
REBOUND-EFFEKTE DURCH PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN ERKENNEN UND VERMEIDEN

Hintergrundwissen und Empfehlungen für Beratungskräfte



 EE-Rebound

REBOUND-EFFEKTE DURCH PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN ERKENNEN UND VERMEIDEN

Hintergrundwissen und Empfehlungen für Beratungskräfte

Hintergrund

Der Umstieg auf Erneuerbare Energien kann sich auf den Energieverbrauch von Verbraucherinnen und Verbrauchern auswirken und zu Mehrverbräuchen führen. In der Wissenschaft spricht man bei diesem Phänomen von Rebound-Effekten. Ziel dieser Broschüre ist es, einen Überblick über Rebound-Effekte im Bereich der Photovoltaik (PV) zu geben. Sie richtet sich an Energieberaterinnen und Energieberater aus Klimaschutzagenturen und Verbraucherzentralen sowie weitere Beratungskräfte aus dem Bereich der Erneuerbaren Energien.

Die hier zusammengefassten Forschungsergebnisse sind im Rahmen des Projekts „EE-Rebound“, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird, entstanden.

Projektpartner

Im Projekt arbeiten Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI, des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) und des Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN) zusammen.



Inhaltsverzeichnis

1 Warum ist der PV-Ausbau bei Eigenheimen so wichtig?

Seite 6-7

2 Wie werden PV-Anlagen verkauft und beworben und was sollte dabei beachtet werden?

Seite 8-9

3 Prosuming – Wie die Nutzung von PV-Anlagen den Stromverbrauch verändern kann

Seite 10-11

4 Die Einspeisevergütung und ihre Wirkung auf Rebound-Effekte

Seite 12-13

5 Wie groß sind Rebound-Effekte im Bereich der PV-Anlagen?

Seite 14-15

6 Wie können Rebound-Effekte bei Verbraucher:innen vermieden werden?

Seite 16-17

7 Verbreitete Mythen und ihre Aufklärung

Seite 18-19

Weiterführende Quellen

Seite 20-21

Impressum

Seite 23

1

Warum ist der PV-Ausbau bei Eigenheimen so wichtig?

Der PV-Ausbau. Deutschland muss im großen Maßstab auf Erneuerbare Energien umsteigen, um die mit der Europäischen Union und der Weltgemeinschaft vereinbarten Klimaschutzziele zu erreichen. Darüber hinaus hat auch das Bundesverfassungsgericht zur Verschärfung der Klimaschutzziele in Deutschland beigetragen und die aktuelle sowie kommende Bundesregierungen verpflichtet, intakte Lebensgrundlage für kommende Generationen sicherzustellen. Daraus resultiert zwingend ein stärkerer Ausbau der Erneuerbaren Energien. Um ihren Anteil im Stromnetz entsprechend der angepassten Klimaschutzziele zu erhöhen, muss bis 2030 der Beitrag kleiner PV-Anlagen von derzeit ca. 55GWp – je nach Berechnungs-Szenario – auf eine Leistung zwischen mindestens 140GWp und 180GWp steigen. Dabei spielt eine große Rolle, in welchem Umfang Windkraft an Land und Wasser sowie kommerzielle Solarparks ausgebaut werden. Trotzdem kommen verschiedene Gutachten (z. B. Fraunhofer ISE (2021), Agora Energiewende (2020), Institut der deutschen Wirtschaft (2021)) zum gleichen Schluss, dass es unabhängig von den genauen Ausbauzielen mindestens das 2,5-fache der bisherigen Leistung bedarf und kleinen PV-Anlagen auf Eigenheimen eine Schlüsselrolle bei diesem Ausbau zukommt. Um dies zu erreichen, sind nicht nur möglichst große PV-Anlagen auf den Dächern erforderlich, sondern auch eine Einspeisung des über den Eigenbedarf hinausgehenden Stroms in das Netz. Denn jede Kilowattstunde an eingespeistem erneuerbarem Strom wird für die Energiewende gebraucht.

Rebound-Effekte bei PV-Anlagen. Allerdings kann es beim Umstieg auf erneuerbare Energien zu sogenannten Rebound-Effekten kommen. Diese beschreiben den Effekt, wenn Energieeffizienz-Maßnahmen zu weniger Energieeinsparungen führen als erwartet. Der Umstieg auf Erneuerbare Energien ist zwar im engeren Sinn keine Energieeffizienz-Maßnahme, führt aber ebenfalls zur Reduktion des fossilen Energieverbrauchs und damit zu weniger Ressourcenverbrauch. Steigt nach dem Umstieg auf Erneuerbare in den Haushalten der

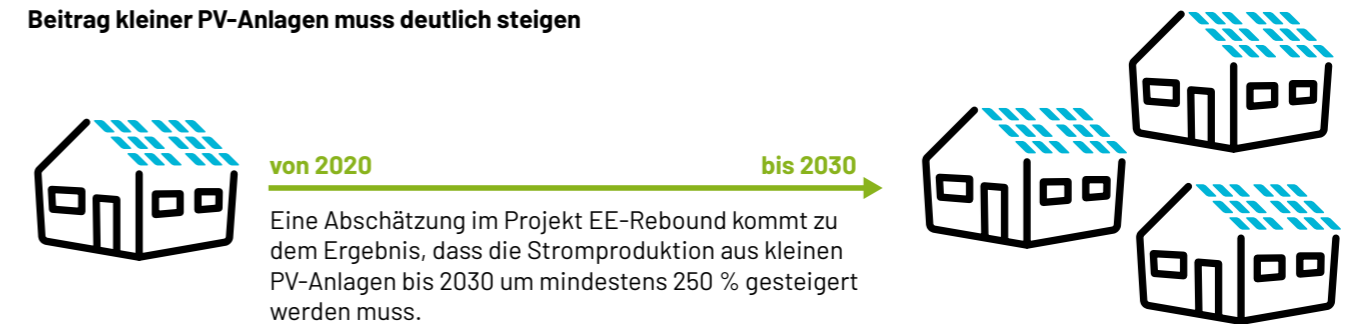
Energieverbrauch, werden im ungünstigen Fall die positiven Umwelteffekte des Umstiegs abgeschwächt. Konkret bedeutet dies, dass die Installation einer PV-Anlage zu Mehrverbräuchen in einem Haushalt führt und diese Strommenge nicht in das Stromnetz eingespeist werden kann, wo sie Graustrom verdrängt. Darüber hinaus kann es vorkommen, dass zusätzlicher Graustrom aus dem Netz benötigt wird, wenn der Mehrverbrauch zu einem gewissen Zeitpunkt nicht durch den selbst produzierten Solarstrom gedeckt werden kann. Wie und warum es zu diesen Mehrverbräuchen kommen kann, erklären wir in den Kapiteln 3 und 4.

