



# Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

**BAND 94 | Ausgabe 1**

Mai 2016

AGRARWISSENSCHAFT  
FORSCHUNG  
—  
PRAXIS



## Energieeffizienz und ökologische Nachhaltigkeit – der Rebound-Effekt von Gartenbauunternehmen

Es ist ein Glaubenssatz unter Umweltschützern und Nicht-Ökonomen, dass die Verbesserung der Effizienz der Energienutzung zu einer Verringerung des Energieverbrauches führt – die sogenannte "Factor-Four"-Revolution (beispielsweise 49). Allerdings sind Ökonomen aller Couleur vereint in ihrer Überzeugung, dass das Gegenteil eintreten wird. Sie argumentieren, dass eine Verbesserung der Effizienz eines Produktionsfaktors, wie Energie, dazu beiträgt, den Faktorpreis implizit zu senken und somit seine Nutzung erschwinglicher werden zu lassen, was zu einer stärkeren Nutzung des Faktors führt. Trotz diverser Kampagnen in den vergangenen 30 Jahren, welche dazu führen sollten, den Energieverbrauch zu reduzieren, ist dieser in allen Industrieländern weltweit weiter gestiegen und nicht gefallen (23). Somit ist Energieeffizienz nicht so "umweltfreundlich" wie häufig behauptet wird.

Der Rebound-Effekt wird üblicherweise als Prozentsatz der technischen Einsparung gemessen. Ist er größer als 100 Prozent wird dies in der Regel als "Backfire" bezeichnet. Der Begriff "Backfire" geht darauf zurück, dass die moderne Diskussion über diese Problematik mit BROOKES (11) und KHAZZOOM (29) begonnen hat, welche fragten, ob neu in Kraft getretene staatliche Maßnahmen zur Einsparung von Energie durch Energieeffizienz zu tatsächlichen Energieeinsparungen führen oder wegen eines Rebound-Effektes größer als Eins, in Wirklichkeit "nach hinten losgehen" (Backfire). Sofern "Backfire" existiert, würde dies zu einem höheren Energieverbrauch als vor der (von der Politik induzierten) Steigerung der Energieeffizienz führen. Die Diskussion dieses Paradoxons im 19. Jahrhundert begann und endete mit dem Buch "The Coal Question" (26) von WILLIAM STANLEY JEVONS, in dem er das Backfire-Phänomen beschreibt (2). Das "Jevons-Paradox" ist nicht mit dem "Energieeffizienz-Paradox" zu verwechseln. Das Letztere beinhaltet die hohen Zinssätze, welche empirisch im Zusammenhang mit Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen und -technologien zu beobachten sind. Dies führt zu der Tatsache, dass Wirtschaftssubjekte häufig Investitionen in Energieeffizienz nicht tätigen, auch wenn diese scheinbar in ihrem ökonomischen Interesse liegen müssten (sie zeigen somit ein irrationales Verhalten; 31).

MADLENER und ALCOTT unterscheiden folgende Ursachen für einen Rebound-Effekt (31):

- Verschiebung der Angebotskurve,
- Taxonomie (zusätzliche "Rebound"-Nachfrage)
  - gleicher Verbraucher, Nachfrage nach gleichem Produkt oder Dienstleistung,
  - gleicher Verbraucher, Nachfrage nach anderem Produkt oder Dienstleistung,
  - anderer Verbraucher, Nachfrage nach gleichem Produkt oder Dienstleistung,
  - anderer Verbraucher, Nachfrage nach anderem Produkt oder Dienstleistung.

Eine fünfte Kategorie wäre der Fall, dass der Verbraucher sich für mehr Freizeit anstatt für einen erhöhten Konsum entscheidet und seine Kaufkraft (zum Beispiel durch weniger Arbeit) proportional zum Grad der technischen Energieeffizienzsteigerung reduziert. In der Nachhaltigkeitsdebatte würde dieses Verhalten einer Suffizienz-Strategie gleichkommen.

Ein besonderes Problem entsteht durch neue Produkte und Dienstleistungen oder ganz neue Industriezweige, zum Beispiel die Eisenbahn im 19. oder der Laser im 20. Jahrhundert, welche zum Teil durch Energieeffizienzsteigerungen vorhandener Güter und Branchen erst möglich wurden (26, 37, 38). Der Einfachheit halber werden diese hier ignoriert. Es muss argumentiert werden, dass Kategorie fünf immer möglich ist. Das heißt, wenn alle Menschen Energieeffizienzsteigerungen in Form von weniger Arbeit und weniger Kaufkraft und nicht durch mehr Konsum "ernten" würden, dann würde dies zu einer hundertprozentigen Realisierung des Potentials (oder der theoretisch möglichen Menge) technologischer Effizienzsteigerungen führen. Eine Preiselastizität von null würde diese Situation beschreiben. Die menschliche Geschichte, Psychologie und "Armut" weisen darauf hin, dass dieses Verhalten sehr unwahrscheinlich ist. Somit muss der Rebound-Effekt größer null sein (31). Allerdings variieren Schätzungen des gesamten Rebound-Effektes (auf makroökonomischer Ebene) stark (31). Während beispielsweise für Großbritannien das Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research einen Rebound von 26 Prozent (24) errechnet, liegt der Wert bei ALLEN et al. (4) bei um die 40 Prozent, für andere Autoren (beispielsweise 26) ist (weltweit) ein Backfire der Fall. Wobei der Rebound-Effekt in Entwicklungsländern wesentlich stärker sein wird als in Industrienationen (7).

Abbildung 1 fasst die verschiedenen Begrifflichkeiten bezüglich des Rebound-Effektes zusammen. In den folgenden Abschnitten werden diese aufgenommen, definiert und beschrieben. Die errechneten Rebound-Effekte variieren stark zwischen 37 Prozent bis über 100 Prozent, wobei die direkten meist geringer ausfallen als die indirekten (Tabelle 2). "Graue Energie" bezeichnet die Energie, welche für die Herstellung und Bereitstellung von Gütern benötigt wird, wobei auch die Energie, welche für die Vorleistungen Verwendung findet, mit in die Bilanzierung aufgenommen wird.

„technische“ Schätzung der Energieein- sparung	tatsächliche Energieeinsparung (ohne Backfire)		
	Gesamtwirt- schaftlicher Rebound- Effekt	indirekter Rebound- Effekt	sekundäre Effekte
			„graue“ Energie
	direkter Rebound- Effekt	Einkommen- /Output Effekt	
		Substitutionseffekt	

**Abbildung 1:** Überblick der unterschiedlichen Rebound-Effekte.

**Quelle:** Eigene Darstellung (46).

Nahezu alle EnergieökonomInnen bestätigen die Ausführungen von JEVONS in seinem Klassiker "The Coal Question"; zum ersten Mal erschienen 1865. JEVONS argumentiert, dass "it is a confusion of ideas to suppose that the economical use of fuel is equivalent to diminished consumption. The very contrary is the truth" (26).

Während viele Umweltschützer akzeptieren, dass eine verbesserte Transporteffizienz zu einer höheren absoluten Kilometerleistung führt, sind nur wenige dazu bereit Vergleichbares beim Fall des Energieverbrauches zu akzeptieren. Allerdings schreiben auch die "Friends of the Earth" in einem ihrer Bücher: "The real question is not so much how can we be that much more efficient but, how can we ensure the gains from our efficiency strategies are used to deliver real environmental improvements" (34).

Viele Umweltschützer haben die Hoffnung, dass es zukünftig in den Industrieländern zu einer "Dematerialisierung" der Wirtschaft kommen könnte, ausgelöst durch einen Strukturwandel, weg von der energieintensiven Herstellung von Industriegütern, hin zu energiesparenden Dienstleistungen (21, 49). REES, ein kanadischer Umweltökonom, weist jedoch darauf hin, dass die Verbesserung der Effizienz einer Ressourcennutzung wie beispielsweise bei Computern zu einem Preisrückgang bei diesen Produkten führt, einen Massenmarkt entstehen lässt und dadurch der weltweite Verbrauch von Ressourcen ansteigt (Interview mit REES W.; zitiert nach 23). REES widerspricht zudem der Vorstellung, dass der Übergang von einer primären (ressourcenbasierten) oder sekundären (Industrie-) Wirtschaft zu einer wissensbasierten oder dienstleistungsorientierten Wirtschaft, diese von der Umwelt oder dem Verbrauch von Naturkapital "entkoppelt". Seine Arbeit zum "ökologischen Fußabdruck" legt hingegen nahe, dass Dienstleistungsgesellschaften tatsächlich den globalen Energie- und Ressourcenverbrauch erhöhen (1).

Um die enorme Zunahme sowohl der Lichteffizienz als auch des -verbrauches zu veranschaulichen, wird die Entwicklung dieser beiden Kennzahlen bei der öffentlichen Beleuchtung in Großbritannien in Tabelle 1 dargestellt. Dieser Bereich wird gewählt, da valide statistische Daten zum Stromverbrauch, der Lampeneffizienz und der Straßenbeleuchtung in Großbritannien existieren (23).

**Tabelle 1: Intensität der öffentlichen Beleuchtung in Großbritannien von 1300 bis 2000 (Index 1800 = 1)**

Jahr	Preis von Beleuchtung /Brennstoff /Energiequelle (Pence per kWh (Jahr 2000))	Effizienz der Beleuchtung (Lumenstunden per kWh)	Preis für Energie- dienstleistung (£ per Millionen Lumenstunden)	Verbrauch von Beleuchtung pro Kopf (Millionen Lumenstunden)	Verbrauch von Beleuchtung (Millionen Lumenstunden) Gesamt)
1300	1,50	0,50	3,00	—	—
1700	1,50	0,75	2,00	0,17	0,10
1750	1,65	0,79	2,10	0,22	0,15
1800	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1850	0,40	4,4	0,27	3,90	7,00
1900	0,26	14,5	0,042	84,7	220
1950	0,40	340	0,002	1.528	5.000
2000	0,18	1.000	0,0003	6.566	25.600

**Quelle:** Eigene Darstellung (14).

Um jedoch die nationalen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele zu erreichen, sollte das Ziel weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen und nicht weniger Energieverbrauch lauten (23). Der Themenbereich Klimaschutz wird in diesem Beitrag nicht abgedeckt.

