werden (Girod und de Haan 2010b), was einer Reduktion von Rebound-Effekten entspricht. Die aktuell große Spannweite der Treibhausgasemissionen von Haushalten ist primär zurückzuführen auf Unterschiede im Mobilitätsverhalten (Einsatz von PKW sowie Flugverkehr), dem Heizsystem und dem Elektrizitätskonsum. Dies erlaubt, das Treibhausgas-Reduktionspotential von „grünem Konsum“ sowie von qualitativ höherwertigen Produkten in diesen Bereichen abzuschätzen.
- b) Ein zentrales Ergebnis der Rebound-Forschung ist, dass bei Produkten oder Dienstleistungen, welche ressourceneffizienter sind als bisherige Produkte oder Dienstleistungen, eine induzierte Mehrnachfrage zu erwarten ist. Dies hat Auswirkungen auf die Beurteilung neuer Produkte mittels der Lebenszyklusanalyse (LCA). Die LCA unterstellt immer die ceteris paribus-Annahme (was unveränderte Nachfrage umfasst) und muss als nicht erfüllt betrachtet werden. Gegenstand künftiger Forschung sollte deshalb sein, wie potentielle Rebound-Effekte in den Rahmen der LCA-Methodologie mindestens in ausgewählten Fällen integriert werden können.
- c) Nicht-ökonomische, d.h. psychologische Einflussfaktoren (mentaler Rebound) betreffen u.a. die Art und Weise, wie mit Umweltbelastungen umgegangen wird. Ein Teil der Konsumenten scheint Umweltbelastungen im Sinne von mentalen Budgets zu führen und auszugleichen, so dass es bei Effizienzverbesserungen zu Rebound-Effekten kommen kann. Diese Budgets stellen ein Abbild des Problembewusstseins der Konsumenten bzw. ihrer Wahrnehmung verschiedener Verhaltenskonsequenzen dar. Bei anderen Konsumenten zeigt sich, dass ein ausgeprägtes Problembewusstsein und starke Normen ein solches Kompensieren und somit Rebound-Effekte verhindern können. Die vertiefte Auswertung sozio-ökonomischer Panelerhebungen und Neuerhebung fehlender (psychologischer) Einflussfaktoren würde Einsichten in die Wirkweise entsprechender psychologischer Einflussfaktoren erlauben. Relevant sind außerdem Effekte der psychologischen Wahrnehmung von Geldbeträgen, namentlich von Bonusprämien, Verschrottungsprämien, und Anreizen für die Anschaffung energieeffizienter Technologien und Geräte.
- d) Zudem sind Maßnahmen, welche die psychologischen Einflussfaktoren effektiv adressieren, um Rebound-Effekte einzudämmen, zu untersuchen.

- e) Im Gebäudebereich stellt sich das Problem der relativen Effizienzvorschriften (U-Werte je Bauteil, ausgedrückt je Quadratmeter), welche noch keine absoluten Effekte sicherstellen. Progressive Effizienzvorschriften würden hier Rebound-dämpfend wirken und einen regulatorischen Rebound-Effekt vermeiden. Dies gilt analog auch für Vorschriften für Haushaltsgeräte: Progressive Vorschriften und Energielabel-Kategoriengrenzen würden einen regulatorischen Rebound vermeiden (es ist z.B. einfacher, einen großen A+++-Kühlschrank herzustellen als einen kleinen; wenn ein Konsument im Sinne eines Entscheidungs-Leitfadens sich auf A+++-Kühlschränke beschränkt, besteht die Gefahr, dass er einen zu großen Kühlschrank kauft und der absolute Jahresstromverbrauch am Schluss höher ist, als er mit einem kleineren A++-Kühlschrank gewesen wäre). Zu erforschen wäre die genaue Ausgestaltung dieser Progression.
- f) Außerdem besteht erheblicher Forschungsbedarf betreffend der Übertragbarkeit von Rebound-Erkenntnissen aus dem Energiebereich auf andere Ressourcen sowie die Verbesserung der empirischen Basis zu nicht-energetischen Rebound-Effekten.

## 9 Literaturverzeichnis

- 4CMR (2006): The Macroeconomic Rebound Effect und the UK Economy. Report for Defra. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [http://www.landecon.cam.ac.uk/research/eeprg/4cmr/pdf/Rebound\\_effect\\_4CMR\\_Final\\_Report\\_v6-1.pdf](http://www.landecon.cam.ac.uk/research/eeprg/4cmr/pdf/Rebound_effect_4CMR_Final_Report_v6-1.pdf).
- AGEB (2011): Anwendungsbilanzen für die Energiesektoren in Deutschland in den Jahren 2009 und 2010. Studie beauftragt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- ADEME & Vous (2010): Les effets rebond des mesures d'efficacité énergétique: comment les atténuer? Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter <http://www.ademe-et-vous.ademe.fr/sites/default/files/strategie-etudes/24/ademestrategieetudesn24.pdf>.
- Alcott, B. (2008): The sufficiency strategy: Would rich-world frugality lower environmental impact? In: *Ecological Economics*, 64 (4), S. 770-786.
- Alfredsson, E.C. (2004): "Green" consumption - no solution for climate change. In: *Energy*, 29 (4), S. 513-524.
- Anson, S, und K. Turner (2009): Rebound und disinvestment effects in oil consumption und supply resulting from an increase in energy efficiency in the Scottish commercial transport sector. *Strathclyde Discussion Papers in Economics*. No. 09-01. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter <http://www.strath.ac.uk/media/departments/economics/researchdiscussionpapers/2009/09-01KT.pdf>.