Direkte und indirekte Rebound-Effekte. Auch bei Energieeffizienz-Maßnahmen wie etwa dem Wechsel auf LED oder bei der Anschaffung effizienterer Haushaltsgeräte kann es zu Rebound-Effekten kommen. Für jede Maßnahme lassen sich entsprechende Einsparpotenziale unter der Annahme, dass sich das Verhalten der Verbraucher:innen nicht ändert, berechnen. Studien zeigen jedoch, dass häufig trotz Effizienzverbesserungen der Stromverbrauch nicht in dem erwarteten Maße sinkt, da die Haushalte ihr Verhalten anpassen – es kommt zu Rebound-Effekten, da etwa Lampen länger brennen oder größere Haushaltsgeräte als vorher (z. B. größere Fernseher oder Bildschirme) angeschafft werden. Eventuell entsteht der Mehrverbrauch aber auch einfach dadurch, dass bisher nicht realisierte Bedürfnisse (mehr Wärme, Licht etc.) erst nach einer Modernisierung gedeckt werden und es zu einer Mehrnutzung kommt. Fallen die Mehrverbräuche im gleichen Bereich an, sprechen wir von direkten Rebound-Effekten; die Ersparnis führt im selben Bereich zu Mehrverbräuchen. Als indirekte Rebound-Effekte bezeichnet man, wenn zusätzlich erwirtschaftetes Geld (durch Einspeisevergütungen) oder eingespartes Geld (durch günstigen Eigenverbrauch) in anderen Bereichen wie etwa für Flugreisen oder Autokauf ausgegeben wird und dort zu negativen Umwelteffekten führt. Rebound-Effekte können sich daher sowohl auf direkter als auch auf indirekter Ebene abspielen.

Warum ist der PV-Ausbau bei Eigenheimen so wichtig?

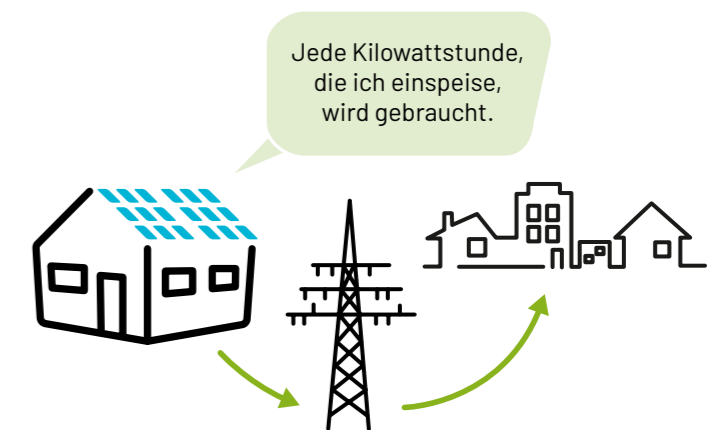
Fossile Energieträger wie Kohle und Gas müssen immer stärker durch grünen Strom ersetzt werden. Eine wichtige Rolle spielen dabei private Solaranlagen auf Dächern.

Beitrag kleiner PV-Anlagen muss deutlich steigen



So kurbeln Eigenheime die Energiewende an:

- ✓ Dachfläche großzügig ausnutzen
- ✓ nicht nur Eigenverbrauch, sondern auch einspeisen
- ✓ sparsamer Stromverbrauch trotz PV-Anlage



Zusammenfassung:

- Der PV-Ausbau in Deutschland muss in den kommenden Jahren drastisch an Fahrt aufnehmen, um die Klimaziele zu erreichen, zu denen sich Deutschland gegenüber der Europäischen Union und dem Bundesverfassungsgericht verpflichtet hat.
- Bei der Nutzung von PV-Anlagen auf Dächern von Privathaushalten kann es zu Mehrverbräuchen durch die Haushalte (sog. Rebound-Effekte) kommen.
- Rebound-Effekte im Bereich der Erneuerbaren Energien kommen nicht nur bei PV-Anlagen vor, sondern auch in anderen Bereichen.

2

Wie werden PV-Anlagen verkauft und beworben und was sollte dabei beachtet werden?

Der Anteil der Haushalte in Deutschland, die Strom durch die Installation von PV-Anlagen produzieren, steigt beständig und trägt damit zum Erreichen der Klimaziele bei. Wichtig ist dabei (im Sinne der Nachhaltigkeitsstrategie), dass der Anteil Erneuerbarer Energien steigt (Konsistenz) und gleichzeitig sowohl die Qualität der Verbrauchsgeräte erhöht (Effizienz) als auch verstärkt Energie sparsam genutzt wird (Suffizienz). Die Forschung zeigt, dass beim Umstieg auf eine Energieerzeugung mit PV-Anlagen Rebound-Effekte entstehen können, die zu einem Mehrverbrauch führen. Dieser entsteht durch Veränderungen im Verbrauchsverhalten von Privathaushalten etwa, weil stärker geheizt oder häufiger Wäsche gewaschen wird und zusätzliche Stromverbraucher installiert werden.

Die Informationen, die Verbraucher:innen beim Kauf einer PV-Anlage erhalten, sind für die Entwicklung des Stromverbrauchs nach der Installation entscheidend. Daher wurde in einer Studie die Kommunikation auf den Webseiten von 109 Solarteurbetrieben und vertiefend die Vorgehensweise von fünf Energieberater:innen untersucht. Das Ergebnis zeigt, dass die getätigten Aussagen bei einer Photovoltaik-Beratung Rebound-Effekte fördern aber auch minimieren können.



„Eine PV-Anlage spart Ihnen Geld ein.“

Beim Verkauf als auch in der Beratung zu PV-Anlagen wird häufig der Fokus auf die finanziellen Vorteile durch den Kauf der Anlage gelegt. Das ist nicht verwunderlich, denn das Hauptaugenmerk vieler Interessenten liegt in der Rentabilität der Anlage. Gleichwohl kann der Fokus auf finanzielle Aspekte dazu führen, dass Verbraucher:innen bei einer gerin-

gen Einspeisevergütung meinen, selbst möglichst viel Strom verbrauchen zu müssen. So wird etwa die Zimmertemperatur beim Heizen mit Wärmepumpe oder die Beleuchtungsintensität erhöht. Die starke Betonung monetärer Aspekte macht es außerdem wahrscheinlicher, dass die finanzielle Ersparnis in neue Stromverbraucher wie zusätzliche Trockner oder größere Fernseher und Kühlschränke reinvestiert wird.



„Nutzen Sie so viel selbst produzierte Sonnenenergie wie möglich.“

Der Hinweis ist ökonomisch gesehen richtig, führt in der Praxis aber häufig dazu, dass in sonnigen Stunden mehr Strom verbraucht und nicht die gesamte Dachfläche für die PV-Anlage genutzt wird. Befunde aus Interviews mit PV-Besitzer:innen zeigen, dass viele Nutzer:innen keinen genauen Überblick darüber haben, wie viel Energie die eigene Anlage momentan produziert und ab wann zusätzlicher Strom aus dem Netz bezogen werden muss. Der Hinweis auf die Maximierung des Selbstverbrauchsanteils kann so in der Praxis zu höheren Verbräuchen und stärkerem externen Strombezug führen. Insbesondere bei dem zu erwartenden Mehrverbrauch an Strom durch E-Autos, Wärmepumpen und Wasserstoffproduktion macht es für PV-Besitzer:innen schon jetzt Sinn, Strom zu sparen und mit dem Mehrertrag durch die PV-Anlage spätere Mehrverbräuche aufzufangen.



„Die Sonnenenergie ist unerschöpflich.“

Ein weiteres häufig verwendetes Argument ist der Hinweis auf die Unerschöpflichkeit der Sonnenenergie. Während die Aussage physikalisch zwar richtig ist, vermittelt sie doch bei Endverbraucher:innen den Eindruck, Strom sei keine kostbare und sparsam zu verwendende Ressource mehr, da der Stromverbrauch nun die Umwelt nicht mehr belastet. Dies ist allerdings für das Netz in Gesamtdeutschland falsch. Denn Haushalte mit PV-Anlagen müssen Haushalte in Mehrfamilienhäusern und Wohnungen ohne PV-Anlage mitversorgen, um eine nachhaltige Energiewende einzuleiten. Jede nicht eingespeiste kWh muss daher von einem anderen Energieträger bzw. Kraftwerk ausgeglichen werden. Hierzu kann es notwendig sein, fossile Kraftwerke länger betreiben zu müssen oder die Erneuerbaren Energien noch stärker auszubauen als bisher geplant.