### 1.1 Rebound-Effekt auf Unternehmens- und Branchenebene

Eine technische Verbesserung beispielsweise der Kraftstoffeffizienz wird die Nachfrage eines Unternehmens nach Energiedienstleistungen auf zwei Arten beeinflussen. Zunächst wird die Steigerung der Energieproduktivität (was zu sinkenden Kosten pro Einheit der Energiedienstleistungen führt, *ceteris paribus*) zu einer Substitution anderer Produktionsfaktoren (zum Beispiel Kapital und Arbeit) innerhalb des Leistungserstellungsprozesses führen. Die Produktionskosten eines Unternehmens sind minimal, wenn die Verhältnisse der Grenzprodukte jedes Produktionsfaktors zu jedem anderen Produktionsfaktor gleich den Verhältnissen ihrer Preise sind (beispielsweise 50). Das Grenzprodukt ist definiert als der Anstieg des Outputs durch die Erhöhung eines bestimmten Produktionsfaktors um eine Einheit. So wird eine wirkungsgradinduzierte Abnahme des Preises für Energiedienstleistungen in Bezug auf andere Faktorpreise zu einem Anstieg des Verbrauchs von Energie(-dienstleistungen) und weniger von anderen Produktionsfaktoren führen. Da Kraftstoff als Beispiel nur ein Input für die Produktion von Energiedienstleistungen ist, wird die Steigerung des Kraftstoffverbrauches resultierend aus der Substitution anderer Produktionsfaktoren durch Energiedienstleistungen nicht alleinig durch den Anstieg der Kraftstoffeffizienz determiniert. Direkte Messungen des "take-back" oder direkten Rebound-Effektes bei Unternehmen sind außerordentlich begrenzt (27). Alle Beobachtungen des direkten Rebound-Effektes durch GREENING et al. kommen von etablierten Einrichtungen, welche sich Energie-Audits oder ähnlichen Programmen unterzogen haben (20). Die kurzfristige Natur solcher Studien hat zur Folge, dass die Produktionstechnologien der Unternehmen bezogen auf die wesentlichen Prozesse relativ fix sind. Als Ergebnis ist nur eine geringe Substitution von Produktionsfaktoren wahrscheinlich, und da das Untersuchungsobjekt das einzelne Unternehmen ist, kann der Rebound-Effekt auf sektoraler Ebene nicht beurteilt werden. NADEL beobachtet einen Rebound-Effekt von etwa zwei Prozent bei Brennstoffen für Prozesse bei Industrieunternehmen aber 30 Prozent und mehr bei der Beleuchtung von Gebäuden. Diese sehr große Differenz zwischen den beiden Rebound-Effekten resultiert zumindest teilweise aus dem langsameren Kapitalumschlag assoziiert mit der Kraftstoffverwendung in industriellen Prozessen. Es ist schwierig, die Anlagen zu verändern oder auszu-tauschen, welche in den industriellen Prozessen verwendet werden, nachdem diese installiert worden sind. Eine vermehrte Beleuchtung hingegen ist ein leicht zu erhöhender Produktionsfaktor. Um das Ausmaß des Rebound-Effektes durch Substitution und durch Erhöhung der Produktionsmenge beurteilen zu können, müssen ökonomische Annäherungen (Schätzungen) der Substitutionselastizität und Produktivitätssteigerungen betrachtet werden. Die Größe der Verschiebung in Richtung Energiedienstleistungen wird von der Elastizität der Substitution von anderen Produktionsfaktoren durch Energie abhängen. Wie SOLOW gesagt haben soll (40): "(...) it all depends on the elasticity of substitution, compared with one" (45)►<sup>1</sup>. Wenn die Elastizität der Substitution von Energie kleiner als 1,0 ist, dann führt die Verbesserung der technischen Energieeffizienz zu einer Verringerung des Verbrauches von Energie. Wenn die Elastizität der Substitution größer als 1,0 ist, so wird der Energieverbrauch insgesamt zunehmen. Empirische Schätzungen der Beziehung zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren zeigen jedoch eine Vielzahl von Werten, welche nicht immer auf eine Substitutionsbeziehung hindeuten. Die Variation des Beitrags einer Brennstoffeinheit (oder Kraftstoffeinheit) zur Herstellung einer Produkteinheit kann durch unterschiedliche Faktoren erklärt werden. Die Mehrheit dieser ökonomischen Schätzungen wurde mit aggregierten Daten durchgeführt. Sie sind abhängig vom Grad der Aggregation und können Branchen mit deutlich unterschiedlichen zugrundeliegenden Produktionsfunktionen beinhalten. Energieintensive Branchen weisen in der Regel eine Leontief-Produktionsfunktion auf, bei der angenommen wird, dass es keine Möglichkeit zur Substitution gibt (50). Auch der deutsche Gartenbau wird eine Leontief-Produktionsfunktion aufweisen, da eine Substitution zwischen den einzelnen Produktionsfaktoren nur sehr begrenzt möglich ist. Andere Branchen, wie beispielsweise die IT-Branche, lassen sich besser durch andere Spezifikationen einer Produktionsfunktion beschreiben, welche unterschiedliche Grade der Substitution zulassen. Je nachdem welche Gruppe von Unternehmen herangezogen wird, um die Substitutionsbeziehung zu schätzen, kann die Austauschbarkeit von anderen Produktionsfaktoren durch Energie über- oder unterschätzt werden. Ferner kann die Größe und das Vorzeichen der geschätzten Austauschbeziehung zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren auch von den funktionalen Spezifikationen und der untersuchten Periode (Zeit) abhängig sein (19). Im deutschen Gartenbau kann erwartet werden, dass die Substitutionsbeziehungen saisonalen Schwankungen unterliegen. Um die große Variabilität der Schätzungen der Substitutionsbeziehung zwischen Kraftstoff und anderen Produktionsfaktoren in der Literatur zu veranschaulichen, sind folgende Beispiele genannt. Keineswegs stellen sie jedoch die volle Bandbreite der Literaturreviews dar. Unter Verwendung der Constant-Elasticity-of-Substitution (CES)-Specification schätzten MANNE und RICHELIS (33) eine Substitutionselastizität von 0,4 zwischen Energie und einer Kombination aus Kapital und Arbeit. Andere Schätzungen unter Verwendung der gleichen funktionalen Spezifikation weisen Werte von 0,8 (28) auf, welche zusätzlich die Energieeinsparungen durch technische Effizienzverbesserungen beinhalten. Mehrere Studien (beispielsweise 8, 25, 32, 36) schätzen eine negative Substitutionselastizität zwischen Energie und Kapital. Das heißt es wurde Komplementarität geschätzt oder wenn der Produktionsfaktor Kapital ansteigt, dann steigt auch der Energieinput. Weiterhin wurden Substitutionselastizitäten größer als 1,0 von CHANG (12) und HAZILLA und KOPP (22) geschätzt. Allerdings sind diese größeren Schätzungen selten, die meisten Schätzungen der Substitutionsbeziehung zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren liegen unter 1,0 (28). Aus diesem Grund, obwohl die empirischen Werte schwanken, kann die Größe des Rebound-Effektes durch Substitution als klein bis moderat eingestuft werden. Da eine erhöhte Energieproduktivität die Faktorproduktivität insgesamt steigert, reduziert sie die realen Ressourcen, welche benötigt werden um eine Güter- und Dienstleistungseinheit zu produzieren. Somit sollten auch die Preise der Waren und Dienstleistungen, welche von einer Branche erstellt werden, sinken. Vorausgesetzt, dass es sich bei den Gütern der jeweiligen Branche um normale Güter handelt, sollte sich die Nachfrage nach diesen Gütern erhöhen. Als Reaktion auf diesen Nachfrageanstieg sollte sich auch der Energieverbrauch erhöhen. Der Anstieg des Energieverbrauches wird in etwa dem Produkt aus dem Wachstum der Branche und dem Energiekostenanteil an den gesamten Produktionskosten entsprechen. In der Regel beträgt der Energiekostenanteil weniger als zehn Prozent. Im Gartenbau, zum Beispiel bei der Gemüseunterglasproduktion liegt dieser Wert jedoch bei 14,52 Prozent (vom Betriebsaufwand im Mittel, N = 45, Hauptauswertung November 2013)►<sup>2</sup>. Somit würde eine Verdopplung der Energieproduktivität, sofern alle anderen Produktionsfaktoren (Mengen und Preise) konstant bleiben, die Gesamtkosten um nur etwa fünf Prozent verringern. Wenn die Nachfrage nach den entsprechenden Produkten um etwa fünf Prozent ansteigt, wodurch die Nachfrage nach Energiedienstleistungen um etwa fünf Prozent und der Kraftstoffverbrauch um 2,5 Prozent der ursprünglichen Menge ansteigen würde. Auch wenn es zu einem direkten Rebound-Effekt aufgrund eines Branchenwachstums und/oder einer Substitution anderer Produktionsfaktoren durch Energie kommt, so wird dieser insgesamt relativ gering ausfallen (20).