- Bahn-Walkowiak, B.; Wilts, H.; Bleischwitz, R.; Sanden, J. (2010): Differenzierte Mehrwertsteuersätze zur Förderung eines ressourceneffizienteren Konsums, Materialeffizienz und Ressourcenschonung, Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- Baker P, Blundell R, (1991): The microeconomic approach to modelling energy demand: some results for UK households. In: *Oxford Review of Economic Policy* 7(2), 54-76.
- Barker, T.; A. Dagoumas und J. Rubin (2009): The macroeconomic rebound effect und the world economy. In: *Energy Efficiency*, 2, 411-427. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter <http://tyndall2.webapp3.uea.ac.uk/publications/journal-article/2009/macroeconomic-rebound-effect-and-world-economy>.
- Barker, T.; P. Ekins, und N. Johnstone (eds.) (1995): *Global warming und energy demand*. London: Routledge.
- Barker, T.; Foxon, T., (2008): *The Macroeconomic Rebound Effect und the UK Economy*, Research Report, UK Energy Research Centre.
- BBSR (2007): Fläche im Kreis – Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtregionalen Flächennutzung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Projekthomepage [http://www.bbr.bund.de/nn\\_22702/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Forschungsfelder/FlaechelmKreis/01\\_\\_Start.html](http://www.bbr.bund.de/nn_22702/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Forschungsfelder/FlaechelmKreis/01__Start.html).
- Becker G S (1965): A theory of the allocation of time. *The Economic Journal*, LXXV(299), 493-517.
- Bentzen, Jan (2004): Estimating the Rebound Effect in US Manufacturing Energy Consumption. In: *Energy Economics* 26 (1), 123-134.
- Berkhout P H G, Muskens J C, Velthuisen J W. (2000): Defining the Rebound effect. *Energy Policy* 28 (2000) 425–432
- BGR (2012): DERA informiert: Welthandel bei Seltenen Erden eingeschränkt. BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und DERA - Deutsche Rohstoffagentur: <http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/BGR/DERA/dera-bgr-120314.html>.
- Biermayr, P.; Schriebl, E.; Baumann, B. (2005): Maßnahmen zur Minimierung von Reboundeffekten bei der Sanierung von Wohngebäuden, 6, *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Binswanger, M. (2001): Technological progress und sustainable development: what about the rebound effect? In: *Ecological Economics* 36(1), 119-32.
- Birol, F. und JH Keppler (2000): Prices, technology development und the rebound effect. *Energy Policy*, Volume 28, Number 6, June 2000, 457-469.

- Boardman, B. und G. Milne (2000): Making cold homes warmer: the effect of energy efficiency improvements in low-income homes. In: *Energy Policy* 218(6-7), 411-24.
- Bowers, B. (1998): *Lengthening the Day: a History of Lighting Technology*. Oxford: Oxford University Press.
- Brännlund, R.; T.Ghalwash und J. Nordström (2007): Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions. In: *Energy Economics* 29 (1), 1-17.
- Brännlund, Runar und Tarek Ghalwash (2008): The income–pollution relationship and the role of income distribution: An analysis of Swedish household data. In: *Resource and Energy Economics* 30 (3), 369-387.
- Brencic, V. (2009): Time-saving innovations, time allocation, and energy use: Evidence from Canadian households. In: *Ecological economics* 68 (11), 2859-2867.
- Callwell, C. (2010): Is efficient sufficient? The case for shifting our emphasis in energy specifications to progressive efficiency and sufficiency, Prepared for the European Council for an Energy Efficient Economy (eccee) with funding from the European Climate Foundation and the U.S. Environmental Protection Agency's ENERGY STAR Program. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [http://astrid-online.com/Clima--ene/Documenti/ECEE\\_Is-efficient-sufficient\\_22\\_03\\_10.pdf](http://astrid-online.com/Clima--ene/Documenti/ECEE_Is-efficient-sufficient_22_03_10.pdf).
- Casal, C.R.; van Wunnik, C.; Sancho, L.D.; Burgelman, J.C.; Desruelle, P. (2005): How will ICTs affect our environment in 2020? In: *foresight*, 7 (1), S. 77-87.
- Coad, A.; Peter de Haan und J.S. Woersdorfer (2009): Consumer support for environmental policies: An application to purchases of green cars. *Ecological Economics* 68, 2078–2086. DOI 10.1016/j.ecolecon.2009.01.015
- Cremer, C., W. Eichhammer, M. Friedewald, P. Georgieff, S. Rieth-Hoerst, B. Schlomann, P. Zoche, B. Aebischer und A. Huser (2003): *Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010*. Gutachten im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.
- Danish Energy Agency (2010): *Energy Statistics 2009*, Danish Energy Agency publication November 2010
- Darby, S. (2006): The effectiveness of feedback on energy consumption. A Review of Defra of the literature on metering, billing and direct displays. University of Oxford. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter <http://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads /smart-metering-report.pdf>.
- Dargay, J. M. (1992): *Are price & income elasticities of demand constant? The UK experience*. Oxford: Oxford Institute for Energy Studies.
- Dargay, J. M. und D. Gately (1994): Oil demand in the industrialised countries. In: *Energy Journal* 15 (Special Issue), 39-67.
- Dargay, J. M. und D. Gately (1995): The imperfect price irreversibility of non-transportation of all demand in the OECD. In: *Energy Economics* 17(1), 59-71.
- Davis, D. S. (2010): *Measuring the rebound effect of energy efficiency initiatives for the future. A South African case study*. Draft report. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [http://www.erc.uct.ac.za/Research/publications/10-Davis\\_Rebound\\_effect.pdf](http://www.erc.uct.ac.za/Research/publications/10-Davis_Rebound_effect.pdf).
- Davis, L. W. (2007): *Durable goods and residential demand for energy and water: evidence from a field trial*, Working Paper, Department of Economics, University of Michigan.
- de Haan P.; A. Peters und R. W. Scholz (2007): Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: Investigation of rebound effects, and possible effects of tax rebates. In: *Journal of Cleaner Production* 15, 1076–1084.