„Mit einer PV-Anlage schützen Sie die Umwelt und das Klima.“

Es gibt aber auch Botschaften bei Beratungsgesprächen, die Mehrverbräuchen entgegenwirken. Dazu gehört beispielsweise, dass Verbraucher:innen mit einer PV-Anlage zum Klimaschutz und damit zum Wohl anderer beitragen. Die Forschung zeigt, dass Zuschreibungen des Verhaltens zum Umweltschutz dazu führen können, dass weitere umweltfreundliche Verhaltensweisen gezeigt werden (vergleiche Kapitel 5). Die PV-Anlage ist damit ein (erster) Schritt, auf den weitere folgen. Darüber hinaus sind konkrete Tipps sowie die Empfehlung zu einem bedachten Energiekonsum und stromsparendem Verhalten förderlich.

Zusammenfassung:

In einer Untersuchung im Rahmen des Projekts EE-Rebound wurde die Kommunikation von Solarteurbetrieben und Energieberater:innen untersucht. Die Art und Weise, wie die Vorzüge einer PV-Anlage dargestellt werden, kann zu Mehr- oder Minderverbräuchen führen. Das Kapitel zeigt auf, was zu beachten ist.

- Fokus sollte nicht allein auf finanzielle Aspekte bei PV-Anlagen gelegt werden.
- Verweis auf Unerschöpflichkeit der Sonnenenergie fördert den Mehrverbrauch.
- Hinweise auf Beitrag zu Klimaschutzziele durch selbsterzeugten PV-Anlagen-Strom und Tipps zum Stromsparen helfen, Mehrverbräuche zu reduzieren.

3

Prosuming – Wie die Nutzung von PV-Anlagen den Stromverbrauch verändern kann

Grundsätzlich lassen sich zwei Mechanismen unterscheiden, die zu Rebound-Effekten bei Erneuerbaren Energien führen können: Sie sind entweder ökonomischer oder psychologischer Natur. Darüber hinaus gibt es bestimmte technischer regulatorische Rahmenbedingungen, die Rebound-Effekte begünstigen und ökonomische oder psychologische Elemente beinhalten:

Ökonomische Effekte: Wird der PV-Strom in das Netz eingespeist, erhalten Haushalte dafür eine Vergütung. Diese Vergütung führt zu einer Einkommenssteigerung der Haushalte (denn die einmaligen Investitionsausgaben zu Beginn geraten mitunter aus dem Blickfeld). Das zusätzliche Geld wird häufig in neue Geräte oder in einen Mehrbetrieb der vorhandenen Elektrogeräte investiert. Dies führt zu einer zusätzlichen Nachfrage nach Netzstrom – ein klassischer Fall von Rebound durch den „Einkommenseffekt“. Wird der PV-Strom hingegen von den Haushalten selbst verbraucht, sind sie oft versucht, ihren Stromverbrauch zu erhöhen, weil der selbst erzeugte Strom im Vergleich zum Netzstrom günstiger ist. Als Folge des billig selbst erzeugten Stroms werden häufig energieintensivere Geräte angeschafft (z. B. größere Kühlschränke und Fernseher), weil diese nun günstig und mit Ökostrom betrieben werden können. Ein klassischer Fall von Rebound durch den „Preiseffekt“.

Psychologische Effekte: Gleichzeitig sind Haushalte, die PV-Anlagen installieren, möglicherweise umweltbewusster als andere. Dies könnte dazu beitragen, Rebound-Effekte abzuschwächen. Alternativ könnten Rebound-Effekte zunehmen, wenn ein Haushalt das Gefühl hat, mit der Installation von PV-Anlagen seine Pflicht gegenüber der Umwelt erfüllt zu haben und daher berechtigt ist, mehr Strom zu verbrauchen – die so genannte „moralische Lizenzierung“.

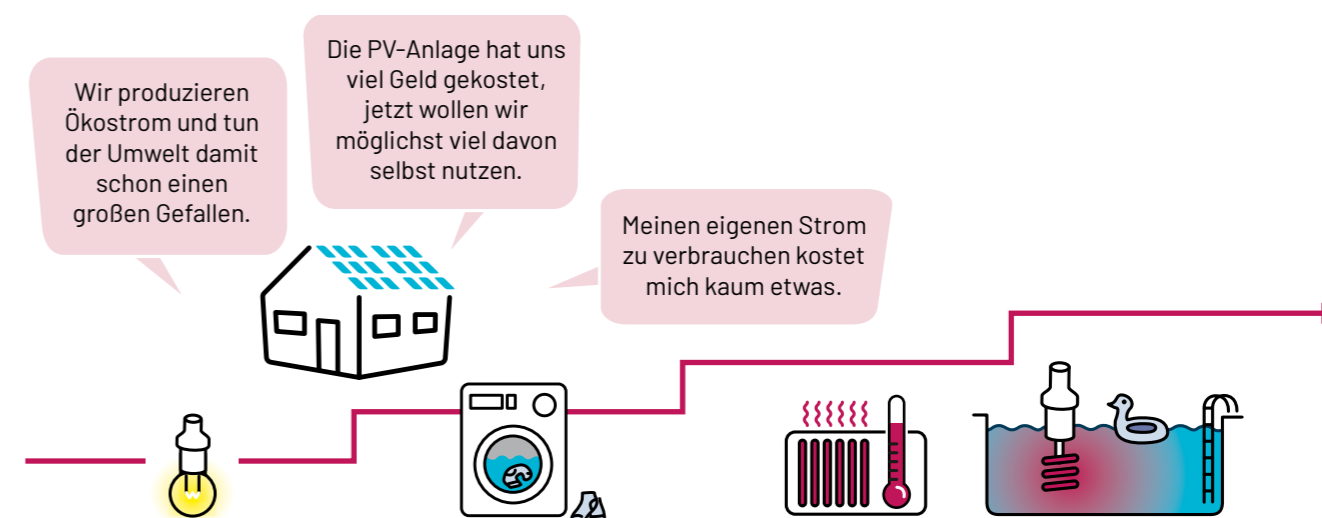
Technische und regulatorische Effekte: Privathaushalte sind häufig irritiert, wenn ihre Einspeisung bei besonders hoher Sonneneinstrahlung temporär begrenzt wird, um Netzüberlastungen zu vermeiden. Die Begrenzung auf 70 % der

möglichen Leistung bei kleinen Anlagen kann zu Anpassungsreaktionen in der Form eines erhöhten Eigenverbrauchs führen, um der gefühlten Verschwendung des selbst produzierten Stroms zu entgehen. Haushalte versuchen dann Strom, der nicht eingespeist werden darf, selbst zu verbrauchen und beziehen dabei zusätzlichen externen Strom aus dem Netz. Auch wenn die Einspeise-Abregelung in der Realität kaum eine Rolle spielt (siehe Grafik Kapitel 4), so kann diese gesetzliche Vorgabe doch zu unerwünschten Verhaltensweisen führen. Darüber hinaus können auch andere derzeitige Regelungen wie hoher Verwaltungsaufwand, Mieterstrom in Mehrfamilienhäusern, Betriebsauflagen etc. das Energiemanagement für Prosumer verkomplizieren.