## 1.2 Sekundäre und gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekte

Da eine Verbesserung der Energieeffizienz zu einem Anstieg des Angebots von Energiedienstleistungen, zu einer Änderung der Nachfrage insgesamt und nach Produktionsfaktoren, zu einem erhöhten Realeinkommen und einer Erweiterung der Produktionsmöglichkeiten der Unternehmen führt, werden die Preise in der gesamten Wirtschaft zahlreichen und komplexen Anpassungen unterworfen sein. Nur eine allgemeine Gleichgewichtsanalyse kann das letztendliche Ergebnis dieser Anpassungsprozesse vorhersagen. Wenn jedoch die technischen Energieeffizienzsteigerungen letztlich eine Verschiebung der Angebotskurven von Energiedienstleistungen nach links oder nach oben (das heißt mehr Angebot bei jedem Preisniveau) bewirken, werden die Weltmarktpreise für Energie fallen und zu einer verstärkten Nachfrage nach Energie führen. Allerdings sind diese Verschiebungen der Angebotskurve abhängig von der Kostenstruktur von Energiedienstleistungen (das heißt der zugrundeliegenden Produktionsfunktion). Als Folge dieser Verschiebung der Angebotskurve wird ein höheres Maß an Energieverbrauch erwartet. Das Ausmaß des Effektes ist abhängig von den Preiselastizitäten des Energieangebots und der Energienachfrage. Es konnte keine allgemeine Gleichgewichtsanalyse in der Literatur gefunden werden, welche die Wirkung von Energieeffizienzverbesserungen auf die Weltenergiemärkte untersucht. Einige Hinweise auf das potentielle Ausmaß des gesamtwirtschaftlichen Effektes lassen sich jedoch bei KYDES (30) finden, welcher das National Energy Modeling System (NEMS) verwendet. KYDES vergleicht neun Szenarien, darunter einen Referenzfall bei dem die Gesamtenergieintensität der Wirtschaft bis zum Jahr 2015 um 17,5 Prozent sinkt und einen Fall beschleunigter technologischer Entwicklung mit einem Rückgang der Energieintensität um 24 Prozent. Der zusätzliche 6,5-prozentige Rückgang der Energieintensität verursacht einen fünfprozentigen Rückgang beim Gesamtenergiebedarf. Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) stieg um 0,4 Prozent, während die Ölpreise um 13,7 Prozent sanken. Allerdings berücksichtigte die Analyse von KYDES lediglich einen technologischen Wandel in den USA. Wären die technologischen Veränderungen global aufgetreten, dann wären die Energiepreise stärker gefallen und der Energieverbrauch hätte nicht so stark abgenommen (20). Die Wachstumstheorie bietet einen weiteren Weg für die Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen einer Energiedienstleistungssteigerung durch technologischen Fortschritt. SAUNDERS (42) hat gezeigt, dass Wachstumsmodelle mit Cobb-Douglas-Produktionsfunktionen immer vorhersagen, dass technologischer Fortschritt zu einem erhöhten statt zu einem verringerten Energieverbrauch führt. Modelle, welche CES-Produktionsfunktionen verwenden zeigen jedoch, dass dies nicht notwendigerweise der Fall sein muss. Die Auswirkungen der Energieeffizienzverbesserungen hängen von der Elastizität der Substitution zwischen Kraftstoff und anderen Produktionsfaktoren bei Energiedienstleistungen ab. Wenn die Elastizität der Substitution von Kraftstoff für Kapital und Arbeit (zusammen) kleiner als 1,0 ist, dann führt eine technische Energieeffizienzverbesserung zu einer Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs. Eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion ist nicht in der Lage ein solches Ergebnis darzustellen, da die Substitutionelastizität einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion immer eins beträgt (35). Wie schon erwähnt deuten die Hinweise in diesem Punkt in unterschiedliche Richtungen. Daher wird beträchtliche zusätzliche Forschung nötig sein, um die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von Energieeffizienzverbesserungen abschätzen zu können (20).

Die Behauptung, dass eine Energieeffizienzsteigerung zwangsläufig zu einem reduzierten Energieverbrauch führt, muss ebenso infrage gestellt werden wie die Vorstellung, dass eine solche Verbesserung immer einen positiven Einfluss auf das Wirtschaftswachstum aufweist. Natürlich könnte die Diskussion der hier behandelten Energie leicht auf andere Ressourcen, welche Gegenstand der Umweltpolitik sind (zum Beispiel Wasser), erweitert werden (31).

Tabelle 2 fasst exemplarisch einige CGE-Studien (Computable General Equilibrium Models, CGE) zum Rebound-Effekt auf unterschiedlichen Ebenen zusammen. Hinweise: Die Produktionsfunktionen kombinieren Eingänge in Paaren. Zum Beispiel könnte eine verschachtelte Produktionsfunktion mit Kapital (K)-, Arbeit (L)- und Energie (E)-Eingängen eine von drei Formen annehmen, nämlich: K (LE); (KL) E; (KE) L. ESUB drückt die Substitutionelastizität zwischen Energie und anderen Eingängen aus. Die Interpretation hängt von der Verschachtelung ab. Zum Beispiel bezieht sich K (LE) auf die ESUB-Substitutionelastizität zwischen L und E, während (KL) E sich auf die Elastizität der Substitution von (KL) und E bezieht.

**Tabelle 2: Zusammenfassung von CGE-Studien zum Rebound-Effekt**

Autor/Jahr	Land oder Region	Verschachtelungsaufbau	ESUB mit Energie	angenommene Steigerung der Energieeffizienz	geschätzter Rebound-effekt	Bemerkungen
SEMBOJA, 1994	Kenia	Elec, fuel, K, L	1,0	Zwei Szenarien: eine Verbesserung der Energieproduktions-effizienz und eine Verbesserung der Energienutzungseffizienz.	> 100 %	Intuitive Präsentation, keine Sensitivitätstests, mangelnde Transparenz.
DUFOURNAUD et al., 1994	Sudan	Nutzen-funktionen	0,2 und 0,4	100-, 150- und 200-prozentige Verbesserung des Wirkungsgrades von Kaminöfen.	47 - 77 %	Modellierung der Effizienzsteigerungen bei privaten Heizöfen. Breite Palette von Sensitivitätstests und gute Erklärung der Einflussfaktoren.
VIKSTROM, 2004	Schweden	(KE)L	Die Werte reichen von 0,07 bis 0,87.	15 % Steigerung der Energieeffizienz in Nichtenergiesektoren und 12 % Steigerung im Energiesektor.	50 - 60 %	Betrifft 1957-1962, mit den bekannten Veränderungen der Energieeffizienz und Produktivität. Ergebnisse gelten nur für Energieeffizienzkomponente.
WASHIDA, 2004	Japan	(KL)E	0,5	1 % Steigerung der Effizienz der Energienutzung in allen Sektoren in der Produktion.	53 % im Hauptszenario	Präsentation unklar, obwohl einige Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, einschließlich unterschiedlicher Elastizitäten der Substitution von 0,3 bis 0,7 zusammen mit anderen Parametern. Rebound-Effekt nimmt als Energie/Wertschöpfung, Arbeit/Kapital und Höhe der Energieverbundsubstitutions-elastizitäten zu.
GREPPERUD und RASMUSSEN, 2004	Norwegen	(KE)L	zwischen 0 und 1	Verdopplung Energieproduktivität. Vier Sektoren Verdopplung Stromeffizienz und zwei Öl-Effizienz.	klein für Öl, aber > 100 % für Strom	Modell simuliert dynamisch einen Fall, in dem Projektionen des Weltwirtschaftswachstums, Erwerbsbevölkerungswachstums, des technologischen Fortschritts und der Nettoauslandsschulden bis zum Jahr 2050 einfließen.
GLOMSRØD und TAOYUAN, 2005	China	Elec, fuel, K, L	1,0	Business-as-usual-Szenario im Vergleich zum Fall, bei dem keine Investitionskosten entstehen, was zu höheren Investitionen und Produktivität in der Kohlereinigung führt - Senkung des Preises und steigendes Angebot.	> 100 %	Kohle-intensive Branchen profitieren, ebenso wie die gesamte Wirtschaft aufgrund des hohen Anteils der Kohle am Primärenergieverbrauch. Ebenfalls untersucht werden Fälle, in denen die Verwendung von Kohle einer Emissionssteuer unterliegt.
HANLEY et al., 2005	Schottland	(KL)(EM)	0,3	5 % Verbesserung der Effizienz der Energienutzung in allen Produktionsbereichen.	> 100 %	Die Region ist ein bedeutender Stromexporteur und das Ergebnis resultiert zum Teil aus erhöhten Stromexporten.
ALLAN et al., 2006	Vereinigtes Königreich	(KL)(EM)	0,3	5 % Verbesserung der Effizienz der Energienutzung in allen Produktionsbereichen (einschließlich des Energiesektors).	37 % im Hauptszenario	Siehe SORRELL, 2007 (46).

Quelle: Eigene Darstellung (46).

Ein Argument, welches Effizienz, Energieverbrauch und BIP-Wachstum verbindet, ist beispielsweise, dass Energieeffizienzsteigerungen zu Wirtschaftswachstum führen und diese wiederum den Energieverbrauch steigern; so führt Effizienz zu einer Erhöhung des Energieverbrauches. Lediglich wenn es zu einer "Dematerialisierung" des Wachstums kommen würde, könnte es auch zu einem Netto-Rückgang des Energieverbrauches kommen (31).

Rebound bezeichnet den zusätzlichen Energieverbrauch ausgelöst durch Energieeffizienzsteigerungen, wenn der Energieeinsatz pro Output-Einheit gesunken ist und sofern die Effizienzsteigerung eine Senkung der Kosten für die Herstellung des Gutes impliziert. Der Konsument kann es sich so leisten, mehr energieintensivere Güter zu kaufen, wenn die Kosten pro Produktionseinheit gefallen sind. Dies führt zu einem Einkommenseffekt: Nach dem Genuss üblicher Mengen von Licht, Autos, Transport und Stahl oder auch Gemüse ist das Budget nicht aufgebraucht. Die Mengen zu konsumieren hat sich pro Einheit verbilligt und der Konsument kann mehr von dem gleichen Produkt kaufen oder andere Produkte, welche ebenfalls für ihre Herstellung aber etwa bei ihrem Konsum Energie benötigen. Da die relativen Preise für Beleuchtung, Transport-/Tonnenkilometer und Stahl gefallen sind, entsteht auch ein Substitutionseffekt: Wenn alles andere gleich bleibt, werden wir mehr von diesen Waren und Dienstleistungen konsumieren, welche in einer energieeffizienteren Weise produziert worden sind. Zu guter Letzt sinkt zunächst die Nachfrage nach Energie, sofern die Produktions- und Verbrauchsmengen konstant bleiben, es kommt zu einem Rückgang des Energiepreises und der allgemeine Preiseffekt führt zu einer Substitution von anderen Produktionsfaktoren durch Energie. In anderen Worten kann die Energieeffizienz auch als eine nach Verschiebung der Transformationskurve nach außen gesehen werden (das heißt ein höherer Output kann mit der gleichen Menge an Input erzeugt werden oder es wird weniger Input benötigt, um den gleichen Output zu generieren). Die Energie, welche von der Herstellung des früheren Niveaus von Waren und Dienstleistungen "befreit" wurde, steht nun ohne höhere Kosten für eine zusätzliche Produktion zur Verfügung. Ein paar Punkte sind hier noch erwähnenswert. Erstens kann eine Verbesserung der Energieeffizienz auch die Verbraucherpräferenzen in der Form verändern, dass sich die Nachfrage (die Bedeutung) nach Komfort, Qualität oder anderen Attributen der jeweiligen Güter erhöht. Zweitens könnten die Verbraucher sich dafür entscheiden, Zeit mit Energie zu substituieren (beispielsweise durch schnellere Transportmittel oder einen höheren Anteil an Convenience-Produkten und Fastfood in der Ernährung). Drittens können Veränderungen der Kapitalkosten (Investitionskosten) der Energiedienstleistungen einen wesentlichen Einfluss auf die Größe des Rebound-Effektes aufweisen. So können staatliche Subventionen von Energieeffizienzmaßnahmen sogar zu einem "Aufblähen" des Rebound-Effektes führen, da die Verbraucher nicht die vollen Kosten der Investitionsentscheidung tragen müssen (31).

JEVONS (26) war der erste Autor, welcher beschrieb, dass wesentliche und offenkundige Steigerungen der Energieeffizienz durch einen steigenden Energieverbrauch begleitet waren. JEVONS zeigt dieses Phänomen bei der Effizienzsteigerung von Dampfmaschinen und der Stahl- oder Gusseisenproduktion und deren Auswirkungen auf den Kohleverbrauch. GREENHALGH (18) beobachtet eine technische Effizienzsteigerung von über 20 Prozent bei Haushaltsgütern in Dänemark zwischen den Jahren 1977 und 1986, zusammen mit einem steigenden Stromverbrauch. RUDIN (39) beobachtet das gleiche Phänomen für die Energienutzung in gewerblichen Gebäuden (acht Prozent effizienter von 1979 bis 1995) und PKWs (30 Prozent von 1967 bis 1997) in den USA. SMIL (44) analysiert ebenfalls Veränderungen in der Energieeffizienz und Veränderungen des Energieverbrauches (13). Auch HERRING (23) unterstützt einen positiven kausalen Zusammenhang zwischen der Effizienz von Leuchtmitteln und dem Stromverbrauch. Insgesamt kann für die US-Wirtschaft während des gesamten zwanzigsten Jahrhunderts eine starke Korrelation zwischen technischer Effizienzsteigerung und Energieverbrauch (6) <sup>3</sup> beobachtet werden (48, 31).

Das BIP als Metrik, also die monetäre Wertschöpfung dividiert durch die Energieeinträge, weist viele Nachteile auf. So ist unbestritten, dass das BIP nicht alle wirtschaftliche Aktivitäten beinhaltet; so fehlen unbezahlte Arbeit, der Tausch von Gütern, der Ressourcenabbau und der Verlust ökologischen Kapitals (5). Hier schlagen sich die "wahren" Kosten nicht im Preis nieder. Darüber hinaus sind die Preise der Güter, welche im BIP erfasst werden, auch von Faktoren abhängig, welche nicht durch Veränderungen der Effizienz und der Produktionskosten, sondern durch die Präferenzen der Verbraucher, Qualitätsänderungen und sogar die Politik beeinflusst sind (31, 41, 43, 44). Die Kritik am Preis als Steuerungsinstrument und am BIP als Wohlstandsmaß (oder Wohlfahrtsmaß) ist so alt wie berechtigt, nichtsdestotrotz haben sich bis dato keine "besseren" Messwerte durchsetzen können.

Ein weiteres Element, welches in der Diskussion um die Größe des Energie-Rebound-Effektes weitgehend ignoriert wurde, ist die Zeit. In vielen Situationen hat es einen wirtschaftlichen Wert, wenn Waren und Dienstleistungen in geringerer Zeit zur Verfügung gestellt werden können oder wie im Gartenbau zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitgestellt werden können (beispielsweise antisaisonal). So wird ein zusätzlicher Nutzen (Wert) geschaffen, sofern aus der gleichen Energiemenge die gleiche Menge an nützlicher Arbeit in einer kürzeren Zeitspanne geleistet wird. Mit einigen Ausnahmen (9) wird in Studien zum Rebound-Effekt Arbeit nur über Energie definiert und der "Zeitwert" von Energie als Leistung (Arbeit dividiert durch Zeit ergibt Leistung) nicht berücksichtigt. Da aber die Zeit, welche durch die Steigerung der Energieeffizienz für weitere Produktion und Konsum zur Verfügung steht, zu einem Wirtschaftswachstum führt, welches wiederum einen zusätzlichen Energieverbrauch zur Folge hat, muss auch sie unter Rebound-Effekt verbucht werden (31).

Mikroökonomische Analysen ignorieren in der Regel gesamtwirtschaftliche und globale Effekte der Substitution, sie unterschätzen die zugrundeliegenden thermodynamischen Grenzen, Komplementaritätsbeziehungen, Irreversibilität, Abfall(-energie) und Skaleneffekte (der Einfluss des Handelns; 47). Technische Veränderungen können die Knappheitsgrenzen einer Ressource erweitern, aber andererseits auch die Ressourcenknappheit langfristig verstärken und/oder auf andere Ressourcen verschieben. Solche technischen Verbesserungen ermöglichen eine höhere Extraktionsrate als bei der vorherigen, geringeren Effizienz bei der Extraktion von Mineral- und Brennstoffressourcen (31).

### 1.3 Zusammenfassung Rebound-Effekt

Die Bewertung von Energieeffizienzprogrammen sind fehlerhaft, da sie in der Regel nur technische (physikalische) Größen berücksichtigen, das heißt unhaltbar implizieren, dass der Rebound-Effekt nicht vorhanden ist. Ihnen fehlt insgesamt die globale Perspektive. Das Kapitel über Energieeffizienzpolitik in einem britischen Regierungsbericht beispielsweise erwähnt den Rebound-Effekt nicht (16). Diese Praxis sollte aufgegeben und die Anstrengungen verstärkt werden, um mehr Erkenntnisse über die Größe des indirekten Rebound-Effektes zu gewinnen und die Frage nach der Existenz eines Backfire-Effektes zu beantworten. Eine weitere britische Studie (46) hat bedeutende Fortschritte hin zu diesem Ziel zu verzeichnen (31).

Vielleicht kann aus der Geschichte der stetig steigenden Arbeitsproduktivität gelernt werden. Es herrscht allgemein Konsens darüber, dass "arbeitsparende" Innovationen nicht zu weniger Arbeitsplätzen, sondern zu einer ständig wachsenden Bevölkerung und Beschäftigung geführt haben. Wenn die Mechanismen, welche hierfür verantwortlich sind, bekannt wären, könnten sie womöglich auf die ökonomischen Prozesse hinweisen, welche auf eine Energieeffizienzsteigerung folgen (3, 17). Darüber hinaus kann eine gestiegene Zeiteffizienz in der Produktion, auch bei gleichbleibender Menge nützlicher Arbeit pro Energieeinheit, Zeit für weitere Produktion und Konsum frei werden lassen (9, 31).

Derzeit existiert nicht nur keine praktikable Methode zur Ermittlung des indirekten oder gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effektes, sondern die Begriffe sind selbst noch nicht hinreichend definiert. Mikroökonomische Werkzeuge sind in der Lage entsprechende Elastizitäten zu beschreiben, allerdings fehlen die Daten auf aggregierter Ebene, um solche Elastizitäten zu schätzen. Es herrscht Einigkeit darüber, dass eine technische Effizienzsteigerung die Produktionsmöglichkeitsgrenze (Transformationskurve) vergrößert (es wird ermöglicht sowohl mehr Endprodukte als auch mehr Produktionsfaktoren, unabhängig davon ob es sich um Energie, Material oder Arbeit handelt, zu verbrauchen). Es ist eindeutig, dass in den vergangenen 200 Jahren und darüber hinaus der Energieverbrauch gestiegen und die realen Energiepreise gefallen sind, und es ist sicher anzunehmen, dass die technische Effizienz ebenfalls gestiegen ist. Ob diese Korrelation eine Kausalität widerspiegelt, ist ungewiss. Bei der Entscheidung, ob eine Energieeffizienzsteigerung über dem "normalen" (marktgetriebenen) Maß (beispielsweise durch Subventionen) im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zielführend ist, ist eine Kenntnis über die

Größe des gesamtwirtschaftlichen (globalen) Rebound-Effektes unabdingbar. Ansonsten können Energieeffizienz(politik-)maßnahmen ineffektiv oder sogar kontraproduktiv werden (bei steigendem Rebound-Effekt). Die Kenntnis über die Charakteristika von Rebound-Effekten zeigt wesentliche Implikationen für die Politikgestaltung und die Erreichbarkeit von beispielsweise Zielen zur Energieversorgungssicherheit oder zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen (wobei bei den Treibhausgasemissionen zusätzliche Wirkmechanismen betrachtet werden müssen; 31).

Der Review von SORRELL (46) beinhaltet mehr als 500 Studien aus der ganzen Welt und wurde von einem Expertengremium überwacht. Er geht der Frage nach, ob Belege dafür existieren, dass Steigerungen der Energieeffizienz zu einer Einsparung von nichterneuerbaren Ressourcen führen. Insgesamt kommt er zum Schluss, dass eine Effizienzsteigerung zu einer Einsparung von nichterneuerbaren Ressourcen führen könnte.

Der Rebound-Effekt und die Bedeutung seiner Diskussion in Bezug auf die Nachhaltigkeit entsteht zum Teil durch die Differenz zwischen den Sichtweisen von Ökonomen auf der einen und Naturwissenschaftlern und Ingenieuren auf der anderen Seite: "For the economist the world is an open field in which different factors of production and different consumption goods have to be constantly re-combined in the most profitable fashion in response to their prices and marginal productivities. An efficiency increase in one factor immediately leads to a complete rearrangement due to implicit price changes and hence to a large rebound effect. (...) For the engineer, instead, the world consists of a set of given technologies or activities, which determine demand in which relative shares are fixed. Any increase in the productivity of one factor affects only that factor and hence there is no rebound effect" (10).

Inwiefern Energieeffizienz als Indikator der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit dienen kann, wurde kritisch hinterfragt. Wie groß die Rebound-Effekte im Gartenbau sind, und ob sich auf makroökonomischer Ebene durch die Verbesserung der Energieeffizienz in der gartenbaulichen Produktion ein Backfire zeigt, das heißt durch eine Energieeffizienzsteigerung der Energieverbrauch stärker zunimmt als ohne, konnte nicht abschließend geklärt werden.