- de Haan, P.; M.G. Mueller und A. Peters 2006: Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers. In: *Ecological Economics* 58, 592–605.
- de Haan, P. (2008): Identification, quantification, and containment of energy-efficiency induced rebound effects: A research agenda. Rebound Research Report Nr. 1. ETH Zurich. IED-NSSI, report EMDM1521, 26 pages. doi:10.3929/ethz-a-006224281, <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:2116/eth-2116-01.pdf>
- de Haan, P. (2009): *Energie-Effizienz und Reboundeffekte: Entstehung, Ausmass, Ein-dämmung*. Bundesamt für Energie, Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen. ETH Zurich. IED-NSSI, report EMDM1524, 265 pages, doi:10.3929/ethz-a-006224258, <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:2115/eth-2115-01.pdf>.

- de Haan, P.; A. Peters und M.G. Mueller (2006): Comparison of Buyers of Hybrid and Conventional Internal Combustion Engine Automobiles: Characteristics, Preferences, and Previously Owned Vehicles. In: *Transportation Research Records* 1983, 106–113.
- de Haan, P.; M. G. Mueller und R.W. Scholz (2009): How much do incentives affect car purchase? Agent-based microsimulation of consumer choice of new cars, part II: Forecasting effects of feebates based on energy-efficiency. In: *Energy Policy* 37, 1083–1094.
- DECC (2010): Valuation of energy use and greenhouse gas emissions for appraisal and evaluation, Guidance, Background document and spreadsheet tool. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/statistics/analysts\\_group/analysts\\_group.aspx](http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/statistics/analysts_group/analysts_group.aspx).
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (2010): Elektrizität: Schlüssel zu einem nachhaltigen und klimaverträglichen Energiesystem. Zuletzt eingesehen am 23.10.2012, unter <http://www.studien.dpg-physik.de>.
- Dickinson J. und P. de Haan (2009): Analysis of potential direct rebound effects associated with hybrid Lexus RX400h. Rebound Research Report Nr. 5. ETH Zurich. IED-NSSI, report EMDM1472, 40 pages. doi:10.3929/ethz-a-006224344. <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:2120/eth-2120-01.pdf>
- DIFU (2006): Theoretische Grundlagen und Planspielkonzeption, Band 1, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), Perspektive Flächenkreislaufwirtschaft - Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtregionalen Flächennutzung - Fläche im Kreis. Ein ExWoSt Forschungsfeld, Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik DIFU.
- Dimitropoulos, J. (2007): Energy productivity improvements and the rebound effect: An overview of the state of knowledge. In: *Energy Policy* 35 (12), 6354-6363.
- Dimitropoulos, J. (2009): Rebound Effect. PowerPoint Presentation. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter <http://www.lsx.org.uk/docs/page/3340/Microsoft%20PowerPoint%20-%20John%20Dimitropoulos%20LSX%20presentation%20080909.pdf>.
- Douthitt, R. A. (1986): The demand for residential space and water heating fuel by energy conserving households. In: *The Journal of Consumer Affairs* 20(2), 231-48.
- Druckman, A.; M. Chitnis; S. Sorrell und T. Jackson (2011): Missing carbon reductions? Exploring rebound and backfire effects in UK households. In: *Energy Policy* 39 (6), 3572-3581.
- Druckman, A. et al. (2010): An investigation into the rebound and backfire effects from abatement actions by UK households. RESOLVE Working Paper Series 05-10. University of Surrey. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [http://www.surrey.ac.uk/resolve/DOCS/WorkingPapers/RESOLVE\\_WP\\_05-10.pdf](http://www.surrey.ac.uk/resolve/DOCS/WorkingPapers/RESOLVE_WP_05-10.pdf).
- Dubin, J. A., A. K. Miedema und R. V. Chandran (1986): Price Effects of Energy-Efficient Technologies - a Study of Residential Demand for Heating and Cooling. In: *Rand Journal of Economics* 17(3), 310-25.
- EEA (2010): *The European environment – state and outlook 2010: consumption and the environment*. Kopenhagen: European Environment Agency. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter <http://www.eea.europa.eu/soer/europe/consumption-and-environment>.
- Erdmann, L.; Hilty, L.; Goodman, J.; Arnfalk, P. (2004): The Future Impact of ICTs on Environmental Sustainability, EUR 21384 EN: European Commission - Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.
- Espey, J. A. und M. Espey (2004): Turning on the lights: a meta-analysis of residential electricity demand elasticities. In: *Journal of Agricultural and Applied Economics* 36(1), 65-81.
- Espey, M. (1998): Gasoline demand revisited: an international meta-analysis of elasticities. In: *Energy Economics* 20, 273-95.
- Faist Emmenegger, M.; Frischknecht, R.; Stutz, M.; Guggisberg, M., Witschi, R. und Otto, T. (2004): Life Cycle Assessment of the Mobile Communication System UMTS: Towards Eco-efficient Systems. In: *Int J LCA (OnlineFirst)*, 1-12.
- Fanger, O. (1970): *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Kopenhagen: Danish Technical Press.

- FAO (2002): World Agriculture: Towards 2015/2030. Summary Report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Available under: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y3557e/y3557e.pdf>.
- Ferrer-i-Carbonell, A.; A. C. Muskens und M. J. van Leeuwen (2002): Behavioural responses to energy-related taxes: a survey. In: *International Journal of Global Energy Issues* 18(2/3/4), 202-17.
- Figge, F.; Hahn, T. (2004): Sustainable Value Added - measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. In: *Ecological Economics*, 48 (2), S. 173-187.
- Fouquet, R. und P.J.G. Pearson (2006): Seven centuries of energy services: the price and use of light in the United Kingdom. *The Energy Journal*, Vol. 27, No. 1
- Franklin, R. S.; M. Ruth (2012): Growing up and cleaning up: The environmental Kuznets curve redux. In: *Applied Geography* 32 (1), 29-39.