Neben gesetzlichen Regelungen können aber auch technische Hindernisse beim Energiemanagement Rebound-Effekte befördern. So erschweren schlecht zugängliche Mess- und Steuersysteme im Haus die bewusste Kontrolle des Stromverbrauchs im Alltag. Wird der tägliche Stromverbrauch schlecht kontrolliert, kann er auch schlecht auf die selbst produzierte Strommenge angepasst werden. Dadurch kann es zu positiven Rebound-Effekten, also sogar zum zusätzlichen Bezug von Netzstrom kommen, wenn die Menge des konsumierten Stroms falsch eingeschätzt wird (mehr hierzu in Kapitel 7). Darüber hinaus erschwert die fluktuierende Sonneneinstrahlung sinnvolle Verhaltensroutinen bezüglich des eigenen Stromverbrauchs. Die Energieerzeugung aus der Sonne variiert mit schwankender Einstrahlung sowohl lang- als auch kurzfristig aufgrund sich ändernder Witterung. Somit sind generelle Routinen hinsichtlich des optimalen Verbrauchs des selbst erzeugten Stroms nur schwer zu erzielen. So macht es beispielsweise nicht immer Sinn, auf die stärkste Sonneneinstrahlung zu warten, bis die Waschmaschine gestartet wird oder Stromverbraucher im Haushalt angeschaltet zu lassen, solange die Sonne scheint. Zur Lösung des Problems können Batteriespeicher für Haushalte beitragen, da sie die zeitliche Abstimmung zwischen Stromerzeugung und Stromverbrauch drastisch entschärfen – und damit auch die Maximierung des Eigenbedarfsanteils erleichtern.

Warum verbrauchen Haushalte mit PV-Anlage überdurchschnittlich viel Strom?

Haushalte, die in den letzten Jahren eine Solaranlage installiert haben, verbrauchen im Schnitt fast 20 % mehr Strom als vergleichbare Haushalte ohne PV-Anlage. Für den Mehrverbrauch gibt es ökonomische und psychologische Gründe:



Preis-Effekte und gutes Gewissen können zu einem sorgloseren Umgang mit Strom führen (Rebound-Effekt): Dann läuft z. B. die Waschmaschine öfter halb voll, die Fußbodenheizung wird höher aufgedreht oder neue Geräte werden angeschafft.

Zusammenfassung:

Verschiedene Effekte führen dazu, dass es bei PV-Besitzer:innen zu Mehrverbräuchen kommen kann. Diese sind im Folgenden beschrieben.

- **Ökonomische Effekte:** Geld, welches durch Einspeisung zusätzlich eingenommen, oder durch billigeren Strom aus Eigenerzeugung gespart wird, reizt zu Mehrverbräuchen an.
- **Psychologische Effekte:** Haushalte sehen ihren persönlichen Beitrag zum Klimaschutz mit der Installation einer PV-Anlage als abgeleistet an. Die Folge: Höherer Stromverbrauch und geringere Motivation Strom zu sparen oder sich generell umweltbewusst zu verhalten.
- **Technische und regulatorische Effekte:** Technische Hindernisse und politisch-regulatorische Barrieren sind zusätzliche Hürden zum Stromsparen. Einsparpotenziale lassen sich nicht voll realisieren.

4

Die Einspeisevergütung und ihre Wirkung auf Rebound-Effekte

Der Wendepunkt beim Eigenverbrauch: Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) garantiert Haushalten eine Vergütung für jede eingespeiste Kilowattstunde Solarstrom. Die regulatorische Gestaltung des EEGs sorgt zudem dafür, dass die Einspeisevergütung mit fortschreitendem Ausbau sinkt. Die Einspeisevergütung für Solarstrom fiel bis heute von über 50 Cent/kWh im Jahr 2006 auf durchschnittlich etwa 7,30 Cent/kWh. Gleichzeitig sind die Nettokosten für die Installation von PV-Anlagen deutlich gesunken, während die Netzstrompreise weiter steigen. Für die Haushalte ist es daher rentabler geworden, so viel wie möglich von ihrem erzeugtem Solarstrom selbst zu verbrauchen. 2011 wurde dieser Wendepunkt erreicht, als die Mehrzahl der installierten PV-Anlagen für den Eigenverbrauch ausgelegt wurde, begleitet von einem starken Anstieg der installierten Batteriespeichersysteme in den vergangenen Jahren.

Die Auswirkung auf direkte Rebound-Effekte: Es gibt Hinweise darauf, dass dieser Wendepunkt Einfluss auf die Höhe von Rebound-Effekten durch Erneuerbare hatte. In zwei großen Studien mit PV-Besitzer:innen wurden bei ab 2012 installierten PV-Anlagen ein deutlich größerer Rebound-Effekt festgestellt als bei älteren Anlagen bis Ende 2011 (bis zu fünfmal größer). Der Grund dafür scheint zu sein, dass Preiseffekte (ab 2012) stärker als Einkommenseffekte (bis 2011) auf den Stromverbrauch wirken. Einkommenseffekte treten auf, wenn PV-Strom in das Netz eingespeist wird und Haushalte dafür eine Vergütung erhalten. Diese Vergütung bedingt eine Einkommenssteigerung bei den Haushalten, die für einen gesteigerten Betrieb von stromverbrauchenden Geräten verwendet werden kann. Dies führt zu einer zusätzlichen

Nachfrage nach Netzstrom. Ist der PV-Strom aufgrund der geringen Einspeisevergütung im Vergleich zum Netzbezug hingegen besonders günstig, erhöht sich häufig der gesamte Stromverbrauch eines Haushalts, weil Strom nun subjektiv sehr günstig zu konsumieren ist – ein Fall von Rebound durch „Preiseffekte“. Bis 2011 traten aufgrund der Auslegung der PV-Anlagen auf die Einspeisung hauptsächlich Einkommenseffekte auf, während ab 2012 vorrangig Preiseffekte im Zuge des Eigenverbrauchs zu beobachten sind. Diese Preiseffekte wirken sehr stark, da Verbrauchspreise (Eigenverbrauch vs. Netzbezug) verglichen werden und der Stromverbrauch entsprechend angepasst wird. Häufig ist hier zu beobachten, dass Haushalte ohne exakte Berücksichtigung der Investitionskosten für die PV-Anlage ein gewisses Monatsbudget für ihre Stromrechnung im Kopf haben (die durchschnittliche Stromrechnung). Sinken nun die Kosten pro kWh durch den selbst produzierten Strom deutlich, sind die Verbrauchskosten unterhalb des gewohnten Budgets.

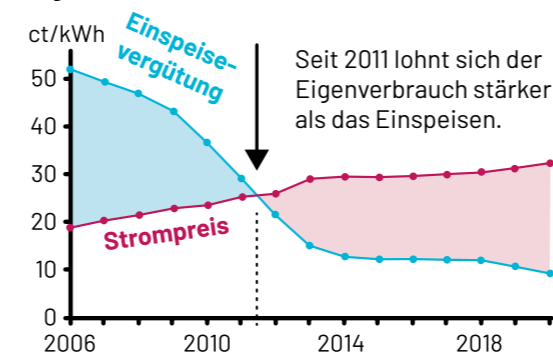
Ein möglicher Grund für geringere Rebound-Effekte durch Einkommenseffekte ist ihre allgemeinere Natur. Ein gesteigertes Einkommen muss sich nicht zwangsläufig in einem gesteigerten Stromverbrauch niederschlagen, sondern kann auch in einer Mehrnachfrage nach anderen Produkten resultieren. Preiseffekte haben hingegen einen direkten Einfluss auf den Stromverbrauch, weil hier Verbrauchspreise verglichen und der Stromverbrauch entsprechend direkt angepasst wird.

Verstärkt das EEG Rebound-Effekte?