---

## Zusammenfassung

Im Allgemeinen wird die Energieeffizienz auch als Indikator für die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit betrachtet. Diese Vermutung von überwiegend Nicht-Ökonomen muss jedoch infrage gestellt werden. Der Gartenbau, als Teil der Landwirtschaft, könnte durch eine energieeffizientere Produktion zu einem Katalysator werden, welcher über einen indirekten Rebound-Effekt größer eins (Backfire) den Energieverbrauch auf makroökonomischer Ebene ansteigen, statt absinken lässt. Dies könnte insbesondere der Fall sein, da davon ausgegangen werden kann, dass eine Produktivitätssteigerung in der Urproduktion zu einem stärkeren Wirtschaftswachstum beiträgt als es in anderen Sektoren der Fall wäre. Dieser Effekt wird in Entwicklungs- und Schwellenländern wesentlich ausgeprägter sein als in Industrienationen wie Deutschland. Der Indikator Energieeffizienz ist daher überwiegend der ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit zuzuordnen (nur zu einem geringen Anteil der ökologischen Dimension). Diese Einordnung gilt unter der Annahme steigender Energiepreise. Auch beim Thema Rebound-Effekt ist im Gartenbau noch weitere Forschung notwendig. Hier ist ein internationaler Ansatz besonders sinnvoll.

## Summary

### **Energy efficiency and environmental sustainability – the rebound effect in horticultural enterprises**

Energy efficiency is generally considered an indicator for the environmental dimension of sustainability. This opinion, which is predominantly held by non-economists, should be questioned. Horticulture, as part of agriculture, could through a more energy efficient production function as a catalyst which, by an indirect rebound effect greater than one (backfire), would actually lead to increasing energy consumption at the macroeconomic level instead of to a decrease. This might particularly be the case since it can be assumed that an increase in primary productivity contributes to stronger economic growth, as would be the case in other sectors. This effect will be substantially stronger in developing and emerging countries than in industrialized countries like Germany. The energy efficiency indicator should therefore be mainly assigned to the economic dimension of sustainability (and only to a small proportion to the ecological dimension). This classification applies on the assumption of rising energy prices. On the rebound effect in horticulture further research is still needed. An international approach is particularly appropriate on this issue.

## Résumé

### **Efficacité énergétique et durabilité écologique – l'effet de rebond des entreprises horticoles**

En général, l'efficacité énergétique est considérée comme indice de la dimension écologique de durabilité. Néanmoins il faut mettre en cause cette assumption qui vient majoritairement de non-économistes. Par une production énergiquement plus efficace l'horticulture, en tant que partie de l'agriculture, pourrait devenir un catalyseur qui, par un effet de rebond indirect supérieur à un (backfire), entraîne une hausse au lieu d'une baisse de la consommation énergétique au niveau macroéconomique. Ceci pourrait en particulier être le cas quand on part du principe qu'une augmentation dans la productivité au niveau de la production primaire mène à une croissance économique plus forte que dans d'autres secteurs. Cet effet sera plus accentué dans les pays en développement et émergents que dans les pays industrialisés tels que l'Allemagne. L'indice de l'efficacité énergétique doit donc être attribué en premier lieu à la dimension économique de la durabilité (pour une petite proportion seulement à la dimension écologique). Cette classification est basée sur l'hypothèse d'une augmentation des prix de l'énergie. Des études plus approfondies sont aussi nécessaires dans l'horticulture sur l'effet de rebond. Dans ce domaine une approche internationale semble particulièrement judicieuse.



## Fußnoten

<sup>1)</sup> Das Solow-Modell erklärt langfristiges Wirtschaftswachstum einer Volkswirtschaft alleine durch technischen Fortschritt. (1987 Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften; 45).

<sup>2)</sup> Eigene Berechnung auf Grundlage der Hauptauswertung November 2013 des Zentrums für Betriebswirtschaft im Gartenbau e. V., die Aufwendungen für die einzelnen Sparten gliedert sich wie folgt: Topfpflanzen-Betriebe (N = 256): Heizmaterial in Prozent vom BA (Betriebsaufwand) = 5,8; Strom in Prozent vom BA = 1,33; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 7,13. Schnittblumen-Betriebe (N = 66): Heizmaterial in Prozent vom BA = 12,36; Strom in Prozent vom BA = 4,26; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 16,62. Gemüse-Unterglas-Betriebe (N = 45): Heizmaterial in Prozent vom BA = 10,5; Strom in Prozent vom BA = 4,02; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 14,52. Zierpflanzen-Betriebe (N = 501): Heizmaterial in Prozent vom BA = 5,9; Strom in Prozent vom BA = 1,38; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 7,28. Freiland-Gemüse-Betriebe (N = 142): Heizmaterial in Prozent vom BA = 4,93; Strom in Prozent vom BA = 2,62; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 7,55. Mehrspartenbetriebe (N = 31): Heizmaterial in Prozent vom BA = 3,02; Strom in Prozent vom BA = 0,65; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 3,67. Handelsbetriebe (N = 54): Heizmaterial in Prozent vom BA = 1,9; Strom in Prozent vom BA = 0,64; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 2,54. Dienstleistungsbetriebe (N = 47): Heizmaterial in Prozent vom BA = 0,95; Strom in Prozent vom BA = 0,32; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 1,27; Einzelhandelsbetriebe (N = 162): Heizmaterial in Prozent vom BA = 3,87; Strom in Prozent vom BA = 0,7; Energieaufwendungen in Prozent vom BA = 4,57.

<sup>3)</sup> Exergie bezeichnet den Teil der Gesamtenergie eines Systems, der Arbeit verrichten kann, wenn dieses in das thermodynamische (thermische, mechanische und chemische) Gleichgewicht mit seiner Umgebung gebracht wird. BAEHR und KABELAC (2006).

