

Wie können Widersprüche zwischen Marktdurchdringung und Rebound-Vermeidung gelöst werden?

Systemanalyse konvergenter und divergenter Einflussfaktoren an den Beispielen E-Auto und Gebäudesanierung

Veronika Kulmer¹, Sebastian Seebauer¹, Claudia Fruhmann¹

¹JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Centre for Climate, Energy & Society

Abstract

Low carbon transformation policies advocate the market diffusion of energy efficient technologies, but tend to overlook associated rebound effects. For the case of e-cars and building insulation in Austria we address inherent conflicts between technology adoption and usage. System models integrate results of three complementary research methods: fuzzy cognitive mapping of expert knowledge, household survey and macroeconomic analysis. By tracing policy impulses through the web of interlinked drivers, the system models illustrate leverage for targeted interventions. Convergent drivers (e.g. pro-environmental values) stimulate the market uptake of the technology, and simultaneously constrain rebound effects. Divergent drivers (e.g. income) promote adoption, but set the stage for ensuing rebound effects. Preventing indirect rebound is found most critical to achieve energy savings. Instead of stand-alone measures, policy mixes should address multiple impact paths, e.g. by combining fiscal instruments, awareness building and training of key market actors.

Keywords

rebound effect, system model, energy efficiency policy

Lead text

Die breite Markteinführung energieeffizienter Technologien steht im Spannungsfeld von Adoption und Nutzung. Die Planung von kohlenstoffarmen Transformationspfaden benötigt ein systemisches Verständnis der relevanten Einflussfaktoren.

Einleitung

Um die ambitionierten Klimaziele zu erreichen, die 2015 bei der COP21 in Paris beschlossen wurden, setzen zahlreiche Länder auf innovative, energieeffiziente Technologien. Die breite Markteinführung von E-Autos oder die Sanierung des Gebäudebestands durch Wärmedämmung sollen Energienachfrage und Treibhausgasemissionen senken. Diese politische Strategie ist erfolgreich wenn einerseits energieeffiziente Technologien schnell den Massenmarkt durchdringen, und andererseits technische Effizienzpotenziale nicht durch veränderte Nutzung kompensiert werden. Der vorliegende Artikel argumentiert, dass diese beiden Prozesse, Adoption und Rebound-Effekt durch veränderte Nutzung, von denselben Faktoren beeinflusst werden. Klimapolitische Instrumente, mit dem Ziel die Adoptionsrate zu steigern, legen oft den Grundstein für einen späteren Rebound-Effekt. Beispielsweise wird der Kauf eines E-Autos durch die Aussicht auf reservierte E-Parkplätze in Innenstädten attraktiver (Holtsmart & Skonhoft 2014). Die gute Parkplatzverfügbarkeit legt es dann aber den NutzerInnen nahe, das E-Auto auch auf Wegen zu verwenden, die früher mit dem Fahrrad oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt wurden. Gebäudesanierung wird mit der Aussicht auf geringere Heizkosten beworben. Je mehr diese Motivation im Vordergrund steht, desto stärker wird den BewohnerInnen nahegelegt, sich mit dem billigeren Heizsystem eine komfortablere Raumtemperatur zu gönnen (de la Rue Can et al. 2015, Font Vivanco et al. 2016).

Adoption und Nutzung sind durch mehrere Facetten miteinander verknüpft. Zum Zeitpunkt der Kaufentscheidung für eine energieeffiziente Technologie antizipiert man bereits, wie die Technologie voraussichtlich genutzt wird – wie gut man damit seine alltäglichen Bedürfnisse befriedigen kann, wann sich die Investitionskosten amortisieren, wie hoch die laufenden Kosten sind, etc. (Wolf & Seebauer 2014). Da die effiziente Technologie die Energiedienstleistung mit weniger Energieeinsatz und folglich geringeren Kosten bereitstellt, steigt einerseits die Nutzung (direkter Rebound-Effekt; Sorrell 2007, Santarius 2014). Andererseits steigt durch die Kosteneinsparung das verfügbare Einkommen, welches für andere energieverbrauchende Güter und Dienstleistungen ausgeben werden kann (indirekter Rebound-Effekt; Azevedo 2014, Thomas und Azevedo 2013). Diese Anpassungsprozesse von Angebot und Nachfrage summieren sich über alle Wirtschaftssektoren (gesamtwirtschaftlicher Rebound-Effekt; Allen et al. 2007, Turner 2013, Gillingham et al. 2016). Rebound-Effekte auf NutzerInnenebene entstehen nicht nur durch Preisanreize, sondern auch durch *Moral Licensing*: Mit der Adoption der effizienten Technologie hat man das Gefühl, bereits einen ökologischen Beitrag geleistet zu haben. Nun darf man sich ohne schlechtes Gewissen einen Mehrverbrauch in anderen Konsumbereichen gönnen (Friedrichsmeier & Matthies 2015).

Die Erkenntnis, dass erwartete Emissionseinsparungen durch energieeffiziente Technologien oft nicht vollständig realisiert werden, wird vermehrt in der politischen Diskussion aufgegriffen (Font Vivanco et al. 2016). Direkte Rebound-Effekte in Wohnen und Verkehr werden auf 10-30% der erwarteten Einsparungen geschätzt (Sorrell 2007). Die Bandbreite der geschätzten indirekten und gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekte liegt zwischen 20% und 300% (Allan et al. 2007, Guerra & Sancho 2010, Turner 2009). Angesichts dieser Höhe von Rebound-Effekten besteht dringender Bedarf, politische Handlungsoptionen zur Rebound-Prävention zu entwickeln.

Sowohl Adoption als auch (veränderte) Nutzung finden im selben soziotechnischen Regime, in Interaktion mit den gleichen Marktakteuren und beeinflusst von denselben Personenmerkmalen

statt (Geels 2004). Anschaffungs- und Betriebskosten, vorhandene Infrastruktur und konkurrierende Produkte am Markt sind sowohl für die Kaufentscheidung als auch für die laufende Nutzung relevant (Boulanger et al. 2013). Subventionen und Verordnungen sowie Kommunikation in den Massenmedien spielen ebenfalls eine doppelte Rolle (Steg et al. 2015). Sowohl die Kaufentscheidung als auch die alltägliche Nutzung sind abhängig von Einkommen, Umweltwerten oder Wissensstand der KonsumentInnen (Peters et al. 2012). Ein Politikinstrument das beispielsweise bei der Infrastruktur ansetzt oder Anreize für einzelne Marktakteure wie z.B. EinzelhändlerInnen und HandwerkerInnen bereitstellt, wird daher sowohl Adoption als auch Rebound beeinflussen.

Bis jetzt wurden Einflussfaktoren auf Adoption und Rebound mit verschiedenen disziplinären Zugängen untersucht. Eine Integration dieser Zugänge ist oft schwierig, da sie jeweils nur Ausschnitte der Gesamtproblematik beleuchten sowie unterschiedliche Methoden und Maßeinheiten verwenden. Wir stellen hier ein Systemmodell vor, welches das Wirkungsgeflecht zwischen Adoption, Rebound und einer Palette an gemeinsamen Einflussfaktoren kompakt veranschaulicht. Notwendigerweise ist dieses Systemmodell eine Vereinfachung gegenüber fokussierten, disziplinären Zugängen, zeigt aber übergreifende Dynamiken auf. Entlang der Wirkungspfade wird sichtbar, wie sich eine politische Intervention im Geflecht der Einflussfaktoren fortpflanzt und möglicherweise unbeabsichtigte oder kontraproduktive Effekte auslöst.

Methode

Das Systemmodell (Walker & van Daalen 2013) integriert drei komplementäre Forschungsmethoden die jeweils einen Ausschnitt des Spannungsfeldes Adoption und Nutzung beleuchten: (i) *fuzzy cognitive mapping*, welches mittels Experteninterviews die grundlegenden Faktoren und Akteure identifiziert und deren kausale Verbindungen beschreibt (Fruhmann et al. 2017), (ii) eine Befragung von BesitzerInnen eines E-Autos und Personen die eine Gebäudesanierung durchgeführt haben, um individuelle Einflussfaktoren auf direkten und indirekten Rebound-Effekt zu bestimmen (Seebauer 2017) und (iii) eine makroökonomische allgemeine Gleichgewichtsanalyse von Energieeffizienzmaßnahmen in privaten Haushalten zur Bestimmung gesamtwirtschaftlicher Effekte und sektoraler Wirkungskanäle (Kulmer & Seebauer 2017). Aus Platzgründen stellt dieser Artikel die übergreifende Dynamik zwischen Adoption, Rebound und den gemeinsamen Einflussfaktoren in den Mittelpunkt. Details zu den einzelnen Forschungsmethoden sind den jeweiligen Publikationen zu entnehmen. Die Analysen beziehen sich auf die Fallbeispiele E-Auto und Gebäudesanierung in Österreich.

Die Entwicklung und Anwendung des Systemmodells erfolgt in fünf Schritten: Die (1) *Identifikation* bestimmt aus jedem der drei Methodenzugänge kritische Elemente, welche die Adoption und die Nutzung von Effizienztechnologien wesentlich beeinflussen. Kausale Beziehungen zwischen diesen Elementen werden von jedem Methodenzugang mit Einflussrichtung und Einflussstärke beschrieben.

Tabelle 1: Liste der Elemente je Systemmodell

Elemente, die in den Systemmodellen beider Fallbeispiele vorkommen	
Element	Definition
<i>Kauf / Investition</i>	E-Auto: Anzahl an E-Auto Käufen; Anteil von E-Autos an Zulassungszahlen Sanierung: Anzahl an Sanierungen; Anzahl an Förderansuchen hinsichtlich