Das seit 2000 geltende Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) war entscheidend für den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Allerdings kann das EEG in seiner jetzigen Form einen steigenden Stromverbrauch (Rebound-Effekt) bei Haushalten mit Solaranlage begünstigen.

1. Stetig sinkende Einspeisungsvergütung

Eigenverbrauch wird immer attraktiver:



2. Angst vor hohen Verlusten durch Abregelung

Um das Stromnetz vor Überlastungen zu schützen, ist die Einspeisung der meisten kleineren PV-Anlagen auf 70 % der vollen Wirkleistung beschränkt. Das tritt viel seltener ein, als viele Haushalte denken:



30 % meines Solarstroms werden mir weggenommen, wenn ich zu viel einspeise! Darum nutze ich möglichst viel davon selbst.

Wenn ich kaum Geld für meinen Solarstrom bekomme, verbrauche ich ihn lieber selbst.

FEHLEINSCHÄTZUNG: Nur rund 1 % des Energieertrags sind tatsächlich betroffen.

Die Anreize zum Eigenverbrauch führen bei einigen Haushalten zu einem Mehrverbrauch. Zukünftig sollte ein sparsamer Energieverbrauch in der Anreizpolitik eine stärkere Rolle spielen.

Zusammenfassung:

Die politisch-regulatorischen Rahmenbedingungen können Rebound-Effekte mindern oder sie zusätzlich befeuern. Zwei wissenschaftliche Studien zeigen: die geringe Einspeisevergütung und der damit verbundene Anreiz zum Eigenverbrauch können Rebound-Effekte bei Prosumer-Haushalten verstärken. Denn die größere Differenz zwischen Einspeisevergütung und Strompreis begünstigt als Preiseffekt das Verbrauchsverhalten unter PV-Besitzer:innen.

5

Wie groß sind Rebound-Effekte im Bereich der PV-Anlagen?

Die genaue Höhe von Rebound-Effekten zu bestimmen ist sehr schwer, da sie einerseits von vielen Rahmenbedingungen abhängt und sie andererseits nicht nur direkt, sondern auch indirekt wirken können. Indirekte Rebound-Effekte entstehen, wenn zusätzlich erwirtschaftetes Geld (durch Einspeisevergütungen) oder eingespartes Geld (durch günstigen Eigenverbrauch) in anderen Bereichen wie etwa für Flugreisen oder Autokauf ausgegeben wird und dort zu negativen Umwelteffekten führt. Aber auch wenn man derartige indirekte Rebound-Effekte außer Acht lässt, ist die Größe der direkten Rebound-Effekte zwischen einzelnen Haushalten sehr heterogen und auch stark von jeweiligen Rahmenbedingungen abhängig.

Rahmenbedingungen: In einer Längsschnittstudie des Projekts EE-Rebound zeigte sich, dass der Rebound-Effekt im ersten Jahr nach der Installation nur bei 4 % lag, in den 4 Jahren danach aber auf 10 % bis 13 % anstieg. Die Höhe des relativen Mehrverbrauchs (Rebound-Effekts) ist somit über die Zeit hinweg nicht konstant, sondern nimmt im Zeitverlauf zu. Zudem zeigen die Daten, dass die Rebound-Effekte in den Haushalten mit höheren Einspeisevergütungen (Installationen bis 2011) geringere Rebound-Effekte aufwiesen als Haushalte mit geringerer Einspeisevergütung (Installationen ab 2012; vergleiche Kapitel 4). In der Längsschnittstudie fanden sich hier für Haushalte, die ihre PV-Anlage 2012 oder später installiert hatten, im ersten Jahr ein Rebound-Effekt von 6 % und in den folgenden vier Jahren Rebound-Effekte zwischen 24 % und 42 %. Neben dem zeitlichen Faktor spielen damit die gesetzlichen Rahmenbedingungen und insbesondere die geringere Einspeisevergütung eine Rolle für die Höhe des Rebound-Effekts.

Sektorkopplungseffekte: Strommehrverbräuche durch Sektorkopplungen wie E-Autos oder Wärmepumpen sind erwünscht, da sie zur Dekarbonisierung beitragen, sie werden also nicht als Rebound-Effekte gezählt. Daher wurden in einer großangelegten Querschnittstudie des Projekts EE-Rebound verschiedene Sektorkopplungseffekte (Besitz von

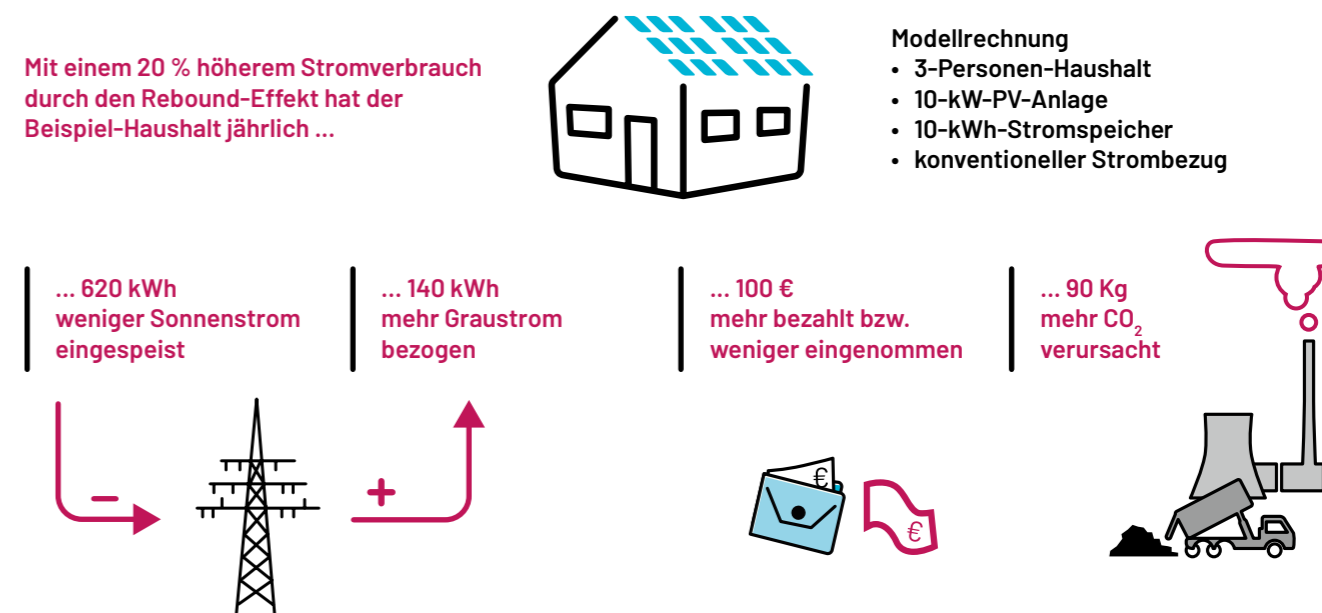
Wärmepumpen und E-Autos) und andere Faktoren, die den Stromverbrauch eines Haushalts beeinflussen (wie etwa Größe des Haushalts, Wohnfläche, verwendete Elektrogeräte im Haushalt etc.), kontrolliert. Trotzdem zeigte die Studie über alle Jahre hinweg einen durchschnittlichen Rebound-Effekt von 6,5 % an. Daraus folgt, dass der Mehrverbrauch der PV-Besitzer:innen (Prosumer) nicht allein durch mehr elektrische Geräte oder mehr Großverbraucher wie E-Autos, Pools und Wärmepumpen zu erklären ist.