---

## LITERATUR

1. ADRIAANSE, A., 1997: Resource flows. The material basis of industrial economies. World Resources Institute, Washington, D.C, vi, 66.
2. ALCOTT, B., 2005: Jevons' paradox. *Ecological Economics* 54 (1), 9–21.
3. ALCOTT, B., 2008: Historical Overview of the Jevons Paradox in the Literature, in: Polimeni, J.M. (Ed.), *The Jevons paradox and the myth of resource efficiency improvements*. Earthscan, London, Sterling, VA, pp. 8–78.
4. ALLAN, G.; HANLEY, N.; MCGREGOR, P.G.; SWALES, J.K.; TURNER, K., 2006: The macroeconomic rebound effect and the UK economy. Final Report to DEFRA.
5. ARROW, K.; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C.S.; JANSSON, B.-O.; LEVIN, S.; MALER, K.-G.; PERRINGS, C.; PIMENTEL, D., 1995: Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. *Science* 268 (5210), 520–521.
6. BAEHR, H.D., KABELAC, S., 2006: *Thermodynamik. Grundlagen und technische Anwendungen; mit zahlreichen Tabellen sowie 76 Beispielen*, 13th ed. Springer, Berlin [u.a.], XIX, 661 S.
7. BARKER, T.; DAGOUMAS, A.; RUBIN, J., 2009: The macroeconomic rebound effect and the world economy. *Energy Efficiency* 2 (4), 411–427.
8. BERNDT, E.R.; WOOD, D.O., 1975: Technology, prices, and the derived demand for energy. *The Review of Economics and Statistics*, 259–268.
9. BINSWANGER, M., 2001: Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological Economics* 36 (1), 119–132.
10. BIROL, F.; KEPPLER, J.H., 2000: Prices, technology development and the rebound effect. *Energy Policy* 28 (6-7), 457–469.
11. BROOKES, L., 2000: Energy efficiency fallacies revisited. *Energy Policy* 28 (6-7), 355–366.
12. CHANG, K.-P., 1994: Capital-energy substitution and the multi-level CES production function. *Energy Economics* 16 (1), 22–26.
13. CLAPP, B.W., 1994: *An environmental history of Britain since the Industrial Revolution*. Longman, London, New York, xiii, 268.
14. FOUQUET, R.; PEARSON, P.J., 2006: Seven Centuries of Energy Services: The Price and Use of Light in the United Kingdom (1300-2000). *EJ* 27 (1).
15. GIAMPIETRO, M.; MAYUMI, K., 1998: Another View of Development, Ecological Degradation, and North-South Trade. *Review of Social Economy* 56 (1), 20–36.
16. Great Britain, 2006: *The energy challenge. Energy review report 2006*. Stationery Office, [London], 216 pp.
17. GREENBERG, D., 1990: Energy, Power, and Perceptions of Social Change in the Early Nineteenth Century. *The American Historical Review* 95 (3), 693.
18. GREENHALGH, G., 1990: Energy conservation policies. *Energy Policy* 18 (3), 293–299.
19. GREENING, L.A.; GREENE, D.L., 1998: Energy use, technical efficiency, and the rebound effect: a review of the literature. Report to the US Department of Energy, Hagler Bailly and Co., Denver.
20. GREENING, L.A.; GREENE, D.L.; DIFIGLIO, C., 2000: Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey. *Energy Policy* 28 (6-7), 389–401.
21. HAWKEN, P.; LOVINS, A.B.; LOVINS, L.H., 1999: *Natural capitalism. Creating the next industrial revolution*, 1st ed. Little, Brown and Co., Boston, xix, 396.
22. HAZILLA, M.; KOPP, R.J., 1986: Testing for separable functional structure using temporary equilibrium models. *Journal of Econometrics* 33 (1-2), 119–141.
23. HERRING, H., 2006a: Energy efficiency – a critical view. *Energy* 31 (1), 10–20.
24. HERRING, H., 2006b: The macro-economic rebound effect and the UK economy. Final Report to DEFRA.
25. HUDSON, E.A.; JORGENSON, D.W., 1974: U. S. Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000. *The Bell Journal of Economics and Management Science* 5 (2), 461.
26. JEVONS, W.S., 1865: *The coal question. An inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines*. Macmillan, London.

27. JOSEPH, H.; ETO, M.; KITO, S.; SHOWN, L.; SONNENBLICK, R. 2000: Where Did the Money Go? The Cost and Performance of the Largest Commercial Sector DSM Programs. *The Energy Journal* 21, 62.
28. KEMFERT, C., 1998: Estimated substitution elasticities of a nested CES production function approach for Germany. *Energy Economics* 20 (3), 249–264.
29. KHAZZOOM, D.J., 1980: Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances. *EJ* 1 (4).
30. KYDES, R.J., 2013: Sensitivity of energy intensity in U. S. energy markets to technological change and adoption, in: U. S. Department of Energy Independents (Ed.), *Issues in midterm analysis and forecasting, 1997*. Bibliogov, [S.I.], pp. 1–42.
31. MADLENER, R.; ALCOTT, B., 2009: Energy rebound and economic growth: A review of the main issues and research needs. *Energy* 34 (3), 370–376.
32. MAGNUS, J.R., 1979: Substitution between energy and non-energy inputs in the Netherlands 1950-1976. *International Economic Review* 20 (2), 465–484.
33. MANNE, A.S.; RICHEL, R.G., 1992: *Buying greenhouse insurance. The economic costs of carbon dioxide emission limits*. MIT Press, Cambridge, Mass, xii, 182.
34. MCLAREN, D.; BULLOCK, S.; YOUSUF, N., 1998: *Tomorrow's world. Britain's share in a sustainable future*. Earthscan, London, xv, 382.
35. MEEUSEN, W.; VAN DEN BROECK, J., 1977: Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 435–444.
36. PRYWES, M., 1986: A nested CES approach to capital-energy substitution. *Energy Economics* 8 (1), 22–28.
37. ROSENBERG, N., 1982: *Inside the black box. Technology and economics*. Cambridge university press, Cambridge [Cambridgeshire], New York, xi, 304.
38. ROSENBERG, N., 1994: *Exploring the black box. Technology, economics, and history*. Cambridge university press, Cambridge [England], New York, ix, 274.
39. RUDIN, A., 2000: Let's stop wasting energy on efficiency programs. *Energy & Environment* 11 (5), 539–551.
40. SAUNDERS, H.D., 1992: The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth. *EJ* 13 (4).
41. SAUNDERS, H.D., 2000: A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes. *Energy Policy* 28 (6-7), 439–449.
42. SAUNDERS, H.D., 2008: Fuel conserving (and using) production functions. *Energy Economics* 30 (5), 2184–2235.
43. SCHIPPER, L.; MEYERS, S., 2005: *Energy efficiency and human activity. Past trends, future prospects*, 1st ed. Cambridge university press, Cambridge, UK, New York, xiii, 385.
44. SMIL, V., 2003: *Energy at the crossroads. Global perspectives and uncertainties*. MIT Press, Cambridge, Mass, xiv, 427.
45. SOLOW, R.M., 1956: A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics* 70 (1), 65–94.
46. SORRELL, S., 2007: *The Rebound effect. An assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. UK Energy Research Centre, Sussex, [xiv, 108].
47. STERN, D.I., 1993: Energy and economic growth in the USA. *Energy Economics* 15 (2), 137–150.
48. WARR, B.; AYRES, R., 2006: REXS: A forecasting model for assessing the impact of natural resource consumption and technological change on economic growth. *Structural Change and Economic Dynamics* 17 (3), 329–378.
49. WEIZSÄCKER, E.U. VON; LOVINS, A.B.; LOVINS, L.H., 1997: *Factor four. Doubling wealth, halving resource use – the new report to the Club of Rome*. Earthscan, London, xxix, 322.
50. WÖHE, G.; DÖRING, U., 2008: *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, 23rd ed. Vahlen, München, XXXIV, 1065.

---

## Autorenanschrift

Stephan Meyerding M.Sc.  
 Zentrum für Betriebswirtschaft im Gartenbau e. V.  
 am Institut für gartenbauliche Produktionssysteme  
 der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
 Herrenhäuser Str. 2  
 30419 Hannover

E-Mail: ► [meyerding@zbg.uni-hannover.de](mailto:meyerding@zbg.uni-hannover.de)