- Frey, C. J. und D. G. Labay (1988): Examination of energy take-back. In: *Energy Systems and Policy* 12, 205-17.
- Frondel, M. (2004): Energy conservation, the rebound effect, and future energy and transport technologies. An introduction to energy conservation and the rebound effect. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 2 (3), 203-208.
- Frondel, M. und C. M. Schmidt (2005): Evaluating Environmental Programs: The Perspective of Modern Evaluation Research. In: *Ecological Economics* 55(4), 515-26.
- Frondel, M. und C. Vance (2013): Re-identifying the Rebound - What about asymmetry? *The Energy Journal*, Vol. 34, No. 4. 43-54, <http://dx.doi.org/10.5547/01956574.34.4.3>.
- Frondel, M., N. Ritter und C. Vance (2012): Heterogeneity in the rebound effect: Further evidence for Germany. *Energy Economics* 34, 2012, 461-467..
- Frondel, M., J. Peters und C. Vance (2008): Identifying the Rebound: Evidence from a German Household Panel. In: *The Energy Journal* 29 (4): 154-163.
- Frondel, M. und S. Lohmann (2011): The European Commission's Light Bulb Decree: Another costly regulation? *Ruhr Economic Papers* No. 245. Bochum, Essen: RUB, RWI.
- Gately D. (1992): Imperfect price reversed ability of US gasoline demand: asymmetric responses to price increases and declines. *Energy Journal*, 13(4), 179-207.
- Gately, D. (1990): The U.S. demand for highway travel and motor fuel. In: *The Energy Journal* 11, 59-73.
- Geller, E.S.; Erickson, J.B.; Buttram, B.A. (1983): Attempts to Promote Residential Water Conservation with Educational, Behavioral and Engineering Strategies. In: *Population and Environment*, 6 (2), S. 96-112.
- Gerber, S. 2010: Leichtbau - Erhöhung der crash-Sicherheit bei gleichzeitiger Gewichtersparnis, Diplomarbeit, Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft.
- Giljum, S.; Behrens, A.; Hinterberger, F.; Lutz, C.; Meyer, B. 2008: Modelling scenarios towards a sustainable use of natural resources in Europe. In: *Environmental Science & Policy*, 11 (3), S. 204-216.
- Girod, B. (2008): Environmental impact of Swiss household consumption, and estimated income rebound effects. Rebound Research Report Nr. 2. ETH Zurich. IED-NSSI, report EMDM1381, 80 pages. doi:10.3929/ethz-a-006224308, <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:2117/eth-2117-01.pdf>.
- Girod, B. und Peter de Haan (2009): Mental rebound. Rebound Research Report Nr. 3. ETH Zurich. IED-NSSI, report EMDM1522, 24 pages. doi:10.3929/ethz-a-006224327, <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:2118/eth-211801.pdf>.
- Girod, B. und Peter de Haan (2010a): More or better? A model for changes in household greenhouse gas emissions due to higher income. *Journal of Industrial Ecology*, 14(1), 31-49, DOI: 10.1111/j.1530-9290.2009.00202.x.
- Girod, B. und Peter de Haan (2010b): GHG reduction potential of changes in consumption patterns and higher quality levels: Evidence from Swiss household consumption survey. In: *Energy Policy* 37, 5650-5661.
- Girod, B.; de Haan Peter und R.W. Scholz (2011): Consumption-as-usual instead of ceteris paribus assumption for demand. Integration of potential rebound effects into LCA. In: *Int J Life Cycle Assess* 16:3, 11. DOI 10.1007/s11367-010-0240-z

- Goldberg, P. K. (1996): The effect of the corporate average fuel efficiency standards. Working Paper No. 5673. Cambridge MA: National Bureau of Economic Research.
- González, J. F. (2010): Empirical evidence of direct rebound effect in Catalonia. In: *Energy Policy* 38 (5), 2309-2314.
- Goodwin P B. (1996): Empirical evidence on induced traffic, a review and synthesis. *Transportation*. 23(1), 35-54.
- Graham, D. J. und S. Glaister (2002a): The demand for automobile fuel: a survey of elasticities. In: *Journal of Transport Economics and Policy* 36(1), 1-26.
- Graham, D. und S. Glaister (2002b): Review of income and price elasticities of demand for road traffic. London: London Imperial College, Centre for Transport Studies.
- Greene, D. L., 2012: Rebound (2007): Analysis of U.S. light-duty vehicle travel statistics. *Energy Policy* 41(2012), 14–28.
- Greene, D. L. (1992): Vehicle use and fuel economy: how big is the “rebound” effect? In: *Energy Journal* 13(1), 117-43.
- Greene, D. L. (2010): Rebound 2007: Analysis of U.S. light-duty vehicle travel statistics. In: *Energy Policy* Vol. 41, 14-28.
- Greene, D. L.; J. R. Kahn und R. C. Gibson 1999b: Fuel economy rebound effect for US household vehicles. In: *Energy Journal* 20(3), 1-31.
- Greene, D. L.; J. R. Kahn und R. Gibson (1999a): An econometric analysis of the elasticity of vehicle travel with respect to fuel cost per mile using the RTEC survey data. Oak Ridge (TN): Oak Ridge National Laboratory.
- Greening, L. A. und D. L. Greene (1998): Energy use, technical efficiency, and the rebound effect: a review of the literature. Denver: Report to the U.S. Department of Energy, Hagler Bailly and Co.
- Greening, L. A.; D. L. Greene und C. Difiglio (2000): Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey. In: *Energy Policy* 28 (6-7), 389-40.
