

### Stand und Perspektiven der Rebound-Forschung

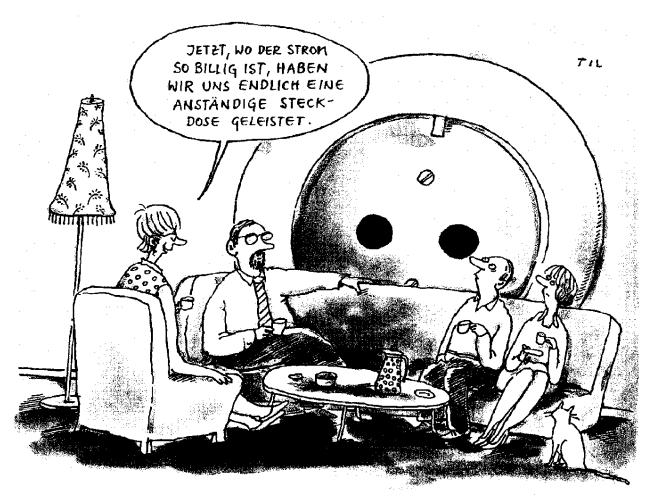
Enquete "Urbane Rebound-Effekte: Rebound-Effekte verstehen und vermeiden", 6. April 2017, Pier 50, Wien

Univ.-Prof. Dr. Reinhard Madlener





### Karikatur: die Quintessenz von (direktem) Rebound



Präziser: Jetzt, wo wir es uns aufgrund des technologischen Fortschrittes (bzw. technischer Effizienzsteigerungen) leisten können, ...



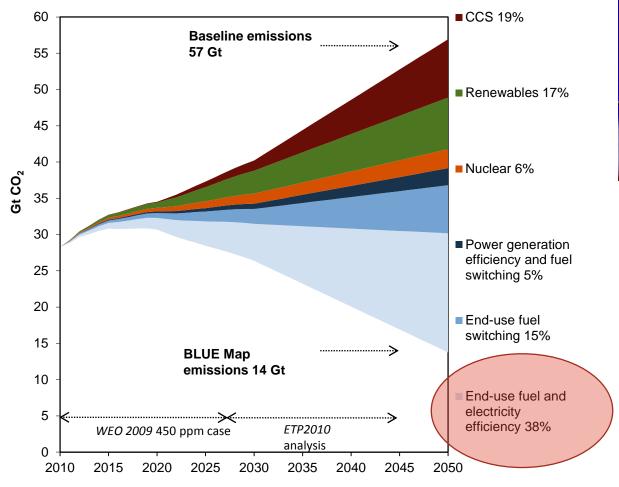


### Grundproblem: viele ungesättigte Bedürfnisse, mangelnde Suffizienz



## Energieeffizienz als eine wichtige Säule der Energiepolitik (Problem dabei: Reboundeffekted weitgehend ignoriert)

#### **IEA CLIMATE MITIGATION SCENARIOS**



SOURCE: Thomas Kerr, IEA. Based on World Energy Outlook 2009 and Energy Technologies Perspectives 2010 reports. Adopted from Jenkins et al. (2011), modified.



"I think we have to have a strong push toward energy efficiency. We know that's the low-hanging fruit, we can save as much as 30 percent of our current energy usage without changing our quality of life."

(June 28, 2009)

http://www.nytimes.com/2009/06/29/us/polit ics/29climate-text.html

Reboundeffekte unter "Trumponomics"?





### Überblick

- Rebound-Beispiel Beleuchtung
- 2. Was ist Rebound?
  - Definition, Anfänge der Rebound-Forschung (Jevons; Brookes & Khazzoom)
  - Arten, Kategorisierung
  - Rebound-Mechanismen
- 3. Stand und Perspektiven Rebound-Forschung (Grobüberblick)
- 4. Rebound-Analysen im gesamten Wirtschaftssystem
- 5. Fazit





### 1. Rebound-Beispiel Beleuchtung 3/5

### 700 Jahre Beleuchtung (Vereinigtes Königreich)

Jahr	Energie- preis	Effizienz	Preis der Beleuchtung	Beleucht konsum / Kopf	Beleucht konsum	Reales BIP / Kopf
1300	1.5	0.5	3	-	-	0.25
1700	1.5	0.75	2	0.17	0.1	0.75
1750	1.65	0.79	2.1	0.22	0.15	0.83
1800	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1850	0.4	4.4	0.27	3.9	7	1.17
1900	0.26	14.5	0.042	84.7	220	2.9
1950	0.4	340	0.002	1 528	50 000	3.92
2000	0.18	1 000	0.0003	6 566	25 630	15

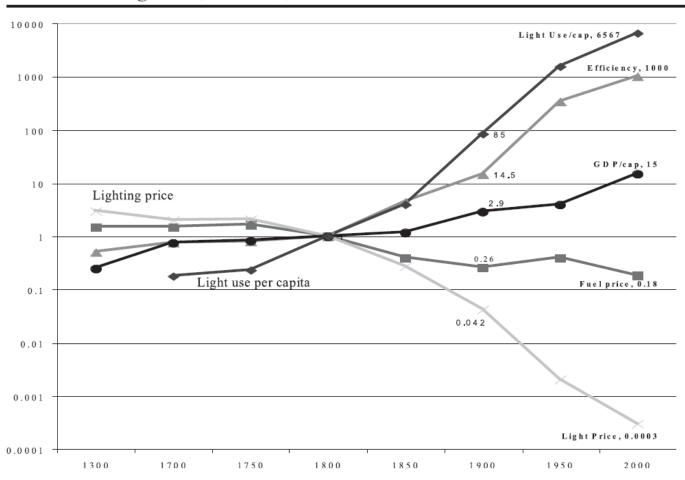
Quelle: Fouquet/Pearson (2006); \* s.a. Frondel ("et", 2012) (Anm.: Indizes normalisiert auf 1 für das Jahr 1800)





### 1. Rebound-Beispiel Beleuchtung 4/5

Figure 14. Indices of Key Lighting Variables in the United Kingdom (Log Scale, 1800=1), 1300-2000



Quelle: Pearson & Fouquet (2006)





### 1. Rebound-Beispiel Beleuchtung 5/5

### **Beispiel: "Smart Lighting"**

- Beleuchtung: 5 % des Endenergieverbrauchs (19 % des Primärenergieverbrauches für elektr. Energie)
- Verbot der Glühbirne (verbannt in AUS, NZ, der EU) 15 Lumen/W
- **Energiesparlampen** (≈ 65 Lumen/W) / Halogenlampen
- **LEDs** (≈ 132 Lumen/W)
- OLEDs (gegenwärtig ≈ 60 Lumen/W, dramatische Weiterentwicklung im Gange)
- Weltmarkt-Volumen: dzt. ca. \$ 100 Milliarden (großer Wachstumsmarkt)
- Enorme Energieeffizienz-Potentiale
  - Völlig neue architektonische Designs (OLEDs)
  - Automatisches Dimmen bei Tageslicht
  - Bewegungssensoren (Personen-Verfolgung)
- Aber auch Risiko substantieller Rebound-Effekte (Nachfrage nach gemütsabhängigen Beleuchtungskonzepten, gestyltem Interieur vs. Energiesparen & Umweltschutz)
- Stromverbrauch für Beleuchtung in britischen Haushalten: stieg in den letzten Jahren trotz großer politischer Anstrengungen und rascher Verbreitung der Sparlampen weiter an (Crosbie et al. 2008)





### 2. Definition von Rebound, Anfänge der Reboundforschung

### Was ist "Energie-Rebound"?

 Phänomen, bei dem eine Steigerung der (technischen) Energieeffizienz eine weniger als proportionale Verminderung des Energieverbrauches induziert

$$R = 1 - T/E \neq 0$$
 R... Rebound; T. E... Tatsächliche, Erwartete Energieeinsparung