	teilweiser oder umfassender Sanierung
<i>Direkter Rebound</i>	Nach Adoption der energieeffizienten Technologie steigt die Nachfrage nach der jeweiligen Energiedienstleistung an
<i>Indirekter Rebound</i>	Aufgrund freigewordenen Einkommens oder <i>Moral Licensing</i> werden andere Energiedienstleistungen und Güter vermehrt nachgefragt
<i>Gesamtwirtschaftlicher Rebound</i>	Produktion und Nachfrage verlagern sich in energie- und CO ₂ -intensivere Sektoren
<i>Anschaffungskosten/ Ausgaben</i>	E-Auto: Anschaffungskosten Sanierung: Ausgaben je nach Intensität und Qualität der Sanierung
<i>BIP - Bruttoinlandsprodukt</i>	Bruttowertschöpfung der Volkswirtschaft zuzüglich des Saldos von Gütersteuern und Gütersubventionen
<i>Einsparung CO₂-Emissionen</i>	Einsparung an gesamten nationalen Treibhausgasemissionen über alle Wirtschaftssektoren
<i>Massenmedien</i>	Kommunizierte Produktinformationen über die Technologie, CO ₂ -Bilanz, Nachhaltigkeit, Vermittlung der Vorteile diverser Energieeffizienzmaßnahmen
<i>Soziale Norm</i>	Erwartungen des sozialen Netzwerks, ob man sich die energieeffiziente Technologie anschaffen soll
<i>Umweltwerte</i>	Persönliche Überzeugung, dass man einen Beitrag zum Umweltschutz leisten will
<i>Variable Kosten</i>	E-Auto: Kosten pro km, sowohl monetäre als auch Bequemlichkeits-/Zeitkosten Sanierung: Kosten pro behaglich beheizten m ² Wohnfläche nach der Sanierung
<i>Verfügbares Einkommen</i>	Zur Verfügung stehendes Haushaltsbudget; Konsummöglichkeiten werden bis zum Erreichen der persönlichen Sparquote ausgeschöpft
<i>Wissen über Produktmerkmale</i>	E-Auto: Wissen über Reichweite, Info aus Typenschein, CO ₂ Emissionen pro km, etc. Sanierung: Wissen über Sanierungsmöglichkeiten, Dämmmaterialien, Technologien, etc.
<i>Wohlfahrt</i>	Nutzen aller Haushalte in der Volkswirtschaft, gemessen als Umfang der Konsummöglichkeiten beschränkt durch das verfügbare Einkommen
Zusätzliche Elemente im Systemmodell E-Auto	
Element	Definition
<i>Angebotsqualität: Alternativen zu MIV</i>	Liniennetz und Fahrplandichte des öffentlichen Verkehrs, Radwegenetz
<i>AutohändlerInnen</i>	Kommunizieren Produktinformationen, Kosten, Verbrauch etc.; durch Vertrauensverhältnis sind AutohändlerInnen eine glaubwürdige Informationsquelle
<i>Ladeinfrastruktur</i>	Angebot an öffentlich zugänglichen Ladestationen, der Möglichkeit das E-Auto zu Hause, am Arbeitsplatz oder während Freizeitaktivitäten zu laden, das Angebot an Schnellladestationen, etc.
<i>Produktpalette E-Auto</i>	Angebotsfülle an verschiedenen E-Auto Modellen / E-Auto Klassen
<i>Vorzeigeprojekte</i>	E-Mobilitäts-Modellregionen oder E-Car Sharing Modelle als Kommunikationskanal zur Verbreitung von Produktinformationen; als Plattformen zum Ausprobieren und Testen von E-Autos
Zusätzliche Elemente im Systemmodell Gebäudesanierung	
Element	Definition
<i>Einwandfreie technische Umsetzung</i>	Umsetzung ohne technische/bauliche Mängel, Integration und richtige Dimensionierung von Dämmelementen innerhalb des Gebäudes, Voreinstellungen von Heizsystemen, etc.
<i>Energiearmut</i>	Vor der Sanierung konnte man es sich nicht leisten die Wohnung angemessen warm zu halten
<i>Energieberatung</i>	Kommunikation von Produktinformationen über Gebäudedämmung, Dämmmaterialien und Technologien sowie technologiegerechte Nutzung

<i>Gelegenheitsfenster durch Lebensdauer von alten Technologien</i>	Zeitliche Nähe zum Ende der Lebensdauer sowie Dringlichkeit der Erneuerung von Gebäudeelementen wie z.B. Heizung, Fenster
<i>Gewohnheiten</i>	Automatisiertes Beibehalten von Alltagsroutinen
<i>Installateure & Bauunternehmen</i>	Verantwortlich für Planung, Umsetzung von Sanierungen; agieren über Baumessen, Ausstellungen, etc.; kommunizieren wichtige Produktinformationen (Kosten, Testberichte, etc.).
<i>Komplexität der Antragsstellung (Subventionen)</i>	Notwendige Schritte um Subventionen zu erhalten, Anzahl an involvierten Stellen und Akteuren bis zur Förderzusage(z.B. Banken, Behörden auf Gemeinde-/Landes-/Bundesebene)
<i>Wissen über Verwendung der Technologie</i>	Wissen über richtiges Heizverhalten und Lüften

Die (2) *Konsolidierung* integriert die Elemente und deren Beziehungen in einem gemeinsamen Rahmen. Elemente, die in mehreren Methodenzugängen eine kritische Rolle einnehmen, werden unter Klärung eines gemeinsamen Grundverständnisses zu einer Einheit verknüpft. Hier kommt die Stärke des Systemmodells zu tragen, dass nahezu alles als Systemelement beschrieben werden kann – Akteure ebenso wie Personenattribute, technische oder infrastrukturelle Rahmenbedingungen. Die konsolidierten Elemente (siehe Tabelle 1) bilden die Basis des Systemmodells.

In der (3) *Skalierung* werden die disziplinar unterschiedlichen quantitativen Effektgrößen aufeinander abgestimmt. Während sowohl die expertenbasierte Gewichtung des *fuzzy cognitive mapping* als auch die Regressionskoeffizienten der Befragung die größtmögliche Einflusstärke als perfekten linearen Zusammenhang verstehen, berücksichtigt die makroökonomische Analyse, dass zwischen zwei Elementen auch ein exponentieller Zusammenhang bestehen kann. Daher werden alle disziplinären Effektgrößen auf eine gemeinsame Skala von 0 „kein Zusammenhang“ bis 1 „nicht-linearer starker Zusammenhang“ transformiert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Skala der Effektgrößen im Systemmodell

Effektgröße	Definition
0	Kein Zusammenhang, eine Änderung des einen Elements bewirkt keine Veränderung des anderen Elements
0.25	Mittlerer Zusammenhang, eine Änderung des einen Elements bewirkt eine mittelstarke Änderung des anderen Elements
0.5	Starker Zusammenhang, eine Änderung des einen Elements bewirkt eine starke Änderung des anderen Elements
0.75	Perfekter linearer Zusammenhang, eine Änderung des einen Elements bewirkt eine gleichwertige Änderung des anderen Elements
1	Nicht-linearer Zusammenhang, eine Änderung des einen Elements bewirkt eine vielfache Änderung des anderen Elements
positiver Koeffizient	positive kausale Richtung, eine Erhöhung des einen Elements führt zu einer Erhöhung des anderen Elements
negativer Koeffizient	negative kausale Richtung, eine Erhöhung des einen Elements führt zu einer Verringerung des anderen Elements

Die (4) *Integration* erstellt das eigentliche Systemmodell. Die Abfolge Adoption, Nutzung (betrachtet als direkter und indirekter Rebound-Effekt) und der aus der Nutzung resultierende kumulierte Effekt (gesamtwirtschaftlicher Rebound-Effekt) bildet das zentrale Analysegerüst. Die Elemente werden hinsichtlich ihrer Wirkung in dieses Gerüst eingereiht und mit gerichteten Pfeilen, die Stärke und Richtung angeben, miteinander verbunden. Das Systemmodell zeigt, welche Elemente wo und wie stark im Spannungsfeld zwischen Adoption und Nutzung agieren und so Rebound-Effekte auslösen oder vermeiden können. Daraus werden Wirkungspfade abgeleitet, die sich entweder gegenseitig verstärken und zu einem großen Effekt aufschaukeln oder sich gegenseitig aufheben und somit den Effekt neutralisieren. Die hier vorgestellten Systemmodelle thematisieren gemeinsame Einflussfaktoren auf Adoption und Nutzung; der offensichtliche direkte Einfluss von Kauf/Investition auf gesamtwirtschaftliche Elemente wird ausgeklammert.

Die (5) *Politikanalyse* nützt das Systemmodell um Transformationshebel zur Reboundvermeidung zu identifizieren. Ausgewählte Politiken verändern die Ausprägung einzelner Systemelemente. Dieser Impuls pflanzt sich über die Wirkungsbeziehungen zwischen den Elementen, je nach Einflussrichtung und -stärke, durch das System fort. Damit ermöglicht das Systemmodell eine Analyse, welche politischen Maßnahmen oder Maßnahmenbündel am besten geeignet sind, um Rebound-Effekten ganzheitlich entgegenzusteuern und das Spannungsfeld zwischen Adoption und Nutzung aufzulösen.

Ergebnisse

Dynamik und Wirkungsverflechtungen der Systemelemente

Das Systemmodell E-Auto umfasst zahlreiche Faktoren, die den Kauf eines E-Autos fördern (Abbildung 1): hohe soziale Norm, hohes verfügbares Einkommen, gut ausgebaute Ladeinfrastruktur, eine breite Produktpalette an verschiedenen E-Fahrzeugen, etc. Neben diesen psychologischen, sozioökonomischen und technischen Faktoren wirken auch AutohändlerInnen und Vorzeigeprojekte als Marktakteure positiv auf die Anschaffung eines E-Autos. Diesen begünstigenden Elementen stehen Anschaffungskosten und Kosten pro Kilometer als hemmende Faktoren gegenüber.

Kosten pro Kilometer, verfügbares Einkommen und soziale Norm haben divergente Wirkungen auf Adoption und Nutzung: Einerseits macht die Aussicht auf höhere Kosten pro Kilometer, verursacht etwa durch steigende Strompreise, die Anschaffung eines E-Autos weniger wahrscheinlich; andererseits dämpfen höhere Kosten die Nutzungshäufigkeit und damit den direkten Rebound. Der Vergleich der beiden Effektgrößen zeigt, dass man aus umweltpolitischer Sicht die geringe Einschränkung der Anschaffungsrate durch höhere Kosten pro Kilometer (-0.1) in Kauf nehmen könnte, um im Gegenzug von einer starken Reduktion des direkten Rebound (0.8) zu profitieren. Verfügbares Einkommen und soziale Norm begünstigen den Kauf eines E-Autos, jedoch steigt in gleichem Ausmaß auch der Mehrkonsum in anderen Bereichen, sprich der indirekte Rebound.

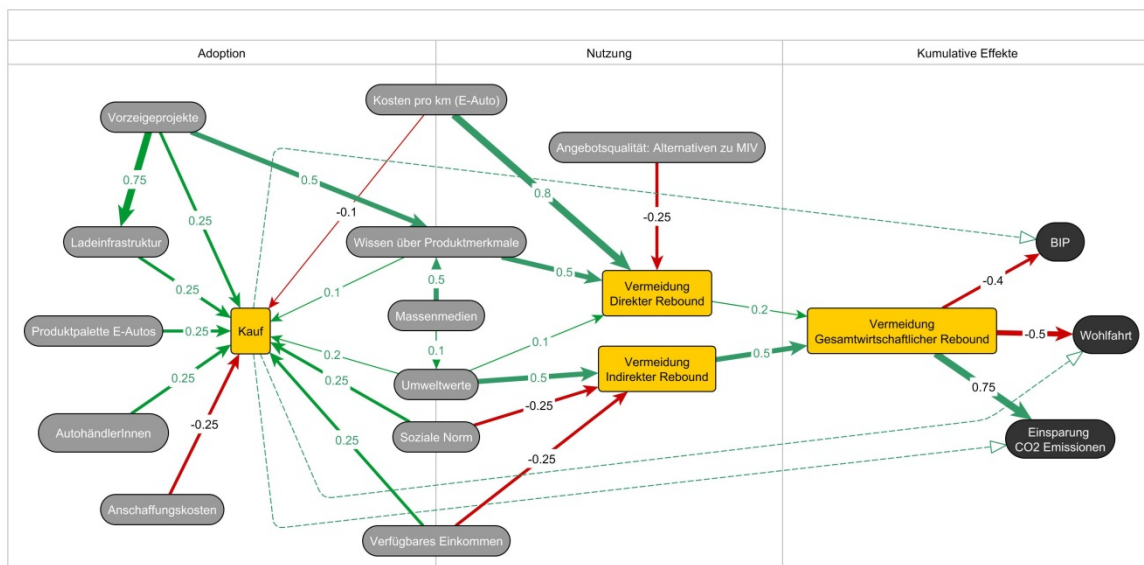


Abbildung 1: Systemmodell E-Auto

Das Systemmodell enthält ebenso Elemente mit konvergenter Wirkungsweise. Wissen über Produktmerkmale und Umweltwerte begünstigen die Anschaffung und vermeiden direkten und indirekten Rebound. Zusammengenommen verdeutlichen die divergenten und konvergenten Effekte von Elementen, dass politische Maßnahmen, die stark auf finanzielle Anreize setzen oder Prestigegewinn in den Vordergrund stellen, kontraproduktive Wirkungen haben. Informative oder bewussteinbildende Maßnahmen hingegen lenken sowohl Adoption als auch Nutzung in eine umweltpolitisch erwünschte Richtung.

Das Systemmodell Gebäudesanierung enthält mehr und komplexer vernetzte Elemente (Abbildung 2). Dennoch sind zentrale Wirkungsmuster gleich: Umweltwerte tragen zur Auflösung des Spannungsfeldes Adoption und Nutzung bei, während verfügbares Einkommen, soziale Norm und variable Heizkosten das Spannungsfeld verstärken. Wichtige Einflussfaktoren um Sanierungen anzustoßen sind das Aufkommen eines Gelegenheitsfensters und eine niedrige Komplexität der Antragsstellung für eine öffentliche Subvention. Letztere ist die mit Abstand größte Hürde zur Durchführung einer Sanierung. Bei der Vermeidung des direkten Rebound kommen im Vergleich zum Systemmodell E-Auto zwei relevante Einflussfaktoren dazu: Energiearmut und technische Umsetzung.

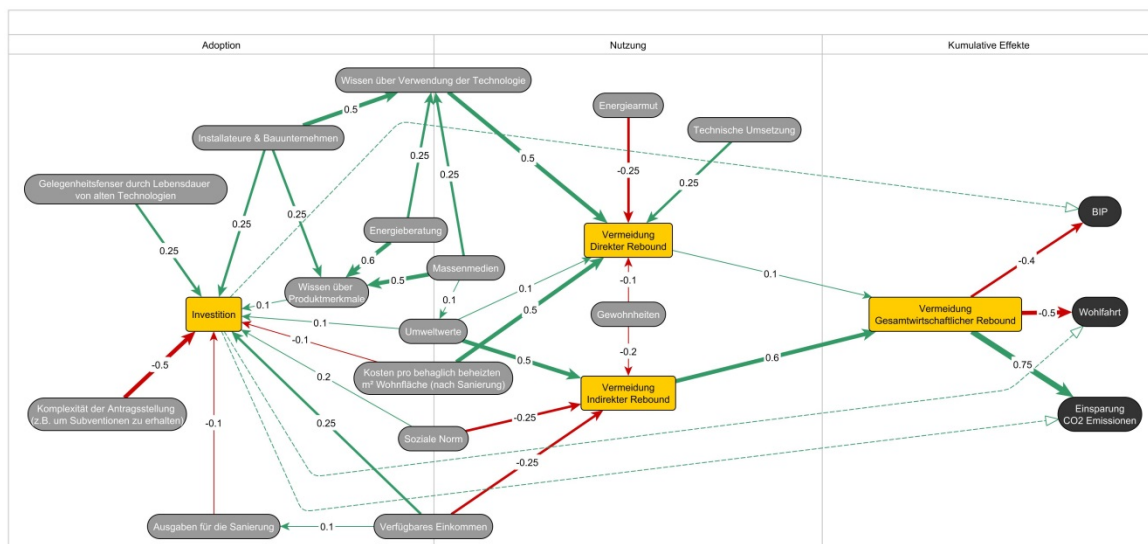


Abbildung 2: Systemmodell Gebäudesanierung

Das Systemmodell Gebäudesanierung verdeutlicht die Rolle von vorgelagerten Akteuren. Massenmedien, Bauunternehmen & Installateure und Energieberatung haben kaum unmittelbaren Einfluss auf Adoption oder Nutzung, wirken jedoch indirekt über andere Systemelemente wie Wissen über Produktmerkmale oder Wissen über Verwendung der Technologie. Letzteres hat hohes Potential direkten Rebound zu vermeiden und wird von allen diesen vorgelagerten Akteuren begünstigt. Diese verzweigten Wirkungskanäle unterstreichen, dass effektive politische Maßnahmen einen Mix aus Elementen ansprechen sollten, anstatt sich nur auf jene Elemente zu konzentrieren, die in einer unmittelbaren Beziehung zu Adoption oder Nutzung stehen.

Beide Systemmodelle weisen auf Schlüsselakteure hin, die widersprüchliche Anreize für Adoption und Nutzung auflösen können. Je mehr Bauunternehmen & Installateuren vertraut wird und je mehr Kompetenz ihnen zugeschrieben wird, desto eher entschließt sich ein Haushalt zur Gebäudesanierung. Gleichzeitig steigern Bauunternehmen & Installateure das Wissen der Haushalte über richtiges Heizen und Lüften und wirken somit dem direkten Rebound entgegen. Beim E-Auto übernehmen Vorzeigeprojekte diese ausbalancierende Rolle. Vorzeigeprojekte schaffen günstige Rahmenbedingungen für den Kauf eines E-Autos und tragen gleichzeitig über Wissensvermittlung zu einer umweltfreundlichen Nutzung bei. Integrative Politikstrategien sind gut beraten, solche Schlüsselakteure gezielt einzubinden.

Der gesamtwirtschaftliche Rebound wird in beiden Fallbeispielen vor allem vom indirekten Rebound angetrieben. Die Verlagerung der Einsparung aus dem Effizienzgewinn in andere Konsumbereiche wirkt um ein Vielfaches stärker als der Anstieg der direkten Nutzung. Ein hoher gesamtwirtschaftlicher Rebound-Effekt spiegelt widersprüchliche Wirtschafts-, Sozial- und Umweltziele wieder. Mehrkonsum führt zu Wirtschaftswachstum und folglich steigen Bruttoinlandsprodukt und, bedingt durch höhere Löhne und mehr Konsummöglichkeiten, Wohlfahrt. Durch den Mehrkonsum wird aber weniger Energie und somit weniger CO₂ als ursprünglich erwartet eingespart. Aufgrund von Wirtschaftsverflechtungen kann dieser Kompensationseffekt so weit gehen, dass die gesamte Energie- und CO₂-Ersparnis durch Mehrkonsum ausgeglichen wird.

Die Systemmodelle beider Fallbeispiele zeigen dieselben Angelpunkte zur Vermeidung von indirektem (und in Folge gesamtwirtschaftlichem) Rebound: (i) hohe Umweltwerte, wodurch der

Konsum vorwiegend auf nicht-energieintensive nachhaltige Produkte verlagert wird, (ii) niedrige soziale Norm, da dann der Prestigegewinn durch die energieeffiziente Technologie weniger als Rechtfertigung für Mehrkonsum herangezogen wird, und (iii) niedriges verfügbares Einkommen, wodurch der Konsum verringert oder zu weniger energieintensiven Produkten verlagert wird. Den dritten Aspekt durch ein pauschales Wegbesteuern von Effizienzgewinnen politisch zu nutzen, dürfte jedoch an die Grenzen von Machbarkeit und Akzeptanz stoßen.

Politiksimulation mittels Systemmodell

Die Politiksimulation skizziert, welche politischen Maßnahmen am besten geeignet sind, um Rebound-Effekten ganzheitlich entgegenzusteuern und das Spannungsfeld Adoption und Nutzung aufzulösen. Die Einflusstärken der Systemelemente und damit die simulierten Politikwirkungen sind naturgemäß mit Unsicherheiten verbunden. In anderen Ländern oder mit einem anderen Strom-Mix für E-Autos, würden andere Einflusstärken zu anderen numerischen Ergebnissen führen. Hier stehen jedoch die relativen Verhältnisse und Größenordnungen der unterschiedlichen Politikinstrumente im Vordergrund, um zentrale Hebelemente zu identifizieren. Mit dieser Anwendung erweitern wir gegenwärtige Rebound-Vermeidungspfade (Font Vivanco et al. 2016) um eine vergleichende Wirkungsabschätzung verschiedener politischer Maßnahmen.

Der derzeitige politische Rahmen setzt vorrangig auf fiskalpolitische Instrumente zur Reduktion der variablen Kosten um energieeffiziente Technologien zu forcieren. Zum Beispiel ist in Österreich das E-Auto von der Normverbrauchsabgabe befreit; Strom für den Betrieb des Fahrzeugs wird nicht gesondert besteuert; in manchen Großstädten sind E-Autos von Parkgebühren ausgenommen. Im Systemmodell E-Auto führt eine Reduktion der variablen Kosten pro km um eine Einheit dazu, dass die Anschaffung um 0.1 Einheiten zunimmt, aber zugleich die Nutzung bzw. der direkte Rebound um 0.8 Einheiten steigt. Der direkte Rebound pflanzt sich im System fort und führt zu einer Verringerung der Einsparungen von CO₂-Emissionen in Höhe von 0.12 Einheiten ($0.8 \cdot 0.2 \cdot 0.75$). Ein ähnliches, aber abgeschwächtes Bild zeigt sich im Systemmodell Gebäudesanierung: Geringere Energiesteuern für bestimmte Heizungsenergieträger (z.B. Biomasse, Fernwärme) reduzieren die Kosten pro behaglich beheizten m² Wohnfläche. Das bewirkt eine marginal höhere Investitionstätigkeit von 0.1, aber verringert die CO₂-Einsparungen um 0.0375 ($0.5 \cdot 0.1 \cdot 0.75$).

Bewusstseinsbildende Kampagnen zur Steigerung von Umweltwerten versprechen hingegen deutlich höhere Wirkungen. Die unmittelbare Wirkung auf die Adoption ist auch hier gering (0.2 bei E-Auto, 0.1 bei Gebäudesanierung). Da aber Umweltwerte sowohl den direkten als auch den indirekten Wirkungskanal ansprechen, summieren sich die Wirkungen auf die Einsparung von CO₂-Emissionen. Eine Erhöhung der Umweltwerte um 1 Einheit reduziert bei Gebäudesanierung die CO₂-Emissionen um 0.2325 Einheiten; vor allem über den Wirkungspfad des indirekten Rebound ($0.5 \cdot 0.6 \cdot 0.75 = 0.225$) und geringfügig über den direkten Rebound ($0.1 \cdot 0.1 \cdot 0.75 = 0.0075$). Beim E-Auto zeigt sich das gleiche Bild ($0.1 \cdot 0.2 \cdot 0.75$ (direkt) + $0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.75$ (indirekt) = 0.2025). Die hohe Wirksamkeit macht eine Steigerung von Umweltwerten zu einer attraktiven Interventionsstrategie. Allerdings dürfte eine weitreichende Veränderung von Umweltwerten nur durch langwierigen gesellschaftlichen Wandel zu erreichen sein; finanzielle Anreizinstrumente sind hingegen deutlich einfacher und schneller umzusetzen.

Schlüsselakteure bieten einen rascheren und effektiven Zugang zur Steigerung der Adoptionsrate. Beim E-Auto fördert ein Ausbau von Vorzeigeprojekten um 1 Einheit die Anschaffung eines E-

Autos um gesamt 0.4875 Einheiten (direkter Einfluss: 0.25; via Ladeinfrastruktur: $0.75 \cdot 0.25$; via Wissen über Produktmerkmale: $0.5 \cdot 0.1$). Der Einfluss von Vorzeigeprojekten auf Wissen über Produktmerkmale pflanzt sich im System fort und trägt geringfügig zur Einsparung von CO₂-Emissionen mit 0.0375 ($0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.2 \cdot 0.75$) bei. Bauunternehmen & Installateure, das Pendant im Systemmodell Gebäudesanierung, weisen ähnliche Wirkungen auf. Diese Akteure erhöhen die Adoption um gesamt 0.275 (direkter Einfluss: 0.25; via Wissen über Produktmerkmale: $0.25 \cdot 0.1$) und führen zu Einsparungen von CO₂-Emissionen um 0.01875 ($0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.1 \cdot 0.75$). Die gezielte Einbindung von Schlüsselakteuren bietet sich als flankierende Maßnahme in einem Politikbündel an. Einerseits haben sie einen klaren Haupteffekt auf die Adoption; andererseits generieren sie durch Wissensvermittlung über Produktmerkmale den positiven Nebeneffekt, die CO₂-Emissionen abzuschwächen.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die breite Markteinführung energieeffizienter Technologien, eine zentrale Strategie in der kohlenstoffarmen Transformation der Gesellschaft, steht im Spannungsfeld von Adoption und Nutzung. Die hier vorgestellten Systemmodelle für die Beispiele E-Auto und Gebäudesanierung integrieren Ergebnisse aus drei komplementären Forschungsmethoden und bestimmen Transformationshebel zur Auflösung dieses Spannungsfeldes. Die Systemmodelle zeigen die Dynamik zwischen Adoption, Rebound-Effekten und der Palette an gemeinsamen Einflussfaktoren.

Finanzielle Anreizinstrumente wie eine Steuerbefreiung von E-Autos (wie in Österreich und Deutschland) oder Ausnahmeregelungen für E-Autos bei städtischen Mautsystemen (wie in London und Stockholm) stehen mitten im Spannungsfeld von Adoption und Nutzung. Sie fördern zwar schwach die Anschaffung der energieeffizienten Technologie, wirken aber gleichzeitig stark auf direkten Rebound. Da finanzielle Anreize technologiespezifisch gesetzt werden und den entscheidenden Wirkungskanal des indirekten Rebound außer Acht lassen, ist die Gesamtwirkung auf CO₂-Einsparungen gering. Dies steht in klarem Widerspruch zur politischen Beliebtheit marktwirtschaftlich orientierter Instrumente.

Stattdessen sind Maßnahmenbündel zu empfehlen, die mit flankierenden Maßnahmen die Bedeutung von Umweltwerten und Schlüsselakteuren aufgreifen. Diese beschleunigen einerseits die Marktdurchdringung ohne unerwünschte Nebenwirkungen und federn andererseits Wirkungen auf den indirekten Rebound ab. Kampagnen in Massenmedien und sozialen Netzwerken könnten Umweltwerte vermitteln sowie bestehende umweltfreundliche Werthaltungen bestärken. Bauunternehmen & Installateure könnten gezielt geschult werden. Eigene staatliche Förderprogramme könnten die Umsetzung von Vorzeigeprojekten und Testregionen unterstützen.

Solche Maßnahmenbündel können auch ausgleichen, dass verschiedene Maßnahmen ihre Wirkungen über verschiedene Zeiträume entfalten. Steuern und Subventionen wirken unmittelbar und kurzfristig; Schulungen, Kampagnen oder Medienaktivitäten wirken mittelfristig; ein Wertewandel oder eine Änderung von Konsumpraktiken entwickeln sich langfristig über einen Zeitraum von bis zu einer Generation. Die Transformation zu einer kohlenstoffarmen Gesellschaft wird sich über mehrere Jahrzehnte erstrecken. Es scheint daher sinnvoll, kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen systematisch zu staffeln. Für eine zeitliche Dimension müssten die hier vorgestellten Systemmodelle erweitert werden, etwa um Rückkopplungseffekte abzubilden oder

um zu berücksichtigen, dass sich über die Zeit Einflussstärken und -richtungen verändern oder neue Systemelemente hinzukommen könnten.

Beide Systemmodelle unterstreichen die dominante Rolle des indirekten Rebound-Effekts. Die Verlagerung der Einsparungen aus dem Effizienzgewinn in andere Konsumbereiche übertrifft bei weitem den Anstieg der direkten Nutzung. Indirekte Verlagerungen münden häufig in eine ansteigende Nutzung von energie-intensiven Gütern und Dienstleistungen wie elektronische Geräte, Tourismus und Verkehr. Produktstandards und individuelle Emissionsobergrenzen könnten indirekten Verlagerungen gegensteuern. Produktstandards gibt es bereits in zahlreichen Konsumbereichen (z.B. Emissionsstandards bei Fahrzeugen, Energieeffizienz-Labels bei Elektronikgeräten, diverse ISO-Normen). In je mehr Konsumbereichen Emissionsstandards gelten, desto geringer wäre der Anteil fossiler Energieträger in der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen; folglich wären Verlagerungseffekte in andere Konsumbereiche weniger CO₂ intensiv. Individuelle Emissionsobergrenzen, etwa als jährliches CO₂-Budget pro Person, lenken Konsumverlagerungen in Richtung kohlenstoffarme Produkte und Dienstleistungen und zeigen den Weg hin zu suffizienten Lebensstilen. Im Gegensatz zu Produktstandards ist aber nur schwer vorstellbar, wie individuelle Emissionsobergrenzen in der Praxis administriert und kontrolliert werden könnten.

Um die Wirkungsmechanismen von Produktstandards und individuellen Emissionsobergrenzen abbilden zu könnten, müssten die Systemgrenzen beider Systemmodelle erweitert werden. Gegenwärtig sind die Systemmodelle auf die konkreten Effizienztechnologien zugeschnitten und umfassen lediglich jene Elemente, die mittelbar oder unmittelbar auf Adoption und Nutzung wirken. Andere Konsumbereiche, die Produktionsseite der Wirtschaft oder Faktoren weit außerhalb des Entscheidungsspielraums der Haushalte, sind (noch) nicht enthalten. Die Einführung zusätzlicher Systemelemente würde aber das Systemmodell drastisch komplexer machen und die Interpretierbarkeit erschweren.

Der bewusst vereinfachende Zugang dieser Studie reicht hingegen bereits aus, um den grundlegenden Widerspruch ökonomischer Instrumente aufzuzeigen, die gemeinsam mit der Adoption energieeffizienter Technologien auch den Rebound-Effekt in deren anschließender Nutzung fördern. Integrierte Strategien für die Transformation zu einer kohlenstoffarmen Gesellschaft sollten daher die Rolle von sozialpsychologischen Merkmalen und Schlüsselakteuren nicht unterschätzen.

Danksagung

Das Projekt CATCH (<https://catch.joanneum.at>) wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Austrian Climate Research Programme durchgeführt.

Literaturverzeichnis

- Allan, Grant, Nick Hanley, Peter McGregor, Kim Swales, und Karen Turner. „The impact of increased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom“. *Modeling of Industrial Energy Consumption* 29, Nr. 4 (July 2007): 779–98. doi:10.1016/j.eneco.2006.12.006.
- Azevedo, Ines L (2014). Consumer end-use energy efficiency and rebound effects. *Annual Review of Environment and Resources* 39: 393–418.
- van den Bergh, Jeroen. 2011. "Energy Conservation More Effective with Rebound Policy." *Environmental and Resource Economics* 48 (1): 43-58.
- Boulanger, P.-M., Couder, J., Marenne, Y., Nemoz, S., Vanhaverbeke, J., Verbruggen, A., Wallenborn, G. (2013). Household energy consumption and rebound effect. Final report to the Research Programme Science for a Sustainable Development, Brussels: Belgian Science Policy.
- Font Vivanco, D., Kemp, R., van der Voet, E. (2016). How to deal with the rebound effect? A policy-oriented approach. *Energy Policy*, 94, 114-125. doi:10.1016/j.enpol.2016.03.054.
- Friedrichsmeier, T., Matthies, E. (2015). Rebound effects in energy efficiency – an inefficient debate? *GAIA*, 24(2), 80-84. doi:10.14512/gaia.24.2.3.
- Fruhmann C., Tuerk A., Kulmer V., Seebauer S. (2017). System Complexity as Key Determinant in achieving Efficacious Policy Transposition and Implementation. In: The Green Market Transition. Carbon Taxes, Energy Subsidies and Smart Instrument Mixes. Critical Issues and Environmental Taxation series, Weishaar S. et al. (Ed.). Edward Elgar Publishing. August 2017, 193-208.
- Geels, F.W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33, 897–920.
- Gillingham, K., Rapson, D., Wagner, G. (2016). The rebound effect and energy efficiency policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1), 68-88. doi:10.1093/leep/rev017.
- Guerra, Ana-Isabel, und Ferran Sancho. „Rethinking economy-wide rebound measures: An unbiased proposal“. *Energy Efficiency Policies and Strategies with regular papers*. 38, Nr. 11 (November 2010): 6684–94. doi:10.1016/j.enpol.2010.06.038.
- Holtmark B., Skonhoft A., 2014. The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries?, *Environmental Science & Policy*, Volume 42, Pages 160-168, ISSN 1462-9011, doi:10.1016/j.envsci.2014.06.006.
- Kulmer V, Seebauer S. (2017). How Robust are Estimates of the Rebound Effect of Energy Efficiency Improvements? A Sensitivity Analysis of Consumer Heterogeneity and Elasticities, FCN Working Paper No. 16/2017, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior, RWTH Aachen University, November, <http://www.fcn.eonerc.rwth-aachen.de/cms/E-ON-ERC-FCN/Forschung/~emv/Arbeitspapiere/>
- Peters, A., Sonnberger, M., Dütschke, E., Deuschle, J. (2012). Theoretical perspective on rebound effects from a social science point of view: Working Paper to prepare empirical psychological and sociological studies in the REBOUND project. Working Paper Sustainability and Innovation, S 2/2012, Fraunhofer ISI.

- de la Rue du Can, S., Leventis, G., Phadke, A. & Gopal, A., 2014. Design of Incentive Programs for Accelerating Penetration of Energy-Efficient Appliances. *Energy Policy*, pp. 56-66.
- de la Rue du Can, S., McNeil, M. & Leventis, G., 2015. Rebound Effects in the Context of Developing Country Efficiency Programs. Final Report., s.l.: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Santarius, T. (2014). Der Rebound-Effekt: Ein blinder Fleck der sozial-ökologischen Gesellschaftstransformation. [Rebound effects: Blind spots in the socio-ecological transition of industrial societies]. *GAIA*, 23(2), 109–117. doi:10.14512/gaia.23.2.8.
- Seebauer S. (2017). Individual Drivers for Direct and Indirect Rebound Effects: A Survey Study of Electric Vehicles and Building Insulation in Austria, FCN Working Paper No. 17/2017, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior, RWTH Aachen University, November; <http://www.fcn.eonerc.rwth-aachen.de/cms/E-ON-ERC-FCN/Forschung/~emvl/Arbeitspapiere/>
- Sorrell, Steve , and John Dimitropoulos. 2008. "The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions." *Ecological Economics* 65 (3): 636-649.
- Sorrell, S., 2007. The rebound effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency. U.K. Energy Research Center Report.
- Steg, L., Perlaviciute, G., van der Werff, E. (2015). Understanding the human dimensions of a sustainable energy transition. *Frontiers in Psychology*, . 6:805. doi:10.3389/fpsyg.2015.00805.
- Turner, Karen. „Negative rebound and disinvestment effects in response to an improvement in energy efficiency in the UK economy“. *Energy Economics* 31, Nr. 5 (September 2009): 648–66. doi:10.1016/j.eneco.2009.01.008.
- Thomas, Brinda A., und Inês L. Azevedo. „Estimating direct and indirect rebound effects for U.S. households with input–output analysis Part 1: Theoretical framework“. *Sustainable Urbanisation: A resilient future* 86, Nr. 0 (Februar 2013): 199–210. doi:10.1016/j.ecolecon.2012.12.003.
- Turner, K., 2013. "Rebound" effects from increased energy efficiency: a time to pause and reflect. *Energy J.* 34 (4), 25–42.
- Walker W.E., van Daalen C.E. (2013) System Models for Policy Analysis. In: Thissen W., Walker W. (eds) *Public Policy Analysis*. International Series in Operations Research & Management Science, vol 179. Springer, Boston, MA
- Wolf, A., Seebauer, S. (2014), Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 69, 196-211. doi:10.1016/j.tra.2014.08.007.