- Grubb, M. J. (1995): Asymmetrical price elasticities of energy demand. In: T. Barker, P. Ekins and N. Johnstone (eds.): *Global warming and energy demand*. London: Routledge.
- Guerra A-I. und F. Sancho (2010): Rethinking economy-wide rebound measures: An unbiased proposal. In: *Energy Policy* 38 (11), 6684-6694.
- Guertin, C.; S. Kumbhakar und A. Duraiappah (2003): Determining demand for energy services: investigating income-driven behaviours. Winnipeg (Manitoba, Kanada): International Institute for Sustainable Development.
- Haas, R. und L. Schipper (1998): Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements. In: *Energy Economics* 20(4), 421-42.
- Haas, R. und P. Biermayr (2000): The rebound effect for space heating Empirical evidence from Austria. In: *Energy Policy* 28 (6-7), 403-410.
- Haas, Reinhard; Hand Auer und Peter Biermayr (1998): The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. In: *Energy and Buildings* 27(2), 195–205. DOI/10.1016/S0378-7788(97)00034-0
- Hanley M, Dargay J M, Goodwin P B, (2002). Review of income and price elasticities in the demand for road traffic. Final report to the DTLR under Contract number PPAD 9/65/93, ESRC Transport Studies Unit, University College London, London
- Hartman, R. S. (1988): Self-selection bias in the evaluation of voluntary energy conservation programs. In: *The Review of Economics and Statistics* 70(3), 448-58.
- Haughton, J. und S. Sarkar (1996): Gasoline tax as a corrective tax: Estimates for the United States, 1970-1991. In: *Energy Journal* 17(2), 103-26.
- Henly J., Ruderman H, Levine M D. (1988): Energy savings resulting from the adoption of more efficient appliances: a follow-up. *Energy Journal*, 9(2), 163-70.
- Hens, H.; W. Parijs und M. Deurinck (2010): Energy consumption for heating and rebound effects. In: *Energy and Buildings* 42 (1), 105-110.
- Herring, H. und R. Roy (2007): Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect. In: *Technovation* 27 (4), 194-203.

- Hilty, L. und T. Rudy (ohne Datum): Towards a Sustainable Information Society. St. Gallen: EMPA. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/32695/---/l=2](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/32695/---/l=2).
- Hilty, L.M. (2007): Nachhaltige Informationsgesellschaft - Einfluss moderner Informations- und Kommunikationstechnologien. In: Isenmann, R.; Hauff von, M. (Hrsg.): Industrial Ecology: Mit Ökologie zukunftsorientiert wirtschaften. Heidelberg: Elsevier, S. 189-205.
- Hofstetter P., Madjar M, Ozawa T. (2006). Happiness and Sustainable Consumption: Psychological and physical rebound effects at work in a tool for sustainable design. *Int J LCA* 11, Issue 1 (2006), 105 – 115
- Hong S H, Oreszczyn T, Ridley I. (2006): The impact of energy efficient refurbishment on the space heating fuel consumption in English dwellings. *Energy and Buildings*, 38(10), 1171-81.
- Hsueh, L.M. und J. L. Gerner (1993): Effect of Thermal Improvements in Housing on Residential Energy Demand. In: *Journal of Consumer Affairs* 27(1), 87-105.
- Huesemann, M.H. (2003): The limits of technological solutions to sustainable development. In: *Clean Technologies and Environmental Policy*, 5 (1), S. 21-34.
- Hymel, K. M.; K. A. Small und K. Van Dender (2010): Induced demand and rebound effects in road transport. In: *Transportation Research Part B: Methodological* 44 (10), 1220-1241.
- IEA (2005): The experience with energy efficiency policies and programmes in IEA countries – learning from the Critics. IEA information Paper, Geller H and Attali S on behalf of IEA. Paris France, August 2005, 43 pages
- IEA (2006): *World Energy Outlook 2006*. Paris: International Energy Agency.
- IEA (2009): *World Energy Outlook 2009*. Paris: International Energy Agency.
- Institution of Engineering and Technology (2010): Rebound: Unintended consequences from transport policies and technology innovation- Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [www.theiet.org/factfiles/transport/unintended.cfm?type=pdf](http://www.theiet.org/factfiles/transport/unintended.cfm?type=pdf).
- IPCC AR4. (2007): IPCC Fourth Assessment Report. Zuletzt eingesehen am 5.12.2012, unter <http://www.ipcc.ch/>.
- Irrek, Wolfgang (2011): How to reduce the rebound effect. In: *International Economics of Resource Efficiency Part 3*, 279-285. DOI: 10.1007/978-3-7908-2601-2\_13
- Jalas M. (2002): A time use perspective on the materials intensity of consumption. *Ecological Economics*, 41(1), 109-23.
- Johansson, O. und L. Schipper (1997): Measuring long-run automobile fuel demand: separate estimations of vehicle stock, mean fuel intensity, and mean annual driving distance. In: *Journal of Transport Economics and Policy* 31(3), 277-92.
- Jones C T (1993): Another look at U.S. passenger vehicle use and the "rebound" effect from improved fuel efficiency. *The Energy Journal*, 14(4), 99.
- JRC/IE (2009): Electricity Consumption and Efficiency Trends in the European Union. Status Report. JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24005 EN. Ispra: Joint Research Centre, Institute for Energy. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/EnEff\\_Report\\_2009.pdf](http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/EnEff_Report_2009.pdf).
- Katrena et al. (2010): The Role of Technological and lifestyle Changes Versus Carbon Taxes in Determining the Energy Demand of Households. Published in *Critical Issues in Environmental Taxation*, Vol VIII, 354-375.
- Khazzoom, J. D. (1980): Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances. In: *Energy Journal* 1(4), 21-40.
- Klein, Y. L. (1987): Residential energy conservation choices of poor households during a period of rising energy prices. In: *Resources and Energy* 9(4), 363-78.
