

ReCap Arbeitsbericht 2

# Rebound-Effekte in gesamtwirtschaftlichen Modellen

## Ansätze zur Erfassung und Abbildung

Meilenstein 2.3a

**ReCap**

Makro-Rebounds  
begrenzen



# Impressum

**Autor/innen:**

Maximilian Banning, Christian Lutz (GWS)

**Projektleitung:**

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

Potsdamer Str. 105, 10785 Berlin

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)

**Kooperationspartner:**

GWS – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung

Heinrichstraße 30, 49080 Osnabrück

[www.gws-os.com](http://www.gws-os.com)

Universität Göttingen – Lehrstuhl Statistik

Humboldtallee 3, 37073 Göttingen

[www.uni-goettingen.de](http://www.uni-goettingen.de)

Der vorliegende Beitrag entstand im Forschungsprojekt „ReCap – Untersuchung der Rolle der Energie- und Ressourcenproduktivität für ökonomisches Wachstum und Entwicklung von politischen Instrumenten zur Eindämmung makroökonomischer Rebound-Effekte“. Das Projekt ist Teil der Fördermaßnahme „Rebound-Effekte aus sozial-ökologischer Perspektive“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Sozial-Ökologischen Forschung (SÖF).

Förderkennzeichen 01UT170

**Zitiervorschlag:**

Banning, Maximilian; Lutz, Christian (2019): Rebound-Effekte in gesamtwirtschaftlichen Modellen. Ansätze zur Erfassung und Abbildung, Arbeitsbericht 2 des Forschungsprojekts ReCap

Für nähere Informationen zum Projekt: [www.macro-rebounds.org](http://www.macro-rebounds.org)

Osnabrück, Februar 2019



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**

Sozial-ökologische Forschung

## Zusammenfassung

Im Folgenden wird eine Auswahl der drei etablierten Modelltypen, die für die Abschätzung von Rebound-Effekten auf gesamtwirtschaftlicher Ebene eingesetzt wurden, anhand ausführlicher Publikationen dargestellt: Es handelt sich um Analysen mit einem makroökonomischen Wachstumsmodell, mit zwei CGE-Modellen und einem makroökonomischen Modell. Die Betrachtung liefert Erkenntnisse für eigene Simulationsrechnungen mit dem makroökonomischen Modell PANTA RHEI zur Analyse von makroökonomischen Rebound-Effekten und von Politikmaßnahmen, die sie begrenzen.

Das methodische Vorgehen ist jeweils vergleichbar: einem Ausgangsszenario, das den Status quo repräsentiert, wird ein alternatives Szenario gegenübergestellt, in dem es zur Steigerung der Energieeffizienz kommt. Bei der Betrachtung der Modellansätze lassen sich jedoch verhältnismäßig große Unterschiede zwischen den Modellen feststellen: Modellparameter und damit auch die Modellergebnisse unterscheiden sich deutlich, obwohl sich die ursächlichen Schocks einer Steigerung der Energieeffizienz weitgehend gleichen.

Für die anstehende Modellierung zur Abbildung von Rebound-Effekten liefert diese Übersicht wichtige Erkenntnisse, im Hinblick auf die Abbildung des Rebound-Effekts selbst und zentrale Stellgrößen für Sensitivitätsrechnungen angeht. So werden eine autonome Energieeffizienzsteigerung und eine durch Investitionen ausgelöste Steigerung der Energieeffizienz im weiteren Projektverlauf getrennt analysiert. Wichtige Elastizitäten werden variiert, um die Wirkungen auf die Gesamteffekte zu isolieren. Für die für das Vorhaben zentrale Frage der Abbildung von Politikmaßnahmen, die den Rebound-Effekt reduzieren, hilft die Zusammenschau allerdings noch wenig.

## Abstract

In the following, a selection of the three established model types used for the estimation of rebound effects at the macroeconomic level is presented according to detailed publications: These are analyses using a macroeconomic growth model, two CGE models and a macroeconometric model. The analysis provides insights for own simulations with the macroeconometric model PANTA RHEI for the analysis of macroeconomic rebound effects and policy measures limiting them.

The methodological approach is comparable: an initial scenario that represents the status quo is compared with an alternative scenario in which energy efficiency is increased. When considering the model approaches, however, relatively large differences can be noted between the models: Model parameters and thus also the results differ significantly, although the causal shocks of an increase in energy efficiency are largely the same.

For the upcoming modelling of rebound effects, the overview provides important insights regarding the mapping of the rebound effect itself and central parameters for sensitivity calculations. Thus, an autonomous increase in energy efficiency and an increase in energy efficiency triggered by investments will be analysed separately in the further course of the project. Important elasticities are varied in order to isolate the impacts on the overall effects. However, the synopsis is of little help to the project's central question of mapping policy measures that reduce the rebound effect.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Modellansätze .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Zentrale Szenarien und Schocks zur Erfassung von Rebounds.....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Modellergebnisse .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Fazit und Ausblick - Erkenntnisse für die Modellierung in ReCap .....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>19</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über zentrale Modell-Eigenschaften .....	10
Tabelle 2: Ergebnisse der betrachteten Modelle .....	14

## Abkürzungsverzeichnis

BIP .....	Brutto-Inlandsprodukt
CES .....	konstante Substitutionselastizitäten
CGE.....	Computable General Equilibrium
EC .....	European Commission
Et al.....	et alii
D.....	Deutschland
GTAP .....	Global Trade Analysis Project
IEA .....	International Energy Agency
KLEM .....	Capital, Labour, Energy, Material
MDM-E3 .....	Multisectoral Dynamic Model – energy-environment-economy
ROW.....	Rest der Welt
UK .....	Vereinigtes Königreich
USA.....	Vereinigte Staaten von Amerika
VG .....	verarbeitendes Gewerbe

# 1 Einleitung

In der stetig wachsenden Literatur zu Rebound-Effekten ist es weitestgehend Konsens, dass Rebound-Effekte existieren und eine maßgebliche Ursache dafür darstellen, dass Energieeffizienzsteigerungen sich nicht in gleichem Maße in einer Reduktion des Energieverbrauches niederschlagen. Grundsätzlich kommen Überblicksartikel zu der wenig konkreten Aussage, dass sich die Effekte in einer sehr großen Bandbreite zwischen nahe Null (kein Rebound) und größer Eins (backfire) bewegen. Beispielhaft sei hier auf Chakravarty et al. (2013) verwiesen. Dabei variieren allerdings nicht nur die Schätzungen des Ausmaßes des Rebounds erheblich, auch die von den Autoren verwendeten makroökonomischen Modelle und Modellierungsansätze unterscheiden sich in vielen Fällen. Allerdings sind es mit Sicherheit nicht die Methoden (allein), die den größten Teil dieser Bandbreite erklären können. Allan et al. (2007a) kommen in einem Vergleich von 8 CGE-Modellen für unterschiedliche Länder zu der Aussage, dass die economy-wide Rebounds in einer Größenordnung von 37% bis über 100% in einer großen Bandbreite liegen. Ein umfassender Literaturüberblick findet sich in Lange et al. (2019), in dem verschiedene Formen von Rebound-Effekten und Methoden zu ihrer Erfassung diskutiert werden. Effekte lassen sich grundsätzlich in mikro-, meso- und makroökonomische Rebound-Effekte unterscheiden, wobei bei der Betrachtung der jeweiligen Ebenen alle darunterliegenden Effekte zu berücksichtigen sind. Mikro-Effekte wirken auf individueller Ebene einer wirtschaftlichen Einheit, d.h. eines Konsumenten oder Unternehmens. Hier lässt sich sowohl zwischen direkten und indirekten als auch Substitutions- und Einkommenseffekten differenzieren (für detaillierte Erläuterungen vgl. Lange et al. 2019). Mesoökonomische Effekte sind solche, die auf der nächsthöheren Aggregationsstufe wirken, also einzelnen Märkten und Sektoren. Makroökonomische Effekte wirken schließlich auf nationaler oder internationaler Ebene. Neben Auswirkungen auf internationalen Handel und Standortentscheidungen von Firmen sind hier Energiepreise und makroökonomische Multiplikatoren zu nennen.

Zur Analyse von Rebound-Effekten eignen sich nach Lange et al. (2019) grundsätzlich drei voneinander zu unterscheidende Methoden: Theoretische Ansätze, empirische ex post-Untersuchungen sowie modellgestützte ex ante-Analysen. Makro-Rebounds werden im Allgemeinen mit gesamtwirtschaftlichen Modellen in ex-ante-Analysen ermittelt. Es lassen sich 1) makroökonomische (Wachstums-) Modelle, die sich eng an die ökonomische Theorie anlehnen, 2) berechenbare allgemeine Gleichgewichtsmodelle (Computable General Equilibrium, CGE-Modelle), die auf mikroökonomischer Ebene Optimierungsverhalten der Unternehmen und Haushalte gemäß der neoklassischen Theorie annehmen und die Angebotsseite betonen, und 3) makroökonomische Modelle unterscheiden, die die Verhaltensparameter auf Basis empirischer Beobachtungen setzen und stärker die Nachfrageseite einbeziehen. Die beiden letzteren Modelltypen enthalten die Industriestruktur der Volkswirtschaft auf Basis von Input-Output-Tabellen. (Neoklassische) Wachstumsmodelle gehen auf Solow zurück und beschreiben auf aggregierter Ebene das Zusammenspiel der Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital, Material, manchmal auch Energie, und technischem Fortschritt, die zum Wachstum der gesamtwirtschaftlichen Produktion führen.

Den Ausführungen von Chakravarty et al. (2013) folgend gibt es sogar vier verschiedene Modelltypen, die sich zur Berechnung des Makrorebounds (orig.: economy-wide rebounds) eignen: Makroökonomische Modelle, CGE-Modelle, ökonometrische Modelle sowie hybride Modelle. Allerdings bleibt der Begriff „hybrid“ in der Veröffentlichung unklar. In ähnlicher Weise unterscheiden Colmenares et al. (2018) neoklassische Wachstumsmodelle, ökonometrische Studien und Simulationsmodelle, wobei sie als vierten Modelltypen Integrated Assessment Modelle anführen. Eine aktuelle Studie für die EC (2017) unterscheidet (statische) Input-Output-Modelle, die für Multiplikatoranalysen eingesetzt werden, angebotsorientierte CGE-Modelle, die auf der neoklassischen Theorie basieren, Nutzen- und Gewinnmaximierung von Haushalten und Unternehmen unterstellen und von geräumten Märkten ausgehen, sowie makroökonomische Modelle, in denen Verhaltensparameter auf Basis von Zeitreihenschätzungen bestimmt werden, somit Verhalten der Vergangenheit in die Zukunft fortgeschrieben werden, denen grundsätzlich ein post-keynesianischer, nachfrageseitig orientierter

Ansatz zugeschrieben wird. Zur Einordnung der Modelltypen finden sich weitere Überblicke z.B. in West (1995) und IEA (2014).

Im vorliegenden Diskussionsbeitrag wird eine Auswahl der drei etablierten Modelltypen anhand ausführlicher Publikationen dargestellt, die für die Abschätzung von Rebound-Effekten auf gesamtwirtschaftlicher Ebene eingesetzt wurden: Es handelt sich um Analysen mit einem makroökonomischen Wachstumsmodell, mit zwei CGE-Modellen und einem makroökonomischen Modell. Deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden in der vorliegenden Publikation herausgestellt. Das Ziel der Betrachtungen ist es, Erkenntnisse für eigene Simulationsrechnungen zur Analyse von makroökonomischen Rebound-Effekten und zur Definition von Politikmaßnahmen, die Rebound-Effekte begrenzen, im Vorhaben unter Verwendung des makroökonomischen Modells PANTA RHEI zu gewinnen. Auf Basis des im Anhang aufgeführten Rasters wurden verschiedene modellgestützte Analysen von Rebound-Effekten ausgewählt und mit Blick auf die geplanten Modellierungen in ReCap interessante Ansätze eingeordnet. Die Auswahl der im Folgenden betrachteten Publikationen erfolgte vor diesem Hintergrund im Wesentlichen auf Grundlage der folgenden Kriterien: das betrachtete Modell 1) untersucht einen makroökonomischen oder ökonomieweiten Rebound gemäß der Definition in Lange et al. (2019), ist 2) in hinreichender Detailtiefe erläutert, welche die dezidierte Betrachtung einzelner Einflussfaktoren, Stellschrauben und Annahmen ermöglicht und besitzt 3) nicht nur wegen dieser Detailinformationen, sondern auch wegen der räumlichen Abgrenzung und der Erfassung und Abbildung des Rebounds mutmaßlich Relevanz für den im Projekt ReCap angestrebten Modellierungsansatz.

Während die Betrachtung von Rebound-Effekten auf der Mikro-Ebene, insbesondere in Hinblick auf die Analyse des direkten Rebounds, ein in der Literatur inzwischen verbreiteter Untersuchungsgegenstand ist, geschieht die Analyse makroökonomischer Rebound-Effekte seltener (Lange et al. 2019). Für Untersuchungen, die über die Firmen- bzw. Haushaltsebene hinausgehen, werden zudem teilweise hochaggregierte empirische Modelle herangezogen (bspw. Antal et al. 2014, Holm et al. 2009), deren Modellierungstiefe naturgemäß nicht den Notwendigkeiten des angestrebten Vorhabens genügt.<sup>1</sup> Eine weitere Problematik besteht darin, dass Erkenntnisse für Volkswirtschaften, die nur schwerlich mit Deutschland vergleichbar sind, gegebenenfalls nicht übertragbar sind, was die Auswahl weiter limitiert. Dies gilt für ein stark wachsendes Schwellenland wie China (Lin et al. 2014) ebenso wie für eine weitgehend binnenmarktorientierte Volkswirtschaft mit hoher eigener Energieproduktion wie die USA (Böhringer et al. 2018, Rausch et al. 2018).

Neben den obenstehenden Kriterien erfüllt die Auswahl der im Folgenden ausführlich beschriebenen Forschungsbeiträge das Ziel, die oben dargestellte Bandbreite unterschiedlicher Modelltypen und theoretischer Ansätze abzudecken. Bei den vier Modellen, die anhand einer möglichst umfassenden Publikation betrachtet werden, handelt es sich konkret um das von Saunders (2000) genutzte Makro-Modell zur Untersuchung der allgemeinen Folgen eines Energieeffizienzschocks auf das BIP, das makroökonomische Modell MDM-E3, das von Barker et al. (2008) zur Analyse von Rebound-Effekten von Energieeffizienzmaßnahmen im Vereinigten Königreich (UK) genutzt wird, sowie zwei CGE-Modelle. Zum einen das nationale UKENVI-Modell, mit dem Allan et al. (2007a) einen Energieeffizienzchock für UK simulieren, und die von Koesler et al. (2016) genutzte Variante eines multiregionalen, globalen CGE-Modells, das auch globale Effekte nationaler Energieeffizienzmaßnahmen vollständig erfassen kann. Alle Publikationen zeichnen sich durch einen relativ hohen Detaillierungsgrad der Beschreibung des jeweiligen Modells aus. Sie werden in Abschnitt 2 mit Blick auf wesentliche Modelleigenschaften für die Ermittlung von Rebounds kurz beschrieben. Anschließend werden in Abschnitt 3 die Effizienzshocks dargestellt, die in die Modelle eingestellt werden. Durch Vergleich mit der Ausgangssituation bzw. einer Entwicklung ohne diesen Schock wird in Abschnitt 4 auf die Höhe und Ausprägung der Rebounds eingegangen. Mit Erkenntnissen, die sich daraus für die eigene Modellierung mit PANTA RHEI im Rahmen von ReCap ergeben, schließt Abschnitt 5.

---

<sup>1</sup> Nicht zu verwechseln mit den in Vorhaben vorgesehen ökonomischen ex-post Schätzungen auf Basis von Unternehmensdaten.

## 2 Modellansätze

Den makroökonomischen Modellen, die die Volkswirtschaft nur insgesamt betrachten, ist das Modell von Saunders (2000) zuzuordnen. Im Rahmen der Analyse, welche Auswirkungen Energieeffizienzsteigerungen auf das BIP einer nationalen Volkswirtschaft haben, wird die Höhe des Makro-Rebounds zwar nicht explizit bestimmt, das Modell liefert durch theoretische Überlegungen und das Durchspielen unterschiedlicher Annahmensets aber nichts desto trotz potenzielle Erkenntnisse über Determinanten des Rebounds, d.h. welchen Einfluss bestimmte Setzungen auf den makroökonomischen Rebound haben.

Als Beispiel für die CGE-Modellierung dienen sowohl Allan et al. (2007a) im Rahmen einer nationalen Volkswirtschaft als auch Koesler et al. (2016), die die Betrachtung in den internationalen Kontext verlegen. Wie auch bei Saunders (2000) liegen den Modellen neoklassische Annahmen zugrunde, sie sind allerdings mikroökonomisch orientiert. Märkte gelangen nach der Optimierungsentscheidung von Haushalten und Unternehmen in der Regel über Preisveränderungen ins Gleichgewicht (EC 2017). Allan et al. (2007b) führen als Vorteile der CGE-Modellierung die starke Verankerung in der (neo-)klassischen ökonomischen Theorie mit einer festen mikroökonomischen Grundlage, die Behandlung angebotsseitiger Veränderungen und die gute Vergleichbarkeit kontrafaktischer Analysen an. Gleichzeitig machen sie auf die schwierige Vergleichbarkeit von Modellen untereinander aufmerksam, weil eine Veränderung grundlegender Annahmen weitreichende Auswirkungen auf die Ergebnisse nimmt. Zudem würden speziell im Kontext von Energieeffizienz die Barrieren bei der Durchsetzung neuer Technologien unterschätzt (vgl. auch Sorrell et al. 2004).

In beiden Fällen besteht die Volkswirtschaft dabei nicht aus einer aggregierten Gesamtgröße, sondern ist in verschiedene Sektoren unterteilt. Das von Allan et al. (2007a) verwendete UKENVI-Modell differenziert 25 Sektoren, wobei fünf explizit der Energieerzeugung zuzuordnen sind. Unter Verwendung einer Input-Output-Tabelle können die Wechselwirkungen einzelnen Sektoren zueinander berücksichtigt werden. Koesler et al. (2016) unterscheiden im internationalen Modell acht Sektoren für jedes betrachtete Land (jede Region), von denen zwei die Energieerzeugung abbilden.

Das von Barker et al. (2008) entwickelte MDM-E3 vereint ökonometrische Zeitreihendaten und Input-Output-Daten. Die Modellierung von Nachfrage und Investitionen ist (post-) keynesianisch motiviert, wobei auch die Angebotsseite anhand von Gleichungssystemen abgebildet wird. Grundsätzlich werden vier Bereiche der Ökonomie unterschieden: Haushalte, Industrie, Handel und Transport. Die Anzahl differenzierter Industriesektoren beträgt 50. Das Modell wird entsprechend zu dem internationalen Modellsystem E3ME, das intensiv für die EU-Kommission genutzt wird, als makroökonomisch klassifiziert (EC 2017). Makroökonomische Modelle bieten im Allgemeinen umfassende Erklärungen der Anpassungen einer Gesamtwirtschaft an sich ändernde Bedingungen (Allan et al. 2007b). Die Parameter der Gleichungssysteme werden auf Basis historischer Daten unter Verwendung etablierter empirischer Methoden hergeleitet. Allan et al. (2007b) führen als Vorteile gegenüber CGE-Modellen die Möglichkeit an, die Güte des Modells zu testen und dynamische Entwicklungen, wie das Erschöpfen von Ressourcen, abbilden zu können. Demgegenüber sei die mikroökonomische Datenbasis weniger disaggregiert und biete gegebenenfalls weniger Erkenntnisse hinsichtlich der Auswirkungen von Politikmaßnahmen auf Wohlfahrt und Einkommensverteilung.

Die unterliegenden Produktionsfunktionen sind mit Ausnahme des MDM-E3 Modells explizit ausgeführt. Saunders (2000) greift auf eine Cobb-Douglas-Funktion zurück, die Arbeit, Kapital und Energie als Inputfaktoren berücksichtigt. UKENVI nutzt multi-level-Produktionsfunktionen mit konstanten Substitutionselastizitäten. Die Energiekomponente setzt sich darin aus einer Elektrizitäts- und einer Nicht-Elektrizitätskomponente zusammen, erste wird dabei in Erneuerbare und Nicht-Erneuerbare, letztere zusätzlich zwischen Öl, Kohle und Gas differenziert. Aus der Energiekomponente ergibt sich zusammen mit der Nicht-Energie-Komponente, die alle anderen Güter enthält, die in der heimischen Wirtschaft (in diesem Fall UK) produzierte Komponente. Gemeinsam mit den Leistungen der übrigen

Welt ergeben sich die Vorleistungen, zu denen zur Bestimmung des Outputs die Wertschöpfung – unterschieden nach Kapital und Arbeit – hinzukommt. Exporte und Importe werden dabei unter Verwendung einer Armington-Struktur bestimmt (vgl. Armington 1969), was dazu führt, dass diese sensitiv auf relative Preisänderungen reagieren. Die Güter der heimischen Wirtschaft stehen in Konkurrenz zu den Importen aus anderen Ländern, wobei grundsätzlich eine Präferenz für heimische Güter vorherrscht, es sich also um imperfekte Substitute handelt. Sowohl Importe als auch Exporte weisen eine Armington-Elastizität in Höhe von 5 im Falle von Elektrizität und in Höhe von 2 für die Güter aller anderen Sektoren auf. Koesler et al. (2016) greifen in ähnlicher Weise auf eine KLEM-Produktionsstruktur zurück: Zu Kapital und Arbeit auf der untersten Stufe wird für die Güterproduktion zunächst Energie und auf der obersten Ebene sonstiges Material (Vorleistungen) hinzugezogen. Auch hier erfolgt die Modellierung des Außenhandels anhand der Armington-Struktur, die damit einhergehenden Elastizitäten sind GTAP7 (Badri et al. 2007) entnommen. In MDM-E3 werden verschiedene Faktornachfragefunktionen separat geschätzt und die Energienachfrage nach verschiedenen Energieträgern und Verbrauchergruppen in einem Energiemodul explizit abgebildet. Energieeinsparungen sind in der Regel nur über entsprechende Investitionen und damit Veränderungen des Kapitalstocks möglich.

Die Bedeutung der Substitutionselastizitäten von Energie und anderen Inputfaktoren für die Modellergebnisse und die Höhe des Rebounds werden nicht nur von Saunders (2000) hervorgehoben. Ihr Einfluss findet sich in allen betrachteten Modellen wieder und wird teils durch Sensitivitätsanalysen untersucht. Bei Saunders (2000) fließen neben Energie auch Arbeit und Kapital in die Bestimmungsgleichung der Produktion (GDP) ein, durch Verwendung der oben angeführten Cobb-Douglas-Funktion ergibt sich die implizite Annahme einer Substitutionselastizität der betrachteten Größen von 1<sup>2</sup>. Allan et al. (2007a) nehmen einen Wert von 0,3 für die Substitutionselastizität zwischen Energie und Nicht-Energie-Komponenten an, ebenso wie für die Substitutionselastizität zwischen Vorleistungen (in denen die Energiekomponente enthalten ist) und Wertschöpfung. Die Elastizitäten sind überall konstant (CES, constant elasticity of substitution) und in der Regel < 1. Koesler et al. (2016) verwenden für jeden der acht Sektoren ihres Modells je eine Substitutionselastizität auf jeder der drei Stufen ihrer Produktionsfunktion in jedem betrachteten Land. Der Wert der Elastizität der Energiekomponente zu Arbeit und Kapital liegt dabei im Mittel zwischen 0,15 (construction) und 0,72 (coke, refined petroleum and nuclear fuel), im Bereich manufacturing beträgt der Medianwert 0,53.

Durchaus kritisch ist zu sehen, dass die Substitutionsmöglichkeit von Energie und anderen Produktionsfaktoren in den CGE-Modellen als gegeben angenommen wird, obwohl ökonometrische Schätzungen je nach Land und Industrie durchaus Belege sowohl für Substitution wie für Komplementarität von Energie und Kapital finden (Broadstock, Hunt, Sorrell 2007).

In MDM-E3 werden die Elastizitäten durch Zeitreihenschätzungen bestimmt. Langfristige Mengenelastizitäten liegen in der Größenordnung von 0,1 bis 0,75, wobei die Elastizitäten im Verkehr und bei der Metallerzeugung besonders hoch sind. Bei einer Erhöhung der jeweiligen (physischen) Aktivität wie des Outputs, der Einkommen oder der Verkehrsleistung um 1% nimmt der Energieverbrauch entsprechend um 0,1% bis 0,75% zu. Quantifizierungen zu Preiselastizitäten finden sich in der Veröffentlichung nicht.

Drei der vier untersuchten Modelle konzentrieren sich in ihrer Analyse auf eine einzelne nationale Volkswirtschaft. Sowohl Barker et al. (2006) als auch Allan et al. (2007a) untersuchen den Rebound konkret am Beispiel des Vereinigten Königreichs. Bei Koesler et al. (2016) bildet Deutschland zwar den Ausgangspunkt, im Zentrum der weitergehenden Untersuchungen steht jedoch der europäische, bzw. globale Raum.

Hinsichtlich der zeitlichen Dimension gleichen sich die Modelle von Saunders (2000) und Allan et al. (2007a) insofern, als dass in beiden Fällen kurz- und langfristige Wirkungen in der Zukunft kontrastiert

<sup>2</sup> Im Weiteren wird der verbreiteten Konvention gefolgt, Substitutions-Elastizitäten als Betrag auszudrücken, wengleich technisch gesehen ihr Wert hier stets negativ ausfällt.

werden – letztere beziffern den als „long-run“ bezeichneten Zeitraum dabei auf über 25 Jahre. Auch Koesler et al. (2016) simulieren eine hypothetische Entwicklung in der Zukunft, bleiben hier jedoch unbestimmt. CGE-Modelle bilden grundsätzlich keine konkrete Zeit ab. Barker et al. (2008) untersuchen den konkreten Zeitraum von 2000 bis 2010, d.h. dieser deckt zum Zeitpunkt der Arbeiten sowohl Vergangenheit als auch Zukunft ab.

Tabelle 1: Überblick über zentrale Modell-Eigenschaften

	Saunders (2000)	Allan et al. (2007a)	Barker et al. (2008)	Koesler et al. (2016), nach Sektoren
Modelltyp	Theoretisches Makro-Modell	E3-CGE (UKENVI)	Nationales makroökonomisches Modell (MDM-E3)	Multi region CGE world model
Produktionsfunktion	Cobb-Douglas	Multi-level production functions (CES, sektorspezifisch)	Keine explizite Produktionsfunktion: Faktornachfragefunktionen separat geschätzt	KLEM (CES, sektor- und länderspezifisch)
Anzahl Sektoren	Nur Gesamtwirtschaft	25 (davon 5 Energie)	50 Wirtschaftszweige, 4 Sektoren: 50 Energieverbraucher	8 (davon 2 Energie) je Land
Substitutionselastizitäten	1 (zwischen Arbeit, Kapital und Energie)	0,3 (zwischen Energie- und Nicht-Energiekomponenten)		Elektrizität und Gas: 0,46 Dienstleistungen: 0,28 Transport: 0,5 Baugewerbe: 0,15 Verarbeitendes Gewerbe: 0,53 Koks, Mineralöl, Nuklearenergie: 0,72 Nahrungsmittel, Getränke, Tabak: 0,19 Landwirtschaft: 0,39 (Energie gegenüber Kapital und Arbeit, jeweils Medianwerte über alle betrachteten Länder)

Als Ergebnis des Vergleichs lassen sich die doch großen Unterschiede zwischen den Modellen festhalten: Modellparameter und damit auch die Ergebnisse unterscheiden sich deutlich, obwohl die ursächlichen Schocks einer Steigerung der Energieeffizienz sich weitgehend gleichen. Annahmen und Setzungen sollten, wenn möglich, durch Sensitivitätsrechnungen auf ihre Bedeutung für die Ergebnisse hin geprüft werden.

### 3 Zentrale Szenarien und Schocks zur Erfassung von Rebounds

Der Ausgangspunkt dafür, dass es überhaupt zu einem Rebound kommen kann, stellt in allen Modellen eine Steigerung der Energieeffizienz dar, wobei deren Ursache, ihr Ausmaß und die in der Folge betroffenen Sektoren sich je nach Modell unterscheiden. Tabelle 2 gibt diesbezüglich einen schematischen Überblick. Das methodische Vorgehen gleicht sich dabei im Allgemeinen: einem Ausgangsszenario, das den Status quo repräsentiert, wird ein alternatives Szenario gegenübergestellt, in dem es zur Steigerung der Energieeffizienz kommt. Die Veränderungen im Energieverbrauch gegenüber dem Ursprungswert werden dann zur Berechnung des Rebounds mit der Effizienzsteigerung ins Verhältnis gesetzt.

Bei Saunders (2000) wirkt die Energieeffizienzsteigerung systemweit, d.h. auf die gesamte Volkswirtschaft. Konkret wirkt sie sich in Form einer Veränderung des Parameters  $\tau_F$  aus, der als *fuel efficiency gain* multiplikativ zur Energiegröße in die Produktionsfunktion  $Y = f(K^a, L^b, \tau_F * F^{1-a-b})$  einfließt, wobei die Gesamtproduktion Y von Kapital (K), Arbeit (L) und Energie (F) abhängt. Durch eine Steigerung von  $\tau_F$  erhöht sich die marginale Produktivität von Energie. Saunders ist dabei nicht primär an der Höhe des Rebounds, sondern an der Veränderung der Produktion interessiert. In der kurzen Frist erhöht ein Anstieg der Energieeffizienz unter der Annahme, dass Kapital und Arbeit unverändert bleiben, sowohl die Produktion als auch den Energieverbrauch. Damit ist backfire implizit im Modell angelegt. Unter neoklassischen Annahmen führt die kurzfristige Produktionssteigerung zu einem langfristig höheren Output-Niveau der Volkswirtschaft.

Im UKENVI-Modell drückt sich die von Allan et al. (2007a) angenommene Effizienzsteigerung durch eine Steigerung der Energieproduktivität in Höhe von 5 % aus, die alle produzierenden Sektoren der Volkswirtschaft betrifft – die Energieeffizienz von Haushalten, Staat und dem Ausland bleibt unverändert. In der Folge wird untersucht, wie sich dies auf die physische Menge der von diesen Sektoren verwendeten Energie auswirkt und ins Verhältnis zur Effizienzsteigerung gesetzt. Für den simplen Fall, dass Energiepreise konstant gehalten werden, gestaltet sich die Wirkungskette wie folgt: Die Energieeffizienzsteigerung wirkt sich nach den Autoren direkt auf den Preis von Energie, gemessen in Effizienzeinheiten, aus, während der Preis für Energie, gemessen in physischen Einheiten, unverändert bleibt. Inwieweit in der Folge der Energieverbrauch steigt oder sinkt, wird durch die Preiselastizität der Nachfrage für Energie determiniert. Bei Werten größer 1 steigt die Summe der Ausgaben für Energie, was eine Steigerung des Energieverbrauchs nach sich zieht. Darüber hinaus wirkt ein Substitutionseffekt, dadurch hervorgerufen, dass Firmen die Energie-Intensivität ihrer Prozesse erhöhen, weil Energie relativ günstiger geworden ist. Dies wirkt sich zudem auf den Output aus, insofern als dass Unternehmen vor dem Hintergrund gesunkener Produktionskosten und erhöhter Wettbewerbsfähigkeit ihre Produktion erhöhen. Je energieintensiver eine Industrie ist, desto stärker ist ihr Wettbewerbsvorteil durch eine Steigerung der Energieeffizienz, weil der relative Preis ihrer produzierten Güter sinkt. Durch beide Effekte erhöht sich der Energieverbrauch der Industrie. Bei der Betrachtung der Konsumenten ist zudem festzuhalten, dass das Realeinkommen durch niedrigere Energiepreise steigt. Dies gilt darüber hinaus für Reallöhne und Arbeitsangebot, sodass der Gesamtoutput weiter steigt. Die Autoren machen zudem darauf aufmerksam, dass für den Fall, dass die Energieerzeugung vornehmlich im Inland geschieht, der Preis für Energie in physischen Einheiten endogen durch das System bestimmt wird, was das Ausmaß des Rebound-Effekts erhöht. Als weitere Determinanten des Ausmaßes des Rebounds werden der Offenheitsgrad der Volkswirtschaft, Elastizitäten anderer Inputfaktoren, die Energieintensität einzelner Produktionssektoren und der Endnachfrage, die Substitutionselastizitäten zwischen Gütern im Konsum sowie die Einkommenselastizität der Nachfrage genannt.

In grundsätzlich ähnlicher Weise gehen Koesler et al. (2016) vor: Eine (autonome) Effizienzsteigerung in Höhe von 10 % wirkt sich, in Abhängigkeit vom betrachteten Szenario, auf das deutsche verarbeitende Gewerbe bzw. auf die gesamte deutsche Produktion (d.h. alle betrachteten 8 Sektoren) aus. Die Höhe des Rebounds wird dann für den einzelnen Sektor (nur im ersten Fall möglich, da in letzterem nicht separat zu betrachten), die gesamtdeutsche Volkswirtschaft sowie im internationalen Kontext sowohl für die übrige EU wie auch für den Rest der Welt berechnet, indem die resultierenden Änderungen des Energieverbrauchs mit ihrem Anteil am betrachteten Aggregat multipliziert und ins Verhältnis zum ursprünglichen Impuls gesetzt werden. Für jeden der betrachteten acht Sektoren ergibt sich als Folge der Energieeffizienzsteigerung dabei im ersten Schritt Substitution hin zu Energie (gemessen in Effizienzeinheiten) als Inputfaktor, da sich diese vergünstigt hat. Dabei sinkt der Energieeinsatz, gemessen in physischen Einheiten, relativ zum Output. Analog zum obigen Fall erhöht sich zudem die Wettbewerbsfähigkeit des Sektors, nachdem unterstellt wird, dass infolge des Kostenrückgangs des Inputs der Preis für diese Produkte sinkt. Der niedrigere Preis führt wiederum zu einer höheren Nachfrage. Im Falle der Energieeffizienzsteigerung in allen produzierenden Sektoren hängt die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von der Energieintensität des jeweiligen Sektors ab. Koesler et al. (2016) treffen die Annahme, dass die Produktionsfaktoren gegeben und voll ausgelastet sind, was impliziert, dass der Output nicht in allen Sektoren gleichzeitig ansteigen kann. Die Faktoren verteuern sich in der Konsequenz, sodass einzelne Sektoren an Wettbewerbsfähigkeit einbüßen, wenngleich sich ihre Energieeffizienz verbessert hat. Erweitert man den Betrachtungsumfang auf Effekte im Ausland, so wirkt der Effizienzshock über drei Kanäle: Die relative Wettbewerbsfähigkeit der übrigen Länder verändert sich, wenn sich die Output-Preise eines heimischen Sektors verändern. In der Folge kommt es auch zu Verschiebungen in der Energienachfrage, sodass sich Energieim- und -exporte ändern. Die Veränderung von Handelsnachfragen hat wiederum Auswirkungen auf die gesamte Wertschöpfungskette entsprechender Produkte und beeinflusst auf diese Weise die Energienachfrage. Die Autoren führen darüber hinaus als mögliche Konsequenzen relative Veränderungen der Energiepreise als Folge einer Veränderung der Energieintensität der Produktion und Nachfrageveränderung durch sich ändernde terms-of-trade an, messen diesen aber geringere Bedeutung zu.

Im MDM-E3-Modell wird die Effizienzsteigerung durch verschiedene, real verabschiedete Politikmaßnahmen bzw. Programme, erfasst. Der von den Autoren untersuchte Makro-Rebound als Summe von indirektem und ökonomieweitern Rebound ergibt sich aus der Differenz zwischen den vom Modell berechneten Energieeinsparungen und den erwarteten Netto-Einsparungen durch die Programme nach Berücksichtigung des direkten Rebounds, die aus anderen Studien entnommen wurden. Dabei bleibt der Untersuchungsrahmen auf UK beschränkt, wobei sowohl Importe als auch Exporte des Vereinigten Königreichs reagieren, somit also eine Verbindung zum Rest der Welt gegeben ist. Im Falle von Energieeffizienzsteigerungen der Haushalte führt eine Verringerung der Ausgaben für Energie zu einer Erhöhung des Realeinkommens. Während die Nominaleinkommen wie auch die Preise für Energie zunächst konstant bleiben, findet vor dem Hintergrund geringerer Energiekosten eine Rücksubstitution zu Energie statt und zudem nehmen durch den Einkommenseffekt die Ausgaben für alle Güter, sowohl für Energie als auch für andere Konsumgüter zu. Im Falle von Energieeffizienzsteigerungen der Unternehmen handelt es sich um eine Kostensenkung für den Einsatz von Energie, der einen Rückgang der Preise nach sich zieht und zu einer Steigerung der Gewinne der nun effizienter produzierenden Unternehmen führt. Der ursprüngliche Rückgang des Energieeinsatzes wird durch eine höhere Energienachfrage, die sich aus einer gestiegenen Nachfrage nach den Erzeugnissen des effizienter produzierenden Unternehmens ergibt, gemindert. Als Substitutionseffekt wird hier der Ersatz von Arbeit durch Energie angeführt, der von Preis- und Lohnelastizitäten von Energie und Arbeitskraft abhängt. Ob niedrigere Kosten auch an den Endverbraucher in Form niedrigerer Preise weitergegeben werden, hängt vom Preissetzungsverhalten der Unternehmen ab. Orientieren sich Preise am Weltmarkt, bleiben diese unverändert und die Unternehmen erzielen höhere Gewinne. Werden Preise durch den heimischen Markt bestimmt, sinken diese und Realeinkommen der Konsumenten und Exportnachfrage steigen. Konsumenten substituieren in der Folge hin zu den vergünstigten Produkten, die höhere Nachfrage erhöht den Output und auf diese Weise auch die

Energienachfrage. An diesem Punkt unterscheidet sich das Modell von den CGE-Modellen, in denen Preise immer auf Effizienzsteigerungen reagieren.

Mit Ausnahme von Barker et al. (2008) wird die Energieeffizienzsteigerung in allen Modellen kostenlos (autonom), d.h. ohne höhere Ausgaben von Staat, Haushalten oder Unternehmen herbeigeführt. Dies ist explizit im Basisszenario der Untersuchungen von Allan et al. (2007a) der Fall. Die Annahme wird im Rahmen von Sensitivitätsanalysen modifiziert: hier treten Kostensteigerungen in den produzierenden Sektoren auf. Konkret steigen die Kosten für Arbeit in Form einer geringeren Arbeitsproduktivität. Damit wird argumentativ dem gestiegenen Arbeitsaufwand, der durch die Implementierung der Effizienzmaßnahmen nötig wird, Rechnung getragen. Im MDM-E3-Modell ist jede der implementierten Politikmaßnahmen mit spezifischen Kosten und damit Investitionen verbunden. Dies betrifft die öffentliche Hand in Form von Anreizzahlungen, Subventionen, Investitionen und administrativen Kosten, Unternehmen durch Investitionen und administrative Kosten, denen jedoch teilweise erhaltene Subventionen und Anreizzahlungen gegenüberstehen sowie Haushalte, die Investitionen tätigen.

## 4 Modellergebnisse

Barker et al. (2008), Allan et al. (2007a) sowie Koesler et al. (2016) quantifizieren das Ausmaß des untersuchten Rebounds jeweils konkret, während Saunders (2000) sich darauf beschränkt, einen Rebound-Effekt in Höhe von über 100 % – sogenanntes backfire – festzustellen. Dieses Ausmaß wird in den übrigen Modellen, auch unter Variation verschiedener Annahmen, nicht erreicht. Das MDM-E3-Modell weist einen Makro-Rebound (nach Definition der Autoren; Summe von indirekten und ökonomieweiten Rebound-Effekten) von 11 % aus. Zur Kalkulation des Gesamt-Rebounds erfolgt die Addition mit den exogen ins Modell gebrachten, in Höhe von 15 % angenommenen direkten Rebound-Effekten, sodass sich der Gesamt-Rebound auf 26 % beläuft. In vergleichbarer Höhe liegt der langfristige Rebound im UKENVI Modell. Mit 62 % bzw. 55 % fallen die kurzfristigen Rebound-Effekte für die Stromerzeugung bzw. übrige Energie zwar deutlich höher aus, diese gehen in der langen Frist jedoch auf 27 % bzw. 31 % zurück. Bei Koesler et al. (2016) liegen die Werte grundsätzlich höher, wobei sie in Abhängigkeit der Szenarien variieren. Im Szenario 1 wird die Effizienzsteigerung nur im Verarbeitenden Gewerbe angenommen, im Szenario 2 erfolgt die Effizienzsteigerung über alle Produktionssektoren. Im Szenario 1 ist der systemweite Rebound mit 48 % marginal höher als im alternativen Szenario 2 (47 %). Je nach gewähltem Betrachtungsumfang erreicht die Höhe des Rebounds bis zu 57 % (Rebound im Verarbeitenden Gewerbe im Szenario 1). Die These, dass eine Ausweitung des Untersuchungsrahmens mit einem höheren Wert des Rebounds einhergeht, kann nach Ansicht der Autoren auf Grundlage der Modellergebnisse verworfen werden. So fällt der weltweite Rebound in beiden Szenarien niedriger aus als der EU-weite.

In allen Modellen führt eine Steigerung der Energieeffizienz zu einer Erhöhung des BIP, bzw. der Produktion. Saunders (2000) schätzt das durch eine Energieeffizienzsteigerung in Höhe von 20 % induzierte Wachstum auf kurzfristig 1-2 %, langfristig rund 14 % höher, also auf bis zu 2,28 %. Auch Allan et al. (2007a) kommen zu dem Befund, dass die langfristigen Zuwächse die kurzfristigen übersteigen. Der 5 %-ige Anstieg der Energieproduktivität führt zu einem kurzfristig um 0,11 % gestiegenem BIP, langfristig erhöht sich die Differenz auf 0,17 %. Bei Koesler et al. (2016) sorgt die Effizienzsteigerung zwar in beiden Szenarien für ein höheres BIP des Landes, in dem die Effizienzsteigerung stattgefunden hat (+0,13 %, bzw. +0,51 %), die Ergebnisse für das Ausland sind allerdings weniger eindeutig: Bei einer Effizienzsteigerung in Deutschland erfährt der übrige Teil der Europäischen Union in der Folge einen, wenngleich verhältnismäßig kleinen, Rückgang des BIP (-0,001 %, bzw. -0,005 %). Das BIP der übrigen Welt bleibt beim Szenario einer Effizienzsteigerung im deutschen verarbeitenden Gewerbe unverändert. Wirkt der Effizienzchock in der gesamten deutschen Produktion, geht es leicht zurück (-0,002 %). In absoluten Größen überwiegt dabei in beiden Fällen der positive Effekt gesteigerter heimischer Produktion des effizienter gewordenen Landes, sodass im

Aggregat weltweit mehr gegenüber der Ausgangssituation produziert wird. Barker et al. (2008) weisen eine Erhöhung des BIP in UK um 1,26 % gegenüber dem Referenzszenario aus, das durch die Energieeffizienzmaßnahmen induziert wird.

Tabelle 2: Ergebnisse der betrachteten Modelle

	Saunders (2000)	Allan et al. (2007a)	Barker et al. (2008)	Koesler et al. (2016)
Rebound-Effekte	Nicht näher quantifiziert	Stromerzeugung: 62% kurzfristig, 27% langfristig Übrige Energieerzeugung: 55% kurzfristig, 31% langfristig	Makro-Rebound: 11 % Direkter Rebound: 15 % (exogene Vorgabe, Schock) Gesamt-Rebound: 26 %	47%- 57%, in Abhängigkeit von Betrachtungsraum und Szenario
Ursächlicher Schock	Anstieg der Energieproduktivität um 20 %	Anstieg der Energieproduktivität um 5 %	Vielzahl von Politikmaßnahmen	Steigerung der Energieeffizienz der Produktion um 10 %, Szenario 1: im verarbeitenden Gewerbe, Szenario 2: in allen deutschen Sektoren
BIP-Effekt	Kurzfristig: +1-2 % Langfristig: 14 % höher als kurzfristig (bspw. 2,28 % statt 2 %)	Kurzfristig: +0,11% Langfristig: +0,17%	+1,26 %	Szenario 1: D: +0,13 % Rest der Welt: +0 % Szenario 2: D: +0,5 % ROW: -0,002 %
Beschäftigungseffekt	n.a.	+0,21 %	+0,8 %	n.a.
Preiseffekt	n.a.	Konsumentenpreis index: -0,27 %	BIP-Deflator zum Ende des Betrachtungszeitraums: -2,4 %	Szenario 1: Güterpreise im VG in D gehen zurück (-0,08%), in allen anderen Sektoren steigen sie an Szenario 2: Weltweit sinken die Energiepreise

Sowohl Barker et al. (2008) als auch Allan et al. (2007a) stellen einen positiven Einfluss auf die Beschäftigung fest. Diese fällt um 0,8 % bzw. 0,21 % höher aus als ohne Effizienzsteigerung. Mit

Ausnahme von Saunders (2000) weisen alle Modelle zudem die Auswirkungen auf das allgemeine Preisniveau, bzw. den Verbraucherpreisindex aus. Barker et al. (2008) und Allan et al. (2007a) beobachten einen systemweiten Rückgang der Preise um 2,4 % (BIP-Deflator) bzw. 0,27 % (Verbraucherpreise). Bei Koesler et al. (2016) sinken zwar die Preise der von der Effizienzsteigerung betroffenen Industrie, der Verbraucherpreisindex steigt demgegenüber jedoch sowohl im Kontext der nationalen Volkswirtschaft als auch EU-weit in beiden Szenarien. Der Verbraucherpreisindex der übrigen Welt bleibt in beiden Fällen konstant.

## 5 Fazit und Ausblick - Erkenntnisse für die Modellierung in ReCap

Rebounds auf mesoökonomischer und gesamtwirtschaftlicher Ebene werden in ex-ante-Analysen ermittelt, die mit Makro-, CGE- und makroökonomischen Modellen durchgeführt werden. In den vorherigen Kapiteln wurde eine Auswahl der drei etablierten Modelltypen anhand ausführlicher Publikationen dargestellt. Auf Basis des im Anhang aufgeführten Rasters wurden verschiedene modellgestützte Analysen zu Rebound-Effekten ausgewählt und mit Blick auf die geplanten Modellierungen in ReCap interessante Ansätze eingeordnet.

In den Modellanalysen wird jeweils ein Szenario mit Energieeffizienzsteigerung mit einer Referenz ohne diese Annahme verglichen. Diese autonome Effizienzsteigerung wirkt sich in allen Fällen unmittelbar auf die Produktionsfunktion der betrachteten ökonomischen Einheit aus. Sie bezieht sich damit auch – teilweise ausschließlich, teilweise lediglich direkt – nur auf den produzierenden Teil bzw. die Unternehmen einer Volkswirtschaft. Private Haushalte sind mit Ausnahme von Barker et al. (2008) wenn überhaupt nur indirekt von den Effizienzsteigerungen über niedrigere Preise der Konsumgüter und mehr Beschäftigung und damit verfügbares Einkommen betroffen. Steht die Effizienzsteigerung nicht ohne Ausgaben der Unternehmen zur Verfügung, zeigen Allan et al. (2007a) in einer Sensitivität, dass sich dies drastisch auf die Höhe des Rebounds auswirkt und diesem gar vollständig entgegenwirken kann – dies allerdings zu Lasten von Output- und Beschäftigungssteigerung.

In allen Fällen sind Elastizitäten entlang der Wirkungskette maßgeblich für die Höhe des Rebounds verantwortlich. Eine große Bedeutung kommt dabei der bzw. den Substitutionselastizitäten von Energie im Produktionsprozess zu, unabhängig von der Art der verwendeten Produktionsfunktion. Für den Fall, dass auch das Ausland in die Analyse mit einbezogen wird, beeinflussen zudem Armington-Elastizitäten, die die Präferenz für heimische Produkte beschreiben, den bilateralen Handel. Bei spezifischer Betrachtung der privaten Haushalte steigt zumindest in den Untersuchungen von Koesler et al. (2016) mit zunehmender Substitutionselastizität im Konsum das Ausmaß des Rebounds an. Die Möglichkeit, dass Energie und Kapital in einzelnen Industrien komplementär und nicht substitutiv zueinander sein könnten, wird nicht betrachtet (Broadstock et al. 2007).

Während die Mehrheit der betrachteten Modelle den ursächlichen Schock als autonome Steigerung der Energieeffizienz modelliert, zeigen Barker et al. (2008) die Möglichkeit auf, Energieeinsparungen konkret auf einzelne Politikmaßnahmen (mit damit verbundenen Kosten und Verhaltensanpassungen) zurückzuführen. Für diesen Ansatz scheint allerdings eine umfängliche Analyse jeder betrachteten Maßnahme unumgänglich zu sein, was im Rahmen von ReCap für verschiedene Maßnahmensets durchgeführt werden wird. Im Idealfall schließt eine solche Analyse bereits die Berücksichtigung direkter Rebound-Effekte mit ein.

Ein weiterer Aspekt, der von den Autoren als bedeutsam für die Höhe des Rebounds herausgestellt wird, ist die Wertschöpfungskette des energieerzeugenden Sektors selbst. Sowohl Allan et al. (2007a) als auch Koesler et al. (2016) verweisen darauf, dass die Energieerzeugung für gewöhnlich energieintensiv geschieht. Ein Rückgang der Stromnachfrage in einem Sektor, dessen

Energieeffizienz steigt, zieht in der Folge eine geringere Nachfrage nach Energie im Prozess der Stromerzeugung selbst nach sich. Der Rebound fällt also schwächer aus. Gleichzeitig sei davon auszugehen, dass sich die Wettbewerbsfähigkeit dieses Sektors durch eine Effizienzsteigerung aufgrund seiner hohen Energieintensität überdurchschnittlich stark erhöht. Durch die Preisreduktion wird eine höhere Nachfrage induziert, was wie oben ausgeführt den Rebound potenziell verstärkt. Allan et al. (2007a) zeigen in diesem Zusammenhang, dass die Preise für Energie kurzfristig stärker gegenüber dem Ursprungszustand absinken als langfristig.

Nach Allan et al. (2007a) ist die Höhe des Rebound-Effekts auch vom Anteil der heimischen Energieerzeugung abhängig. Da dieser Anteil in Großbritannien und den USA deutlich höher ist als in Deutschland, wären in Quantifizierungen für Deutschland eher kleinere Effekte zu erwarten.

Barker et al. (2008) heben die Behandlung des technischen Fortschritt in Modellen als entscheidend hervor und stellen dabei insbesondere auf die Berücksichtigung von Lernkurveneffekten ab. Das Ausmaß der Substitutionselastizitäten zwischen im Wettbewerb stehenden Technologien sei an dieser Stelle von wesentlicher Bedeutung. Die Autoren argumentieren dabei für die Verknüpfung von top-down- und bottom-up-Modellierung.

Bei der Betrachtung einer einzelnen Volkswirtschaft ist zudem von Bedeutung, welche Produkte von Konsumenten, die über ein gestiegenes Haushaltseinkommen verfügen, zusätzlich konsumiert werden. Barker et al. (2008) weisen darauf hin, dass diese gegebenenfalls einen sehr geringer Anteil an heimisch gewonnener Energie beinhalten, was den nationalen Rebound gering erscheinen lässt, den Energieverbrauch im Ausland jedoch anhebt. Im Falle UK gelte dies insbesondere für importierte Automobile und Fernreisen. Aus ähnlichen Gründen sei auch bei den betrachteten Energieformen zu differenzieren, Einsparungen von in UK produziertem Gas und Strom stünden eine höhere Nutzung von Mineralölprodukten gegenüber. Die These, dass das Ausmaß des Gesamtrebounds mit Ausweitung des Betrachtungsgegenstandes zunimmt, wird jedoch von Koesler et al. (2016) eingeschränkt, da die Ergebnisse des von ihnen verwendeten Modells dieser widersprechen.

Für die anstehende Modellierung zur Abbildung von Rebound-Effekten im makroökonomischen Modell PANTA RHEI liefert diese Übersicht wichtige Erkenntnisse, was die Abbildung des Rebound-Effekts selbst und zentrale Stellgrößen für Sensitivitätsrechnungen angeht. So werden eine autonome Energieeffizienzsteigerung und eine durch Investitionen ausgelöste Steigerung der Energieeffizienz im weiteren Projektverlauf getrennt analysiert werden. Wichtige Elastizitäten werden variiert, um die Wirkungen auf die Gesamteffekte zu isolieren. Für die für das Vorhaben zentrale Frage der Abbildung von Politikmaßnahmen, die den Rebound-Effekt reduzieren, hilft die Zusammenschau allerdings noch wenig. Hier ist einerseits die Literatur zu Politikmaßnahmen gegen den Rebound (Lange et al. 2019) in dieser Hinsicht genauer zu betrachten, zum anderen sind weitere Modellierungsarbeiten zu prüfen, die Politikmaßnahmen explizit einbezogen haben. Dies schließt vermutlich auch Publikationen mit ein, die sich nicht explizit auf Rebound-Effekte konzentrieren.

## 6 Literaturverzeichnis

- Allan, Grant; Hanley, Nick; McGregor, Peter; Swales, Kim; Turner, Karen (2007a): The impact of an increased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom, in *Energy Economics* 29, 779-798.
- Allan, Grant; Gilmartin, Michelle; Turner, Karen; McGregor, Peter; Swales, Kim (2007b): UKERC Review of Evidence for the Rebound Effect. Technical Report 4: Computable general equilibrium modelling studies.
- Antal, Miklos; van den Bergh, Jeroen (2014): Re-spending rebound: A macro-level assessment for OECD countries and emerging economies, in *Energy Policy* 68, 585-590.
- Armington, Paul (1969): A theory of demand for products distinguished by place of production, in *IMF Staff Papers* 16, 157-178.
- Badri, Narayanan; Walmsley, Terry (2008): Global Trade, Assistance and Production: The GTAP 7 Data Base, technical Report, Center for Global Trade Analysis. Purdue University, West Lafayette, USA.
- Barker, Terry; Foxon, Tim (2008): The Macroeconomic Rebound Effect and the UK Economy – Research Report.
- Böhringer, Christoph; Rivers, Nicholas (2018): The energy efficiency rebound effect in general equilibrium, Oldenburg Discussion Papers in Economics, No. V-410-18, University of Oldenburg, Department of Economics, Oldenburg.
- Broadstock, David; Hunt, Lester; Sorrell, Steve (2007): UKERC Review of Evidence for the Rebound Effect. Technical Report 3: Elasticity of substitution studies.
- Chakravarty, Debalina; Dasgupta, Shyamasree; Roy, Joysahree (2013): Rebound effect: how much to worry?, in *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2013 5, 216-228.
- Colmenares, Gloria; Löschel, Andreas; Madlener, Reinhard (2018): The Rebound Effect and its Representation in Energy and Climate Models, FCN Working Paper 16/2018, Aachen.
- EC (2017): Case study – technical analysis on capacity constraints and macroeconomic performance. Technical Study on the Macroeconomics of Climate and Energy Policies, prepared for the European Commission.
- Holm, Stig-Olof; Englund, Göran (2009): Increased ecoefficiency and gross rebound effect: Evidence from USA and six European countries 1960-2002, in *Ecological Economics* 68, 879-887.
- IEA (2014): Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency. Paris.
- Lin, Boqiang; Li, Jianlong (2014): The rebound effect for heavy industry: Empirical evidence from China, in *Energy Policy* 2014.
- Koesler, Simon; Swales, Kim; Turner, Karen (2016): International spillover and rebound effects from an increased energy efficiency in Germany, in *Energy Economics* 54, 444-452.
- Lange, Steffen; Banning, Maximilian; Berner, Anne; Kern, Florian; Lutz, Christian; Peuckert, Jan; Santarius, Tilman; Silbersdorff, Alexander (2019): Economy-Wide Rebound Effects: Policies based on theoretical and empirical bottom up and top down analyses.

Rausch, Sebastian; Schwerin, Hagen (2018): Does Higher Energy Efficiency Lower Economy-Wide Energy Use? CER-ETH Working Paper 18/299, [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3272225](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3272225) [07.03.19].

Saunders, Harry D. (2000): A view from the macro side: rebound, backfire and Khazzoom-Brookes, in *Energy Policy* 28, 439-449.

Sorrell, Steve; O'Malley, Eoin; Schleich, Joachim; Scott, Sue (2004): *The Economics of Energy Efficiency – Barriers to Cost-Effective Investment*. Edward Elgar, Cheltenham.

West, G.R. (1995): Comparison of input-output, input-output + econometric and computable general equilibrium impact models at the regional level, in *Economic Systems Research* 7, 209-227.

# 7 Anhang

## Raster für modellgestützte Reboundberechnungen

Studie (Autoren, Quelle)

### Untersuchungsgegenstand

- Räumlich (Land, international)
- Institutionell (Volkswirtschaft, Sektor(en))
- Zeitlich (short-term, long-term)
- Jeweilige Definition von Rebounds
- Welche Art von Rebounds adressiert?
- Weitere Effekte außer Marktpreiseffekt, die Makro-Rebounds erklären?

### Modellansatz

- Modelltyp (CGE, ökonometrisch,...)
- Produktionsfunktion (-struktur)
- Substitutionselastizitäten
- (weitere) sensitive Annahmen/Parameter (z.B. Arbeitsmarktmodellierung,...)
- Zahl der Sektoren
- Link/Verweis auf weitergehende Modelldokumentation

### Zentrale Szenarien/Schocks

- Wie wird der Rebound modelliert?
- Was wird verglichen (autonome Steigerung der Energieeffizienz, Politikprogramm, politische Maßnahmen,... mit Referenz)?
- Reaktion der Energiepreise
- Durchgeführte Sensitivitäten (und was beeinflusst demnach den Rebound stark?)

### Ergebnisse

- Rebounds (economy-wide, macroeconomic)
- BIP
- Beschäftigung
- Preise
- Sektoren? (nicht im Detail, z.B. „besonders hohe Rebounds für (energieintensive) Industrie“ o.ä.)

Eigene Einschätzung der Autoren (Vor-/Nachteile des Ansatzes, Einordnung der eigenen Ergebnisse in die Literatur,...)

Besonderheiten

[www.macro-rebounds.org](http://www.macro-rebounds.org)