Stand und Perspektiven der Rebound-Forschung

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

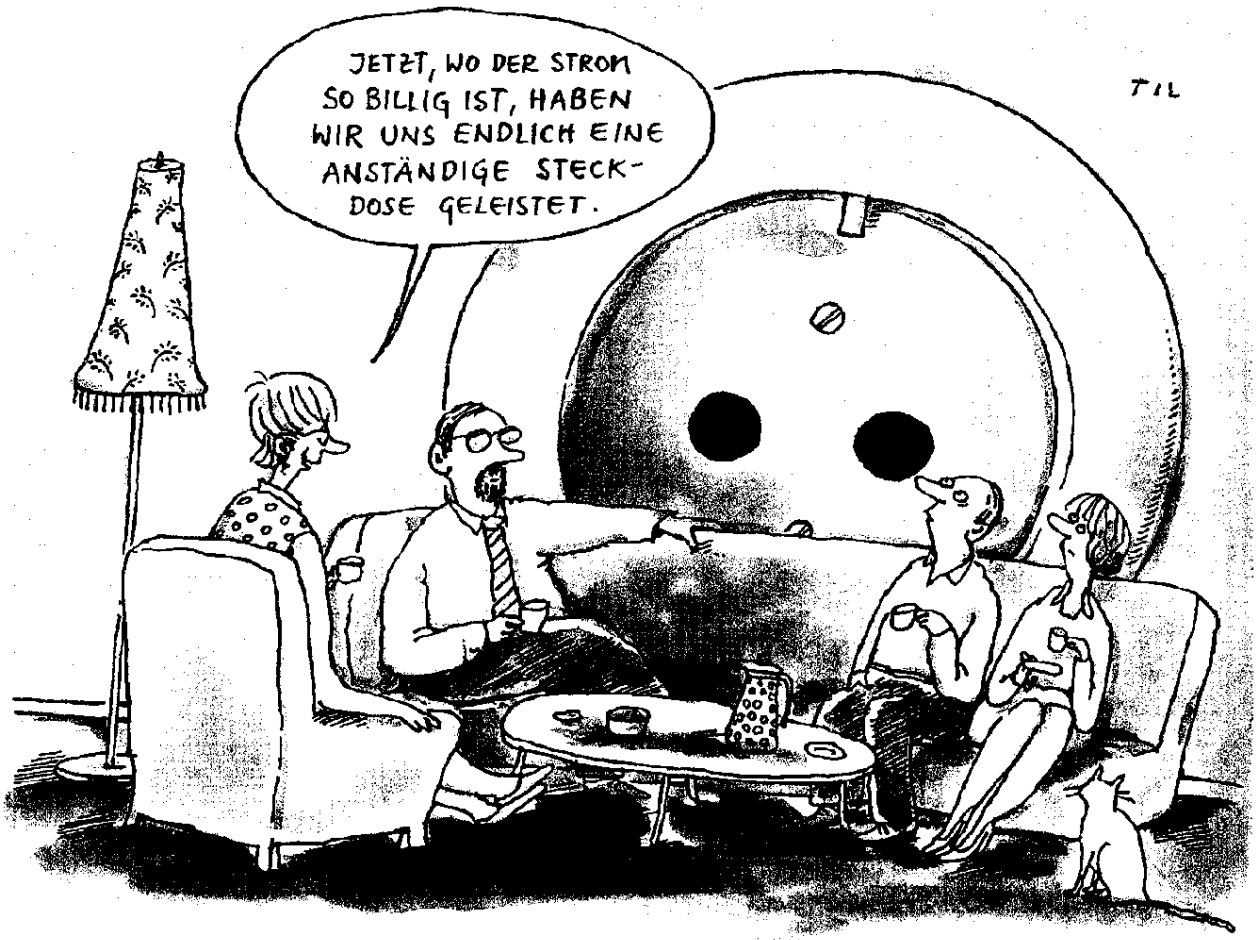
Univ.-Prof. Dr. Reinhard Madlener

FCN | Future Energy Consumer Needs and Behavior

E.ON Energy Research Center

RWTH AACHEN UNIVERSITY

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

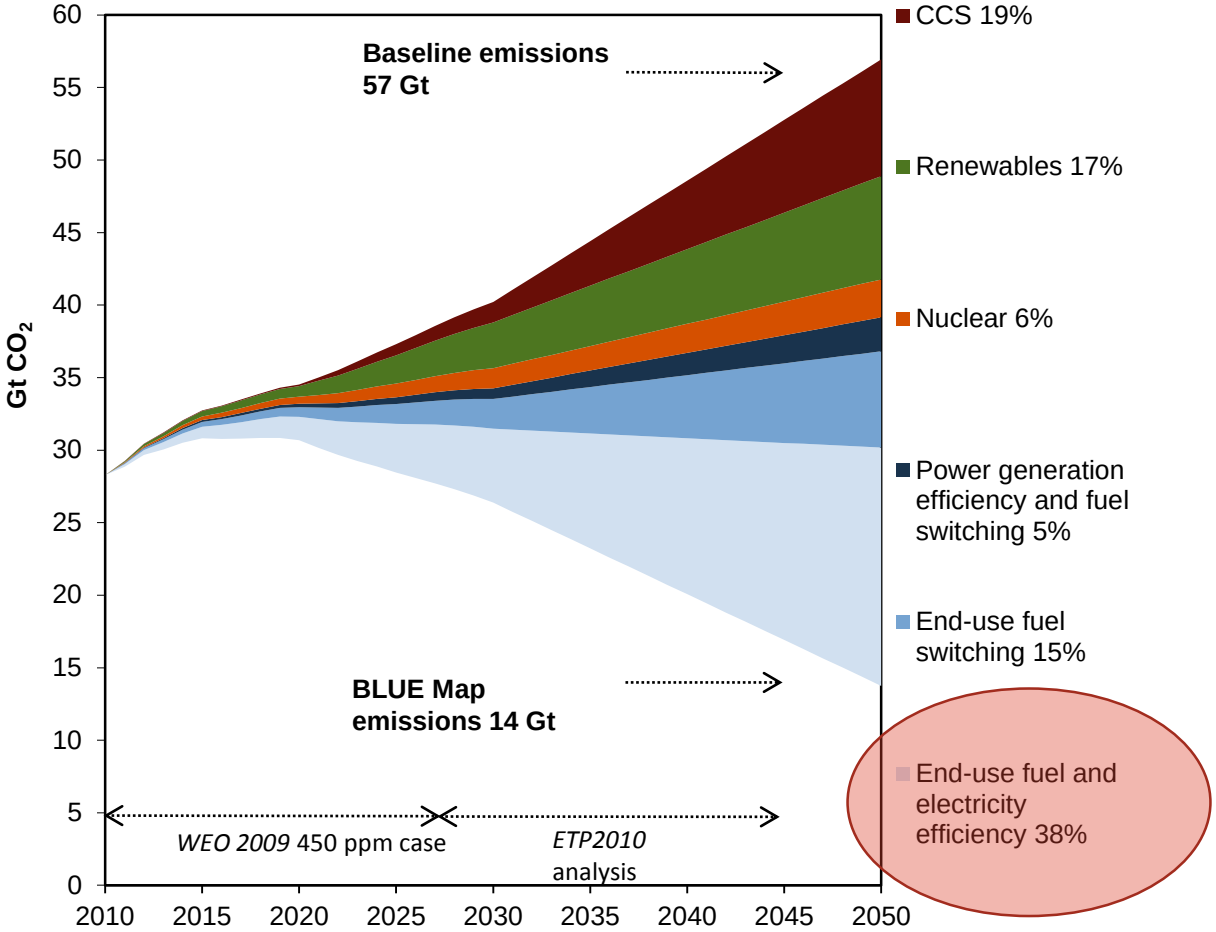
Foto: Winandy

Foto: Pinterest

Foto: Univ of Michigan

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/politics/29climate-text.html

Reboundeffekte unter „Trumponomics"?

E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Überblick

1. 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

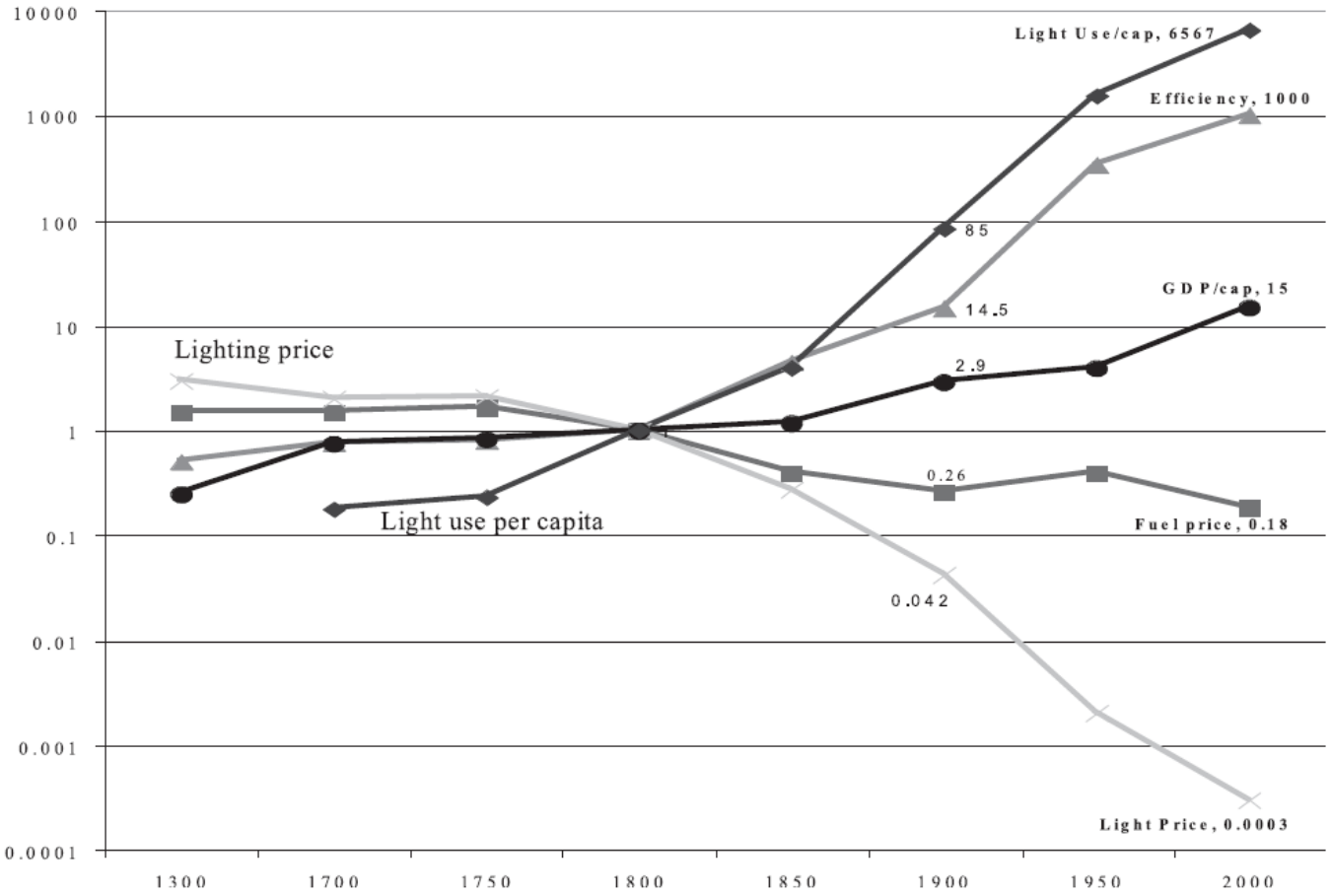
700 Jahre Beleuchtung (Vereinigtes Königreich)

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)

2. Die wichtigsten Arten von Rebound

Mikro-Ebene

- **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

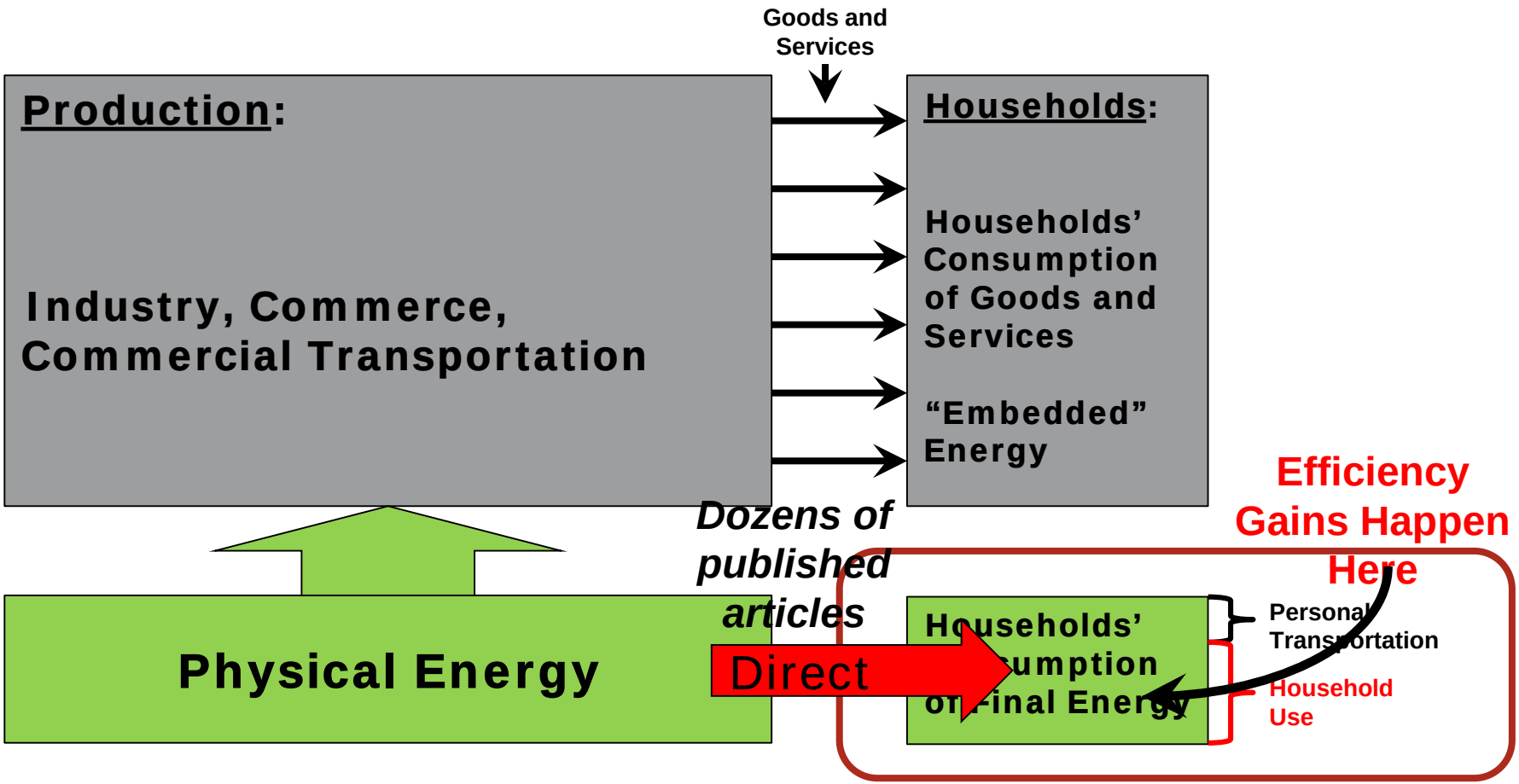
- (**Transformations-Effekte** – Konsum-Präferenzen bzgl. vorhandener / neuer Produkte werden durch Effizienzsteigerungen beeinflusst; Greening et al. 2000)

2. Die verschiedenen Rebound-Mechanismen

1. **Direkter Rebound** (Preiseffekt)
2. Adoption größerer Einheiten oder solchen mit mehr Funktionen
3. **Wiederverausgabung** (Einkommenseffekt)
4. Zusätzliche Nachfrage energieintensiver Güter (Kompositionseffekte)
5. 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“)

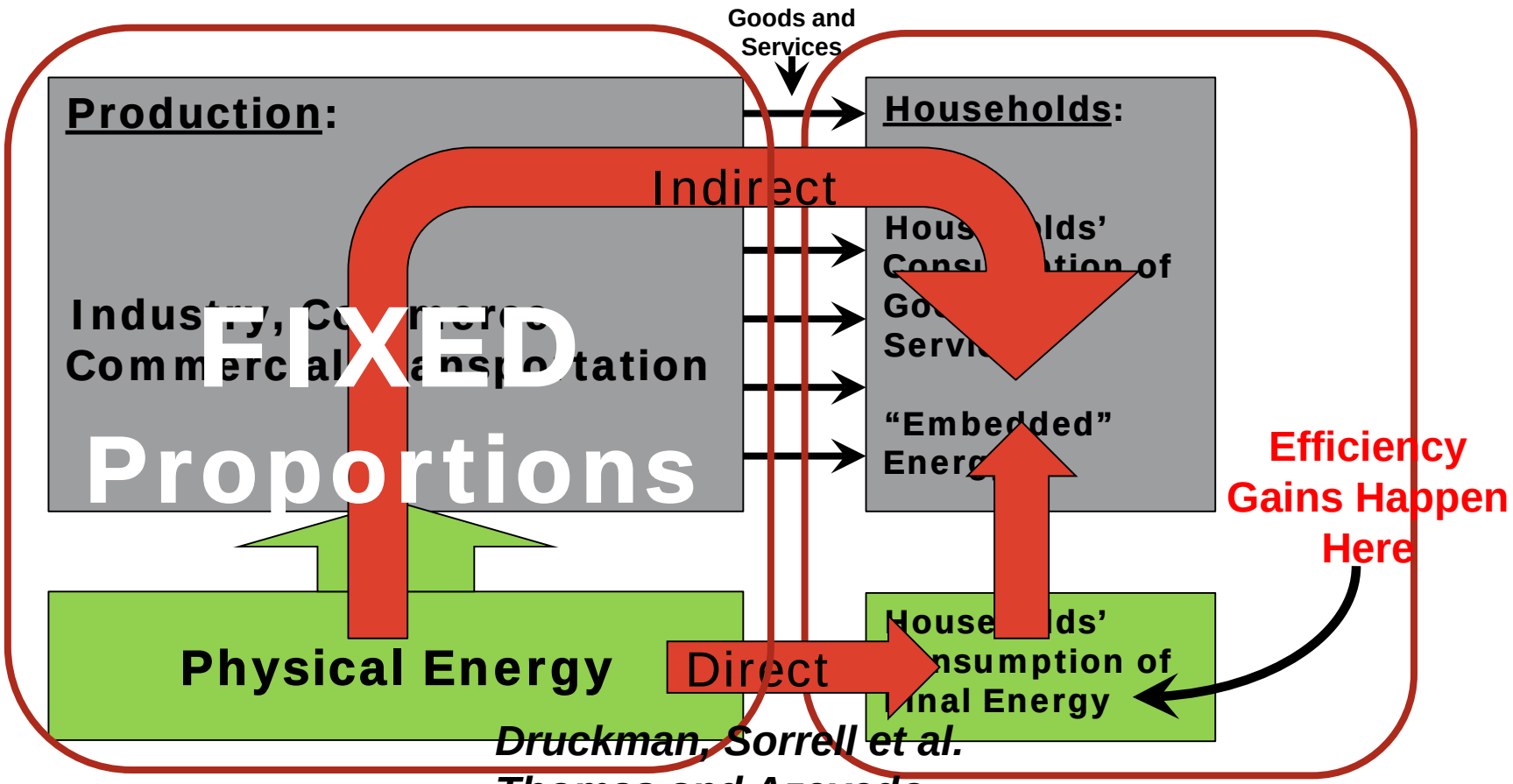
Quelle: van den Bergh (2011), Hervorhebungen R.M.

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



Source: Saunders (2015)

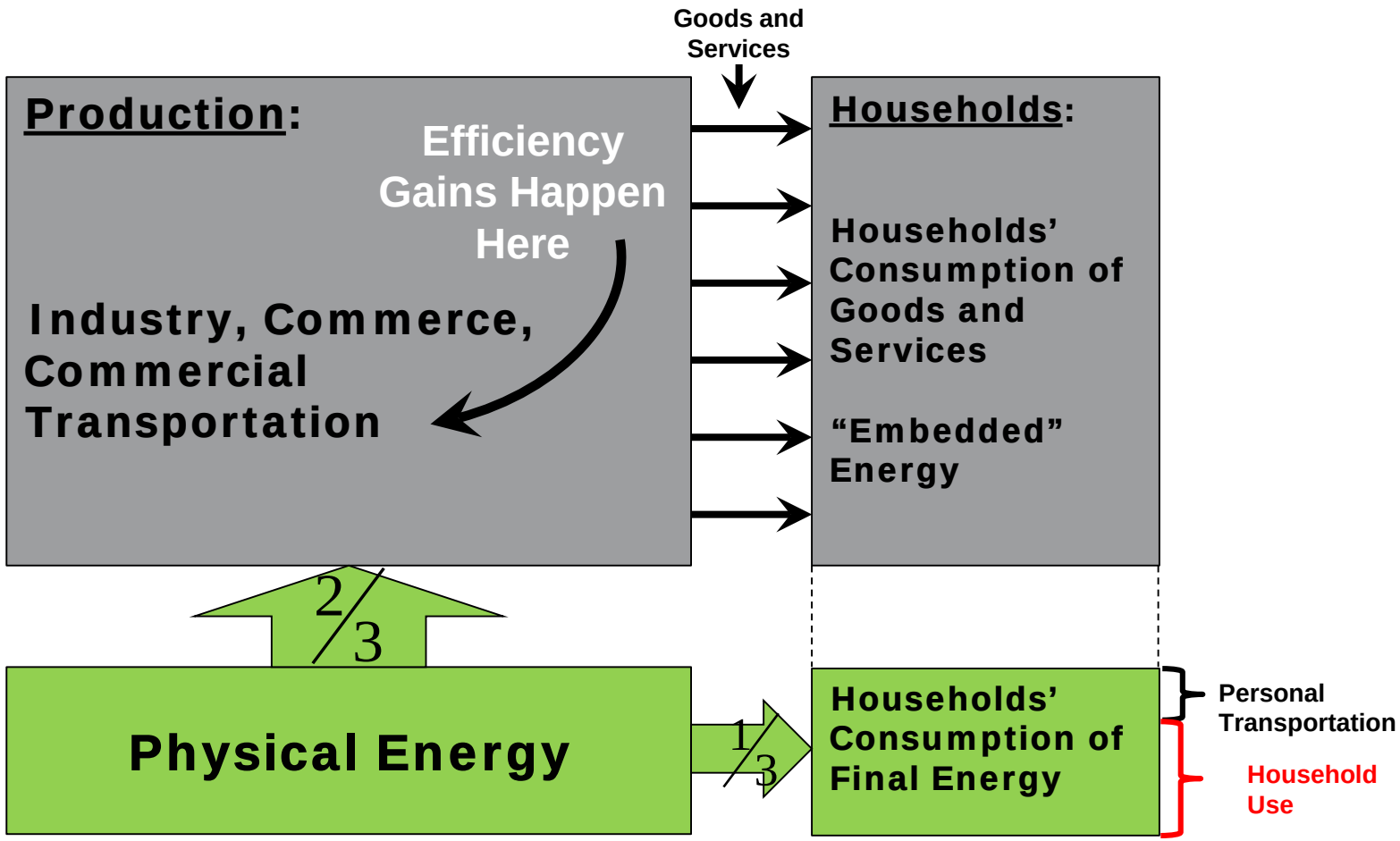
Typische Rebound-Analyse (Fokus: Heizen + Autofahren privater HH):



Druckman, Sorrell et al.
Thomas and Azevedo
Gillingham et al.

Source: Saunders (2015)

Produktionsseitige Effizienzsteigerungen sind komplexer:



Source: Saunders (2015)

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

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
für Ihre Aufmerksamkeit!

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.

E.ON Energy Research Center | RWTH AACHEN UNIVERSITY

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