- Klein, Y. L. (1988): An econometric model of the joint production and consumption of residential space heat. In: *Southern Economic Journal* 55(2), 351-59.
- Liftshare (2010): Live Statistics. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [www.liftshare.com/business/livestats.asp](http://www.liftshare.com/business/livestats.asp).
- Linden, A.; A. Carlsson-Kanyamab A. und B. Eriksson (2006): Efficient and inefficient aspects of residential energy behavior: what are the policy instruments for change? In: *Energy Policy* 34(14), 1918-1927.

- Litman, T. (2006): London Congestion Pricing: Implications for Other Cities. Victoria (BC, Canada): Victoria Transport Policy Institute. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter <http://www.vtpi.org/london.pdf>.
- Llop, M. (2008): Economic impact of alternative water policy scenarios in the Spanish production system: An input-output analysis. In: *Ecological Economics* (68), S. 288-294.
- Lucas, R.; Bleischwitz, R.; Krause, M.; Stürmer, M. (2008): Kupfereffizienz - unerschlossene Potenziale, neue Perspektiven. Ergebnisse des 'Zukunftsdialogs Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung'. Wuppertal Institut, zuletzt aktualisiert am 13.10.2008.
- Madlener, R. und B. Alcott (2009): Energy rebound and economic growth: A review of the main issues and research needs. In: *Energy* 34 (3), 370-376.
- Madlener, R. und M. Hauertmann (2011): Rebound effects in German residential heating: Do ownership and income matter? FCN Working Paper No. 2/2011.
- Madlener, R.; Alcott, B. (2011): Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkoppelung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum, Kommissionsmaterialie M-17(26)13, Berlin: Enquete-Kommission "Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität" des Deutschen Bundestages.
- Malmodin, J.; Moberg, A.; Lundén, D.; Finnveden, G.; Lövehagen, N. (2010): Greenhouse Gas Emissions and Operational Electricity Use in the ICT and Entertainment & Media Sectors. In: *Journal of Industrial Ecology*, 14 (5), S. 770-790.
- Martin C, Watson M, (2006): Measurement of energy savings and comfort taking in houses receiving insulation upgrades. Energy Monitoring Company for Energy Saving Trust, 2006
- Matiaske, W.; R. Menges und M. Spiess (2011): Modifying the rebound: It depends! Explaining mobility behavior on the basis of the German socio-economic panel. SOEP papers 174. Berlin: DIW Berlin, The German Socio-Economic Panel (SOEP).
- Matos, F. J. F. und F. J. F. Silva (2011): The rebound effect on road freight transport: Empirical evidence from Portugal. In: *Energy Policy* 39 (5), 2833-284.
- Maxwell, D. und L. McAndrew (2011): Addressing the rebound effect. Final report to European Commission DG ENV framework contract ENV.G.4/FRA/2008/0112
- MEDDE (2010): CO<sub>2</sub> et activités économiques de la France. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie French Ministry of the Environment. Études et documents n°27. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter <http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/uploads/media/Namea.pdf>.
- Melville, N.P. (2010): Information Systems Innovation for Environmental Sustainability. In: *MIS Quarterly*, 34 (1), S. 1-21.
- Millock, K.; Nauges, C. (2010): Household Adoption of Water-Efficient Equipment: The Role of Socio-Economic Factors, Environmental Attitudes and Policy. In: *Environmental and Resource Economics*, 46 (4), S. 539-565.
- Nadel, S. (1993): The take-back effect - fact or fiction. ACEEE Report no. U933. Washington, DC: American Council for an Energy Efficient Economy.
- Nässén, J. und J. Holmberg (2009): Quantifying the rebound effects of energy efficiency improvements and energy conserving behaviour in Sweden. In: *Energy Efficiency* 2 (3), 221-231.
- Nässén, J. und J. Holmberg (2011): Price and Income Induced Rebound Effects of Improved Energy Efficiency in Swedish Households: With Comments on Materials Efficiency. In: Bleischwitz, Raimund; Paul J. Welfens und Xiang Zhang 2011: *International Economics in Resource Efficiency Part 3*. Berlin: Physica-Verlag HD, 235-251.
- Newak (2010): HECORE Project Household Energy Consumption and Rebound Effect - Research project. Brussels: Belgian Science Policy Office.
- Ostertag, K.; Sartorius, C.; Tercero Espinoza, L. (2010): Innovationsdynamik in rohstoffintensiven Produktionsprozessen. *Chemie Ingenieur Technik* 82 (11), S. 1893-1901.
- Ostertag, K.; Schleich, J.; Ehrhart, K.-M.; Goebes, L.; Müller, J.; Seifert Stefan; Küpfer, C. (2010): Neue Instrumente für weniger Flächenverbrauch - Der Handel mit Flächenausweisungszertifikaten im Experiment, ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale, Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

- Owen P, (2007): The Ampere Strikes Back. An investigation into the Consumer Electronics and ICT sectors to understand why energy consumption in these areas is predicted to rise significantly in the face of increasing demands for energy efficiency in these products.
- Owen P, (2006): Rise of the Machines. A review into the energy consumption increase in UK households from the 1970s to the 2000s
- Parti, M. und C. Parti (1980): The total and appliance-specific conditional demand for electricity in the household sector. In: *The Bell Journal of Economics* 11, 309-21.
- Peters, A.; M.G. Mueller; P. de Haan und R. W. Scholz (2008): Feebates promoting energy efficient cars: Design options to address more consumers and possible counteracting effects. In: *Energy Policy* Vol. 36, 1355–1365.