Größe des durchschnittlichen Effekts: Trotz aller Variabilität des Effekts macht es Sinn, die Folgen des Rebound-Effekts in einem durchschnittlichen Haushalt mit PV-Anlage bei den derzeitigen Rahmenbedingungen aufzuzeigen. Hierzu wurden Merkmale von Prosumer-Haushalten ab 2012, die den Stromverbrauch beeinflussen können, betrachtet. Aus dem Vergleich zwischen Haushalten mit und ohne PV-Anlage (bei gleicher Wohnungsgröße, Wohnfläche, elektrischer Ausstattung wie E-Autos, Wärmepumpen etc.) wurde ein Mehrverbrauch der Prosumer-Haushalte von 18,4 % nachgewiesen. Natürlich sind im Durchschnittswert sowohl Haushalte ohne als auch mit deutlich höheren Rebound-Effekten enthalten.

Allerdings ist es möglich, dass sich die Nutzungsintensitäten von E-Autos oder Wärmepumpen zwischen Prosumern und Haushalten ohne PV-Anlage systematisch unterscheiden – der Effekt wurde nicht untersucht. So ist es denkbar, dass Besitzer:innen von PV-Anlagen ihre E-Autos gerade wegen der Möglichkeit des günstigen Aufladens stärker nutzen oder gar mehrere E-Autos anschaffen. Daher sollten die in der Untersuchung gefundenen knapp 20 % eher als oberer Durchschnittswert für Rebound-Effekte bei Haushalten mit eigener PV-Anlage angesehen werden. Der Durchschnittswert beinhaltet vermutlich weitere wünschenswerte klimafreundliche Effekte und überschätzt den tatsächlichen Rebound-Effekt leicht. Die Forschung steht hier noch am Anfang und kann an dieser Stelle nur erste Befunde vorweisen. Die Folgen eines 20%igen Rebound-Effekts bei einer durchschnittlichen Model-Anlage sind in der Grafik dargestellt.

Welche Folgen hat der höhere Stromverbrauch von Haushalten mit PV-Anlage?

Wenn ein Haushalt nach der Installation einer Solaranlage mehr Strom verbraucht als zuvor, ist das ein Rebound-Effekt: Der energetische Nutzen fällt geringer aus als geplant – mit ökologischen und ökonomischen Folgen.



Doch nicht immer ist der Mehrverbrauch negativ zu bewerten: Ein Teil kann auch auf positive Effekte zurückgehen, etwa den Umstieg auf E-Mobilität oder auf Wärmepumpen.

Zusammenfassung:

Die genaue Höhe von Rebound-Effekten, die im Rahmen der Installation von PV-Anlagen entsteht, schwankt stark und ist von vielen verschiedenen Faktoren abhängig:

- starke Heterogenität des Rebound-Effekts zwischen einzelnen Haushalten.
- unterschiedliche Höhe der Rebound-Effekte zwischen 1. und 5. Jahr nach der Installation.
- starker Einfluss der regulatorischen und marktbedingten Rahmenbedingungen (z. B. Strompreis und Einspeisevergütung).
- durchschnittlicher Effekt bei derzeitiger Einspeisevergütung bei ca. 20 %.

6

Wie können Rebound-Effekte bei Verbraucher:innen vermieden werden?

Problembewusstsein schaffen: Der Hinweis auf die dargelegten Rebound-Effekte bei der Installation von PV-Anlagen kann bei Verbraucher:innen ein Problembewusstsein schaffen und zu einem genaueren Monitoring des eigenen Stromverbrauchs nach der Installation der Anlage führen. Möglicherweise entfachen einige Verbraucher:innen sogar einen gewissen Ehrgeiz, den eigenen Stromverbrauch zumindest konstant zu halten. Darüber hinaus hilft es Haushalten enorm, den eigenen Stromverbrauch unter Berücksichtigung bestimmter Großverbraucher im Vergleich zu anderen Haushalten einordnen und damit abzuschätzen zu können, was „normal“ ist. Gleichwohl ist zu erwarten, dass einige Haushalte mit Verweis auf den billigen Strom aus der eigenen Anlage einen höheren Stromverbrauch auch bewusst in Kauf nehmen werden.

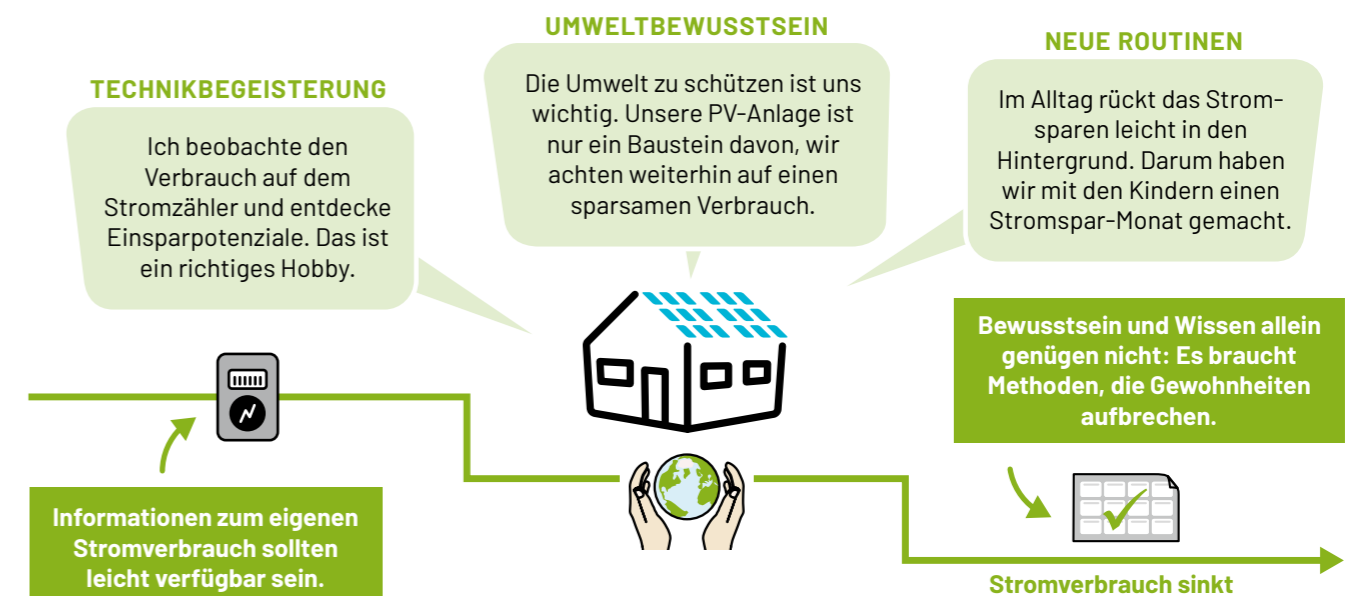
Verweis auf gesellschaftlichen Umweltnutzen: Der Verweis auf den gesellschaftlichen Umweltnutzen durch die Einspeisung von Ökostrom kann zu einem Umdenken bei umweltmotivierten Haushalten führen, da nicht alle Verbraucher:innen beim Gedanken an die Erzeugung Erneuerbarer Energien auch direkt das gesamte Stromnetz und die Energiewende im Blick haben. Entscheidend ist hierbei auch der Hinweis, dass Einfamilienhäuser für die Energiewende mehr einspeisen müssten als sie verbrauchen, da Haushalte in Mehrfamilienhäusern häufig zu wenig Dachfläche besitzen. Die Forschung zeigt, dass auch wenn Klimaschutz und Energiewende nicht die Hauptmotivation zur Anschaffung einer PV-Anlage ist, dieser doch bei sehr vielen Haushalten eine Rolle spielt.