- → Tatsächlich realisierter **Umweltnutzen (Einsparung von Ressourcen)** fällt geringer aus als erwarteter Nutzen (+ Effizienz-Politik ist weniger effektiv bzw. kosteneffizient!)
- → Verhaltensanpassungen bzgl. effizienterer Technologie kompensieren (teilweise) den durch die neue Technologie erwarteten Nutzen der Einsparung
- Der Anfang: "The Coal Question" (Jevons 1865; vgl. Alcott 2005)
  - Steigerung der Energieeffizienz während der Industriellen Revolution in Großbritannien führt nicht zwingend zu Ressourceneinsparungen (kann Kohle-Knappheit nicht verhindern)
- "Khazzoom-Brookes" Postulat (Brookes 1978, Khazzoom 1980)
  - Bei (real) konstanten Preisen werden Energieeffizienz-Steigerungen den Energieverbrauch über das Niveau hinaus steigern, auf dem er ohne Effizienzgewinn wäre (Saunders, 1992)
    - → "Backfire" (würde Effizienzpolitik zur Ressourcenschonung kontraproduktiv machen)



- ▶ Direkte Effekte (= Preiseffekt) Anstieg der Nachfrage nach einer Energiedienstleistung, welche aufgrund einer Effizienzsteigerung (relativ) günstiger geworden ist
- ➤ Indirekte Effekte (= Einkommenseffekt) Erhöhung des verfügbaren realen Einkommens durch Kosteneinsparungen aufgrund der Steigerung der Energieeffizienz; die Ersparnis wird für den Mehrkonsum anderer (energieverbrauchender) Güter und Dienstleistungen verwendet
- ➤ Meso-Effekte (= Produktions- oder sektorale Effekte) (Santarius 2015)
- ➤ Makroökonomische Effekte (= Gesamtwirtschaftlicher Effekt) Anpassungen von Angebot und Nachfrage aufgrund von Veränderungen der relativen Preise in allen Sektoren der Wirtschaft; betrifft sowohl Unternehmen als auch private Haushalte
- ➤ (Transformations-Effekte Konsum-Präferenzen bzgl. vorhandener / neuer Produkte werden durch Effizienzsteigerungen beeinflusst; Greening et al. 2000)



### 2. Die verschiedenen Rebound-Mechanismen

- 1. Direkter Rebound (Preiseffekt)
- Adoption größerer Einheiten oder solchen mit mehr Funktionen
- 3. Wiederverausgabung (Einkommenseffekt)
- 4. Zusätzliche Nachfrage energieintensiver Güter (Kompositionseffekte)
- Änderungen in den Prozessen in einer Phase der Produktkette oder des Lebenszyklus auf spätere Phase/n
- 6. Veränderungen in der Zusammensetzung der Inputfaktoren
- 7. Erhöhung der totalen Faktorproduktivität und des Produktionsoutputs
- 8. Allgemeiner (makroökonomischer) Gleichgewichtseffekt
- 9. Internationale Handels- und Relokationseffekte
- 10. Kapitalinvestitions- und -akkumulationseffekte
- 11. Technologische Innovations- und Diffusionseffekte
- 12. Änderungen der Präferenzen
- 13. Graue Energie-Effekt ("embodied rebound")
- 14. Zeitersparnis-Effekt ("time rebound")

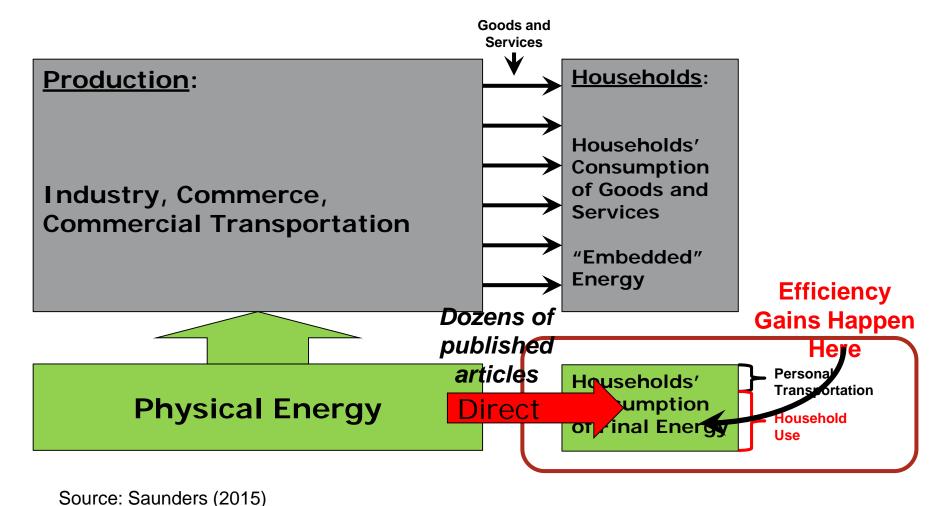
Quelle: van den Bergh (2011), Hervorhebungen R.M.





### 3. Rebound-Analysen im gesamten Wirtschaftssystem 1/3

### Typische Rebound-Analyse (Fokus: Heizen + Autofahren privater HH):



Source: Sauriders (2013)

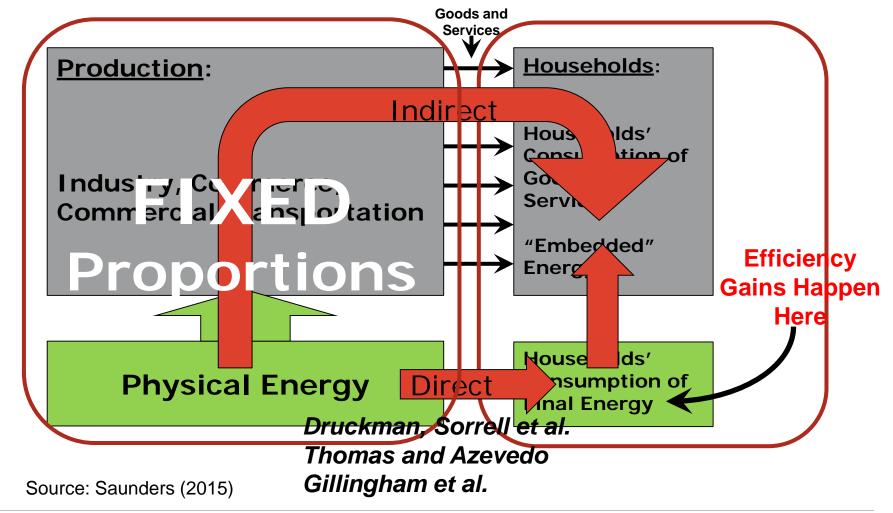
14





### 3. Rebound-Analysen im gesamten Wirtschaftssystem 2/3

### Typische Rebound-Analyse (Fokus: Heizen + Autofahren privater HH):

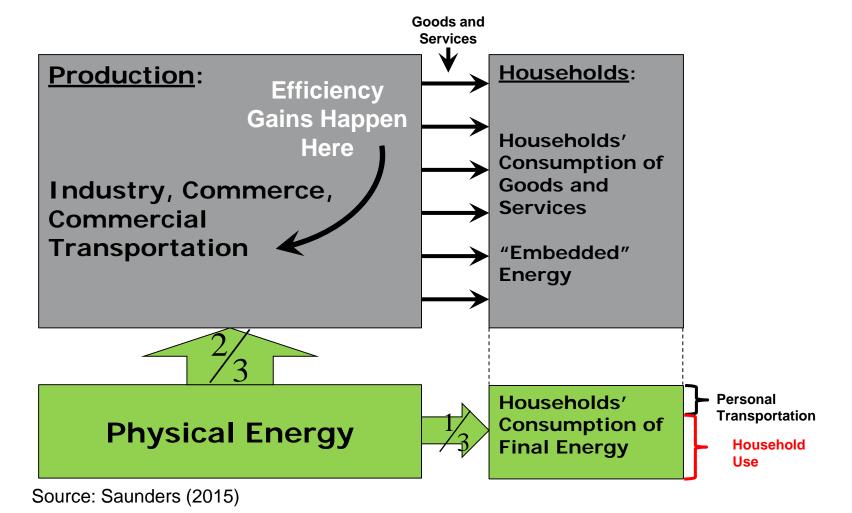






### 3. Rebound-Analysen im gesamten Wirtschaftssystem 3/3

### Produktionsseitige Effizienzsteigerungen sind komplexer:



E.ON Energy Research Center

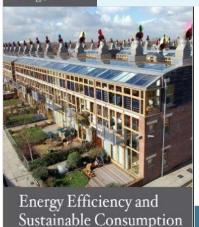


### 4. Weiterhin starkes Interesse am Thema Rebound – Wieso eigentlich?



schen Rundestages

### "Energiesparen durch Effizienzfortschritte ist in einem weiter wachsenden System schlichtweg eine Illusion"



The Rebound Effect

Edited by

Der Rebound-Effekt Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz Von Tilman Santarius Se

Consumer End-Use Energy Efficiency and Rebound Effects

mate of Engineering and Public Policy, Caraogic Medica University, Pandwegh, physics 1523, email: interestivibilities sales

Arms, Roy, Environ, Rossar, 2014, 75-993, 418 The Assert Review of Particulations and Reviews in artiface as attribute, assertation, assertations, and

Coppright © 7014 by Annual Reviews

energy efficiency, rebound effect, consumer behavior

Energy efficiency policies are pursued as a way to provide affordable and sustainable energy services. Efficiency measures that reduce energy service costs will free up resources that can be spent in the form of increases successed will free up resources that can be spent in the bream of increases of consumption—either of that same good or service or of other goods and services that require energy (and that have associated emissions). This is called the rebound effect. There is still significant ambiguity about how the rebound effect should be defined, how we can measure it, and how we can characterize its uncertainty. Occasionally the debate regarding its impor-tance recenerges, in part because the existing sendles are not easily compa-rable. The scope, region, end-uses, time period of analysis, and drivers for sens all differ widely from study to study. As a result, list efficiency improvements all differ widely from study to usuly. As roads, that ing one single trumber for reloand effects would be unidealing. Rebound effects are likely to depend on the specific artibutes of the policies that trigger free efficiency improvement, but such factors are defin ignored. Im-plications for welfare changes resulting from rebound have also been largely agnored in the literature until recently.

ZUKUNFTSFRAGEN

#### "Es gibt sowohl positive als auch negative Rebound-Effekte"

Rebound" ist in der Öffentlichkeit mittlerweile keine Unbekannte mehr. Dennoch hat man den Eindruck, dass bezüglich der Effekte heute erst die Spitze des Elsbergs sichtbar wird. Die zu bewältigenden Aufgaben sind groß. Nach vier Jahren spricht Prof. Dr. Reinhord Madibene, Wissenschaftler an der KVIII Auchon, erneut mit den Europieutrschaftlichen Tagesfruszum ("er") fihre den machenenden Europiewerberum wierberin; dessen nachhaftlig befestung sowie über naueste Erkennteisse und Rebound-Ellekt und darüber, welche Schlassfolgerungen und Lösungen die Forschung dazu anbieten kann.

Dem ateben die Ziele der Klimspolitik entgegen

Bardon Menschen nicht ernährt werden können den Zahlen der Onler des Ersten und Zweiten Welkriegs, bekommt man einen Einfrack der gewaltigen Dimension des Dilemmas. Wir nutsen dass wir mehrere devon breachen würden, um then Mafoatimen und Mitteln sowie einer guter

benutandards and wachsenders favoriehunger prechen, missen wir klar zwischen Minderbe-tirfalmen der Ärmeten auf dieser Welt und den ausstechtensen und "Erst Warbt Probleme" in den Industrieländern unterscheiden. Will man materialies. Ecosum-Girtal etwas enger actual-Womit wir bei der Frage nach der Webbi les und der Theme Suffinenz aufe Topet bringen. echhaltigkeit ist somit such eine Frage der Ein-Politiker sind selvetert, die Geschitzt im energie politischen Vieleck entsprechend zu setzen, demit das Dilemma viel zu hoher Konsumntweus nettrlicher Rossources und stekender Ependestmut in

bedayt gleichbedeutend mit Wohlfahrts-Mazi-mierung. Die Bekampfung von Robound zielt auf

Rechnung ohne den Wirt? Annahmen, dess der Energieverbrusch bis 2050 halbiert and ske Stronovelesuch um sin Viertel

die Industrie oder die Wähler? Jedenfalla halte ich solche Ziele für wenig realistisch, namal Rebound. Effekte dabei sehr oft schlichtwag ignoriert wer-den. Es spielt jedoch eine große Rolle, izwiewent man Preise andern kunn, damit sie tatsächliche Werte widerspiegeln. Wenn man die Energiere Preize für Energiedienstleistungen wie Bebei-

mote Resourcepelipiers and denit Occlosischwerden und die Nutzer von Energieted der Überzegung sind, dass sie dadorch soo

leistungen (bei der Mobilität etwa Schadnetti

westrauch bir 2050 am ein Vicetol genenkt nitri



Jahrenssaherweise stellt man fest, dass es gesambristschaftlich gesehen sowohl positive als auch negative Robeaud-Effekte gibt. Eine Verbesserung der Technologie kans sich in der gesamben Wirtschaft fortglanzen, wall sich die relativen Protessenfällanse der Pro-duktionslaktoren verändern und die Wirtschaft insgesamt zu einem neuen Gleichgewicht Timbel. Da glot et dam Sektoren, die diruch die Aunerdung einer entgefehltzwistenstechnologischen Innovation gewinnen oder wachsen und andere, die eben verlieren. So mit müssen die Politikgestalter ihre Fragen viel genauer stellen, als sie dies bisher getan



Tilman Santarius - Hans Jakob Walnum Carlo Aall Editors

### Rethinking Climate and **Energy Policies**

New Perspectives on the Rebound

Energiepolitik o Reboundkonzep das gehen?

Die Energiostrategie 2050 des Bundos t Fahrzeuge. Die dedurch gesparten Ene Salche «Rebeund»-Effekte können gra Massiahmengestellung an den Reb

Devolver ervs die Helpung nicht me

### 4. Stand und Perspektiven Rebound-Forschung (Grobüberblick) 1/2

**35 Jahre neuere Rebound-Diskussion** in Wissenschaft und Politik – seit Anfang d. 1980er-Jahre (z.B. durch Sonderhefte von *The Energy Journal* und *Energy Policy*)

- Theoretische Literatur zum gesamtwirtschaftlichen Reboundeffekt, basierend auf (stilisierten) Produktionsfunktionen (z.B. Cobb-Douglas, Leontief)
- Fülle an empirischer Literatur, die darauf abzielt, verschiedene Komponenten von Reboundeffekten in unterschiedlichen Märkten zu schätzen.
- Konsens: Rebound-Effekte sind nicht vernachlässigbar, aber Höhe ist oft unklar
- Weiterentwicklung der mikroökonomischen Rebound-Theorie, nützlich für eine solide Unterfütterung empirischer Arbeiten, z.B.:
  - Weiterentwicklung der Schätzung klassischer Elastizitäten als Rebound-Maß (Berkhout et al. 2000, Binswanger 2001, Sorrell & Dimitropoulos 2008)
  - Aufspaltung von Rebound in Substitutions- u. Einkommenseffekte (Borenstein 2015;
     Chan & Gillingham 2015); Betrachtung sozialer Wohlfahrt (Chan & Gillingham 2015)
  - Nutzentheoretische Modelle mit multiplen Energiedienstleistungen und Energieinputs (z.B. Verwendung des Almost Ideal Demand System/AIDS, Deaton & Muellbauer 1980) (Hunt & Ryan 2014a,b; Schmitz & Madlener 2017)



### 4. Stand und Perspektiven Rebound-Forschung (Grobüberblick) 2/2

- Beträchtliche Menge an empirischer Forschung zum direkten Rebound
  - Quasi-experimentelle Studien (Messung des Konsums von Energie(-dienstleistungen) vor / nach einer Verbesserung der Energieeffizienz; Nutzung von Primärdaten)
  - Ökonometrische Analysen (Schätzung von Preiselastizitäten der Energienachfrage privater Haushalte oder Autofahrer; Nutzung von Sekundärdaten)
- Beträchtliche Menge an Studien zum direkten und indirekten Rebound und zum "grauen" Rebound (industrieökologische Forschung)
  - Kombination von (umweltseitig) erweiterten I/O-Modellen, Lebenszyklusanalysen, sowie Gleichungssystemen der Konsumnachfrage (Schätzung von grauer Energie in verschiedenen Kategorien von Haushaltsgütern & -dienstleistungen, sowie den Ausgaben und den Eigen- und Kreuzpreiselastizitäten bzgl. dieser Güter und Dienstleistungen)
- Wichtige Fortschritte in der makroökonomischen Modellierung (Turner 2009; Turner et al. 2016; Löschel & Madlener 2017 in Vorber.)
  - Einsatz rechenbarer allgemeiner **Gleichgewichtsmodelle** (od. Multiplikatoren)
  - Berücksichtigung multipler Effekte im gesamten Wirtschaftssystem (Rebound lässt sich nicht auf eine einzige Zahl reduzieren!)
  - Einsicht, dass Rebound in einigen Sektoren auch negative Werte annehmen kann und Einzeleffekte gegenläufig sein können

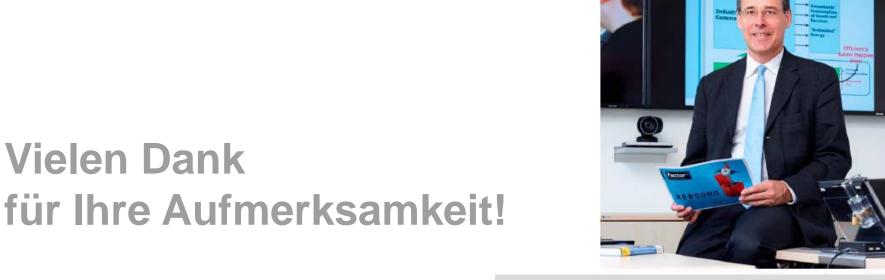


### 5. Fazit

- Rebound ist ein überaus komplexes Phänomen bzw. Thema
- Reboundeffekte sind in der Regel nicht zu vernachlässigen und beeinflussen die Effektivität von Energieeffizienz-Politiken negativ
- Wohlfahrtsökonomik: Reboundeffekte sind nicht zwingend negativ, Politikgestalter müssen präzisere Fragen stellen!
- Weitere Rebound-Forschung erscheint insbes. nötig bezüglich:
  - den Treibern von Reboundeffekten
    - ≡ Psychologische Faktoren
    - ≡ Ökonomische Faktoren
  - zur Höhe und Richtung möglicher Verzerrungen in den Schätzungen
  - zur Heterogenität von Reboundeffekten (z.B. Einkommen, Eigentum)
  - zu Reboundeffekten in anderen Wirtschaftssektoren (inkl. Industrie4.0, IoT)
  - zu indirekten und gesamtwirtschaftlichen Reboundeffekten
  - zur Höhe des wohlfahrtsoptimalen Rebound







# Vielen Dank

Univ.-Prof. Dr. Reinhard Madlener

Tel. +241 80 49 820, -822

Rmadlener@eonerc.rwth-aachen.de www.eonerc.rwth-aachen.de/FCN

### Aktuelle Veröffentlichung:

Galassi V., Madlener R. (2016). Some Like it Hot: The Role of Environmental Concern and Comfort Expectations in Energy Retrofit Decisions, FCN Working Paper No. 11/2016, September.





### Literatur-Auswahl 1/3

#### Seminal papers:

- Brookes, L.G., 1978. Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the U.K. Energy Policy 6, 94-106
- Khazzoom, J.D., 1980. Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances. Energy Journal 1(4), 21-40
- Herring, H., 1999. Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences.
   Applied Energy 63, 209-226
- Saunders, H.D., 2000. A view from the macro side: rebound backfire and Khazzoom-Brookes. Energy Policy 28, 439-449

#### Überblicksartikel:

- Madlener R., Alcott B. (2009). Energy Rebound and Economic Growth: A Review of the Main Issues and Research Needs. *Energy*, 34(3): 370-376
- R. Madlener, K. Turner (2016). 35 Years of Economic Energy Rebound Research: What have we achieved, and what's still open for work? in: H.J. Walnum, T. Santarius and C. Aall (Eds.) (2015), How to Improve Energy and Climate Policies? Understanding the Role of Rebound Effects, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York



### Literatur-Auswahl 2/3

#### Heterogenität von Rebound:

- Madlener R., Hauertmann M. (2011). Rebound Effects in German Residential Heating: Do Ownership and Income Matter?, FCN Working Paper No. 2/2011, RWTH Aachen University, February
- Schmitz H., Madlener R. (2017). Direct and Indirect Rebound Effects in German Households: A Linearized Almost Ideal Demand System Approach, FCN Working Paper, in Vorber.

#### **Produktionsseitiger Rebound:**

 Saunders H. (2013). Historical evidence for energy efficiency rebound in 30 US sectors and a toolkit for rebound analysis, *Technological Forecasting & Social Change*, 80: 1317-1330

#### Zeit-Rebound:

• Binswanger M. (2001). Technological progress and sustainable development: What about the rebound effect? *Ecological Economics*, 36: 119-132

#### Mikroökonomische Reboundtheorie:

- Chan N.W., Gillingham K. (2015). The microeconomic theory of the rebound effect and its welfare implications, *Journal of the Association of Ecological and Resource Economists*, 2: 133-159
- Borenstein S. (2015). A microeconomic framework for evaluating energy efficiency rebound and some implications, The Energy Journal, 48: 178-187



### Literatur-Auswahl 3/3

#### Mikroökonomische Reboundtheorie (Forts.):

- Gillingham K., Rapson D., Wagner G. (2016). The rebound effect and energy efficiency policy, Review of Environmental Economics & Policy, 10: 68-88
- Hunt L.C., Ryan D.L. (2015). Economic modeling of energy services: Rectifying misspecified energy demand functions, *Energy Economics*, 50: 273-285

#### Makroökonomischer Rebound:

- Turner K. (2009). Negative rebound and disinvestment effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK Economy, Energy Economics, 31: 648-666
- Turner K. (2013). Rebound effects from increased energy efficiency: a time to pause and reflect?, The Energy Journal, 34: 25-42
- Turner K., Swales K., Koesler S. (2016). International spillover and rebound effects from increased energy efficiency in Germany, *Energy Economics*, 54: 444-452

#### **Beleuchtungs-Rebound:**

- Crosbie T., Stokes M., Guy S. (2008). Illuminating household energy demand and the policies for its reduction, *Energy & Environment*, 19: 979-993
- Pearson P.J.G., Fouquet R. (2006). Seven centuries of energy services: The price and use
  of light in the United Kingdom (1300-2000), The Energy Journal, 27: 139-177