- Peters, A., Sonnberger, M. & Deuschle, J. (2012a): Rebound-Effekte aus sozialwissenschaftlicher Perspektive – Ergebnisse aus Fokusgruppen im Rahmen des REBOUND-Projektes. Working Paper Sustainability and Innovation No. S 5/2012. Karlsruhe: Fraunhofer ISI
- Peters, A.; M.G. Mueller; P. de Haan und R. W. Scholz (2008): Feebates promoting energy efficient cars: Design options to address more consumers and possible counteracting effects. In: *Energy Policy* Vol. 36, 1355–1365.
- Peters, A.; Sonnberger, M.; Dütschke, E.; Deuschle, J. (2012b): Theoretical perspective on rebound effects from a social science point of view - Working Paper to prepare empirical psychological and sociological studies in the REBOUND project, Working Paper Sustainability and Innovation 2/2012, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Puller, S. L. und L. A. Greening 1999: Household adjustment to gasoline price change: an analysis using 9 years of US survey data. In: *Energy Economics* 21(1), 37-52.
- Rietveld, P. (2011): Telework and the transition to lower energy use in transport: On the relevance of rebound effects. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1 (1), 146-151.
- Roy, J. (2000): The rebound effect: some empirical evidence from India. In: *Energy Policy* 28(6-7), 433-38.
- Ruzzenenti, F. und R. Basosi (2008): The rebound effect: An evolutionary perspective. In: *Ecological Economics* 67, 526-537.
- Ruzzenenti, F. und R. Basosi (2008): The role of the power/efficiency misconception in the rebound effect's size debate: Does efficiency actually lead to a power enhancement? In: *Energy Policy* 36 (9), 3626-3632.
- Sanders, M. und M. Phillipson (2006): Review of differences between measured and theoretical energy savings for insulation measures. Glasgow: Glasgow Caledonian University, Centre for Research on Indoor Climate and Health.
- Santarius, T. (2012): Der Rebound-Effekt – Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz. Impulse zur WachstumsWende, Nr. 5. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- Saunders, H. D. (2000): A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom–Brookes. In: *Energy Policy* 28 (6-7), 439-449.
- Saunders, H. D. (2010): Historical Evidence for Energy Consumption Rebound in 30 US Sectors and a Toolkit for Rebound Analysts. Oakland (CA): Breakthrough Institute.
- Schettkat, R. (2011): Analyzing Rebound Effects. In: Bleischwitz, R.; Welfens, P.; Zhang, Z.X. (Hrsg.): *International Economics of Resource Efficiency*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 253-278.
- Schipper L, Bartlett S, Hawk D, Vine E, (1989): Linking life-style and energy use: a matter of time. *Annual review of energy* 14, 273–320.
- Schipper, L.; M. Josefina; L. P. Figueroa und M. Espey (1993): Mind the gap: The vicious circle of measuring automobile fuel use. In: *Energy Policy* 21(12), 1173-90.
- Schlegel, M. (2009): Empfehlungen zu Schweizer Politikmaßnahmen in Abhängigkeit von Rebound-effekten. Rebound Research Report Nr. 4. ETH Zurich. IED-NSSI, report EMDM1601, 56 pages. doi:10.3929/ethz-a-006224333, <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:2119/eth-2119-01.pdf>.

- Schleich, J., Mills, B., Dütschke, E. (2014): A Brighter Future? Quantifying the Rebound Effect in Energy Efficient Lighting. In: *Energy Policy* 72 (9), 35-42.
- Schneidewind, U.; M. Müller und M. Hübscher (ohne Datum): Institutionelle Dimensionen einer Nachhaltigen Informationsgesellschaft. Zuletzt eingesehen am 08.03.2012, unter [http://www.sozial-oekologischeforschung.org/intern/upload/literatur/schneidewind\\_instit\\_dimensionen.pdf](http://www.sozial-oekologischeforschung.org/intern/upload/literatur/schneidewind_instit_dimensionen.pdf).
- Schüler, D.; Buchert, M.; Liu, R.; Dittrich, S.; Merz, C. (2011): *Study on Rare Earths and Their Recycling*, Darmstadt: Öko-Institut e.V.
- Schwarz, P. M. und T. N. Taylor (1995): Cold hands, warm hearth? Climate, net takeback, and household comfort. In: *Energy Journal* 16(1), 41-54.
- Seidl, I.; Schultz, B.; Gellrich, M. (2009): Flächenzertifikate - Ein Instrument zur Senkung der Flächeninanspruchnahme? In: *Wissenschaft & Umwelt* (12), S. 150-156.
- Semmling, E., A. Peters, H. Marth, W. Kahlenborn, P. de Haan 2014: *Rebound-Effekte: Wie können Sie effektiv begrenzt werden? Ein Handbuch für die umweltpolitische Praxis*. Umweltbundesamt Texte.
- Siedentop, S.; Schiller, G.; Gutsche, J.-M.; Koziol, M. und J. Walther (2006): *Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten. Bilanzierung und Strategieentwicklung*. BBR-online Publikationen, Mai 2006. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Bonn
- Small, K. A. und K. Van Dender (2005): A study to evaluate the effect of reduced greenhouse gas emissions on vehicle miles travelled. Prepared for the State of California Air Resources Board, the California Environment Protection Agency and the California Energy Commission, Final Report ARB Contract Number 02-336. Irvine: University of California, Department of Economics.
- Small, Kenneth A. (2007): Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect. In: *The Energy Journal* 28(1), 25-52.
- Sorell, S. (2009): Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. In: *Energy policy* 37 (4), 1456-1469.
- Sorell, S. und J. Dimitropoulos (2008): The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions. In: *Ecological Economics* 65 (3), 636-649.
- Sorell, S.; J. Dimitropoulos und M. Sommerville (2009): Empirical estimates of the direct rebound effect: A review. In: *Energy Policy* 37 (4), 1356-1371.
- Sorrel, S. (2007): *The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. London: UK Energy Research Centre. ISBN 1-903144-0-35
- Spielmann, M.; P. de Haan und R. W. Scholz (2008): Environmental Rebound Effects of High-Speed Transport Technologies: A case study of climate change rebound effects of a future underground maglev train system. In: *Journal of Cleaner Production* Vol. 16, 1388–1398
- Spielmann, M.; R. W. Scholz; O. Tietje und P. de Haan (2005): Scenario Modelling in Prospective LCA of Transport Systems: Application of Formative Scenario Analysis. In: *Int. J. Life-Cycle Assessment* 10 (5), 325–335.
- Statistisches Bundesamt (2012): Siedlungs- und Verkehrsfläche wächst täglich um 87 Hektar. Pressemitteilung Nr. 382 vom 13.10.2011. [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2011/10/PD11\\_382\\_331.html](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2011/10/PD11_382_331.html).
- Steg, L. (2008): Promoting household energy conservation. In: *Energy Policy* 36(12), 4449-4453.
- Taylor, L. D.; G. R. Blattenberger und P. K. Verleger (1977): *The residential demand for energy*. Palo Alto (Kalifornien): Electric Power Research Institute.
- Tomerius, S. und C. Frick (2009): *Rechtliche Instrumente des Flächensparens*. Working Paper No.4 des Zentrums für Bodenschutz und Flächenhaushaltspolitik am Umwelt-Campus Birkenfeld (ZBF-UCB). Birkenfeld
- Tsao, J. Y.; H. D. Saunders; J. R. Creighton; M. E. Coltrin und J. A. Simmons (2010): Solid-state lighting: an energy-economics perspective. In: *Journal of Physics D: Applied Physics* 43 (35).

- Turner, K. (2009a): Energy efficiency and the rebound effect. In: Fraser Economic Commentary 33 (2), 47-54.
- Turner, K. (2009b): Negative rebound and disinvestment effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK economy. In: Energy Economics 31 (5), 648-666.
- Turner, K. und N. Hanley (2010): Energy efficiency, rebound effects and the Environmental Kuznets Curve. In: forthcoming in Energy Economics. (Paper available by emailing karen.turner@stir.ac.uk)
- Turner, K.; G. Allan; P. McGregor, P. und J.K. Swales (2009): Energy efficiency improvements and rebound effects: some lessons from the Scottish Case. In: Welsh Economic Review.
- Turner, K.; S. Anson; J. De Fence und J.K. Swales (2010): Supply constraints on rebound effects from energy efficiency: negative multiplier and disinvestment effects. In: Fraser Economic Commentary 33 (3).
- UBA (Umweltbundesamt) (2012): Daten zur Umwelt – Umweltzustand in Deutschland. Indikator: Flächeninanspruchnahme. Zuletzt eingesehen am 15.10.2012, unter <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2898>
- UNEP (2000): Product Service Systems and Sustainability. Mailand: Interdepartmental Research Centre, Innovation for the Environmental Sustainability (CIR.IS). ISBN:92-807-2206-9.
- Vaccari, D.A. (2010): The Material Flow Analysis as a Tool for Planning, Schmid Neset, T.; Cordell, D. (Hrsg.), Linköping, Sweden: Global Phosphorus Research Initiative (GPRI).
- Van den Bergh (2010): Energy Conservation More Effective With Rebound Policy. In: Environmental and Resource Economics' journal.
- Verhoef, Erik T., P. Nijkamp (2003): The adoption of energy-efficiency enhancing technologies: Market performance and policy strategies in case of heterogeneous firms. In: Economic Modelling 20 (4), 839–871.
- Verkerk, M.P. (2007): Global water governance, MSc thesis, Enschede, NL: University of Twente.
- Victoria Transport Institute (2010): Rebound Effects, <http://www.vtpi.org/tm/tm64.htm>
- Walz, R.; Toussaint, D.; Küpfer, C.; Sanden, J. (2009): Gestaltung eines Modells handelbarer Flächenausweisungskontingente unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer, rechtlicher und sozialer Aspekte - Abschlussbericht (Umweltforschungsplan FKZ 203 16 123/03), Texte 23/2009, Dessau: Umweltbundesamt.
- Wang, H.; P. Zhou und D. Q. Zhou (2012): An empirical study of direct rebound effect for passenger transport in urban China. In: Energy Economics 34, 452-460.
- Weidema, B. P.; M. Wesnæs; J. Hermansen; T. Kristensen; N. Halberg; P. Eder; L. Delgado (2008): Environmental improvement potentials of meat and dairy products. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- West, S. E. (2004): Distributional effects of alternative vehicle pollution control policies. Journal of Public Economics, 88, 735-57.
- WHG (Wasserhaushaltsgesetz) (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. Ausfertigungsdatum: 31.07.2009. Zuletzt eingesehen am 15.10.2012, unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg\\_2009/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg_2009/gesamt.pdf)
- Wilson A, Boehland J. (2005): Small is Beautiful: U.S. House Size, Resource Use, and the Environment. Journal of Industrial Ecology 7, 9(1-2), 277-28.
- Wirl, F. (1997): The economics of conservation programs. Dordrecht (NL): Kluwer Academic Publishers.
- Wörsdorfer, J. S. (2010): Consumer needs and their satiation properties as drivers of the rebound effect. The case of energy-efficient washing machines. Papers on Economics & Evolution. Jena: Max Planck Institute of Economics.
- Wright, A. J. et al. (2000): A review of the energy efficiency and other benefits of advanced utility metering. Chester (UK): EA Technology.
- Zein-Elabdin, E. O. (1997): Improved stoves in Sub-Saharan Africa: the case of the Sudan. In: Energy Economics 19(4), 465-75.
- Ziemann, S.; Schebek, L. (2010): Substitution knapper Metalle - ein Ausweg aus der Rohstoffknappheit? In: Chemie Ingenieur Technik, 82 (11), S. 1965-1975.