Stromverbrauch monitoren: Unsere Untersuchungen zeigen, dass ein starkes Umweltbewusstsein alleine nicht ausreicht, um Rebound-Effekte zu vermeiden. Dies liegt daran, dass nur diejenigen Haushalte, die zu ihren Verbräuchen regelmäßiges Feedback bekommen, eine klare Vorstellung von ihren tatsächlichen Verbrauchsmustern entwickeln können. Neben dem manuellen Ablesen können Apps (z. B. EnergieCheck co2online) hier sehr hilfreich sein, da sie die Verbrauchsentwicklung grafisch darstellen und die Kontrolle sich einfach gestaltet. App-unterstütztes Strommonitoring hilft auch, Verbrauchsziele zu entwickeln, unnötige Verbräuche zu identifizieren und Verbrauchsroutinen zu ändern. Prosumer-Haushalten mangelt es häufig weniger an der Technologie, als vielmehr daran, dass sie nicht in entsprechende Apps eingeführt werden und diese dann auch nicht nutzen.

Aufklären von Mythen: Es kann zudem helfen, über falsche Vorstellungen und Mythen in Bezug auf PV-Anlagen aufzuklären. Unsere Forschung aus Interviews und Befragungen zeigt, dass falsche Vorstellungen in diesem komplexen technischen Feld weit verbreitet sind. Diesen häufig vorkommenden falschen Vorstellungen direkt zu begegnen hilft dann, Mehrverbräuche einzudämmen. In Kapitel 7 haben wir die häufigsten Mythen aufgelistet.

Wie lassen sich Rebound-Effekte vermeiden?

Nicht alle Haushalte mit Solaranlage haben einen steigenden Stromverbrauch. Manche nutzen Strom weiterhin sparsam und spiesen viel ins Netz ein. Was motiviert diese Haushalte?



Ergänzend zu Stromsparbemühungen kann auch die Größe der Anlage entscheidend sein, um den Rebound-Effekt abzufedern: Eine gezielte Förderpolitik für größere Anlagen könnte helfen, die PV-Einspeisung trotz Mehrverbrauch zu erhöhen.

Zusammenfassung:

Multiplikatoren aus Klimaschutzagenturen und Verbraucherzentralen können positiv auf Rebound-Effekte im PV-Bereich einwirken und diese dadurch verringern oder verhindern. Im Folgenden werden einige Möglichkeiten aufgezeigt:

- Information zu erwartbaren Mehrverbräuchen z. B. durch Zusatzverbraucher helfen, Problembewusstsein zu schaffen und den eigenen Haushaltsstromverbrauch besser einzuordnen.
- Förderung vorliegender Motivationen beim Umweltbewusstsein sind hilfreich.
- Anregung bzgl. des Monitorings des eigenen Stromverbrauch hilft, Verbräuche zu kontrollieren und Verbrauchsroutinen zu ändern.
- Aufklärung über Mythen zu PV-Anlagen hilft Mehrverbräuche einzudämmen.

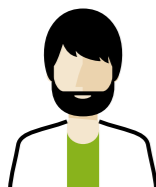
7

Verbreitete Mythen und ihre Aufklärung



„Wenn die Sonne voll auf unser Dach knallt, schalte ich die Waschmaschine auch mal halbvoll an, denn den Strom von meiner Anlage will ich nicht verkommen lassen.“

Verbraucher:innen unterschätzen häufig die kurzen Spitzenlasten ihrer Geräte. Während eine Photovoltaikanlage relativ beständigen Strom einspeist, beziehen Waschmaschine und Spülmaschine in ihren Aufheizphasen kurzzeitig viel Strom. Je nach Größe der Anlage kann es dann sein, dass die PV-Anlage (ohne Batteriespeicher) nicht genügend Strom liefert um diese Spitzenbedarfe zu decken. Das zusätzliche Laufenlassen der Waschmaschine kann daher vor allem bei Haushalten ohne Batteriespeicher zu ungewolltem Strombezug und zusätzlichen Kosten führen um den Strombedarf dafür zu decken.



„Strom von meiner PV-Anlage einspeisen rentiert sich finanziell nicht. Wir laden deswegen immer unser Elektroauto auf und fahren im Sommer häufiger mit dem Auto.“

Finanziell gesehen macht das Laden eines E-Autos oder die Nutzung des Stroms für eine Wärmepumpe in jedem Fall Sinn, denn Sie sparen sich dadurch die immer weiter steigenden Kosten für Kraftstoff, Öl oder Gas ein. Stromsparen gehört aber auch mit einer PV-Anlage nicht der Vergangenheit an. Denn jede eingesparte Kilowattstunde in Ihrem Haushalt bedeutet mehr Einspeisevergütung und damit bares Geld für Sie. Außerdem treiben Sie die Energiewende voran, denn jede Kilowattstunde Strom, die Sie mit Ihrer PV-Anlage einspeisen, verdrängt aufgrund der gesetzlichen Vorgaben Strom aus Kohle- und Erdgas aus dem Netz. Durch die Einspeisung Ihres Stroms tragen Sie somit zusätzlich zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Energiesektor bei.



„Wir haben die Größe der Anlage so geplant, dass möglichst viel Strom selbst verbraucht wird. Deshalb ist jetzt bei uns nur das halbe Dach mit PV-Paneelen bedeckt.“

Seit 2021 muss die EEG-Umlage beim Eigenverbrauch nicht ab 10 kWp, sondern erst ab 30 kWp abgeführt werden. Es macht daher auch wirtschaftlich meist keinen Sinn mehr, nur 9,9 kWp aufzubauen. Mit einer großen PV-Anlage können Sie somit auch die Spitzenlasten in ihrem Haus mit eigener Energie abdecken und sind bei einem größeren Stromverbrauch durch neue Technologien bestens gerüstet und können zudem ihre Batterie speisen oder auch ein zukünftiges Elektroauto versorgen. Das Motto lautet heute „Macht die Dächer voll“, die Dachfläche sollte weitmöglich mit PV-Modulen belegt werden.



„30 % meines Solarstroms werden mir weggenommen, wenn die Sonne richtig scheint, weil die Anlage bei 70 % abgeregelt wird.“

Falsch, nur rund 1 % des typischen Energieertrags eines Haushalts sind heutzutage tatsächlich betroffen. Richtig ist, dass es erst zu einer Abregelung kommt, wenn bei der Einspeisung in das Stromnetz der Grenzwert überschritten ist. Dieser Grenzwert wird normalerweise als 70 % der Nennleistung der PV-Anlage eingestellt (die Leistung, die die PV-Module unter optimalen Bedingungen im Labor liefern würden). Die PV-Anlage läuft aber selbst bei direkter Sonneneinstrahlung praktisch nie unter „Vollast“ mit 100 % der Nennleistung, denn optimale Bedingungen mit einer Einstrahlung >70 % werden nur an wenigen Tagen im Jahr erreicht. Betroffen sind zudem nur Anlagen von über 7 kWp die die Variante der „starren“ Wirkleistungsbegrenzung wählen. Bei einer solchen pauschalen Abregelung bei 70 % können die Verluste bei ca. 2-5 % liegen (Fraunhofer ISE, 2021b).

Wenn die PV-Anlage aber (wie heute üblich) als Eigenversorgungsanlage aufgebaut wird, wird zuerst der Stromverbrauch im Haushalt vollständig gedeckt und nur der Rest eingespeist. Sollte die Leistung am Einspeisepunkt dennoch 70 % der Nennleistung überschreiten, wird die Anlage zeitweise gedrosselt. Wirkliche „Abregelungen“ sind aber selten, weil selten die Maximalleistung erreicht wird, viele Haushalte Energiemanager/Einspeisemanager und Batteriespeicher zur Optimierung des Eigenverbrauchs nutzen und PV-Anlagen immer häufiger mit Ost-West-Ausrichtung installiert werden, die nur extrem selten die Maximalleistung erreichen. Im Durchschnitt gehen wir daher davon aus, dass die einzelnen Haushalte bei heutigen Installationen rund 1 % der erzeugten Sonnenenergie durch die Wirkleistungsbegrenzung verlieren.

Mit einem Batteriespeicher und entsprechenden prognosebasierten Energiemanager, der diese Erzeugerspitzen zum richtigen Zeitpunkt zwischenspeichern kann, können diese Ertragseinbußen nochmals deutlich reduziert werden.



„Eine PV-Anlage braucht mehr Strom zur Herstellung als sie in ihrer Laufzeit selbst erzeugen kann.“

Falsch. Das ist ein Mythos aus den Anfängen der PV-Technologie, der längst überholt ist. Die Hersteller von Solarmodulen produzieren heute sehr energieeffizient, so dass der energetische „Rucksack“ einer PV-Anlage schon nach 2-3 Jahren wieder über die Stromerzeugung der Module zurückgewonnen ist. Bei aktuellen PV-Anlagen kann man eine Lebensdauer der Solarmodule von 20-30 Jahren ansetzen. Die energetische Bilanz ist daher auf alle Fälle sehr positiv.



„Mit einer riesigen PV-Anlage kann ich mich autark machen und brauche keinen Anschluss an das öffentliche Stromnetz mehr.“

Falsch. So sinnvoll es auch ist, eine möglichst große PV-Anlage zu errichten: Eine vollständige Autarkie ist nicht zu erreichen. Schuld daran ist unser Wetter, das uns im Winter lange Zeiten mit sehr trüben Tagen beschert. Auch wenn die PV-Anlage groß ist und mit einem großen Batteriespeicher verbunden wird: Es reicht nicht, um viele trübe Tage nacheinander (oder Tage/Wochen mit Schnee auf den Modulen) zu überbrücken.



„Mit einer PV-Anlage und einem Batteriespeicher bin ich gewappnet für einen Stromausfall, dann habe ich weiter genügend Strom zur Verfügung.“

Jein. Eine typische PV-Anlage ist mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt und schaltet aus Sicherheitsgründen bei einem Stromausfall vollständig ab. Viele Batteriespeicher sind auch nicht in der Lage, bei einem Stromausfall Strom für den Haushalt zur Verfügung zu stellen. Einige Stromspeicher können das – teilweise aber nur, wenn technische Zusatzelemente eingebaut werden. Und auch dann gibt es unterschiedliche Lösungen: Einige Speicher können bei Stromausfall das ganze Haus versorgen, andere bieten nur die Möglichkeit, im Keller an einer Steckdose Strom abzunehmen, um z. B. die Heizungselektronik und die Pumpe weiterlaufen zu lassen.

Weiterführende Quellen

Kapitel 1

- Kegel, Jan; Lenk, Clara; Ouanes, Nesrine; Wiesenthal, Jan; Weiß, Julika: Prosumerverhalten und Energiewende: Wie wirken sich Verhaltensänderungen von Prosumerhaushalten auf das Energiesystem aus? Arbeitspapier im Projekt EE-Rebound, 2022 <https://www.ee-rebound.de/deutsch/veroeffentlichungen/fachveroeffentlichungen/>. Zuletzt geprüft am 31.1.2022.
- Institut der deutschen Wirtschaft (2021) Die ökologischen Kosten des schleppenden Ausbaus. <https://www.iwkoeln.de/studien/andreas-fischer-die-oekologischen-kosten-des-schleppenden-ausbaus.html>. Zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- Fraunhofer ISE (2021) Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html>. Zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- Agora Energiewende (2020) Die Ökostromlücke, ihre Strommarkteffekte und wie die Lücke gestopft werden kann. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/die-oekostromluecke-ihre-strommarkteffekte-und-wie-die-luecke-gestopft-werden-kann/>. Zuletzt geprüft am 25.01.2022.

Kapitel 2

- Dütschke, Elisabeth; Kratschmann, Martina (2020): Ist die Kommunikation zu Photovoltaikanlagen im Sinne der Energiewende? https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/2020/kommunikation_photovoltaikanlagen.html. Zuletzt geprüft am 25.01.2022.

- Kratschmann, Martina; Dütschke, Elisabeth (2021): Selling the sun: A critical review of the sustainability of solar energy marketing and advertising in Germany. In: Energy Research & Social Science 73, S. 101919. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101919>.
- R. Galvin: I'll follow the sun: geo-sociotechnical constraints on prosumer households in Germany, Energy Res. Social Sci. 65 (200) 101455, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101455>.
- L. Evans, G.R. Maio, A. Corner, C.J. Hodgetts, S. Ahmed, U. Hahn: Self-interest and pro-environmental behaviour, Nat. Clim. Change 3 (2) (2012) 122-125, <https://doi.org/10.1038/nclimate1662>.

Kapitel 3

- Dütschke, Elisabeth (2021): Haushalte mit PV-Anlagen als Akteure der Energiewende: Was heißt dies für den Alltag? <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/2021/haushalte-mit-pv-anlagen-als-akteure-der-energiewende.html>. Zuletzt geprüft am 25.02.2022.
- Duetschke et al. (2021): Rebound and Spillovers: Prosumers in Transition. Frontiers in Psychology, 12, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102429>.

Kapitel 4

- A Galvin et al. (2022): a health research interdisciplinary approach for energy studies: Confirming substantial rebound effects among solar photovoltaic households in Germany. Energy Research & Social Science 86, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102429>.

- Galvin, R. (2021): Identifying possible drivers of rebound effects and reverse rebounds among households with rooftop photovoltaics. Renewable Energy Focus 38, 71-83, <https://doi.org/10.1016/j.ref.2021.06.002>.
- Fraunhofer ISE (2021) Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.html>. Zuletzt geprüft am 25.01.2022.
- Atasoy A.T., Schmitz H., Madlener R. (2021): Mechanisms for Rebound Effects of Solar Electricity Prosuming in Germany, FCN Working Paper No. 7/2021, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior, RWTH Aachen University, June.

Kapitel 5

- Lenk, Clara; Torliene, Lukas; Weiß, Julika; Wiesenthal, Jan: Wie wirken Rebound-Effekte von Prosumern? Ökologische und ökonomische Bewertung auf Haushaltsebene Arbeitspapier im Projekt EE-Rebound, 2022. <https://www.ee-rebound.de/deutsch/veroeffentlichungen/fachveroeffentlichungen/> Zuletzt geprüft am 31.1.2022.

Impressum

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Gesamtprojektleitung

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung

Potsdamer Str. 105
10785 Berlin

Dr. Julika Weiß
Telefon: + 49 30-884 594-0
E-Mail: julika.weiss@ioew.de

Bildnachweise

Cover: [shutterstock.com/Faber14](https://www.shutterstock.com/Faber14)

Grafiken S. 5, 9, 11, 13, 15:
© Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung
Berlin 2021

Die Infografiken sind als Download unter
folgendem Link verfügbar: [https://www.
ee-rebound.de/deutsch/infografiken/](https://www.ee-rebound.de/deutsch/infografiken/)

Illustrationen S. 6, 7, 16, 17, 18:
[shutterstock.com/Sapann Design](https://www.shutterstock.com/Sapann Design)

© Fraunhofer ISI
Karlsruhe 2022

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit