Monika Orlowski, Tidian Baerens, Jan Wiesenthal, Lars-Arvid Brischke, Yanik Acker, Nadine Walikewitz, Laurenz Hermann, Julika Weiß

Suffizienz von Prosumer-Haushalten

Empirische Untersuchung und Handlungsansätze

Diskussionspapier des IÖW 80/26



i | ö | w
INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Monika Orlowski, Tidian Baerens, Jan Wiesenthal, Lars-Arvid Brischke, Yanik Acker, Nadine Walikewitz, Laurenz Hermann, Julika Weiß

Suffizienz von Prosumer-Haushalten

Empirische Untersuchung und Handlungsansätze

Der vorliegende Beitrag entstand im Projekt „ProSuffizienz“ im Rahmen des Förderaufrufs Energiewende und Gesellschaft des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) innerhalb des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung

Diskussionspapier des IÖW 80/26
Berlin, September 2026

Impressum

Herausgeber:
Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung GmbH, gemeinnützig
Potsdamer Straße 105
D-10785 Berlin
Tel. +49 – 30 – 884 594-0
Fax +49 – 30 – 882 54 39
E-Mail: mailbox@ioew.de
www.ioew.de

Gefördert durch:

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Dieses Diskussionspapier entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „ProSuffizienz: Reduktion des Energieverbrauchs von Prosumern“ (IÖW: FKZ 03EI5243A; ifeu: FKZ 03EI5243B; co2online: 03EI5243C), das in der Bekanntmachung Energiewende und Gesellschaft im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert wird. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor*innen.

In Kooperation mit:

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Büro Berlin, Reinhardtstr. 50, D-10117 Berlin
Dr. Lars-Arvid Brischke
Telefon: + 49 -30-2844 578-18
E-Mail: lars.brischke@ifeu.de

ifeu INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH
Hochkirchstr. 9, D-10829 Berlin
Laurenz Hermann
Telefon: +49 – 30 – 767 685-0
E-Mail: kontakt@co2online.de

co2online

Zusammenfassung

Prosuming ist ein wichtiger Teil der Energiewende: Bereits 2022 speisten 4,7 % aller privaten Haushalte in Deutschland Solarstrom in das Netz ein (destatis 2024). Im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien und besonders in Hinblick auf die Flächenkonkurrenzen alternativer Systeme wie Freiflächen-Photovoltaik (PV) und Wind könnte die Bedeutung von Prosumer-Haushalten in Zukunft weiter zunehmen.

Prosumer entscheiden vor dem Hintergrund der bestehenden Rahmenbedingungen darüber, ob und in welcher Größe sie PV-Anlagen installieren und wofür sie den selbst erzeugten Strom nutzen. Dazu zählt auch die Frage, ob und wenn ja wann sie Strom ins Netz einspeisen und aus dem Netz beziehen. In früheren Studien wurde festgestellt, dass Prosumer-Haushalte durch die Anschaffung neuer Geräte oder einen nachlässigeren Umgang mit Strom nach der Installation der PV-Anlage mehr Strom verbrauchen (solarer Reboundeffekt). Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie der solare Reboundeffekt zustande kommt, welche Rolle dabei die bestehenden Rahmenbedingungen spielen und wie sie zu einem systemdienlichen Verhalten motiviert werden können.

Dieses Diskussionspapier stellt die Ergebnisse einer Analyse des Stromverbrauchsverhaltens von 64 Prosumer-Haushalten in Deutschland dar, die über einen Zeitraum von zwei Jahren wissenschaftlich begleitet wurden. Der Fokus lag dabei auf der Quantifizierung und Ergründung des solaren Reboundeffekts. Es wurden aber auch Entscheidungskriterien zur Dimensionierung der PV-Anlage, Ziele und Selbsteinschätzung beim Stromverbrauch und die Existenz sowie Nutzung technischer Möglichkeiten zum Loadshifting (Anpassung des Verbrauchs an die Erzeugung) untersucht. Der Reboundeffekt lag im Median der Haushalte im Feldtest bei 4,3 %. Dieser Mehrverbrauch ließ sich nicht auf die Anschaffung bestimmter Geräte zurückführen. Es konnten aber Hinweise auf einen sorgloseren Umgang mit dem eigenen PV-Strom festgestellt werden. Hierfür konnten sowohl finanzielle (die Netzeinspeisung lohnt sich nicht) als auch moralische Gründe (dank der PV-Anlage wird sich „mit gutem Gewissen“ etwas gegönnt) identifiziert werden. Prioritäres Ziel der Prosumer war in der Regel nicht eine Energiesparsamkeit, sondern die Maximierung des Eigenverbrauchs, die mit dem weit verbreiteten Bestreben zu Loadshifting verknüpft war.

Der Feldtest hat gezeigt, das Eigenheim-Haushalte, die durch Installation einer PV-Anlage zu Prosumer-Haushalten werden, grundsätzlich bewusster mit Strom umgehen, sich mit der Eigenstromerzeugung und -nutzung auseinandersetzen und bestrebt sind, ihren Strombezug aus dem Netz zu minimieren. Auf der anderen Seite wird eingespeistem PV-Strom wenig Wert beigemessen, Möglichkeiten zur Netzdienlichkeit werden nur zum Teil genutzt und verfügbare Dachflächen werden nicht immer ausgenutzt. Hierzu werden in Kapitel 7 Handlungsempfehlungen abgeleitet, die sich an bestehende und zukünftige Prosumer-Haushalte richten und in Solar- und Energieberatungen einfließen können.

Ein Ansatz, um den sparsamen Umgang mit Strom anzureizen, ist die Schaffung von Transparenzangeboten. Zwei solche Angebote wurden im Rahmen des Projekts ProSuffizienz entwickelt und werden in diesem Diskussionspapier vorgestellt: Der Stromspiegel Photovoltaik und der StromanwendungsCheck. Während der Stromspiegel Photovoltaik in einer tabellarischen Übersicht einen schnellen Vergleich des eigenen Stromverbrauchs mit dem anderer Haushalte mit PV-Anlagen, Wärmepumpen und/oder E-Autos erlaubt, ermöglicht der StromanwendungsCheck eine detaillierte Analyse des Anteils verschiedener Haushaltsgeräte am Stromverbrauch.

Dieses Diskussionspapier trägt mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zum Verständnis des Stromverbrauchsverhaltens von Prosumer-Haushalten bei. Gleichzeitig bietet sie mit ausformulierten Narrativen zur Anreizung systemdienlichen Verhaltens sowie den beiden Transparenztools Anknüpfungspunkte für die Praxis.

Abstract

Prosuming is an important element of the energy transition: In 2022, already 4,7 % of all private households in Germany fed electricity into the grid. As renewable energy expands, and particularly given the competition for land from alternative systems such as ground-mounted solar and wind power, the importance of prosumer households could continue to grow in the future.

Prosumers decide whether and on what scale to install solar panels, and how to use the electricity they generate, taking the regulatory framework into account. This also includes the question of whether, and if so when, they feed electricity into the grid and draw electricity from it. Previous studies have found that prosumer households consume more electricity following the installation of a PV system, either by purchasing new appliances or by being less careful with their electricity usage (the solar rebound effect). Against this backdrop, the question arises as to how the solar rebound effect comes about, what role the existing framework conditions play in this, and how prosumers can be encouraged to adopt behaviours that benefit the system.

This publication presents the findings of an analysis of the electricity consumption patterns of 64 prosumer households in Germany, which were monitored scientifically over a two-year period. The focus was on quantifying and investigating the solar rebound effect. Moreover, the study also examined decision-making criteria for sizing the PV system, targets for and self-assessments of electricity consumption, and the availability and use of technical options for load shifting (aligning consumption with generation). The median rebound effect across households in the field test was 4.3 %. This increase in consumption could not be attributed to the purchase of specific appliances. However, there were indications of a more carefree approach to the use of their own PV electricity. Both financial (feeding electricity into the grid is not worthwhile) and moral reasons (thanks to the PV system, they can treat themselves ‘with a clear conscience’) were identified as factors contributing to this. The prosumers’ primary goal was generally not energy saving, but rather maximising self-consumption, which was linked to the widespread desire for load shifting.

The field test has shown that homeowners who become prosumers by installing a PV system generally use electricity more consciously, engage with the generation and use of their own electricity, and strive to minimise the amount of electricity they draw from the grid. On the other hand, little value is attached to the PV electricity fed into the grid, opportunities to contribute to the grid are only partially utilised, and available roof space is not always fully utilised. To this end, chapter 7 sets out recommendations for action aimed at existing and future prosumer households, which can be incorporated into solar and energy advisory services.

One approach to encouraging the sufficient use of electricity is to provide tools that promote transparency. Two such tools were developed as part of the ProSuffizienz project and are presented in this publication: an electricity benchmark for prosumer households (“Stromspiegel PV”) and an online check for electricity usage (“StromanwendungsCheck”). Whilst the benchmark provides a quick comparison, in tabular form, of a person’s own electricity consumption with that of other households with PV systems, heat pumps and/or electric cars, the electricity usage check enables

a detailed analysis of the contribution made by various household appliances to a person's electricity consumption.

This discussion paper contributes to our understanding of the electricity consumption behaviour of prosumer households through new scientific findings. At the same time, it offers practical applications through narratives designed to encourage behaviour that benefits the system, as well as through the two transparency tools.

Die Autorinnen und Autoren

Monika Orlowski, wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW), Schwerpunkte: Energiesystemmodellierung, Wärmewende, Negativemissionen
Kontakt: Monika.Orlowski@ioew.de

Tidian Baerens, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW), Schwerpunkte: Wärmewende, Kommunikation und Partizipation, Nachhaltige Lebensweisen und Konsum
Kontakt: Tidian.Baerens@ioew.de

Jan Wiesenthal, ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW) und Promotionsstudent an der Leuphana Universität Lüneburg. Schwerpunkte: Partizipation in der Energiewende, polyzentrische Energiesysteme und deren Modellierungen
Kontakt: Jan.Wiesenthal@stud.leuphana.de

Dr. Lars-Arvid Brischke, Themenleiter (ifeu), Schwerpunkte: Energie- und Wohnsuffizienz, kommunale Suffizienzstrategien, nachhaltige Transformation von Bestandsgebäuden und -quartieren
Kontakt: Lars.Brischke@ifeu.de

Yanik Acker, wissenschaftlicher Mitarbeiter (ifeu), Schwerpunkte: Erneuerbare Energien und Abwärme, GIS-basierte Energiemodelle
Kontakt: Yanik.Acker@ifeu.de

Dr. Nadine Walikewitz, Senior Managerin Research (co2online), Schwerpunkte: Kommunikation und Partizipation in der Energiewende, Energieeffizienz im Gebäudebereich, Wärmewende
Kontakt: Nadine.Walikewitz@co2online.de

Laurenz Hermann, Senior Berater Research (co2online), Schwerpunkte: Energieeffizienz im Gebäudebereich, Wärmewende, Gebäudetechnik, Peer-to-Peer Strategien bei der Gebäudesanierung
Kontakt: Laurenz.Hermann@co2online.de

Dr. Julika Weiß, Leiterin des Forschungsfelds „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW), Schwerpunkte: klimaneutrale Wärmeversorgung, energetische Sanierung, Reboundeffekte, kommunaler Klimaschutz
Kontakt: Julika.Weiss@ioew.de

Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund und Ziel der Studie ... 13

2 Definition von Suffizienz und Stand der Forschung zum solaren Reboundeffekt in Prosumer-Haushalten ... 14

3 Methodik und Datengrundlage ... 17

3.1 Teilnehmende am Feldtest ... 17
3.2 Zähler- und Befragungsdaten ... 19
3.3 Fokusgruppen ... 21
3.4 Datenaufbereitung und Auswertungsmethoden ... 21
3.5 Methodik Energiesparkonto ... 22

4 Ergebnisse zur Höhe der Reboundeffekte ... 23

4.1 Feldtest: Geringer Reboundeffekt ... 23
4.2 Energiesparkonto: Spillover- statt Reboundeffekte ... 24

5 Zusammenhänge und Erklärungsansätze für Reboundeffekte ... 25

5.1 Sonnenstrom und Mehrverbrauch ... 26
5.2 Hinweise auf indirekte Reboundeffekte ... 27
5.3 Intrinsische Motivation schützt nicht vor Reboundeffekten ... 28
5.4 Weitere Erklärungsansätze für den Reboundeffekt ... 31

6 Beitrag von Prosumern zur Energiewende: Mehr als Suffizienz ... 31

6.1 Dachflächen werden meist voll ausgenutzt ... 32
6.2 Die Anschaffung von PV-Anlagen ist eng mit der Anschaffung von Sektorkopplungsgeräten verknüpft ... 33
6.3 Diskrepanz statt Zusammenhang: Selbstbild und Realität des Stromverbrauchs ... 34
6.4 Loadshifting zwischen Wunsch und Wirklichkeit ... 35
6.5 Limitationen des Feldtests ... 37

7 Schlussfolgerungen und Ausblick ... 37

7.1 Narrative und Botschaften ... 38
7.2 Transparenz über die Haushaltsstrombilanz, Vergleich und Einordnung ... 40
7.3 Ausblick ... 42

8 Literaturverzeichnis ... 44

9 Anhang ... 47

9.1 Stromspiegel Photovoltaik ... 47
9.2 StromanwendungsCheck ... 50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Anzahl der am Feldtest teilnehmenden Haushalte pro Bundesland 19
Abbildung 3.2: Befragungen und Rücklaufquote 20
Abbildung 4.3: Reboundeffekt nach Installation einer Photovoltaikanlage 24
Abbildung 5.4: Gründe für Mehrverbrauch 26
Abbildung 5.5: Photovoltaik und Mehrkonsum in anderen Bereichen (indirekte Reboundeffekte) 28
Abbildung 5.6: Motivation für Photovoltaik (Freitextantworten) 28
Abbildung 5.7: Motivation für Photovoltaik (Abfrage mittels Likert-Skala) 29
Abbildung 6.8: Dimensionierung von Photovoltaikanlagen 32
Abbildung 6.9: Geräte, die im Zuge der Anschaffung der Photovoltaikanlage gekauft wurden oder deren Kauf geplant war. 33
Abbildung 6.10: Verbreitung von Steuerungsfunktionen bei verschiedenen Haushaltsgeräten 36
Abbildung 9.11: Stromspiegel Photovoltaik 49
Abbildung 9.12: Schema der Abfrage der technischen Haushaltsausstattung im StromanwendungsCheck 52
Abbildung 9.13: Geräteabfrage „Waschmaschine“ im StromanwendungsCheck (Screenshot des Online-Checks). 53
Abbildung 9.14: Ergebnisdarstellung „Einordnung Ihrer Verbrauchsanalyse“ im StromanwendungsCheck (Screenshot des Online-Checks). 54
Abbildung 9.15: Ergebnisdarstellung „Verbrauchsanalyse Ihrer Geräteausstattung“ im StromanwendungsCheck (Screenshot des Online-Checks). 56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Merkmale der teilnehmenden Haushalte 18
Tabelle 4.2: Rebound und Spillover im Energiesparkonto 25
Tabelle 5.3: Kendall’s Tau Korrelation zwischen Motivatoren 30
Tabelle 5.4: Korrelation Rebound und Motivation 31
Tabelle 6.5: Korrelation Selbsteinschätzung Stromverbrauchsänderung und Verhalten 35
Tabelle 9.6: Datenmengen des Stromspiegels Photovoltaik 48

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Abschlussbefragung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
EEI	Energieeffizienzindex
ESK	Energiesparkonto
HH	Haushalte
kg	Kilogramm
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowattpeak
ps	Maßgedeck (engl. „place setting“)
PV	Photovoltaik
r	Menge des von der PV-Anlage generierten Stroms
R	Solarer Reboundeffekt
SPEC	Energieverbrauch des Standardprogramms (engl. „standard programme energy consumption“)
W	Watt
WP	Wärmepumpe
Δq	Differenz zwischen Stromverbrauch vor und nach der PV-Installation

1 Hintergrund und Ziel der Studie

Zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende in Deutschland kommt privaten Haushalten eine wichtige Rolle zu, da sie für ca. ein Viertel des Endenergieverbrauchs in Deutschland direkt verantwortlich sind. Die erste Herausforderung besteht deshalb darin, die Endenergie der Haushalte möglichst aus erneuerbaren Energien bereitzustellen. Dies wird zum einen durch die Umstellung der fossilen auf eine erneuerbare Stromerzeugung erreicht und beinhaltet zum anderen auch eine Ausweitung des Einsatzes von erneuerbarem Strom auf die Sektoren Wärme und Mobilität (Sektorkopplung). Gleichzeitig ist der gesamte Energieverbrauch der Haushalte auf das notwendige Maß zu begrenzen, sodass Aufwand, Kosten und Umweltauswirkungen für alle tragfähig sind und die Energiebedarfe mit den einheimischen Potenzialen an erneuerbaren Energien weitgehend gedeckt werden können. Diese Entwicklungsstränge sind auf der Ebene privater Haushalte, insbesondere bei Eigenheimbesitzer*innen, grundsätzlich sehr gut umsetzbar, weil sie bei der Gestaltung des Energiesystems ihres Hauses und beim Umgang des eigenen Haushaltes mit Energie einen weiten Entscheidungs- und Gestaltungsspielraum haben und zudem über Dach- und Grundstücksflächen verfügen, mit denen sich Solarenergie- und Umweltwärmepotenziale erschließen lassen.

Ein Ziel des Projekts „Reduktion des Energieverbrauchs von Prosumern (ProSuffizienz)“ war es, mit Haushalten in Eigenheimen in einem mehrmonatigen Feldtest, der auch die Installation einer Photovoltaik- (PV-)Anlage beinhaltete, zu untersuchen, welche Veränderungen sich durch den Übergang vom Energieverbraucher-Haushalt zum Prosumer-Haushalt beobachten lassen. Im Zentrum der Untersuchungen stand die Forschungsfrage: Wie verändert sich der Stromverbrauch von Prosumer-Haushalten nach der Installation der PV-Anlage und warum? Darüber hinaus wurden Entscheidungskriterien zur Dimensionierung der PV-Anlage, Ziele und Selbsteinschätzung beim Stromverbrauch und die Existenz sowie Nutzung technischer Möglichkeiten zum Loadshifting (Anpassung des Verbrauchs an die Erzeugung) untersucht.

Ein Ansatz, um den sparsamen Umgang mit Strom anzureizen, ist die Schaffung von Transparenzangeboten. Zwei solche Angebote wurden im Rahmen des Psrojekts ProSuffizienz entwickelt und werden in diesem Diskussionspapier vorgestellt: Der Stromspiegel Photovoltaik und der StromanwendungsCheck.

Aus den Untersuchungen, Befragungen und Erkenntnissen des Feldtests wurden Schlussfolgerungen gezogen und Botschaften abgeleitet, die für Solar- und Energieberater*innen kompakt zusammengefasst wurden und als Hintergrundinfos in Beratungen genutzt werden können.

Dieses Diskussionspapier trägt mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zum Verständnis des Stromverbrauchsverhaltens von Prosumer-Haushalten bei. Gleichzeitig bietet sie mit ausformulierten Narrativen zur Anreizung systemdienlichen Verhaltens sowie den beiden Transparenztools Anknüpfungspunkte für die Praxis.

2 Definition von Suffizienz und Stand der Forschung zum solaren Reboundeffekt in Prosumer-Haushalten

Suffizienz wird von Fischer & Grießhammer (2013) als „Änderungen in Konsummustern, die helfen, innerhalb der ökologischen Tragfähigkeit der Erde zu bleiben, wobei sich Nutzenaspekte des Konsums ändern“ beschrieben. Daraus abgeleitet und konkretisiert haben Brischke et al. (2016) eine Definition von Energiesuffizienz als „Strategie mit dem Ziel, die aufgewendete Menge an technisch bereitgestellter Energie durch Veränderungen des Techniknutzens und weiterer Nutzenaspekte auf ein nachhaltiges Maß zu begrenzen oder zu reduzieren“ abgeleitet. Als konkrete Ansatzpunkte für Energiesuffizienz identifizieren Brischke et al. (2016) einerseits energierelevante Entscheidungen privater Haushalte zu Konsum, Haushaltsproduktion und Anschaffung von Geräten und andererseits den energierelevanten Technikgebrauch im Haushalt, der sich in Nutzungsmustern, Alltagsroutinen und sozialen Praktiken im Haushalt findet. Energierelevante Entscheidungen in privaten Haushalten werden dabei bei folgenden Handlungsfeldern getroffen:

– Entscheidungen zum Erwerb von technischer Ausstattung, Konsumgütern und/oder Dienstleistungen (z. B. Anschaffung eines Kühlschranks)
– Entscheidungen zur Ausstattung mit potenziellem Techniknutzen, z. B. Leistung, Volumen, Lichtstärke, technische Funktionen (Beispiel: Anschaffung eines Kühlschranks mit 4-Sterne-Fach)
– Entscheidungen, die weitere Nutzenaspekte beinhalten wie Behaglichkeit, Statussymbolik, Ästhetik (Beispiel: Anschaffung einer 600 Liter American Style Side-by-Side Kühl-Gefrierkombination mit Eiswürfelbereiter).

Für das Praktizieren von Energiesuffizienz arbeiten Brischke et al. (2016) drei grundlegende Ansätze heraus:

– Reduktion: eine quantitative Verringerung des energieverbrauchsrelevanten Nutzens
– Substitution: eine Veränderung des Nutzens, sodass dieser mit weniger Energieverbrauch erreicht werden kann und
– Anpassung: maßgeschneiderte Lösungen, um technischen Nutzen passgenau bereitzustellen, sodass Verschwendung, Übermaß oder Überdimensionierung vermieden werden können.

Dieses Verständnis von Suffizienz setzt voraus, dass sich Energieverbraucher*innen als Teil des Energiesystems und als Mitwirkende der Energiewende verstehen. Infolgedessen sehen sie jede Form technisch bereitgestellter Energie (ob aus Netzbezug oder selbst erzeugt) als wertvolles Gut an, gehen entsprechend verantwortungsvoll und sparsam damit um, streben eine möglichst umfangreiche Ausschöpfung der ihnen zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energiepotenziale an und teilen die Überschüsse mit anderen, die keinen Zugang zu solchen Potenzialen haben. Ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen dem eigenen Haushalt und dem Energiesystem kann durch Sensibilisierung, Information, Transparenz und Wissen über die Energieflüsse und -bilanzen des eigenen Haushalts und durch Benchmarking als Vergleichsmaßstab für alle Prosumer-Haushalte gestärkt werden.

Die Anzahl der Prosumer-Haushalte – also Haushalte, die Strom sowohl selbst erzeugen, etwa in PV-Anlagen, als auch konsumieren – nimmt zu, und diese werden zu wichtigen Trägern der Energiewende von unten und vor Ort. Mit der Verbreitung von Prosuming stellt sich die Frage, inwiefern sich das sich ändernde Rollenverständnis von reinen Energiekonsument*innen hin zu Energie-Prosumer-Haushalten auch zu einem suffizienten Umgang mit Energie führen kann bzw. durch welche Faktoren dies unterstützt wird.

Um suffizientes Verhalten in Prosumer-Haushalten mit dem übergeordneten Energiesystem in Einklang zu bringen, braucht es Transparenz über den Verlauf von Stromerzeugung, -speicherung und -verbrauch im eigenen Haushalt und der resultierenden Netzeinspeisung des selbst erzeugten Stroms, Benchmarks und Preissignale, z. B. durch tageszeitlich variable Stromeinspeisetarife, sowie Narrative und daraus abgeleitete Botschaften, um einen suffizienten Umgang mit Energie im Prosumer-Haushalt zu stärken, der auch der Transformation des übergeordneten Energiesystems dienlich ist.

Die vorliegende Studie baut auf früherer Forschung auf, in der der **solare Reboundeffekt** in verschiedenen Regionen der Welt quantifiziert und zum Teil auch näher untersucht wurde. Im Folgenden wird der Stand der Literatur umrissen, bevor auf die Methodik der vorliegenden Studie eingegangen wird.

Eine etablierte Kennzahl, um den die Stromverbrauchsveränderung bei der Installation einer PV-Anlage zu messen, ist der solare Reboundeffekt. Er ist nach nach Galvin et al. (2021) definiert als

$$R = \frac{\Delta q}{r} \quad (1)$$

mit Δq: Differenz zwischen dem Stromverbrauch vor und nach der PV-Installation und r: Menge des von der PV-Anlage generierten Stroms. Ein Energieträgerwechsel durch die Anschaffung von Sektorkopplungsgeräten (z. B. Wärmepumpe, E-Auto) erhöht zwar den Stromverbrauch, reduziert aber gleichzeitig den Verbrauch anderer Energieträger und wird daher aus Δq herausgerechnet.

Die Existenz und die Größe des solaren Reboundeffekts wurde in der Literatur schon vielfach untersucht, wobei es nicht immer möglich war, die Anschaffung von Sektorkopplungsgeräten aus dem Reboundeffekt herauszurechnen. In verschiedenen Ländern mit verschiedenen Rahmenbedingungen wurden auf den selbst produzierten Strom bezogene Reboundeffekte von 28,5 % (Beppler et al. 2023) (Osten der USA), 16,7 bis 20,9 % (Deng und Newton 2017) (Sydney), 18 % (Qiu et al. 2019) (Arizona) und 7 % (Aydın et al. 2023) (Niederlande) gefunden. Unter dezidierter Berücksichtigung von Sektorkopplung fand Bigler (2025) in der Schweiz einen Reboundeffekt von 8 %, und Boccard & Gautier (2021) berechneten eine Stromverbrauchssteigerung von 5 % in Belgien. Für Deutschland berechneten Atasoy et al. (2023) über Propensity score matching mit einer repräsentativen Stichprobe deutscher Haushalte einen Reboundeffekt von 21,6 %. Dabei berücksichtigten sie auch, ob die Haushalte Wärmepumpen oder E-Autos besaßen. Frondel et al. (2022) haben für den Zeitraum von 2004 bis 2015 aus den Netzbezugsdaten von 358 deutschen Prosumer-Haushalten den Reboundeffekt theoretisch hergeleitet und kamen auf einen Minimalwert von 12 % und einen wahrscheinlichen Wert von 35 %. Dabei lag allerdings eine abweichende Definition des Reboundeffekts zugrunde, wonach dieser die prozentuale Veränderung des Gesamtstromverbrauchs relativ zu einer prozentualen Veränderung der Stromerzeugung misst. Galvin et al. (2021) quantifizierten den Reboundeffekt in Deutschland mit zwei verschiedenen Methoden und stellten große Unterschiede abhängig davon fest, wann die PV-Anlage installiert wurde: Wurde sie

vor 2011 installiert (dem Jahr, ab dem der Netzpreis für Strom über der Einspeisevergütung lag), lag der Reboundeffekt je nach Methodik bei 0 bzw. 6,1 %; wurde sie nach 2011 installiert, lag er bei 14 bzw. 33 %. Li et al. (2020) fanden bei einer Untersuchung der Stromnutzung von 1.115 US-amerikanischen Haushalten, dass der Stromverbrauch durch die Installation von PV-Anlagen leicht sank. In einer älteren Studie aus Großbritannien (Keirstead 2007) wurde ebenfalls ein Verbrauchsrückgang von etwa 6 % festgestellt, der mit einer größeren Sensibilität für Energiesparsamkeit begründet wurde, die sich sowohl in Energieeffizienzmaßnahmen als auch in sparsamem Verhalten zeigte. Dabei ist aber zu beachten, dass die Effizienz von PV-Anlagen wie auch ihre Verbreitung deutlich geringer war, sodass es vermutlich weniger Produktionsüberschüsse gab und die Prosumer auf diesem Gebiet Pioniere waren.

Teilweise wurde in diesen quantitativen Studien auch untersucht, welche Haushaltsmerkmale und Rahmenbedingungen den Reboundeffekt begünstigen. Diese Literatur wurde durch qualitative Forschung ergänzt. Haushaltseigenschaften, die mit einem höheren Reboundeffekt einhergehen, sind demnach ein höheres Haushaltseinkommen (Qiu et al. 2019), eine größere Anzahl Personen im Haushalt (Qiu et al. 2019), eine größere Wohnfläche (Qiu et al. 2019), selbstnutzende Eigentümerschaft (Qiu et al. 2019), größere Anlagen (Bigler 2025; Boccard und Gautier 2021) und damit einhergehend eine höhere Stromerzeugung (Aydın et al. 2023) sowie ein größeres Umweltbewusstsein (Aydın et al. 2023). Der Zusammenhang zwischen Höhe der Erzeugung und Reboundeffekt spiegelt sich auch in den Jahreszeiten wider, sodass der Effekt im Sommer stärker ist als im Winter (Aydın et al. 2023).

Als Haushaltseigenschaften, die mit einem geringeren Reboundeffekt einhergehen, wurden in der Literatur eine Wohnlage in einem liberalen Viertel in den USA (im Gegensatz zu einem konservativen) gefunden (Qiu et al. 2019), sowie häufigeres Monitoring (Aydın et al. 2023). Die Rolle des Monitorings wurde durch List et al. (2024) in einem Feldexperiment in Schweden näher untersucht. Eine schwedische Gruppe von Haushalten, die alle zwei Wochen einen Home Energy Report zugesendet bekam, senkte ihren durchschnittlichen wöchentlichen Stromverbrauch um 9,8 %. Dabei war die Reduktion in Zeiten mit höherer Produktion höher. Dieser Effekt könnte bei Prosumer-Haushalten stärker zur Geltung kommen, weil mit der PV-Anlage häufig eine App oder ein Monitoringsystem installiert werden. Dadurch kennen sie die Höhe des eigenen Energiekonsums besser als andere Haushalte, die nicht Prosumer sind (Wittenberg und Matthies 2018). Die Interviews von Dütschke et al. (2021) deuten darauf hin, dass nur sehr wenige Haushalte in Deutschland ihren Stromverbrauch kennen.

In Bezug auf die Rolle von Bildungsniveau und Alter kamen verschiedene Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen. Nach Aydin et al. (2023) hat das Bildungsniveau keinen Einfluss auf den Reboundeffekt, während Li et al. (2020) fanden, dass eine höhere Bildung den sowieso im Durchschnitt negativen Reboundeffekt weiter verringere. Ein höheres Alter verstärkt nach Aydin et al. (2023) den Reboundeffekt; Qiu et al. (2019) dagegen fanden, dass er sich mit dem Alter des Familienoberhaupts verringere.

Mehrere übergreifende Begründungen für den Reboundeffekt wurden in der Literatur identifiziert. Weit verbreitet ist das neoklassische Modell, nach dem der Konsum steigt, weil die Grenzkosten sinken (Preiseffekt) (Beppler et al. 2023). Dazu kommt ein Einkommenseffekt: Die Mehreinnahmen bzw. Einsparungen bei Einspeisung und Netzstrombezug können zur Anschaffung neuer Geräte genutzt werden (Galvin et al. 2021). Neben dieser ökonomischen Begründung gibt es verschiedene moralische Rechtfertigungsmechanismen: den Moral Hazard Effekt, den Moral Licencing Effekt und Moral Leaking (Maschke 2022). Der Moral Hazard Effekt beschreibt die Rechtfertigung eines Mehrverbrauchs mit den geringeren Umweltwirkungen nachhaltigerer Produkte. Moral

Licensing beschreibt eine erhöhte Nachfrage nach anderen umweltschädlichen Produkten, die durch den Konsum eines umweltfreundlicheren Produkts entschuldigt wird, und Moral Leaking beschreibt eine allgemein größere Nachlässigkeit beim sparsamem Umgang mit dem betreffenden Produkt, weil es „ökologisch, ökonomisch und ggf. auch gesellschaftlich nicht mehr so darauf ankommt“ (Santarius 2012, S. 14).

Interviews und Fokusgruppen mit Prosumern bestätigten ein Zusammenspiel der verschiedenen Effekte. Häufig wurde die Anschaffung neuer, stromintensiver Geräte als Grund für den Reboundeffekt angegeben. So wurden beispielsweise eine zweite Klimaanlage, ein weiterer Kühlschrank und ein Saugblaser angeschafft, weil der Strom, jetzt sowieso da und „quasi umsonst“ sei (Preiseffekt) (Maschke 2022). Auch in Interviews in Dütschke et al. (2021) gaben diejenigen Prosumer, die selbst von sich glaubten, ihr Stromverbrauch habe sich erhöht, einen Zusammenhang mit der Anschaffung neuer Geräte an. Die Kausalität ging dabei in beide Richtungen: Teilweise wurden neue Geräte gekauft, weil nun günstiger PV-Strom verfügbar war, und teilweise wurde die PV-Anlage gekauft, weil der Haushalt stromintensive Geräte besaß. Neben der Anschaffung neuer Geräte führt auch eine generell höhere Großzügigkeit im Stromverbrauch zum Reboundeffekt (Maschke 2022).

Für die Relevanz des Preiseffekts ist die Höhe der Einspeisevergütung essenziell. Entsprechend der Logik des Preiseffekts fanden Atasoy et al. (2023) bei Haushalten, bei denen die Einspeisevergütung über dem Strompreis lag, keinen Reboundeffekt, wohingegen er bei den Haushalten, die die Anlage erst installiert haben, nachdem die Vergütung unter den Strompreis gesunken war, einen deutlichen Reboundeffekt feststellen konnten. In der qualitativen Erhebung von Maschke (2022) gab ein Prosumer sogar an, jetzt schon zu überlegen, wie er/sie mehr Strom verbrauchen könne, weil in sieben Jahren die Förderung ausliefe.

3 Methodik und Datengrundlage

Zur Beantwortung der Forschungsfragen (siehe Kapitel 1) wurde ein Feldtest durchgeführt und es wurden die Nutzerdaten aus dem Energiesparkonto (ESK) von co2online ausgewertet. Beide Methoden gaben Aufschluss über die quantitativen Stromverbrauchsänderungen bei Prosumern. Um die Gründe für die Verbrauchsveränderungen und die Einflüsse auf die PV-Dimensionierung zu erforschen, wurden im Feldtest über einen Zeitraum von fast zwei Jahren umfassende Daten von 64 Haushalten gesammelt, die die Absicht hatten, im Laufe des Feldtests eine Dach-PV-Anlage zu installieren. Dabei wurde ein gemischt qualitativ-quantitativer Ansatz verfolgt: Neben der Erfassung von Erzeugungs- und Verbrauchsdaten der Haushalte über den gesamten Zeitraum wurden regelmäßig Umfragen unter den teilnehmenden Haushalten durchgeführt, und zwei qualitative Fokusgruppen ausgerichtet. Über die Befragungen und Fokusgruppen konnten die Einstellungen und Selbsteinschätzungen der Teilnehmenden erfasst werden. Die Datengrundlage und die Methodik werden in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

3.1 Teilnehmende am Feldtest

Innerhalb einer zweimonatigen Akquisephase wurden unterschiedliche Teilnahmeaufrufe über die Projektpartner versendet. 270 Haushalte bekundeten ihr Interesse. Dabei füllten die Interessent*innen bereits einen ersten Fragebogen aus, um wichtige Details zur Eignung für den Feldtest zu ermitteln. Zusätzlich wurde abgefragt, ob die Installation einer PV-Anlage während des angegebenen

Projektzeitraums geplant sei. Zusammen mit einer zusätzlichen Abfrage zu den technischen Voraussetzungen bei Haushalten mit modernen Messeinrichtung wurde eine Bewertungsmatrix zur Auswahl der Haushalte für den Feldtest erarbeitet. Ziel war es, ca. 110 Feldtesthaushalte mit modernen Messeinrichtungen auszuwählen und einer Gruppe von ca. 50 Haushalten ohne moderne Messeinrichtungen. Schließlich wurden 213 Haushalte anhand der Bewertungsmatrix zur Teilnahme aufgefordert.

Insgesamt nahmen 64 Haushalte am Feldtest teil. Wichtige Merkmale dieser Haushalte sowie ein Vergleich der Merkmale mit anderen Eigenheimbesitzenden oder der deutschen Gesamtbevölkerung sind in Tabelle 3.1 dargestellt.

Fast die Hälfte der teilnehmenden Haushalte waren Zweipersonenhaushalte. Dabei handelte es sich mehrheitlich um ältere Paare ohne Kinder. Die größeren Haushalte waren in der Regel Familien mit Kindern. Nur zwei Teilnehmende wohnten allein in ihrem Haushalt. Der Median des Haushaltsbruttoeinkommens lag zwischen 60.000 und 80.000 Euro und war damit etwas höher als der deutsche Durchschnitt. Dabei ist zu beachten, dass auch die Haushalte deutlich größer waren als im deutschen Durchschnitt. Die Personen, die für ihren Haushalt an dem Projekt teilgenommen haben, waren mit 84 % überwiegend männlich. Von diesen Personen hatte ein im Vergleich zur Gesamtbevölkerung überdurchschnittlich hoher Anteil einen technischen Beruf.

Tabelle 3.1: Merkmale der teilnehmenden Haushalte
In der Gruppe der Eigenheimbesitzenden sind nicht nur Besitzende von Häusern, sondern auch von Wohnungen enthalten.

Merkmal	Haushalte im Feldtest	Vergleichswert
Einpersonenhaushalte	3,45 %	25 % der Eigenheimbesitzenden in Deutschland (destatis 2022)
Zweipersonenhaushalte	44,83 %	41 % der Eigenheimbesitzenden in Deutschland (destatis 2022)
Haushalte mit mehr als 2 Personen	51,72 %	33 % der Eigenheimbesitzenden in Deutschland (destatis 2022)
Männliche Geschlechtsidentität	84 % der Personen, die für die Haushalte am Projekt teilgenommen haben	49 % der deutschen Gesamtbevölkerung (destatis 2025a)
Wärmepumpe	27 %	2,7 % aller Haushalte in Deutschland (Stand: 2022) (zensus 2025)
E-Auto	31 %	< 4 % aller Haushalte in Deutschland (destatis 2025b; Pütz und Weiß 2025)
Technischer Beruf	59 % der Personen, die für die Haushalte am Projekt teilgenommen haben	

Geografisch deckten die untersuchten Haushalte alle Bundesländer bis auf Schleswig-Holstein und Sachsen-Anhalt ab, wobei Nordrhein-Westfahlen überrepräsesntiert war (siehe Abbildung 3.1). 43 % kamen aus suburbanen Gebieten, 37 % aus ländlichen und 20 % aus städtischen.

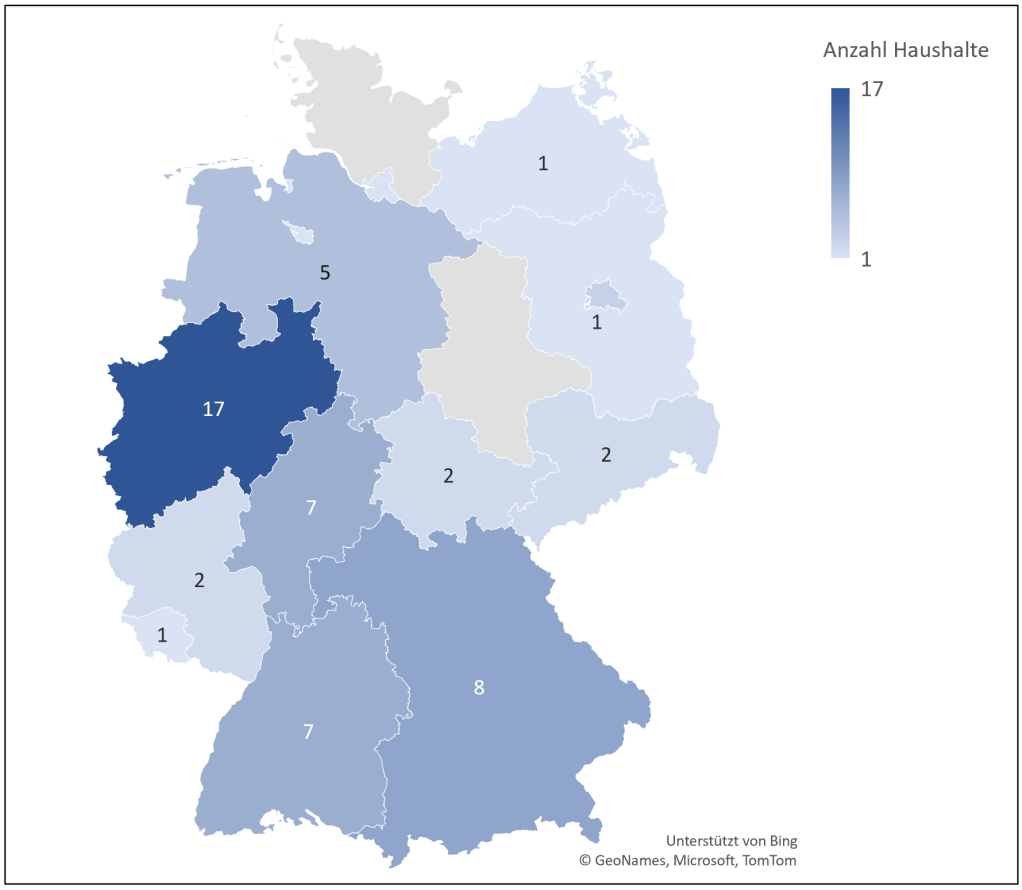


Abbildung 3.1: Anzahl der am Feldtest teilnehmenden Haushalte pro Bundesland
Eigene Darstellung

Im Vergleich zur Gesamtbevölkerung verfügte ein deutlich höherer Anteil der teilnehmenden Haushalte über Sektorkopplungsgeräte. So hatten 27 % bereits bei Projektbeginn eine Wärmepumpe (Gesamtbevölkerung: 2,7 %) und 31 % besaßen ein E-Auto (Gesamtbevölkerung: unter 4 %, siehe Tabelle 3.1).

Der Stromverbrauch der Haushalte vor Installation der PV-Anlage entsprach unter Berücksichtigung der Personenanzahl und der Warmwasserbereitung etwa dem durchschnittlichen Stromverbrauch von Einfamilienhäusern in Deutschland (Weißbach 2025).

3.2 Zähler- und Befragungsdaten

Im Rahmen des Feldtests wurden zum einen Zählerdaten gesammelt und zum anderen Daten über die Haushalte und die Einstellungen der Haushaltsmitglieder über Befragungen erhoben.

Die Sammlung der Zählerdaten erfolgte über drei verschiedene Kanäle. Der größte Teil der teilnehmenden Haushalte wurde mit einem sogenannten „Poweropti“ der Firma powerfox ausgestattet, der neben den Stromzähler montiert wird, die Stromflüsse in beide Richtungen im 15-Minutentakt

speichert und mit dem Forschungsteam teilt. Die Datenübermittlung erfolgte von Januar 2024 bis einschließlich Oktober 2025. Ein kleinerer Teil der teilnehmenden Haushalte nutzte das ESK von co2online, in dem Daten zum Stromverbrauch händisch eingetragen werden können. In der Regel wurden dort nur die Zählerstände eingetragen, teilweise aber auch die PV-Erzeugung oder der Verbrauch von Sondergeräten wie Wärmepumpen. Weitere benötigte Daten, vor allem zur PV-Erzeugung, wurden in den Umfragen erhoben. Darin wurden zum einen monatliche Werte abgefragt und zum anderen um das Zusenden zeitlich höher aufgelöster Daten gebeten.

Im Projektverlauf wurden den teilnehmenden Haushalten insgesamt vier Arten von Umfragen geschickt: eine Anfangsbefragung, eine Technikbefragung, mehrere, in regelmäßigen Abständen wiederkehrende Änderungsbefragungen und am Ende eine Abschlussbefragung. In der Anfangsbefragung wurden soziodemografische Daten der Haushalte abgefragt sowie die Häufigkeit der Anwesenheit von Haushaltsmitgliedern im Haus und die Motivation für die geplante Anschaffung der PV-Anlage. In der Technikbefragung wurden die Geräte des Haushalts detailliert erfasst. Abgefragt wurde neben der Menge der einzelnen Geräte auch deren Alter, Größe und zeitliche Steuerbarkeit, sowie das Nutzungsverhalten anhand der Nutzungsdauer und der Nutzung der Steuerungsfunktionen steuerbarer Geräte. Die Angaben wurden in den StromanwendungsCheck übernommen, sodass für jeden Haushalt ein differenziertes Bild über die vorhandenen Stromanwendungen und -nutzungsmuster gewonnen werden und zum Abschluss des Feldtests eine differenzierte Verbrauchsbilanz nach Anwendungsfeldern aufgestellt und mit Mittelwerten der Energieverbrauchsstatistik verglichen werden konnte. Außerdem wurden in der Technikbefragung die Größe, Ausrichtung und Neigung der geplanten PV-Anlage abgefragt. Die Abfrage der Geräte lieferte den Grunddatensatz, um anschließend in den Änderungsbefragungen Änderungen in der Geräteausstattung und im Nutzungsverhalten nachvollziehen zu können. Die Änderungsbefragungen fanden in regelmäßigen Abständen statt (siehe Abbildung 3.2) und beinhalteten eine Abfrage der Verbrauchsdaten wie oben beschrieben, der Änderungen in Geräteausstattung und -nutzung und verschiedener Einstellungen sowie eine Selbsteinschätzung der Stromverbrauchsänderung seit der letzten Befragung. In der Abschlussbefragung wurde außerdem um eine qualitative Schilderung der Erfahrung der befragten Person als Prosumer gebeten. Die Abschlussbefragung wurde gestaffelt verschickt zu einem Zeitpunkt, an dem die Anlageninstallation mindestens ein Jahr her war.

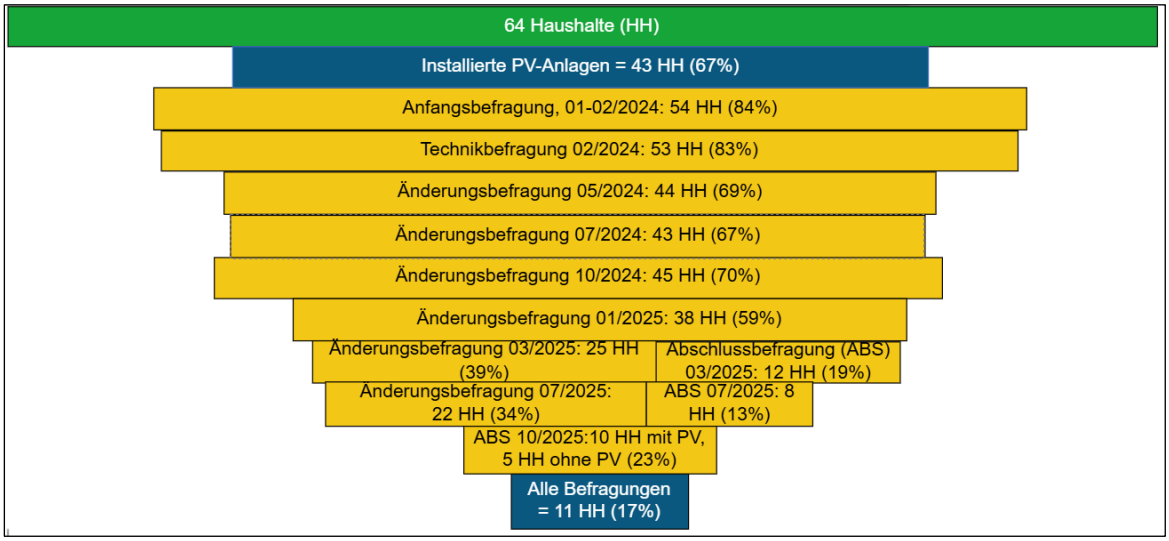


Abbildung 3.2: Befragungen und Rücklaufquote
Eigene Darstellung. Die Änderungsbefragungen 03/2025 und 07/2025 wurden nur an eine Teilmenge versendet, da die erste(n) Kohorte(n) schon die Abschlussbefragung erhalten hatte(n).

Abbildung 3.2 zeigt den zeitlichen Ablauf, in dem Befragungen an die teilnehmenden Haushalte versendet wurden sowie die Anzahl der Haushalte, die jeweils an den Befragungen teilgenommen haben. Von ursprünglich 213 akquirierten Haushalten haben 64 aktiv am Projekt teilgenommen. Von diesen 64 haben 43 tatsächlich im Projektzeitraum eine PV-Anlage installiert; 21 haben dieses Vorhaben trotz erklärter Absicht (noch) nicht realisiert. Der Rücklauf der Umfragen ist mit der Zeit zurückgegangen, wobei zu beachten ist, dass die 5. und 6. Änderungsbefragung nicht mehr an alle Haushalte verschickt wurde, weil die ersten Teilnehmenden zu dem Zeitpunkt schon die Abschlussbefragung erhalten hatten. An allen an sie versendeten Befragungen haben 11 der 64 Haushalte teilgenommen.

3.3 Fokusgruppen

Um einen tieferen Einblick in das Verhalten und die Beweggründe von Prosumern zu erlangen, wurde der Feldtest durch zwei digitale Fokusgruppen ergänzt. Die erste Fokusgruppe stand unter der Überschrift „Meet the Scientist“ und war ein gezielt lockeres Format, in dem Teilnehmende des Feldtests die Möglichkeit bekamen, sich untereinander auszutauschen. Von der Moderation vorgegebene thematische Schwerpunkte waren die Motivation zur Teilnahme am Projekt und zur Installation der PV-Anlage, die Präsenz des Themas Sektorkopplung und dessen Wechselwirkung mit der PV-Anlage sowie das Monitoring von Stromverbrauch und -erzeugung im Haushalt. Der Stammtisch fand am 11. Juni 2024 statt. Eingeladen waren alle Teilnehmende des Feldtests. Teilgenommen haben sechs Personen aus fünf Haushalten, davon vier männlich und zwei weiblich.

Am 4. März 2025 fand die zweite Fokusgruppe statt. In dieser Fokusgruppe wurden anhand eines interaktiven Miro-Boards drei Themenblöcke besprochen: 1. der individuelle Weg zum Prosumer, 2. die Motivation zur Installation der PV-Anlage und 3. das Energieverbrauchsverhalten. Auf einen Stimulus zur Einführung in die Thematik am Anfang, wie sonst bei Fokusgruppen üblich (Schulz et al. 2012) wurde verzichtet, weil die Teilnehmenden durch ihre Teilnahme am Projekt bereits mit dem Thema vertraut waren.

Zur Fokusgruppe wurden ebenfalls alle Teilnehmende des Feldtests eingeladen und vier männliche Personen aus drei verschiedenen Bundesländern nahmen teil. Mit einer Haushaltsgröße von mindestens vier Personen lebten sie alle in vergleichsweise großen Haushalten.

Sowohl der Stammtisch als auch die Fokusgruppe wurden aufgezeichnet, transkribiert und mit MaxQDA kodiert.

3.4 Datenaufbereitung und Auswertungsmethoden

Die quantitativen Daten wurden für die Analysen auf Plausibilität geprüft und ggf. bereinigt. Fehlende Werte wurden linear interpoliert. Da bei der Interpolation zeitliche Muster innerhalb des interpolierten Zeitraums nicht abgebildet werden, wurden diese Daten nur für Auswertungen verwendet, für die die zeitliche Auflösung nicht relevant war.

Da die verfügbaren Vergleichsdaten vor und nach der Installation der PV-Anlage häufig nicht die gleiche Jahreszeit abdeckten, war eine Bereinigung der Daten von normalen jahreszeitlichen Schwankungen notwendig. Dafür wurden Daten des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) für ein Standardlastprofil eines deutschen Haushalts aus dem Jahr 2025 genutzt. Die Daten des BDEW beruhen auf Bilanzierungsdaten von 62 Verteilnetzbetreibern aus den

Jahren 2018 und 2019 (BDEW 2025), in denen der Anteil von PV am Bruttostromverbrauch bereits bei rund 8 % lag. Dadurch ist ein gewisser Prosumer-Einfluss in den Daten bereits enthalten. Da Prosumer im Sommer einen größeren Teil des Eigenverbrauchs durch PV-Strom decken als im Winter, ist die saisonale Schwankung in den Daten des BDEW etwas stärker ausgeprägt als die tatsächlichen Stromverbrauchsschwankungen, sodass nach einer Bereinigung mit diesen Daten eine normale Verbrauchslastkurve als hoher Verbrauch im Sommer und geringer Verbrauch im Winter bewertet würde. Allerdings zeigt ein Vergleich mit den Daten von 1999 (VDEW 2000), dass der Sommer inzwischen sogar einen größeren Anteil an der gesamten Last über ein Jahr hat.

Nach der saisonalen Bereinigung wurden die Zeitschritte vor und nach der Installation (ohne den Zeitschritt während der Installation) anhand verschiedener statistischer Kenngrößen miteinander verglichen.

Um den Reboundeffekt zu berechnen, wurde die Differenz der Mediane des saisonal bereinigten Verbrauchs vorher und nachher durch die durchschnittliche Erzeugung geteilt. Der Reboundeffekt wurde nur für Haushalte berechnet, für die mindestens drei Datenpunkte vor und drei nach der Installation der PV-Anlage vorlagen – d. h. in der Regel drei Monate, mindestens aber drei Wochen. Außerdem wurden Haushalte aus der Berechnung herausgenommen, die eine Wärmepumpe besitzen, für die keine Stromverbrauchsdaten vorlagen und solche, die sich in dem Zeitraum, über den der Reboundeffekt berechnet wurde, Sektorkopplungsanlagen (E-Auto/Wärmepumpe) angeschafft haben, für die uns keine separaten Stromverbrauchsdaten zur Verfügung standen. Haushalte, die von vornherein ein E-Auto besaßen, wurden nicht aus der Stichprobe entfernt, weil es keinen Grund zu der Annahme gab, dass die Nutzung des E-Autos saisonal variiert. Auf diese Weise wurden durch Sektorkopplungsanlagen verursachte Stromverbrauchsänderungen von vornherein aus dem Reboundeffekt herausgerechnet, sodass sich nur Energieverbrauchserhöhungen und keine Energieträgerwechsel im berechneten Reboundeffekt widerspiegeln.

Zur Identifikation statistischer Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen wurden mehrere inferenzstatistische Verfahren unter Verwendung der Software R eingesetzt. Zur Analyse bivariater Zusammenhänge kam überwiegend der Rangkorrelationskoeffizient Kendall’s Tau-b zum Einsatz. Die Wahl dieses Korrelationsmaßes erfolgte aufgrund seiner hohen Robustheit gegenüber Ausreißern sowie seiner Eignung für Datensätze mit einer großen Anzahl gleicher Rangwerte (ties), wie sie in den vorliegenden Daten häufig auftreten (Keown und Hakstian 1973).

Kendall’s Tau-b wurde insbesondere dann verwendet, wenn es sich bei den untersuchten Variablen um Ergebnisse von Likert-Typ-Items handelte. Diese sind per Definition ordinal skaliert und zeichnen sich häufig durch eine eingeschränkte Varianz sowie eine hohe Häufigkeit identischer Ausprägungen aus. So zeigte sich in einzelnen Items beispielsweise eine Konzentration der Antworten auf die Kategorien 4 („stimme eher zu“) und 5 („stimme voll und ganz zu“). Aufgrund seiner rangbasierten Methodik ist Kendall’s Tau-b auch unter diesen Bedingungen geeignet, monotone Zusammenhänge zuverlässig abzubilden. Für bivariate Zusammenhänge zwischen metrisch skalierten, nicht normalverteilten Variablen wurde hingegen der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman verwendet.

3.5 Methodik Energiesparkonto

Zu Bewertung des Reboundeffekts bei PV-Haushalten wurden als weitere Datenquelle Eingaben in das ESK von co2online geprüft. Mit diesem kostenfreien Monitoringtool können Nutzer*innen die Zählerstände und Abrechnungen ihrer Energieverbräche (darunter Strom) eintragen und auswerten

lassen. Zusätzlich ist es ihnen möglich, bestimmte Events, wie beispielsweise die Installation einer PV-Anlage, mit Zeitstempeln zu vermerken. Dies erlaubt es, Stromverbräuche vor und nach der Installation einer PV-Anlage anonymisiert zu analysieren und einen möglichen Reboundeffekt zu erkennen. Einschränkend muss jedoch vermerkt werden, dass aufgrund der manuellen Erfassung der Werte durch die Nutzer*innen die Datenqualität nicht einheitlich gut war, weshalb einige Datensätze aufgrund unsicherer Datenlage nicht in der Analyse berücksichtigt werden konnten. Für den Feldtest wurden bei Haushalten, die das ESK nutzen, diese Daten auch genutzt; die Schnittmenge zwischen Feldtestteilnehmenden und ESK-Nutzenden ist aber gering.

Im Folgenden (Kapitel 4) werden die Ergebnisse des Feldtests und der Auswertung der ESK-Daten vorgestellt. Die Ausführungen beginnen mit der gemessenen Höhe des Reboundeffekts. Daran anknüpfend werden statistische Zusammenhänge und Erklärungsansätze für den Mehrverbrauch vorgestellt. In Kapitel 5 wird die Perspektive geweitet von der reinen Suffizienz auf weitere Entscheidungen und Verhaltensweisen von Prosumern, die Einfluss auf die Energiewende haben.

4 Ergebnisse zur Höhe der Reboundeffekte

4.1 Feldtest: Geringer Reboundeffekt

Auf Basis der vorliegenden Daten konnte der Reboundeffekt für 15 Haushalte berechnet werden (siehe Abbildung 4.3). Der Median liegt bei 4 %. Damit ist der festzustellende Reboundeffekt unter den Feldtestteilnehmenden deutlich geringer als in vorherigen Studien zum Reboundeffekt unter Prosumern in Deutschland und auch geringer als in den meisten internationalen Studien (siehe Kapitel 2). Eine Stromverbrauchsveränderung dieser Größenordnung kann auch in der Grundgesamtheit deutscher Haushalte vorkommen: Zwischen 2019 und 2020 ist der Stromverbrauch je Haushalt in Deutschland um fast 3 % gestiegen (destatis 2023). Allerdings sind in diesen 3 % auch Verbrauchssteigerungen durch Sektorkopplung enthalten. Berücksichtigt man, dass Wechselrichter selbst auch etwas Strom verbrauchen, reduziert sich der berechnete Reboundeffekt noch weiter: Bei einem Stromverbrauch des Wechselrichters von 200 kWh im Jahr (entspricht etwa 40 W Leistung) läge er noch bei 1 %.

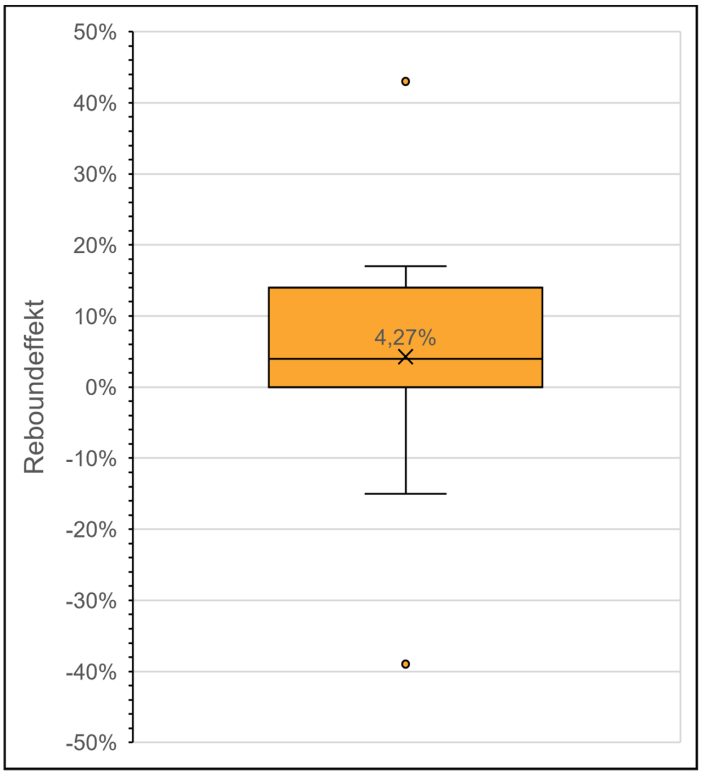


Abbildung 4.3: Reboundeffekt nach Installation einer Photovoltaikanlage
Eigene Darstellung, n =15 Haushalte

Der Reboundeffekt konnte nur für 15 der 64 Haushalte berechnet werden, weil die anderen Haushalte zum Teil während des Feldtests doch keine PV-Anlage installiert haben, entweder vor oder nach der Installation zu wenig Daten übermittelt haben oder Wärmepumpen besaßen, jedoch den Wärmepumpenstrom nicht zur Verfügung gestellt haben, sodass es nicht möglich war, den Wärmepumpenstrom aus dem Stromverbrauch herauszurechnen.

4.2 Energiesparkonto: Spillover- statt Reboundeffekte

Betrachtet wurden zunächst alle Haushalte, die in ihrem ESK eine PV-Anlage eingerichtet hatten und zu denen aktuelle Daten vorlagen. Ziel der Analyse war es zu ermitteln, ob sich – vergleichbar mit der Fragestellung des Feldtests – eine Änderung des Stromverbrauchs nach Einbau der PV-Anlage feststellen lässt. Haushalte mit Wärmepumpe und/oder E-Auto wurden zur besseren Vergleichbarkeit der Verbräuche nicht berücksichtigt, wodurch nach qualitativer Bereinigung noch 32 Datensätze zur Analyse eines möglichen Rebounds/Spillovers verblieben.

Die Tabelle 4.2 zeigt, dass sich bei über der Hälfte der betrachteten Haushalte (mit PV-Dachanlage, ohne Wärmepumpe oder E-Auto) keine relevante Änderung des Stromverbrauchs nach der Installation der PV-Anlage einstellte. Bei 9 % kam es zu Mehrverbräuchen (Rebound), bei 38 % zu Minderverbräuchen (Spillover). Im Median gab es einen Spillover von 1 %.

Tabelle 4.2: Rebound und Spillover im Energiesparkonto

Auswertung	Anzahl	Anteil
Rebound 15 - 20 %	0	0 %
Rebound 10 - 15 %	1	3 %
Rebound 5 - 10 %	2	6 %
Neutral	17	53 %
Spillover 5 - 10 %	5	16 %
Spillover 10 - 15 %	3	9 %
Spillover 15 - 20 %	4	13 %
Summe	32	100 %
Auswertung	Anzahl	Anteil

Bei der Bewertung der Daten ist zu berücksichtigen, dass erstens die Anzahl der Datensätze zu gering ist für generalisierbare Aussagen und zweitens ein Bias vorliegen könnte: ESK-Nutzer*innen achten möglicherweise bewusster auf ihren Energieverbrauch als der Bevölkerungsdurchschnitt. Naheliegend ist die Annahme, dass regelmäßige Beschäftigung mit den eigenen Energieverbräuchen, die bei den ESK-Nutzer*innen gegeben ist, einen Beitrag zu einem bewussteren und sparsameren Umgang mit Energie beiträgt. Ein ähnlicher Effekt wurde auch in einem Feldexperiment in Schweden festgestellt (List et al. 2024).

Zudem ist denkbar, dass das ESK ganz gezielt genutzt wird, um sich aktiv mit dem eigenen Stromverbrauch auseinanderzusetzen und Einsparpotenziale zu identifizieren. Die bewusste Nutzung des Tools könnte daher nicht nur bestehendes Energiebewusstsein widerspiegeln, sondern auch selbst ein Anreiz für einen sparsameren Umgang mit Strom sein.

5 Zusammenhänge und Erklärungsansätze für Reboundeffekte

Neben der Quantifizierung von Verbrauchsveränderungen war es ein Anliegen des Feldtests, mehr über die Verhaltensmuster und Einstellungen zu erfahren, welche Mehrverbräuche nach der Installation der PV-Anlage erklären. Auch wenn der Reboundeffekt im Median geringer ausfiel als vor dem Hintergrund der Literatur vermutet, konnten im Feldtest Denkmuster festgestellt werden, die den solaren Reboundeffekt begünstigen, sowie ein Zusammenhang zwischen der Motivation für die Installation der PV-Anlage und dem Reboundeffekt.

5.1 Sonnenstrom und Mehrverbrauch

Die Ergebnisse aus den qualitativen Erhebungen im Rahmen des Feldtests geben erste Hinweise, dass der gemessene Mehrverbrauch teilweise bewusst herbeigeführt wurde. Beispielsweise berichtete ein Haushalt in einer der Fokusgruppen, dass er es vorziehe einen Entfeuchter einzuschalten, um den Strom zu „verbraten“, bevor er den Strom einspeise. Ein anderer Haushalt nutze den Backofen um die Wohnung zu heizen, wenn in den Sonnenstunden ein Überschuss an Solarstrom zur Verfügung stehe.

Auch in den Surveydaten wird der bewusste Mehrverbrauch der Haushalte zum Ausdruck gebracht. Die Hälfte der Teilnehmenden am Feldtest gaben an, dass sie sich aufgrund der Installation der PV-Anlage gelegentlich „mit gutem Gewissen etwas gönnen“ können, beispielsweise durch längeres heißes Duschen (Moral Licensing). Mehr als die Hälfte der Befragten berichtete zudem, Geräte auch dann einzuschalten, wenn diese noch nicht vollständig beladen sind, sofern gerade die Sonne scheint (siehe Abbildung 5.4).

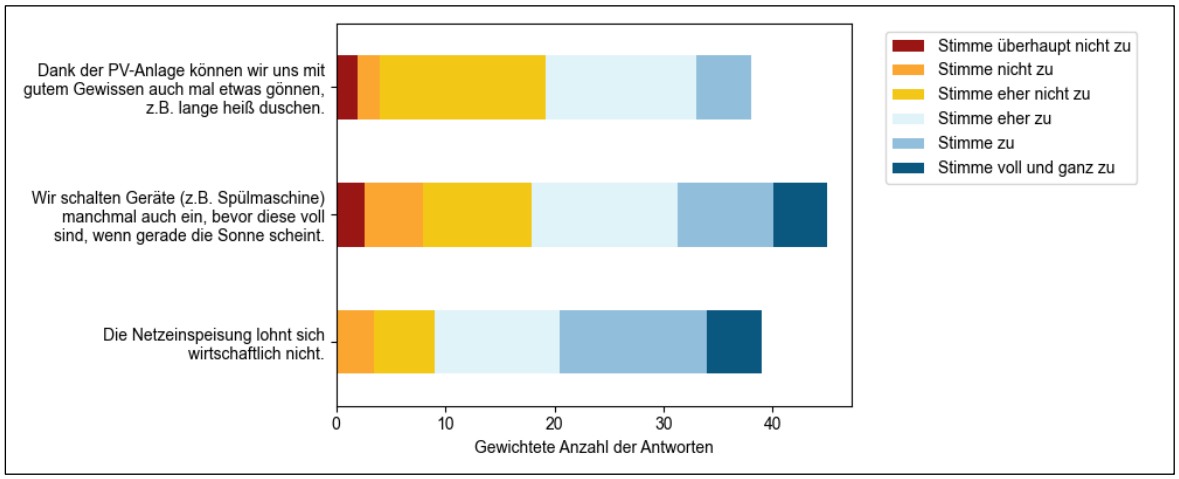


Abbildung 5.4: Gründe für Mehrverbrauch
Eigene Darstellung

Als Gründe für den Mehrverbrauch fanden sich in dem Feldtest ökonomische und organisatorische Aspekte sowie Einstellungen in Bezug auf den eigenen Solarstrom, die den Mehrverbrauch rechtfertigen. Ein plausibler Erklärungsansatz für den teilweise bewussten Mehrverbrauch von Prosumern liegt in den niedrigen Opportunitätskosten des Verbrauchs des selbst erzeugten PV-Stroms. Aufgrund der als gering bewerteten Einspeisevergütung wird PV-Strom als sehr günstig wahrgenommen. In den qualitativen Erhebungen wurde der Solarstromverbrauch teilweise sogar als „kostenlos“ wahrgenommen. Diese Hypothese wird durch die Befragungsergebnisse gestützt: 77 % der Teilnehmenden bewerten die Einspeisevergütung als zumindest nicht lohnenswert, siehe Abbildung 5.4. In den Fokusgruppen bezeichnete ein Teilnehmer die Einspeisung sogar als „böse“, weshalb er versuche „den Eigenverbrauch in die Höhe zu treiben“:

Als weitere Gründe für diese Haltung wurden neben der geringen Höhe der Einspeisevergütung auch der Abrechnungsprozess beim Energieversorger als Hemmnis für die Einspeisung genannt. Dies verdeutlicht die folgende Aussage eines Haushalts in einer der Abschlussbefragungen:

> *„Dadurch, dass es fast ein Jahr gedauert hat, bis unser Energieversorger die Einspeisevergütung initial abgerechnet hat, und weil deren Prozess unserer Meinung nach unkomfortabel ist, suchen wir eher nach Möglichkeiten, die überschüssig erzeugte Energie sinnvoll zu verwenden anstatt mit der Auszahlung vom Energieversorger zu planen.“ (Abschlussbefragung)*

Tatsächlich haben von 18 Haushalten nur sieben ab Installation der Anlage die Einspeisevergütung erhalten. Vier von ihnen haben länger als sechs Monate darauf gewartet. Drei von acht Haushalten, die die Einspeisevergütung erst später bekommen haben, wurde die Einspeisung im Anfangszeitraum nicht rückwirkend vergütet. Zweifel daran, ob die rückwirkende Zahlung stattfinden wird, führte bei einem von drei Haushalten zu einem Mehrverbrauch. Im Anfangszeitraum nach der Installation kann also eine Verzögerung der Einspeisevergütung zu Mehrverbräuchen beitragen.

Ein weiterer Aspekt, der in den qualitativen Erhebungen zur Wahrnehmung von Solarstrom deutlich wurde, ist die Tatsache, dass die Nutzung von PV-Strom teilweise nicht als Stromverbrauch erachtet wird. Einige Teilnehmende gaben an, dass ihr Stromverbrauch gesunken sei, da sie diesen ausschließlich mit dem Netzbezug gleichsetzten.

5.2 Hinweise auf indirekte Reboundeffekte

Neben den in Kapitel 4.1 beschriebenen ökonomischen Präferenzen (Einspeisevergütung) und den Einstellungen in Bezug auf Solarstrom, welche zu einem direkten Reboundeffekt führen, gibt es auch Hinweise auf indirekte Reboundeffekte. 39 % der Befragten stimmten der Aussage zu, sie könnten in anderen Bereichen sorgloser konsumieren, da sie mit der PV-Anlage bereits genug für die Umwelt täten. Auch hier kommen moralische Einstellungen und begünstigende wirtschaftliche Faktoren zusammen: fast ein Viertel der Haushalte stimmte zu, dass durch die geringeren monatlichen Stromkosten andere Güter und Dienstleistungen (z. B. Urlaub, Restaurantbesuche) verstärkt konsumiert werden könnten (siehe Abbildung 5.5). Diese Einschätzung wird durch zwei Aussagen aus den Fokusgruppen veranschaulicht:

> *„Ich sag mal, die Mutter und die beiden Frauen sind dadurch ins Boot gekommen, weil man eben vorrechnen konnte, dass sich das auf Dauer lohnt […] weil wenn man Geld sparen kann, dann geht das wieder in Urlaub, Spielzeug, was weiß ich. Dann sind die Augen so groß.“ (Teilnehmer Fokusgruppe)*

> *„Es könnte in Zukunft wirklich dazu führen, dass man sagt: Ich geh halt jetzt nicht alle zwei Jahre in Urlaub, sondern ich kann mir das öfter leisten.“ (Teilnehmer Fokusgruppe)*

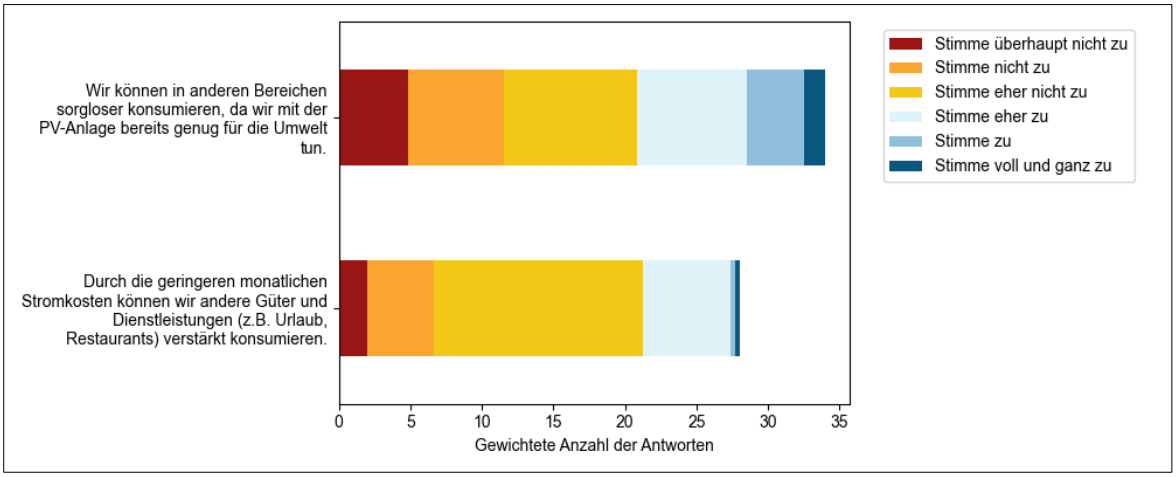


Abbildung 5.5: Photovoltaik und Mehrkonsum in anderen Bereichen (indirekte Reboundeffekte)
Eigene Darstellung

5.3 Intrinsische Motivation schützt nicht vor Reboundeffekten

Die Auswertung der per Freitextabfrage erhobenen Motivation für die Anschaffung einer PV-Anlage ist in Abbildung 5.6 zu sehen. Die Ergebnisse zeigen, dass der überwiegende Teil der Teilnehmenden vor allem ökologisch motiviert ist, gefolgt von finanziellen Gründen sowie dem Bestreben nach Autarkie. Auch technisches Interesse spielte für einige Teilnehmenden eine Rolle.

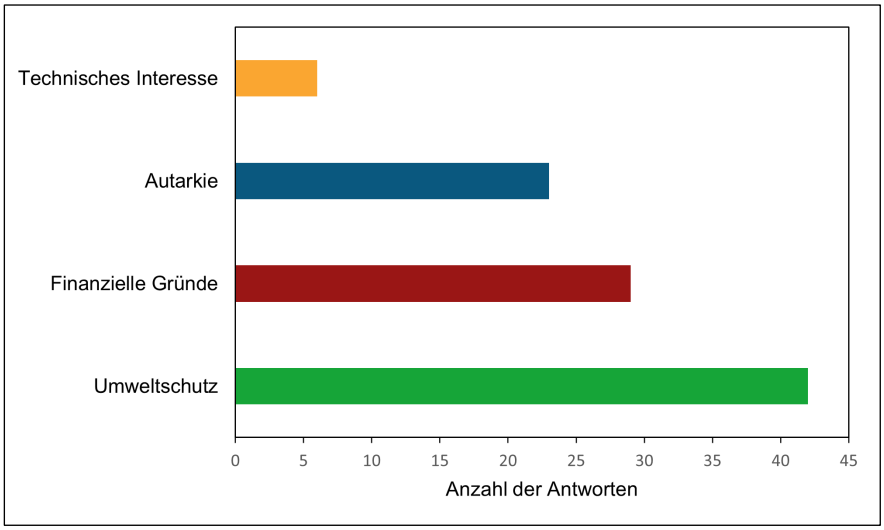


Abbildung 5.6: Motivation für Photovoltaik (Freitextantworten)
Eigene Darstellung, Abfrage mittels eines Freifeldtextes zu Beginn des Feldtests

Die Auswertung der per Likert-Skala erhobenen Einflussfaktoren für die Kaufentscheidung einer PV-Anlage ist in Abbildung 5.7 zu sehen. Weniger als 20 % der Befragten gaben an, dass Freundinnen oder Bekannte ihre Entscheidung für eine PV-Anlage beeinflusst haben. Demgegenüber zeigen sich hohe Zustimmungswerte für die übrigen Motivatoren. Insbesondere die breit geteilte

ökologische Motivation und die Ansicht, einen Beitrag zur Energiewende zu leisten, bestätigen den Eindruck, dass es sich bei den Teilnehmenden des Feldtests um eine zum großen Teil intrinsisch motivierte Gruppe mit hohem ökologischen Bewusstsein handelt.

Trotz der insgesamt hohen Zustimmungswerte bei den meisten Motivatoren ließen sich einige statistische Zusammenhänge feststellen. Tabelle 5.3 zeigt die Werte von Kendall's Tau-b mittels einer Heat-Map. Kendall's Tau-b nimmt Werte zwischen null und eins an. Die Analyse zeigt eine statistisch signifikante, starke[1] positive Korrelation (Kendall's Tau = 0,49***) zwischen dem Bestreben nach Autarkie und der Motivation zur Reduktion der Stromkosten. Insbesondere die ökonomische Motivation lässt sich im Gegensatz zu den ökologischen Beweggründen als Form instrumenteller bzw. extrinsischer Motivation einordnen.

Auffallend ist, dass die Richtung der gemessenen Korrelation sowohl zwischen Kostenreduktion und Umwelt- und Klimaschutz (Kendall's Tau = - 0,21) als auch zwischen Autarkie und Umwelt- und Klimaschutz (Kendall's Tau = -0,18.) negativ ist Allerdings sind beide Messungen nicht signifikant. Hinweise auf einen möglichen negativen Zusammenhang zwischen instrumentellen (Kostenreduktion und Autarkie) und intrinsischen Motivatoren (Umwelt- und Klimaschutz) oder gar die Existenz zweier Arten von Prosumern müssten etwa durch eine größere Stichprobe und ein angepasstes Forschungsdesign nachgegangen werden. Des Weiteren ist ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen den Variablen Umwelt- und Klimaschutz und Beitrag zur Energiewende (Kendall's Tau = 0,45***) festgestellt worden.

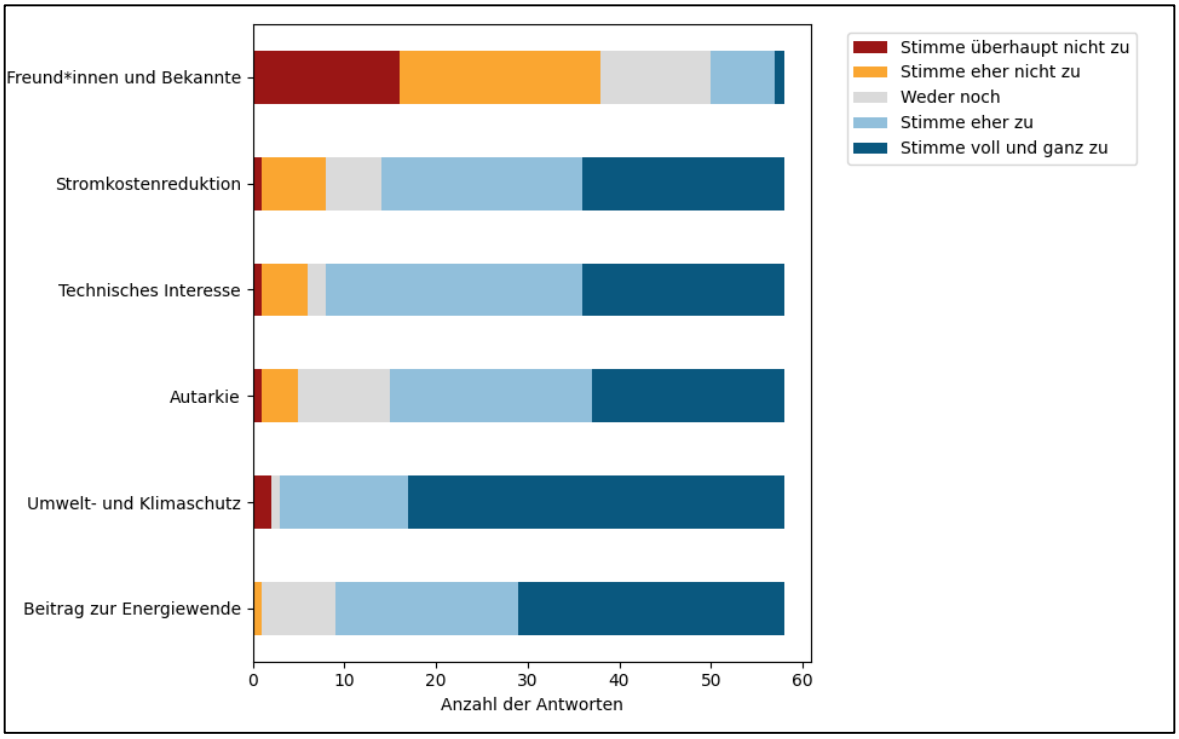


Abbildung 5.7: Motivation für Photovoltaik (Abfrage mittels Likert-Skala)
Eigene Darstellung, Abfrage über Likert-Items zu Beginn des Feldtests

[1] Die Formulierungen stark, moderat und leicht wurden gewählt auf Basis von Schober et al. (2018) und einem darauf aufbauenden wissenschaftlichen Blogbeitrag (Wicklin 2023). Pauschale Grenzwerte für Interpretationen sind jedoch nicht formal festgelegt.

Tabelle 5.3: Kendall's Tau Korrelation zwischen Motivatoren

	Stromkosten-reduktion	Technisches Interesse	Autarkie	Beitrag zur Energiewende
Umwelt- und Klimaschutz	-0,21 (p = 0,590) (n = 58)	0,24 (p = 0,074) (n = 58)	-0,18 (p = 0,664) (n = 58)	0,45*** (p = 0,000) (n = 58)
Stromkosten-reduktion		0,25 (p = 0,054) (n = 58)	0,49*** (p = 0,001) (n = 58)	0,14 (p = 0,284) (n = 58)
Technisches Interesse			0,13 (p = 0,852) (n = 58)	0,28 (p = 0,291) (n = 58)
Autarkie				0,14 (p = 0,852) (n = 58)

Stärke der Korrelation basierend auf Schober et al (2018):
- vernachlässigbar (0 - 0,05)
- schwach bis moderat positiv bzw. negativ (0,06 – 0,48)
- stark bis sehr stark positiv bzw. negativ (0,49 – 1)

Für die vorliegende Studie war insbesondere die Frage relevant, ob zwischen den erhobenen Motivationsfaktoren und dem gemessenen Reboundeffekt Zusammenhänge bestehen. In die Analyse konnten die 15 Haushalte einbezogen werden, für die reale Verbrauchs- und Ertragsdaten vorlagen und anhand derer der Reboundeffekt quantifiziert werden konnte. Schlussendlich konnten jeweils 14 gültige Paare gebildet werden – ein sehr kleiner Wert für eine statistische Auswertung. Die Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten Kendall's Tau-b weist einen starken positiven Zusammenhang zwischen ökologischer Motivation und dem Reboundeffekt auf, wie auch bei Aydın et al. (2023). Die Korrelation zwischen instrumentellen Motivatoren und dem Reboundeffekt zeigte dagegen in eine entgegengesetzte Richtung. Letzterer Zusammenhang ist jedoch statistisch nicht signifikant. Es ist wichtig an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass es sich bei den vorliegenden statistischen Zusammenhängen stets um Korrelationen, nicht um Kausalitäten handelt. Die Gründe für die gemessenen Zusammenhänge können multifaktoriell und komplex sein.

Haushalte mit stark ausgeprägten ökologischen Motiven weisen im vorliegenden Sample tendenziell höhere Zuwächse im Stromverbrauch nach der Installation der PV-Anlage auf als solche, deren Verhalten stärker durch instrumentelle Motive wie Kostenersparnis oder Autarkie geprägt ist. Der potenziell dämpfende Einfluss ökonomischer Motivationen auf den Reboundeffekt erscheint plausibel, da ein primär auf Kostenersparnis ausgerichtetes Verhalten tendenziell mit einem höheren Kostenbewusstsein und damit einer stärkeren Kontrolle des Energieverbrauchs einhergehen könnte. Auf der anderen Seite wäre ein dämpfender Einfluss ökologischer Motivation ebenso plausibel, aufgrund der intrinsischen Motivation ökologisch zu handeln, etwa um durch Einspeisung von PV-Strom zur Energiewende beizutragen

Tabelle 5.4: Korrelation Rebound und Motivation

	Autarkie	Stromkosten-reduktion	Klima- und Umwelt-schutz
Rebound	-0,3 (p = 0,301) (n = 14)	-0,22 (p = 0,456) (n = 14)	0,54* (p = 0,047) (n = 14)
Autarkie		0,72** (p = 0,004) (n = 14)	0,00 (p = 1,0) (n = 14)
Stromkosten-reduktion			-0,06 (p = 0,836) (n = 14)

Stärke der Korrelation basierend auf Schober et al (2018):
- vernachlässigbar (0 - 0,05)
- schwach bis moderat positiv bzw. negativ (0,06 – 0,48)
- stark bis sehr stark positiv bzw. negativ (0,49 – 1)

5.4 Weitere Erklärungsansätze für den Reboundeffekt

Bigler (2025) konnte nachweisen, dass es bei größeren PV-Anlagen zu einem größeren Reboundeffekt kommt. Dieser Zusammenhang konnte in den hier vorliegenden Daten nicht gezeigt werden. Weder die anteilig genutzte Fläche, noch die absolute installierte Leistung steht in einem statistisch relevanten Zusammenhang mit dem Reboundeffekt oder weist eine bestimmte Tendenz auf. Geprüft wurden zehn vollständige Datenpaare mittels Scatterplots und dem Spearman-Rangkorrelationkoeffizienten.

Zudem konnten aufgrund der geringen Anzahl an auswertbaren Beobachtungen keine Zusammenhänge mit vorhandenen Sektorkopplungstechnologien und einem Mehrverbrauch nachgewiesen werden.

6 Beitrag von Prosumern zur Energiewende: Mehr als Suffizienz

Der solare Reboundeffekt beschreibt, welcher Anteil des selbst erzeugten Stroms durch Mehrverbrauch wieder verloren geht. Die für die Energiewende insgesamt wichtigere Frage ist, wie viel Netzstrom durch selbst erzeugten Strom ersetzt wird. Diese Frage ist und bleibt relevant, weil Netzstrom heute noch einen hohen fossilen Anteil hat und auch in Zukunft höhere Umweltauswirkungen und Nutzungskonkurrenzen haben wird als Dach-PV-Anlagen (Würflein et al. 2025). Suffizienz ist einer von mehreren Faktoren, die zur Reduktion des Netzbezugs beitragen können. Ein zweiter Faktor ist die Dimensionierung der Anlage: Je größer sie ist, desto mehr Netzstrom kann sie ersetzen. Ein dritter Faktor ist die Verbrauchsflexibilität: Da mittags auch im Stromnetz eine Erzeugungsspitze entsteht, verringert es den Ressourcenaufwand insgesamt, wenn der eigene Strom mittags verbraucht wird. Aus diesem Grund ist auch der Reboundeffekt je nach Zeitpunkt

des Mehrverbrauchs unterschiedlich zu bewerten. Erweitert man den Horizont über den Stromsektor hinaus auf den Energieverbrauch im Allgemeinen, ergibt sich ein vierter Faktor, über den Prosumer ihren Ressourcenverbrauch reduzieren können: Die Anschaffung von Sektorkopplungsgeräten, mithilfe derer der grüne Strom fossile Kraft- und Brennstoffe ersetzen kann. Der Faktor Suffizienz wurde in den vorangegangenen Kapiteln diskutiert. Im Folgenden wird auf die Erkenntnisse aus dem Feldtest zum Verhalten von Prosumern in Hinblick auf die Anlagendimensionierung, Verbrauchsflexibilisierung und Sektorkopplung eingegangen.

6.1 Dachflächen werden meist voll ausgenutzt

Zu Beginn des Feldtests wurden zunächst die für eine PV-Anlage zur Verfügung stehenden Dachflächen erhoben. Diese Angaben wurden anschließend mit der bei der Installation angegebenen PV-Dimensionierung abgeglichen und in ein Verhältnis gesetzt.

Abbildung 6.8 zeigt die Verteilung der Dimensionierungswerte für 27 Haushalte. Etwa die Hälfte der Haushalte nutzte die verfügbare Dachfläche vollständig aus, sodass der Median bei 1,0 liegt. Lediglich sieben Haushalte haben weniger als 70 % der Dachfläche genutzt. Für 32 Haushalte liegen Werte für die gesamte Installierte Leistung vor: Im Median installieren die Haushalte 9,7 kWp auf ihren Dächern. Die Werte reichen von 3 kWp im Minimum bis zu 29,2 kWp im Maximum.

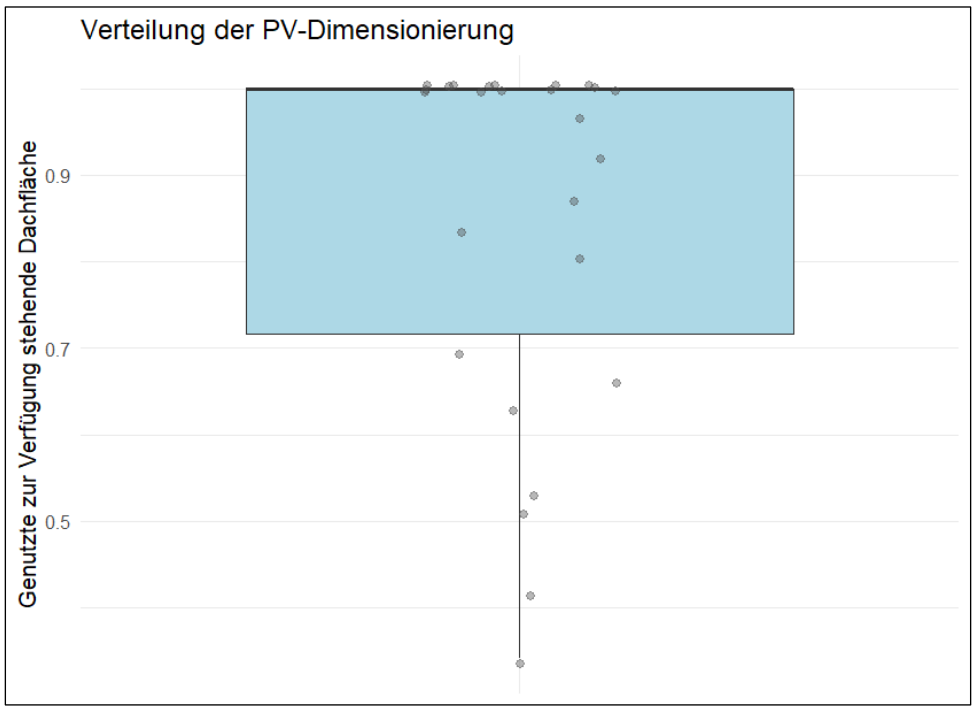


Abbildung 6.8: Dimensionierung von Photovoltaikanlagen
Eigene Darstellung. Antworten aus Befragung. N= 27

Haushalte mit Sektorkopplungsgeräten (E-Autos und Wärmepumpen) installierten tendenziell größere PV-Anlagen, sofern dafür ausreichend Dachfläche zur Verfügung stand. Dabei nutzten in der Stichprobe insbesondere Haushalte mit Wärmepumpen aber ohne E-Autos ihre verfügbaren Dachflächen voll aus. Haushalte mit E-Autos hatten im Median die größten Dachflächen, sodass diese nicht vollständig mit PV belegt wurden, obwohl diese Gruppe die größten PV-Anlagen installierte.

Das gleiche Muster zeigt sich bei Haushalten, die noch keine Sektorkopplungsgeräte hatten, aber deren Anschaffung planten.

6.2 Die Anschaffung von PV-Anlagen ist eng mit der Anschaffung von Sektorkopplungsgeräten verknüpft

Die Anschaffung der PV-Anlage steht häufig mit der Anschaffung stromverbrauchender Geräte im Zusammenhang: In den Befragungen gaben 14 von 33 Teilnehmenden an, dass bestimmte Geräte ihren Wunsch, eine PV-Anlage zu kaufen, verstärkt habe, und 22 der 33 Teilnehmenden gaben an, dass die PV-Anlage den Kaufwunsch für bestimmte Geräte verstärkt habe. Wärmepumpen und E-Autos sind in beide Richtungen häufig mit dem PV-Kauf verknüpft. Einige andere Geräte motivieren kaum oder gar nicht zum PV-Kauf, werden aber häufig nach der PV-Anlage gekauft (bzw. wird der Kauf geplant – siehe Abbildung 6.9). Dies traf insbesondere auf E-Fahrräder zu, aber in geringerem Umfang auch auf Saunen und Stromdirektheizungen. In drei Fällen wurden im Zuge der Anschaffung der PV-Anlage weitere Geräte angeschafft oder deren Anschaffung geplant, die Geräte wurden aber nicht benannt.

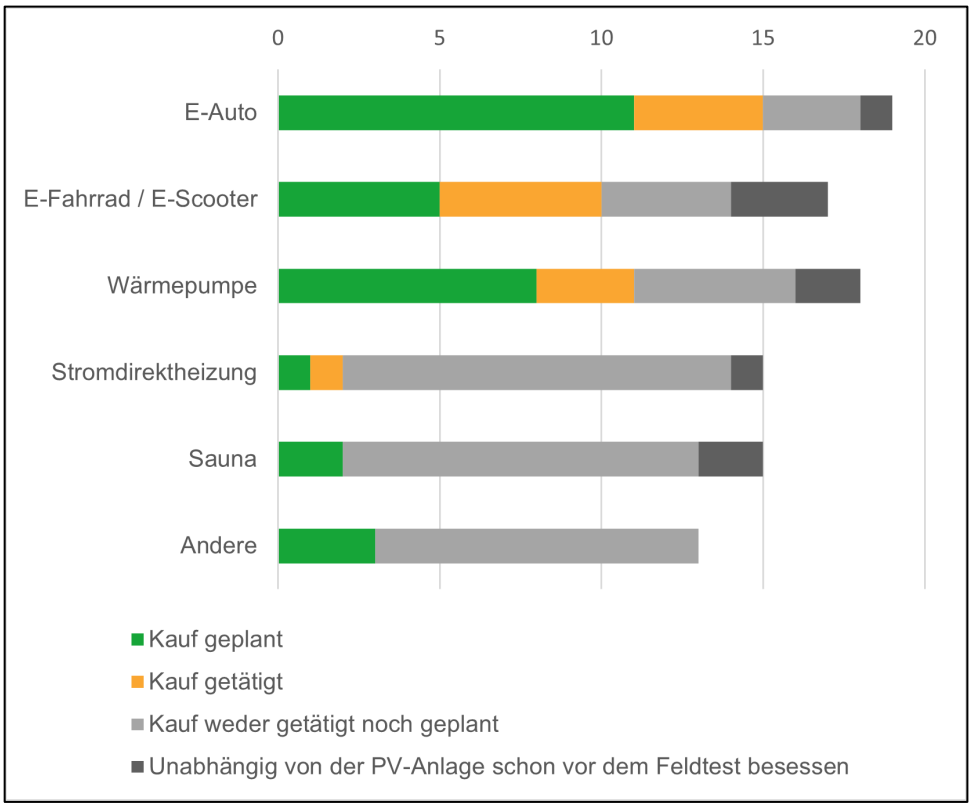


Abbildung 6.9: Geräte, die im Zuge der Anschaffung der Photovoltaikanlage gekauft wurden oder deren Kauf geplant war.
Eigene Darstellung. Für die Antwort „Kauf weder getätigt noch geplant“ ist in einer separaten Farbe dargestellt, ob die Haushalte die Geräte unabhängig von der PV-Anlage schon vor dem Feldtest besessen haben.

6.3 Diskrepanz statt Zusammenhang: Selbstbild und Realität des Stromverbrauchs

Neben den Beobachtungen zum Reboundeffekt vor und nach der Installation der PV-Anlage wurde im Rahmen der Änderungsbefragungen erhoben, ob und wie sich bestimmte Aspekte des Energieverbrauchsverhaltens verändert haben. Dabei wurden folgende Fragen gestellt:

1. Wie hat sich die allgemeine Präsenz des Themas Energiesparsamkeit (z. B. durch Gespräche mit Bekannten und Familie, Medien, generelles Interesse) verändert?
2. Wie hat sich die Prüfung bzw. das Monitoring des eigenen Haushaltsstromverbrauchs über Apps oder durch Ablesen des Zählerstands verändert?
3. Wie hat sich der Stromverbrauch (bezogen auf Ihre Wahrnehmung) verändert?

Anhand der realen Stromverbrauchsdaten wurde untersucht, inwiefern die regelmäßig erhobenen, jedoch teilweise im zeitlichen Verlauf unterschiedlich beantworteten Items mit der tatsächlichen Veränderung des Stromverbrauchs korrelieren. Dabei zeigte sich, dass zwischen keiner der abgefragten Variablen und der gemessenen Stromverbrauchsänderung ein statistisch signifikanter Zusammenhang besteht (siehe Tabelle 6.5). Ein positiver, statistisch signifikanter Zusammenhang konnte hingegen zwischen der wahrgenommenen Präsenz des Themas Energiesparsamkeit sowie den Variablen Monitoring und Loadshifting festgestellt werden (Kendall's Tau = 0,54*** bzw. 0,26**). Außerdem korrelieren die Variablen Monitoring und Loadshifting miteinander (Kendall's Tau = 0,23*).

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die von den Teilnehmenden teilweise geäußerte Annahme, nur bezogener Netzstrom gelte als Verbrauch (siehe Kapitel 5), mit hoher Wahrscheinlichkeit die Datengrundlage in einem Maße verzerren, dass die hier beschriebenen (fehlenden) Zusammenhänge in Bezug auf die Güte der Selbsteinschätzung nicht aussagekräftig sind. Die verbreitete Wahrnehmung von Solarstrom als „verbrauchsfrei" bzw. nicht dem Stromverbrauch zugehörig kann dazu führen, dass Maßnahmen wie Monitoring, Loadshifting und eine erhöhte Aufmerksamkeit für Energiesparsamkeit primär auf die Reduktion des Netzstrombezugs abzielen, nicht jedoch auf eine Senkung des tatsächlichen Gesamtstromverbrauchs. In diesem Verständnis erscheinen Load-Shifting, Monitoring und Energiesparsamkeit positiv korreliert, da sie gemeinsam den Netzbezug minimieren, ohne notwendigerweise mit einer Reduktion des absoluten Stromverbrauchs einherzugehen. Die fehlende Korrelation mit dem Gesamtstromverbrauch lässt sich somit auch durch eine begriffliche und kognitive Verschiebung erklären, bei der Eigenstrom aus PV nicht als Verbrauch, sondern als neutral oder „kostenlos" wahrgenommen wird.

Insgesamt deutet diese Auswertung darauf hin, dass die aktive Auseinandersetzung mit der PV-Erzeugung – etwa durch Monitoring oder Loadshifting – mit einem erhöhten Bewusstsein für Energiesparsamkeit einhergeht und umgekehrt, auch wenn dies nicht notwendigerweise mit einem realen Rückgang des Stromverbrauchs verbunden ist. Der fehlende Zusammenhang zwischen Monitoring und Suffizienz ist vor dem Hintergrund, dass Monitoringangebote in der Regel kein suffizientes Verhalten anreizen (Hofmann und Gährs 2023), nicht verwunderlich.

Des Weiteren ist methodisch zu berücksichtigen, dass einige Haushalte häufiger in die Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten Kendall's Tau-b einflossen als andere. Dies resultierte aus einer ungleichen Teilnahmehäufigkeit an den wiederkehrenden Befragungen, was zu einem unbalancierten Panel führte. Um die Zahl der beobachteten Datenpaare zu maximieren, wurde entschieden,

diesen Verzerrungseffekt (Bias) in Kauf zu nehmen, anstatt die Analyse auf einzelne Erhebungswellen mit niedriger Fallzahl zu beschränken

Tabelle 6.5: Korrelation Selbsteinschätzung Stromverbrauchsänderung und Verhalten

	Veränderung des Stromverbrauchs	Monitoring	Loadshifting	Präsenz des Themas Energiesparsamkeit
Selbsteinschätzung	0,02 (p = 0,767) (n = 113)	-0,01 (p = 0,833) (n = 228)	0,03 (p = 0,772) (n = 95)	-0,09 (p = 0,121) (n = 228)
Veränderung des Stromverbrauchs		-0,05 (p = 0,464) (n = 113)	0,01 (p = 0,833) (n = 67)	-0,06 (p = 0,415) (n = 113)
Monitoring			0,23* (p = 0,011) (n = 95)	0,54*** (p = 0,000) (n = 245)
Loadshifting				0,26** (p = 0,005) (n = 95)

Stärke der Korrelation basierend auf Schober et al (2018):
- vernachlässigbar (0 - 0,05)
- schwach bis moderat positiv bzw. negativ (0,06 – 0,48)
- stark bis sehr stark positiv bzw. negativ (0,49 – 1)

6.4 Loadshifting zwischen Wunsch und Wirklichkeit

Der Reboundeffekt wirkt sich systemisch günstiger aus, wenn er sich auf Spitzenerzeugungszeiten konzentriert (z. B. Geräte früher einschalten, wenn gerade die Sonne scheint). Die Befragungen geben Aufschluss darüber, wie sehr die Haushalte versuchen, ihren Stromverbrauch auf die Erzeugung anzupassen, und was sie davon abhält.

Es gab unter den teilnehmenden Haushalten ein weit verbreitetes Bestreben, den Verbrauch auf die Erzeugung der PV-Anlage anzupassen. Bei den regelmäßigen Befragungen stimmten alle Haushalte dieser Aussage fast immer zu. Auch in einem Freitextfeld in der Abschlussbefragung, in dem nach dem Einfluss des Prosumings auf den Alltag und insbesondere auf den Stromverbrauch gefragt wurde, war Loadshifting das am häufigsten adressierte Thema. In einem Freitextfeld zu politischen Forderungen war das Thema ebenfalls stark vertreten. Drei Haushalte forderten darin die Möglichkeit zu bidirektionalem Laden. In der Praxis wird das Loadshifting durch die vorhandenen technischen Steuerungsmöglichkeiten oder die Kenntnis über diese Möglichkeiten begrenzt. Das hat sich sowohl in entsprechenden Befragungen gezeigt (s. u.) als auch anekdotisch in den Fokusgruppen:

> *„Wie soll ich das machen? Da müsste ich jetzt manuell hingehen und den Speicher früh nicht laden und das Laden auf mittags verschieben. Da muss ich aber erstmal auf den Wetterbericht gucken, wird dann mittags überhaupt noch Sonne sein? […] Das kann nur automatisiert funktionieren.“ (Teilnehmer Fokusgruppe)*

In der Technikbefragung wurde für größere Haushaltsgeräte einzeln abgefragt, ob sie eine Steuerungs- oder Programmierfunktion haben und wie oft diese genutzt wird. Abbildung 6.10 zeigt die Verbreitung verschiedener Steuerungsfunktionen aufgeschlüsselt nach Geräten. Am weitesten verbreitet sind Steuerungsmöglichkeiten bei den größten Energieverbrauchern: Wärmepumpen, E-Auto-Lademöglichkeiten und smarte Heizkörperthermostate. Eine automatische Steuerung, etwa über ein Energiemanagementsystem, kommt nur bei diesen drei Gerätetypen und auch dort nur selten vor – d. h., nur bei wenigen dieser Geräte kann die Nutzung vollautomatisch an die PV-Erzeugung angepasst werden. Trockner haben in der Mehrzahl keine Steuerungsfunktion. Geschirrspüler sind nur etwa zur Hälfte steuerbar, und unter den steuerbaren Geräten überwiegt die einfachste Funktion, dass ein zeitversetzter Start am Gerät einstellbar ist. Ähnlich verhält es sich bei Waschmaschinen.

Die Häufigkeit der Nutzung der Steuerungsfunktionen steigt mit dem Automatisierungsgrad. Die Einstellung eines zeitversetzten Starts am Gerät wird nur bei weniger als einem Drittel der Geräte, die diese Funktion haben, häufig genutzt; Steuerungen über Apps werden in 61 % und automatische Steuerungen in 73 % der Fälle genutzt. Aus der großen Motivation für Loadshifting und der Tendenz, Loadshifting bei einem hohen Automatisierungsgrad zu verwenden, lässt sich schließen, dass eine technische Vereinfachung des Loadshiftings auch tatsächlich zu einem netzdienlicheren Verhalten von Prosumern führen würde.

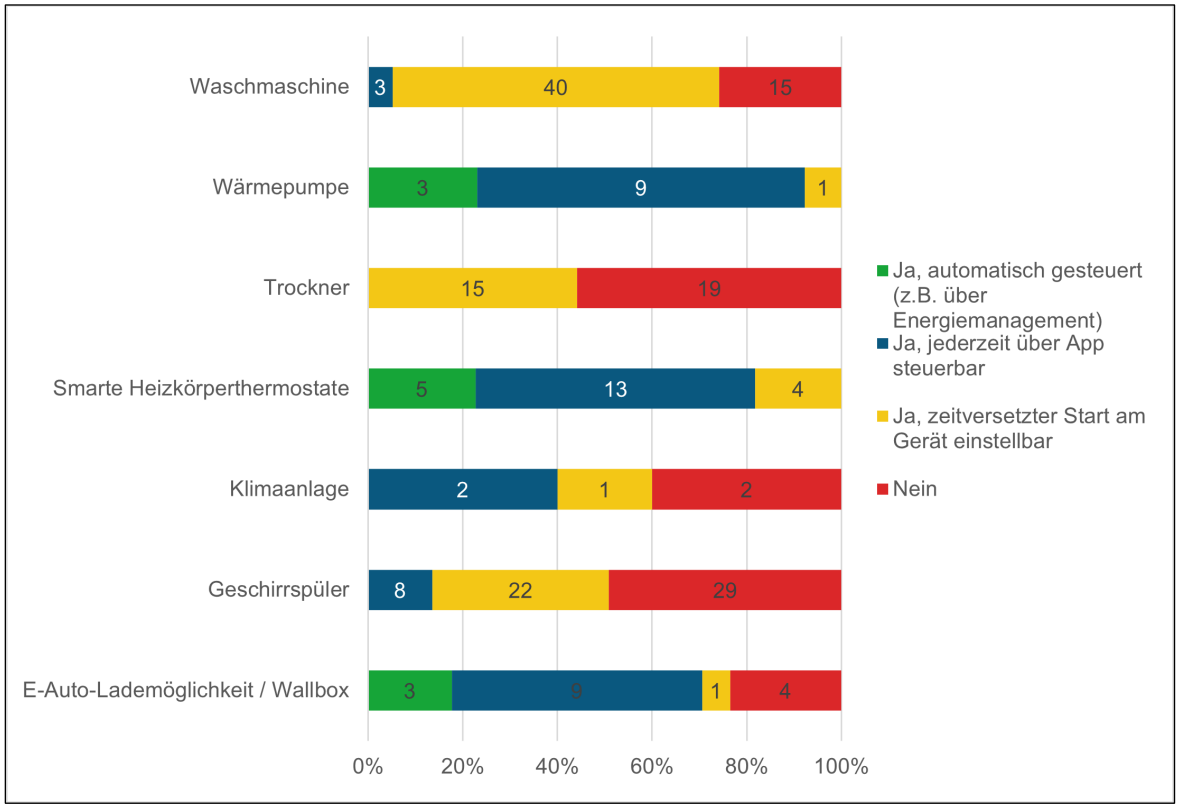


Abbildung 6.10: Verbreitung von Steuerungsfunktionen bei verschiedenen Haushaltsgeräten
Eigene Darstellung

6.5 Limitationen des Feldtests

Der Feldtest hatte zum Ziel, eine breite Datenbasis zur detaillierten Untersuchung des Stromverbrauchs von Prosumern zu liefern. Aus verschiedenen Gründen (darunter Ermüdung der Teilnehmenden beim Ausfüllen der Umfragen, schlechter Rücklauf bei PV-Erzeugungsdaten und Daten für den Wärmepumpenstrom, Aufgabe/Verschiebung der PV-Installation, Missverständnisse bei Fragen in den Umfragen, technische Störung der Poweroptis) ist diese Datenbasis letztendlich aber doch kleiner ausgefallen: Nur 64 Haushalte haben Verbrauchsdaten geliefert und Umfragen ausgefüllt, und das so lückenhaft, dass nur von 15 Haushalten ein Reboundeffekt berechnet werden konnte. Die gewonnenen Erkenntnisse geben daher Hinweise auf Verhaltens- und Denkmuster von Prosumern, aber bei Rückschlüssen auf die Grundgesamtheit aller Prosumer ist Vorsicht geboten.

Da ein Mehrverbrauch in Zeiten, zu denen das Stromnetz sowieso keinen weiteren Strom aufnehmen kann, positiver zu bewerten ist als in Zeiten, zu denen die Einspeisung woanders verwendet werden könnte, wäre eine untertägig aufgelöste Betrachtung aufschlussreich gewesen. Auf Basis der vorhandenen Daten war eine Betrachtung in hoher zeitlicher Auflösung aber nicht möglich. Das könnte Gegenstand zukünftiger Forschung sein.

Mit der fast zwei Jahre währenden Datenerhebung konnten in dem Feldtest zwar Veränderungen über einen relativ langen Zeitraum nachvollzogen werden. Gerade bei den Haushalten, die ihre Anlage spät im Projektzeitraum installiert haben, wurden Effekte der PV-Anlage aber vielleicht noch nicht erfasst. Auffällig ist, dass die Zahl der im Zusammenhang mit der PV-Anlage geplanten Anschaffungen deutlich höher ist als die Zahl der realisierten Anschaffungen. Das deutet darauf hin, dass der Reboundeffekt über einen längeren Zeitraum hinweg betrachtet größer ausfallen könnte.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Prosumer-Haushalte sind mit ihrem selbst erzeugten und teilweise selbst verbrauchten PV-Strom bereits heute eine wichtige Akteursgruppe bei der Umsetzung der Energiewende, insbesondere im Sektor private Haushalte. Für den notwendigen weiteren Ausbau bis zu einer vollständigen Versorgung mit erneuerbaren Energien ist der Beitrag von Prosumer-Haushalten unverzichtbar. Durch die verbrauchsnahe Stromproduktion sind sowohl Verteilungs- und Übertragungsverluste als auch der Netzausbaubedarf gering. Bei der Nutzung vorhandener Dachflächen gibt es weder Flächenkonkurrenzen noch negative Umweltwirkungen wie Flächenversiegelung, Landnutzungsänderung und Veränderungen des Landschaftsbildes, wie sie bei den alternativen Systemen Freiflächen-PV und Windparks häufig auftreten. Durch die dezentrale, weiträumig verteilte und kleinteilige Stromerzeugung und -nutzung in Prosumer-Haushalten können sowohl dezentrale Energiespeicherpotenziale besser erschlossen als auch die Resilienz des gesamten Stromsystems gestärkt werden.

Auf individueller Ebene werden für den Übergang von einer eher passiven Energieverbraucher-Rolle zur aktiven Rolle des Prosumer-Haushalts in den Feldtest-Befragungen vor der Installation der PV-Anlage Motive genannt (Abbildung 5.7), die zur Stärkung der Erfahrung von Selbstwirksamkeit beitragen: Die meisten der Befragten wollen einen aktiven Beitrag zur Energiewende und zum Umwelt- und Klimaschutz leisten, erwarten eine Stromkostenreduktion, streben nach Autarkie und haben technisches Interesse an der Stromerzeugung. Die Befragungen nach der Installation der PV-Anlage zeigen, dass die aktive Auseinandersetzung mit der PV-Anlage auch zu einer

bewussteren Wahrnehmung von Stromverbräuchen im Haushalt, aber innerhalb des Feldtest-Zeitraums nicht zu realen Verbrauchsreduktionen führt.

Die Antworten der Befragten legen nahe, dass Aktivitäten zur Stromverbrauchsoptimierung auf eine Maximierung des Eigenstromverbrauchs und Vermeidung sowohl von Netzstrombezug als auch Netzeinspeisung von PV-Strom ausgerichtet sind. Der selbst erzeugte PV-Strom wird nur als wertvoll eingestuft, wenn er selbst verbraucht wird. In Bezug zum Stromverbrauch des Haushaltes zeigen die Befragungsergebnisse, dass oft nur der Netzstrombezug, bei dem jede Kilowattstunde in Rechnung gestellt wird, als Stromverbrauch, der möglichst minimiert werden muss, wahrgenommen wird. Beide Wahrnehmungen sind suboptimal und teilweise kontraproduktiv für die Integration des PV-Stroms in das Energiesystem und für die Ausschöpfung lokaler Potenziale als Beitrag zur Energiewende.

Aus diesen Ergebnissen werden im Abschnitt 7.1 Narrative und Botschaften für Prosumer-Haushalte abgeleitet, mit denen sich diese in der Wahrnehmung und im Umgang mit Strom stärker in Richtung Optimierung der Interaktion zwischen Prosumer-Haushalten und Energiesystem entwikkeln und damit ihren Beitrag zur Energiewende stärken können. Eine Voraussetzung für ein entsprechendes Handeln ist Transparenz über die eigene Haushaltsstrombilanz und Benchmarking. Die dazu im Projekt entwickelten Produkte werden in Abschnitt 7.2 vorgestellt. Von der Optimierung profitieren sowohl die Haushalte, da sie ihren Stromverbrauch gesamthaft, d. h. die Summe aus Netzbezug und Eigenstromverbrauch, reduzieren und dadurch ihre Eigenstromnutzung maximieren können. Gleichzeitig unterstützt dies die Energiewende, da die Netzeinspeisung von PV-Strom aus Prosumer-Haushalten netz- und systemdienlich wirkt. Die Optimierungsaufgabe sollte aber nicht allein von den Prosumer-Haushalten geleistet werden. Deshalb wird im Ausblick in Abschnitt 7.3 aufgezeigt, wie Prosumer-Haushalte seitens der Politik grundsätzlich motiviert, unterstützt und befähigt werden können, ihre Planungsentscheidungen zur PV-Installation und ihren Umgang mit Strom an diesen Optimierungszielen auszurichten.

7.1 Narrative und Botschaften

Aus den quantitativen und qualitativen Feldtestuntersuchungen lassen sich folgende Narrative und Botschaften ableiten, die den identifizierten Bedarf an Sensibilisierung, Aufklärung und Information, Transparenz und Einordnung zur Energiewende im Haushalt adressieren. Mit den Botschaften sollen Prosumer-Haushalte für die Wechselwirkung mit den übergeordneten Zielen und Anforderungen der Energiewende sensibilisiert werden. Auf Haushaltsebene sollen sie das Verständnis von Suffizienz erweitern und stärken sowie die damit verbundenen Chancen und individuellen Handlungsoptionen aufzeigen.

1. Solarstrom ist wertvoll – für dich und alle, d. h. sowohl für den eigenen Haushalt als auch als Beitrag zur Energiewende, ganz gleich, ob er selbst genutzt oder ins Netz eingespeist wird!

Das Narrativ soll die Wahrnehmung stärken, dass Strom aus erneuerbaren Energiequellen ein wertvolles Gut und eine der zentralen Ressourcen für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist. Jede Kilowattstunde – ob dezentral oder zentral erzeugt – wird gebraucht, um das bestehende Stromsystem und durch Sektorkopplung zusätzlich Wärme und Mobilität zu dekarbonisieren. Deshalb ist es in jedem Fall der Energiewende dienlich, vorhandene, gut erschließbare PV-Dachpotenziale so weit wie möglich zu nutzen. PV-Strom vom Dach benötigt keine zusätzlichen Flächen, vermeidet Eingriffe in die Natur und das Landschaftsbild, wird verbrauchsnah erzeugt und spart damit Netzausbau, Stromtransport und -verluste. Netzeinspeisung von PV-Strom trägt

ebenso zur Energiewende bei wie Eigenstromnutzung, weil sie einen Beitrag zur weiteren Dekarbonisierung des Stromsystems leistet – auch wenn dies mit einer nur noch geringen staatlich garantierten oder künftig ganz entfallenden Einspeisevergütung nicht mehr angereizt wird.

Auf der Verbrauchsseite ist nach dem Prinzip der Suffizienz die Minimierung des gesamten Strombedarfs auf ein individuell und gesellschaftlich vertretbares und an lokalen und planetaren ökologischen Grenzen orientiertes Maß ebenso wünschenswert wie die Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen auf der Stromanwendungsseite. Bei der Entscheidung zu einer PV-Anlage, die die Dachpotenziale möglichst vollständig ausschöpft, ist eine Kombination und intelligente Kopplung mit Wärmepumpe und Elektroauto sinnvoll, um den eigenen Haushalt noch stärker zu dekarbonisieren und zusätzliche Energiespeicherkapazitäten zu nutzen. Nebenbei kann man damit auch Reboundeffekte reduzieren.

Botschaften für die Solar- und Energieberatung:

- Maximale Potenzialausschöpfung auf dem Dach
  - Jedes Kilowatt PV-Leistung wird für die Energiewende gebraucht!
  - Nutze deine PV-geeigneten Dachflächen so weit wie möglich aus!
- Netzeinspeisung: Dein Beitrag zur Energiewende für alle
  - Jede eingespeiste Kilowattstunde aus PV-Strom dient der Energiewende, ob vergütet oder nicht
  - Auch bei hoher Eigenstromnutzung bleibt dein Haushalt Teil des Energiesystems
- Maximale Eigenstromnutzung: Komfortverbesserung ist gut, Sektorkopplung ist besser
  - Kombiniere deine PV-Anlage mit Wärmepumpe und Elektroauto, um deinen Haushalt weiter zu dekarbonisieren und Rebound zu vermeiden!

2. Suffizienz ist verantwortungsvoller Umgang mit Strom im Sinne der Energiewende für alle

Eine kontinuierliche Transparenz über den zeitlichen Verlauf der eigenen Energiebilanz, die Reflexion des eigenen Energiebedarfs und der Vergleich mit anderen Prosumer-Haushalten sind notwendige Randbedingungen für einen verantwortungsbewussten Umgang mit Energie. Im Feldtest zeigte sich, dass selbst Prosumer-Haushalte mit starker Motivation für Umweltschutz und Energiewende bisher noch keine kontinuierliche Transparenz über die eigene Energiebilanz haben und Veränderungen ihres Stromverbrauchs oft falsch einschätzen. Mit dem Stromspiegel Photovoltaik (siehe Beschreibung in Kapitel 9.1) wird erstmals ein Benchmark generiert und veröffentlicht, mithilfe dessen Prosumer ihre Stromverbräuche untereinander vergleichen können. Die im Projektzeitraum erfolgten Eingaben für den Stromspiegel Photovoltaik zeigen anhand der Bandbreiten der Stromverbräuche innerhalb derselben Kategorien erhebliche Stromsparpotenziale. Der Feldtest zeigte aber auch, dass sich die quantifizierten Reboundeffekte bei den Feldtestteilnehmenden und den Energiesparkonto-Nutzer*innen von co2online in Grenzen hielten und verglichen mit früheren Studien zu Reboundeffekten durch Prosuming geringer waren – ein Indiz, dass eine Motivation zur Kontrolle des eigenen Energieverbrauchs zu einer stärkeren Reflexion und Motivation zur Reduktion führen kann.

Der eigene Haushalt ist ein Energiesystem, das in der Regel mit dem übergeordneten Energiesystem verbunden bleibt, auch wenn ein hoher Energieautarkiegrad angestrebt wird. Im Feldtest gab es mehrere Hinweise, dass Prosumer-Haushalte Autarkiebestrebungen grundsätzlich als

Vermeidung von Netzeinspeisung verstehen und teilweise auch mit bewusstem Mehrverbrauch verbinden. Die Maximierung des Autarkiegrades im Prosumer-Haushalt nach dem Verständnis eines zellulär organisierten Energiesystems ist bei entsprechend optimiertem Zusammenspiel grundsätzlich kompatibel mit einer solidarischen Energiewende. Dazu geben Prosumer-Haushalte mit Energiepotenzialen, die den eigenen (optimierten) Bedarf übersteigen, Energie an die nächsten Verbraucher*innen weiter, die nur über geringe oder keine Energieerzeugungspotenziale verfügen. Dafür ist neben der an Bedürfnissen ausgerichteten Minimierung des eigenen Haushaltsstrombedarfs und der Optimierung von Eigenstromerzeugung und -nutzung, Energiespeicherung und Netzbezug auf Haushaltsebene auch eine Optimierung des Zusammenspiels zwischen einspeisendem Prosumer-Haushalt und übergeordnetem Energiesystem notwendig. Diese erfordert Preissignale in Echtzeit an die Prosumer-Haushalte, kann aber auch eine Anpassung des Verteilnetzes an zunehmende dezentrale Einspeisung erfordern.

Botschaften für die Solar- und Energieberatung:

- Optimiere deine Netzeinspeisung
  - Prüfe, ob Netzbetreiber/Dienstleister zeitvariable Einspeisevergütungen anbieten
  - Optimiere deine Netzeinspeisung manuell oder automatisiert
  - Nutze deine Speicherkapazitäten (Strombatterie, E-Auto, Warmwasserspeicher etc.)
- Kenne deine Strombilanz: Verbrauch, Erzeugung, Netzeinspeisung
  - Nutze intelligente Messsysteme, Wechselrichter oder Ähnliches, um die Stromflüsse und -mengen in deinem Haushalt zu messen
  - Nutze Apps/Tools zur Visualisierung und Auswertung deiner Strombilanz über das Jahr und in Echtzeit
- Identifiziere deine Stromsparpotenziale
  - Vergleiche mit dem Stromspiegel Photovoltaik deinen Stromverbrauch mit dem ähnlicher Prosumer-Haushalte
  - Vergleiche mit dem StromanwendungsCheck deine Stromverbräuche in den Hauptanwendungen mit deutschen Durchschnittswerten

7.2 Transparenz über die Haushaltsstrombilanz, Vergleich und Einordnung

Um einen verantwortungsbewussten und sparsamen Umgang mit Strom zu ermöglichen, ist es notwendig, die Strombilanz des eigenen Haushalts aus PV-Stromerzeugung und Netzbezug sowie Gesamt- und Eigenstromverbrauch sowohl als Jahresbilanz als auch in Echtzeit zu kennen. Dazu sind Mess- und Visualisierungstools notwendig, die diese Transparenz herstellen. Mit der Installation einer Photovoltaikanlage bieten sich technische Möglichkeiten und ein Gelegenheitsfenster, über Wechselrichter oder intelligente Messsysteme auch ein Tool oder eine App zur Visualisierung und Auswertung der Strombilanz im Haushalt zu installieren.

Mit der Messung, Visualisierung und Auswertung der Strommengen und -flüsse im Haushalt wird eine Datengrundlage und damit Transparenz geschaffen, die die Grundlage für die Reflexion des eigenen Umgangs mit Strom bildet. Allerdings enthalten existierende Apps zum Energiemonitoring

in der Regel keine Elemente, die Energiesparsamkeit anreizen würden, wie etwa einen sozialen Vergleich oder Gamification von Energiesparzielen (Hofmann und Gährs 2023). Um mit der bestehenden Datengrundlage den eigenen Haushaltsstromverbrauch mit anderen Prosumer-Haushalten vergleichen, einordnen und selbst bewerten zu können, wurde im Projekt der online frei verfügbare Stromspiegel Photovoltaik als Benchmarkingtool entwickelt. Das zweite Tool, das aus dem Projekt hervorgegangen ist, der ebenfalls online frei verfügbare StromanwendungsCheck, ermöglicht durch eine detaillierte Analyse und Aufschlüsselung des Stromverbrauchs der wichtigsten Stromanwendungsfelder im Haushalt ebenfalls den Vergleich mit durchschnittlichen Werten und damit die Identifikation von Stromsparpotenzialen im Haushalt. Im Folgenden werden die Tools kurz vorgestellt, in Anhang 9.1 und 9.2 werden sie ausführlich beschrieben.

Der Stromspiegel Photovoltaik – Benchmarks für Haushalte mit PV

Wie der Feldtest gezeigt hat, fehlt Prosumer-Haushalten eine Orientierung, ob ihr Verbrauch verglichen mit anderen Haushalten – besonders mit Wärmepumpe oder Elektroauto – gering, durchschnittlich oder hoch ist. Benchmarks schaffen diese Vergleichbarkeit. Sie zeigen, wie der eigene Verbrauch im Verhältnis zu ähnlichen Haushalten einzuordnen ist. Bisher wurden Prosumer-Haushalte in vielen Tools nicht berücksichtigt, weil die Gesamtstrombilanz des Zusammenwirkens von Netzbezug, Eigenerzeugung, Eigenverbrauch und Netzeinspeisung mit der reiner Stromverbraucher-Haushalte, die z. B. mit dem Stromspiegel von co2online seit vielen Jahren abgebildet und klassifiziert werden, nicht vergleichbar ist. Der im Rahmen des Projektes von co2online entwickelte Stromspiegel Photovoltaik[2] schließt diese Lücke und bezieht auch Wärmepumpen und Elektroautos ein.

Der Stromspiegel Photovoltaik umfasst 48 Benchmarks, unterschieden nach:

– 4 Technikkategorien (Kombinationen aus Wärmepumpe und E-Auto),
– 3 Haushaltsgrößen (1–2, 3–4, 5+ Personen),
– 4 Verbrauchskennwerten.

Für den Stromspiegel Photovoltaik wurden von September 2023 bis November 2025 insgesamt 5.372 Datensätze des StromChecks (co2online 2026) ausgewertet. Der Jahresstromverbrauch berechnet sich dabei aus der Summe von Strombezug und Photovoltaik-Stromproduktion abzüglich der Netzeinspeisung. So kann dargestellt werden, wie hoch der Gesamtstromverbrauch eines Haushaltes tatsächlich ist und wie er im Vergleich zu ähnlichen Haushalten in eine der vier Kategorien (niedrig, mittel, hoch, sehr hoch) einzuordnen ist. Der Spiegel ermöglicht den Haushalten damit eine Einschätzung und Bewertung, ob sie effizient wirtschaften, ihren selbst erzeugten Strom gut nutzen und ob es Potenziale zur Verbesserung gibt.

Eine detaillierte Beschreibung des Stromspiegels Photovoltaik befindet sich in Anhang 9.1.

Der StromanwendungsCheck

Mit dem online verfügbaren StromanwendungsCheck können interessierte Prosumer den Stromverbrauch für die relevantesten stromverbrauchenden Geräte in ihrem Haushalt abschätzen (co2online und ifeu 2026). Aggregiert zu den Anwendungsbereichen „Waschen und Spülen“, „Kühlen und Gefrieren“, „Kochen und Backen“, „Unterhaltung“ und „Beleuchtung“ können die eigenen

[2] https://www.co2online.de/news/neuer-stromspiegel-fuer-pv-so-ordnen-sie-ihren-stromverbrauch-ein/

Jahresstromverbräuche in diesen Anwendungen mit statistischen Durchschnittswerten verglichen werden und erste Hinweise auf Effizienz- und Suffizienzpotenziale für den Stromverbrauch im eigenen Haushalt gewonnen werden. Zur Auswertung erfolgt ein Abgleich der aufsummierten Jahresstromverbräuche aus dem StromanwendungsCheck durch Gegenüberstellung mit dem gemessenen gesamten Jahresstromverbrauch des Haushalts aus der Abrechnung des Netzbezugs sowie ggf. abzüglich der Netzeinspeisung und zuzüglich des Eigenstromverbrauchs. Abschließend werden auf dieser Basis konkrete Energiespartipps gegeben.

Eine detaillierte Beschreibung des StromanwendungsChecks befindet sich in Anhang 9.2.

7.3 Ausblick

Neben der Erzeugung erneuerbarer Energie ist die netzdienliche Einspeisung eine der großen Herausforderung zur weiteren Defossilisierung des Energiesystems. Die Regierung möchte aktuell mit einer Abschaffung der Einspeisevergütung für kleine PV-Anlagen eine netzdienlichere Einspeisung bewirken. Das könnte jedoch zu einer Zunahme des Reboundeffekts führen, weil sich die Netzeinspeisung dann noch weniger lohnt. Außerdem könnte es zu einer Verlangsamung des PV-Ausbaus und einer kleineren Dimensionierung einzelner Anlagen kommen.

Die Optimierung von Prosuming im Sinne der Energiewende lässt sich am besten mit informierten, verantwortungsvollen Prosumer-Haushalten erreichen. Diese Haushalte kennen ihre Solarpotenziale und Sektorkopplungsmöglichkeiten und nutzen sie, soweit es finanziell darstellbar ist, aus. Sie minimieren ihren Energiebedarf und optimieren – bei besonders großem Engagement – ihren Energieverbrauch zeitlich. Sie sehen ihre erneuerbaren Stromeinspeisungen als Beitrag zur solidarischen Energiewende. Dazu gehört auch die Bereitschaft, bei negativen Strompreisen zusätzliche Einspeisungen möglichst zu vermeiden, um bestehende Systemprobleme nicht weiter zu verschärfen und stattdessen mit systemdienlichen Lösungen beizutragen.

Zielführend für eine erfolgreiche Energiewende wäre es deshalb, wenn Prosumer-Haushalten seitens der Politik signalisiert würde, dass jede Art von erneuerbarem Strom bis auf wenige Stunden des Jahres wertvoll ist. Der verantwortungsbewusste Umgang mit Energie sollte durch Aufklärung, Informations- und Beratungsangebote stärker unterstützt und die wichtige Rolle von Prosumern gespiegelt und bestärkt werden. Die Politik sollte darüber hinaus die energiewirtschaftlichen Akteure und Dienstleister in die Pflicht nehmen, den von Prosumern eingespeisten Strom bestmöglich unter Erhaltung der Netzstabilität zu integrieren, sei es durch Netzertüchtigung, Aufbau von netzseitigen Speicherkapazitäten, zeitvariablen Tarifen oder bidirektionaler Kommunikation und Steuerbarkeit. Ob Prosumer-Haushalte ihre Netzeinspeisungen dann durch Anpassung ihres Stromverbrauchsverhaltens oder automatisiert durch steuerbare Geräte und Speicherkapazitäten oder gar nicht netzdienlich gestalten, ist abhängig vom Bewusstsein für die gemeinschaftliche Energiewende und von den wirtschaftlichen Vorteilen, die ein netzdienliches Verhalten für Prosumer-Haushalte hat. Eine technische Vereinfachung des Loadshiftings wäre sowohl im Sinne der Prosumer-Haushalte, die dadurch ihre Stromkosten weiter senken könnten, also auch im Sinne der Suffizienz, weil weniger überschüssiger PV-Strom vorhanden wäre, der stärkere Reboundeffekte zur Folge haben könnte.

Regulatorische Maßnahmen sollten mittelfristig ein optimales Zusammenwirken von Prosumer-Haushalten und Gesamtenergiesystem zum Ziel haben. Die energiewende- und systemdienliche Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von PV-Strom aus Eigenheimen sollte unterstützt werden. Dies kann – soweit die erforderlichen Rahmenbedingungen wie z. B. ein flächendeckender

Smart-Meter-Rollout sichergestellt sind – auch durch von Energiedienstleistern bereitgestellte niederschwellige Vermarktungsmöglichkeiten an Prosumer-Haushalte erfolgen, die die Bedarfe zeitlich variabel widerspiegeln (z. B. bedarfsorientiert variable Preissignale für eingespeisten PV-Strom).

Mittel- und langfristig sollte das Stromverteilnetz für eine flexiblere und dezentralere Stromeinspeisung ertüchtigt werden. Netzeinspeisung von dezentral erzeugtem erneuerbarem Strom sollte ermöglicht und bestärkt, nicht zurückgedrängt werden. Bestehende Möglichkeiten zur netzdienlichen Nutzung von Speicherkapazitäten (Strombatterien, E-Auto-Akkus, Wärmepuffer in wärmepumpenbasierten Heizungssystemen) sollten bekannter gemacht und kontinuierlich angepasst werden.

8 Literaturverzeichnis

Atasoy, Ayse Tugba, Hendrik Schmitz und Reinhard Madlener (2023): Mechanisms for Rebound Effects of Solar Electricity Prosuming in Germany. Juni.

Aydın, Erdal, Dirk Brounen und Ahmet Ergün (2023): The rebound effect of solar panel adoption: Evidence from Dutch households. *Energy Economics* 120 (April): 106645.

BDEW (2021): So wird Strom im Haushalt eingesetzt. https://www.bdew.de/media/documents/210305_BDEW_Grafik_Stromverbrauch_HH_nach_Anwendungen.pdf.

BDEW (2025): 2025 Aktualisierte BDEW-Standardlastprofile Strom. https://www.bdew.de/media/documents/Kopie_von_Repr%C3%A4sentative_Profile_BDEW_H25_G25_L25_P25_S25_Ver%C3%B6ffentlichung.xlsx.

Beppler, Ross C., Daniel C. Matisoff und Matthew E. Oliver (2023): Electricity consumption changes following solar adoption: Testing for a solar rebound. *Economic Inquiry* 61, Nr. 1 (Januar): 58–81.

Bigler, Patrick (2025): Magnitude and decomposition of the solar rebound: Evidence from Swiss households. *Journal of Environmental Economics and Management* 133 (September): 103194.

Boccard, Nicolas und Axel Gautier (2021): Solar rebound: The unintended consequences of subsidies. *Energy Economics* 100 (August): 105334.

Brischke, Lars-Arvid, Leon Leuser, Markus Duscha, Stefan Thomas, Johannes Thema, Meike Spitzner, Michael Kopatz, Carolin Baedeker, Miriam Lahusen, Felix Ekardt, et al. (2016): Energiesuffizienz – Strategien und Instrumente für eine technische, systemische und kulturelle Transformation zur nachhaltigen Begrenzung des Energiebedarfs im Konsumfeld Bauen / Wohnen. ifeu, 22. Dezember. https://energiesuffizienz.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/12/energiesuffizienz_endbericht.pdf.

co2online (2026): Stromcheck: der Stromverbrauchsrechner. Website: https://www.co2online.de/service/energiesparchecks/stromcheck/.

co2online und ifeu (2026): Stromanwendungscheck. Website: https://advisor.co2online.de/ifeu/stancheck/.

Deng, Gary und Peter Newton (2017): Assessing the impact of solar PV on domestic electricity consumption: Exploring the prospect of rebound effects. *Energy Policy* 110 (November): 313–324.

destatis (2022): Wohnsituation privater Haushalte 2022 in Deutschland. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/ergebnisse_zusatzprogramm.html?templateQueryString=jahre+oder+jahren&templateQueryString=jahre+oder+jahren#641886.

destatis (2023): Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen. *destatis*. 27. September. Website: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html.

destatis (2024): 3,4 Millionen Photovoltaikanlagen in Deutschland installiert. 29. Juli. Website: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/07/PD24_N038_43.html.

destatis (2025a): Bevölkerung nach Nationalität und Geschlecht. *destatis*. 20. Juni. Website: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/zensus-geschlecht-staatsangehoerigkeit-2024-basis-2022.html.

destatis (2025b): Einkommen und Einkommensverteilung. *destatis*. 7. August. Website: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Lebensbedingungen-Armutsgefaehrdung/Tabellen/einkommen-einkommensarten-typ-1.html#fussnote-5-1403848.

Dütschke, Elisabeth, Ray Galvin und Iska Brunzema (2021): Rebound and Spillovers: Prosumers in Transition. *Frontiers in Psychology* 12 (15. April): 636109.

Europäische Kommission (2026): EPREL - Europäische Produktdatenbank für die Energieverbrauchskennzeichnung. Website: https://eprel.ec.europa.eu/screen/home.

Fischer, Corinna und Rainer Grießhammer (2013): Working Paper. Mehr als nur weniger. Suffizienz: Begriff, Begründung und Potenziale. Oktober. https://www.oeko.de/oekodoc/1836/2013-505-de.pdf.

Frondel, Manuel, Kathrin Kaestner, Stephan Sommer und Colin Vance (2022): Photovoltaics and the solar rebound: Evidence for Germany. Econstor. https://doi.org/10.4419/96973118%0A.

Galvin, Ray, Johannes Schuler, Ayse Tugba Atasoy, Hendrik Schmitz, Matthias Pfaff und Jan Kegel (2021): A health research interdisciplinary approach for energy studies: Confirming substantial rebound effects among solar photovoltaic households in Germany. *Energy Research & Social Science* 86: 102429.

Hofmann, Jakob und Swantje Gährs (2023): Durch Energiemonitoring zu Suffizienz motivieren. IÖW. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/IOEW_DP_75_Durch_Energiemonitoring_zu_Suffizienz_motivieren.pdf.

Keirstead, James (2007): Behavioural responses to photovoltaic systems in the UK domestic sector. *Energy Policy* 35, Nr. 8 (August): 4128–4141.

Keown, Lauriston L. und A. Ralph Hakstian (1973): Measures of Association for the Component Analysis of Likert Scale Data. *The Journal of Experimental Education* 41, Nr. 3 (März): 22–27.

Li, Xingzhi, Ming K. Lim, Du Ni, Bo Zhong, Zhi Xiao und Haitian Hao (2020): Sustainability or continuous damage: A behavior study of prosumers' electricity consumption after installing household distributed energy resources. *Journal of Cleaner Production* 264 (August): 121471.

List, John A., Ioannis C. Pragidis und Michael B. Price (2024): Toward an Understanding of the Economics of Prosumers: Evidence from a Natural Field Experiment in Energy. https://s3.amazonaws.com/field-experiments-papers2/papers/00791.pdf.

Maschke, Judith (2022): Folgen der eigenen Erzeugung und Nutzung von Energie aus erneuerbaren Ressourcen für den privaten Energiekonsum. artec Forschungszentrum Nachhaltigkeit. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-80349-0.

Pütz, T. und M. Weiß (2025): Elektro-Pkw: Zahl der zugelassenen Fahrzeuge steigt. *Deutschlandatlas*. Website: https://www.deutschlandatlas.bund.de/DE/Karten/Wie-wir-uns-bewegen/111-Elektroautos-Pkw-Bestand.html.

Qiu, Yueming, Matthew E. Kahn und Bo Xing (2019): Quantifying the rebound effects of residential solar panel adoption. *Journal of Environmental Economics and Management* 96 (Juli): 310–341.

Santarius, Tilman (2012): Der Rebound-Effekt: Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz. *Impulse zur WachstumsWende* 5. https://www.econstor.eu/bitstream/10419/59299/1/716107694.pdf.

Schober, Patrick, Christa Boer und Lothar A. Schwarte (2018): Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia* 126, Nr. 5 (Mai): 1763–1768.

Schulz, Marlen, Birgit Mack und Ortwin Renn, Hrsg. (2012): *Fokusgruppen in der empirischen Sozialwissenschaft*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. http://link.springer.com/10.1007/978-3-531-19397-7.

VDEW (2000): 1999/2000 VDEW-Standardlastprofile Strom. https://www.bdew.de/media/documents/Profile.zip.

Weißbach, Anne (2025): Stromverbrauch im Haushalt. *co2online*. 13. Mai. Website: https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-im-haushalt/#c162243.

Wicklin, Rick (2023): Weak or strong? How to interpret a Spearman or Kendall correlation. 5. April. https://blogs.sas.com/content/iml/2023/04/05/interpret-spearman-kendall-corr.html.

Wittenberg, Inga und Ellen Matthies (2018): How do PV households use their PV system and how is this related to their energy use? *Renewable Energy* 122 (Juli): 291–300.

Würflein, Ulrike, Carla Vollmer, Matthias Futterlieb und Marie-Luise Plappert (2025): Photovoltaik auf dem Acker? - Ein Positionspapier: 22.

zensus (2025): Haushalte: Energieträger der Heizung. zensus Datenbank, 26. September. https://ergebnisse.zensus2022.de/datenbank/online/statistic/5000H/table/5000H-1012/search/s/VyVDMyVBNHJtZXB1bXBl.

9 Anhang

9.1 Stromspiegel Photovoltaik

Mit dem Heiz- und Stromspiegel von co2online können Nutzer*innen ihre Verbräuche schnell mit ähnlichen Haushalten (Gebäudetyp, Haushaltsgröße) vergleichen und erkennen, ob sie einen eher hohen oder geringen Verbrauch haben. Ziel der Spiegel ist es, auf Einsparpotenziale hinzuweisen und zu weiteren Schritten zu motivieren, z. B. zur Änderung des Verbrauchsverhaltens. Haushalte mit einer PV-Anlage werden beim Stromspiegel jedoch bislang nicht berücksichtigt. Ziel des Stromspiegel Photovoltaik ist es deshalb, auch Haushalten mit einer PV-Anlage auf dem Dach Benchmarks anzubieten, um ihren Verbrauch schnell einordnen zu können. Zudem sollen auch Sektorkopplungstechnologien wie Wärmepumpe und E-Auto betrachtet werden.

Da die PV-Eigenverbrauchsoptimierung bislang das vorherrschende Benchmarking für die Optimierung des Stromsystems in PV-Haushalten ist, soll Prosumer-Haushalten nun mit dem Stromspiegel Photovoltaik ein ergänzendes, verbrauchsbezogenes Benchmark angeboten werden.

– PV-Anlage vorhanden
– Wärmepumpe vorhanden
– E-Auto vorhanden
– Ladestrom zu Hause falls bekannt

Für die Bedürfnisse des Stromspiegel Photovoltaik wurde die Datenabfrage um die folgenden Parameter erweitert:

– Stromproduktion der PV-Anlage
– Netzeinspeisung der PV-Anlage
– Stromverbrauch Wärmepumpe

Von September 2023 bis November 2025 konnten dementsprechend alle Daten, die im Strom-Check eingegeben wurden, für die Entwicklung des Spiegels verwendet werden. In Tabelle 9.6 ist eine Übersicht der vorhandenen Datenmengen entsprechend der Kategorien dargestellt.

Tabelle 9.6: Datenmengen des Stromspiegels Photovoltaik

Kategorie	Anzahl Datensätze
Beratungen StromCheck gesamt	34.807
Beratungshaushalte mit PV	5.372
a) Beratungshaushalte mit nur PV	2.407
b) Beratungshaushalte mit PV und WP	916
c) Beratungshaushalte mit PV und E-Auto	1.244
d) Beratungshaushalte mit PV, WP und E-Auto	805

Die 5.372 Beratungshaushalte mit PV stellten die Grundgesamtheit für die Erstellung des Stromspiegels Photovoltaik dar. Zur Ermittlung des Jahresstromverbrauchs jedes Haushalts wurde zum Strombezug (gemäß Jahresrechnung des Versorgers) die Stromproduktion der PV-Anlage im selben Zeitraum addiert und anschließend die Netzeinspeisung subtrahiert.

Der Stromspiegel Photovoltaik sollte in Analogie zum bisherigen Stromspiegel von co2online erstellt werden. Der Stromspiegel bietet – ebenfalls auf Basis der StromCheck-Eingaben – Stromverbrauchsbenchmarks für unterschiedliche Kombinationen von Gebäudetyp (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus), Warmwassererzeugung (mit oder ohne Boiler/Durchlauferhitzer) und Haushaltsgröße (1, 2, 3, 4 sowie 5+ Personen) an. Für jede dieser 20 Kombinationen bietet der Stromspiegel sieben Verbrauchskennwerte zum Jahresstromverbrauch, gestaffelt von A (gering) bis G (sehr hoch). In Summe sind dies 140 Benchmarks.

Da sich der Stromspiegel Photovoltaik ausschließlich an Hausbesitzende mit PV-Dachanlagen richtet, veränderten sich entsprechend auch die darzustellenden Benchmarks. Die Differenzierung nach Ein- und Mehrfamilienhaus entfiel, bezüglich der Technikausstattungen wird nun zwischen 4 möglichen Kombinationen der Sektorkopplungstechnologien Wärmepumpe und Elektroauto differenziert (vgl. Tabelle 9.6, Zeilen a-d). Innerhalb dieser 4 Kategorien wird nach wie vor nach Haushaltsgröße differenziert, allerdings nur noch über die 3 Unterkategorien 1-2 Personen, 3-4 Personen sowie 5+ Personen. Für jede dieser 12 Kombinationen aus Technikausstattung und Haushaltsgröße bietet der Stromspiegel Photovoltaik 4 (statt 7) Verbrauchskennwerte zum Jahresstromverbrauch, gestaffelt von A (gering) bis D (sehr hoch). In Summe sind dies 48 Benchmarks. Eine größere Differenzierung bei Haushaltsgröße und Verbrauchskennwerten war aufgrund der begrenzten Größe des Datenpools nicht möglich. Auch eine Differenzierung nach Art der Warmwassererzeugung (mit oder ohne Boiler/Durchlauferhitzer) war aufgrund der zu geringen Datenmenge nicht möglich. Der dadurch entstehenden Unschärfe bei den Benchmarks wird durch entsprechende Erläuterungen bei der Veröffentlichung des Spiegels begegnet.

Zur Etablierung der vier Verbrauchsbenchmarks (A gering bis D sehr hoch) in jeder der Kombinationen aus Technikausstattung und Haushaltsgröße wurden in jeder der 12 Kohorten die Quartile bezüglich des Jahresstromverbrauchs errechnet. Es zeigte sich, dass insbesondere bei den Kohorten mit Haushaltsgröße 5+ Personen die Anzahl der Datensätze (Bereich von 28-65 je Benchmark) so klein ist, dass weitere Differenzierungen statistisch nicht mehr vertretbar gewesen wären.

Deshalb wird auf die begrenzte Anzahl nutzbarer Datensätze bei der Veröffentlichung auch hingewiesen.

Der Stromspiegel Photovoltaik führt in drei Schritten zum Ergebnis.

Prosumer benötigen für die Einordnung ihres eigenen tatsächlichen Stromverbrauchs ihren Strombezug aus dem Netz, addieren hierzu die produzierte Strommenge ihrer PV-Anlage und ziehen als letzten Schritt die Menge an Strom ab, die sie ins Netz eingespeist haben. Um ihren Jahresstromverbrauch zu vergleichen, muss noch die Technikausstattung, also ob neben der PV-Anlage noch ein E-Auto und/oder eine Wärmepumpe vorhanden ist, berücksichtigt werden. Haushalte, die ihr Warmwasser ebenfalls elektrisch erwärmen, müssen zudem noch einen durchschnittlichen Aufschlag von 250 kWh pro Person im Haushalt hinzurechnen. Mit diesem Gesamtstromverbrauch können sie sich in der Tabelle nun transparent einordnen und schnell anhand der Farbskala sehen, ob sie mit ihrem Verbrauch im Vergleich zu ähnlichen Haushalten eher niedrig, mittel hoch oder sehr hoch liegen. Ziel des Spiegels ist es, Optimierungspotenziale aufzuzeigen und Haushalte zu motivieren, sich mit ihrem Gesamtstromverbrauch zu befassen.

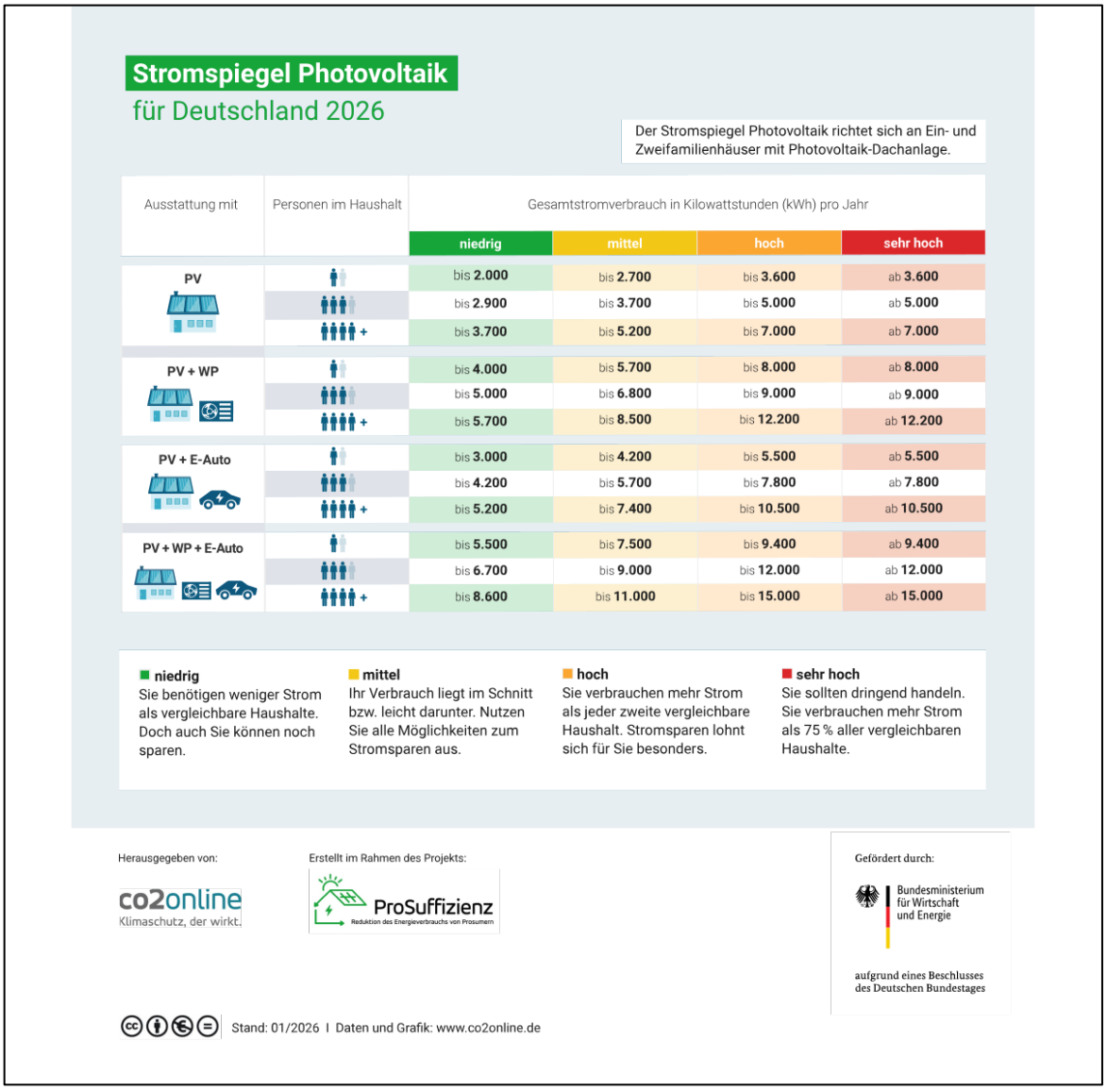


Abbildung 9.11: Stromspiegel Photovoltaik

9.2 StromanwendungsCheck

Im Rahmen der Technikbefragung der Feldtest-Haushalte wurden die relevanten elektrisch betriebenen Geräte eines Haushalts detailliert erfasst. Abgefragt wurde neben der Menge der einzelnen Geräte auch deren Alter, Größe und zeitliche Steuerbarkeit sowie Nutzungsdauer und Nutzung der Steuerungsfunktionen von Geräten. Die Angaben wurden in dem im folgenden beschriebenen StromanwendungsCheck zusammengefügt, so dass für jeden Haushalt ein differenziertes Bild über die vorhandenen Stromanwendungen und -nutzungsmuster gewonnen werden konnte. Die Feldtest-Haushalte erhielten als Feedback eine Stromverbrauchsbilanz aufgeschlüsselt nach relevanten Stromanwendungsfeldern und einen Vergleich mit Mittelwerten. Hintergrund ist, dass die Auswertung des Stromspiegels[3] zeigt: Der Haushaltsstromverbrauch könnte jährlich um bis zu 30 Gigawattstunden gesenkt werden. Für viele Haushalte stellt sich die Frage, wie sie ihren Stromsparpotenziale dauerhaft nutzen können. Dabei kann der StromanwendungsCheck sie unterstützen.

Der StromanwendungsCheck wurde entwickelt, um Privathaushalte gezielt für ihren eigenen Stromverbrauch zu sensibilisieren. Er steht auch nach Projektende als frei verfügbares Onlinetool[4] zur Verfügung. Ziel des Checks ist es, den Stromverbrauch einzelner Geräte zu erfassen, zu gruppieren und in einem benutzerfreundlichen Überblick nach Anwendungsbereichen darzustellen. Durch den Vergleich mit Durchschnittsverbräuchen für die einzelnen Anwendungsbereichen können Nutzer*innen identifizieren, welches die größten Stromverbraucher im Haushalt sind und wie sich ihr Verbrauch im Vergleich mit einem statistischen Durchschnittswert einordnet. Damit wird Transparenz über die Struktur des Stromverbrauchs im eigenen Haushalt hergestellt und durch konkrete Stromspartipps für die verbrauchsintensiven Anwendungsfelder ergänzt. Die Nutzer*innen werden damit befähigt, erste offensichtliche Stromsparpotenziale zu identifizieren und ggf. auszuschöpfen. Der StromanwendungsCheck ist so konzipiert, dass er eine ausreichende Detailtiefe bietet, um einen differenzierten Einblick in die individuelle technische Haushaltsausstattung zu gewähren, ohne dabei die Komplexität eines Expertentools zu erreichen.

Der StromanwendungsCheck kann im Browser wie ein Abfragetool mittels Zahleneingaben und Auswahlen durch Klickboxen ausgefüllt werden. Nach dem Ausfüllen werden die Ergebnisse direkt ausgegeben. Die Struktur der Abfrage ist in zwei Fragegruppen aufgeteilt. Zunächst werden allgemeine Haushaltsinformationen erhoben. Dazu gehören:

1. Haushaltsgröße
2. Anzahl Bewohnende
3. Wohnsituation (Haus vs. Wohnung)
4. Netzbezug Strom (Angabe aus der Stromrechnung)
5. PV-Anlage (falls vorhanden: Detailabfrage)
6. sowie die Erfassung von Großverbrauchern bzw. Geräten zur Sektorkopplung, wie
7. Wärmepumpe
8. Stromdirektheizung

[3] https://www.stromspiegel.de/fileadmin/pressemitteilungen/250513-pm-stromspiegel.pdf

[4] https://advisor.co2online.de/ifeu/stancheck/ausstattung-gebaeude/start

9. Direktelektrische Warmwasserbereitung
10. Elektrofahrzeuge

Allgemeine Haushaltsinformationen (1.-3.) dienen zum einen einem geeigneten Vergleich des betrachteten Haushalts mit bundesweiten Durchschnittswerten, z. B. aus dem Stromspiegel[5] von co2online und zum anderen können über diese Daten Strombedarfe für beispielsweise Beleuchtung abgeschätzt werden.

Der gesamte Stromverbrauch setzt sich aus dem Netzbezug (4.) und dem Eigenstromverbrauch (5.) der PV-Anlage zusammen. Es folgt zunächst eine Abfrage von Großverbrauchern (6.-9.), welche nicht zu der untersuchten Haushaltsausstattung gehören, dabei handelt es sich in erster Linie um Sektorkopplungsgeräte. Falls einer dieser Stromverbraucher vorhanden ist, wird der Stromverbrauch direkt abgefragt. Ist dieser nicht vorhanden, wird der Stromverbrauch über eine Parameterabfrage vom Check berechnet.

Die Strombedarf dieser Großverbraucher wird als zusätzlicher Stromverbrauch gewertet und in der Auswertung nicht berücksichtigt. Der Stromverbrauch der Geräte (6.-9.) wird vom gesamten Stromverbrauch abgezogen, um einen Haushaltsstromverbrauch zu erhalten, welcher sich auf die technische Haushaltsausstattung (vgl. Abbildung 9.12) bezieht.

Beispiel: Abfragelogik Elektroauto

Am Beispiel der Abfrage „Haben Sie ein Elektroauto?“ lässt sich das Prinzip der hierarchischen und gefilterten Befragungslogik veranschaulichen. Wird die Frage bejaht, erhalten die Teilnehmenden weiterführende, themenspezifische Fragen; zusätzlich werden kontextualisierende Hilfetexte eingeblendet. Diese erläutern unter anderem die Relevanz der Frage für den Haushaltsstromverbrauch und grenzen das betrachtete Elektroauto von anderen Elektrofahrzeugen ab, die nicht Gegenstand der Erhebung sind.

Zunächst wird erfragt, ob die Ladeenergie des Elektroautos über den Haushaltsstrom abgerechnet wird. Bei einer Verneinung endet die Detailabfrage an dieser Stelle. Wird die Frage bejaht, schließt sich die Frage an, ob die geladene Energiemenge bekannt ist.

Ist die Ladeenergie bekannt (Fall 1), werden die im Haushalt geladene Energiemenge in Kilowattstunden sowie der zugehörige Erhebungszeitraum abgefragt. Weicht dieser Zeitraum von dem für den Haushaltsstrom angegebenen Zeitraum ab, wird die Ladeenergie linear auf diesen Zeitraum umgerechnet.

Ist die Ladeenergie nicht bekannt (Fall 2), werden stattdessen die jährliche Fahrleistung sowie der Anteil der Ladevorgänge, die zu Hause erfolgen, in Prozent erfasst. Auf dieser Grundlage wird der entsprechende Stromverbrauch berechnet.

Durch diese Abfragelogik werden den Teilnehmenden ausschließlich diejenigen Fragen angezeigt, die für ihre individuelle Situation relevant sind. Gleichzeitig ermöglicht das Vorgehen eine möglichst präzise Abschätzung des haushaltsbezogenen Stromverbrauchs von Elektroautos.

[5] https://www.stromspiegel.de/

Im zweiten Teil des Checks wird die technische Haushaltsausstattung erhoben. Hierbei werden die gängigen und relevanten Stromverbraucher im Haushalt in vier Oberkategorien abgefragt:

– Waschen & Spülen
– Kühlen & Gefrieren
– Kochen & Backen
– Unterhaltungselektronik

In jeder dieser Kategorien werden verbreitete Geräte mit hohem Stromverbrauch abgefragt. Die abgefragten Parameter sollten von Laien ohne zusätzliche Recherchearbeit schnell erfassbar sein. Es werden folgende Parameter abgefragt:

– Gerätegröße, -typ
– Nutzungsdauer (bzw. Nutzungshäufigkeit)
– Geräteralter

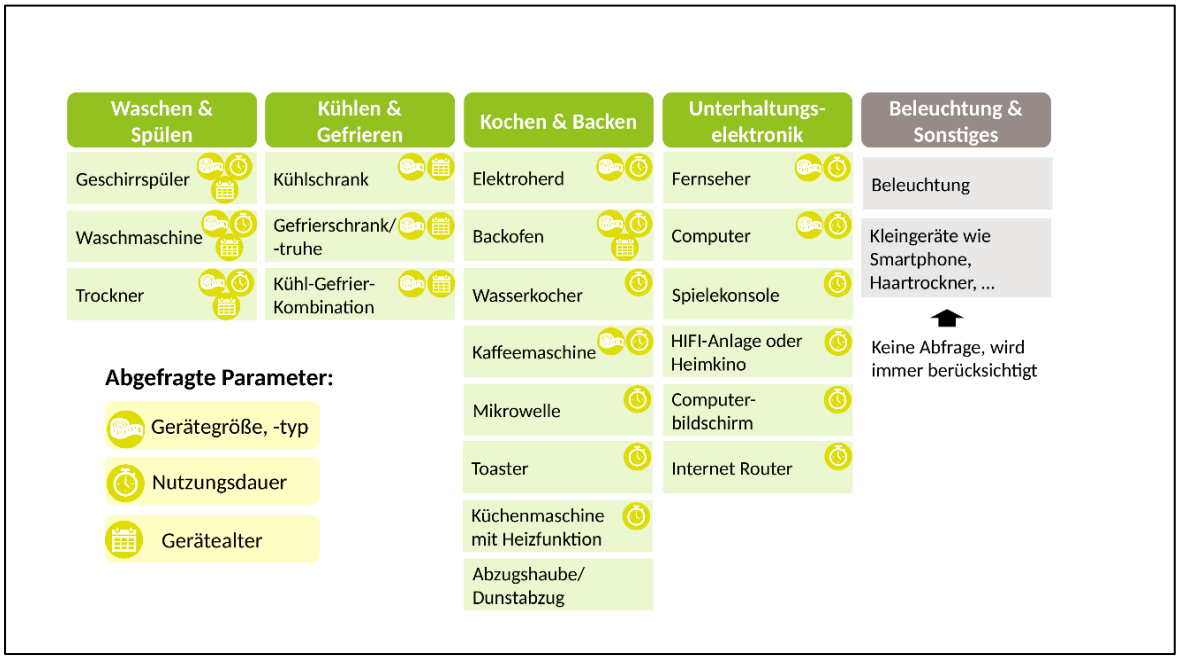


Abbildung 9.12: Schema der Abfrage der technischen Haushaltsausstattung im StromanwendungsCheck
Eigene Darstellung

In Abbildung 9.12 ist durch Icons dargestellt, welche Parameter bei welchem Gerät abgefragt werden. Im Bereich Waschen und Spülen werden alle Parameter abgefragt. Je nach Gerät ändert sich die Abfrage. So werden beispielsweise bei Waschmaschinen die Gerätegröße über das Fassungsvolumen und die Nutzungsdauer über die Anzahl der Waschgänge pro Woche abgefragt (vgl. Abbildung 9.13). Bei Kühlen und Gefrieren wird z. B. die Nutzungsdauer nicht abgefragt, weil davon ausgegangen wird, dass die Geräte immer in Betrieb sind. Bei Kochen und Backen sowie Unterhaltungselekronik wurde bei kleineren Geräten die Abfrage vereinfacht und nur die Nutzungsdauer abgefragt. Für weitere Differenzierungen der Geräte anhand von Typ und Alter ist in diesen Fällen die Datengrundlage nicht solide genug oder der Markt zu divers, um eine zielführende Differenzierung zu erreichen.

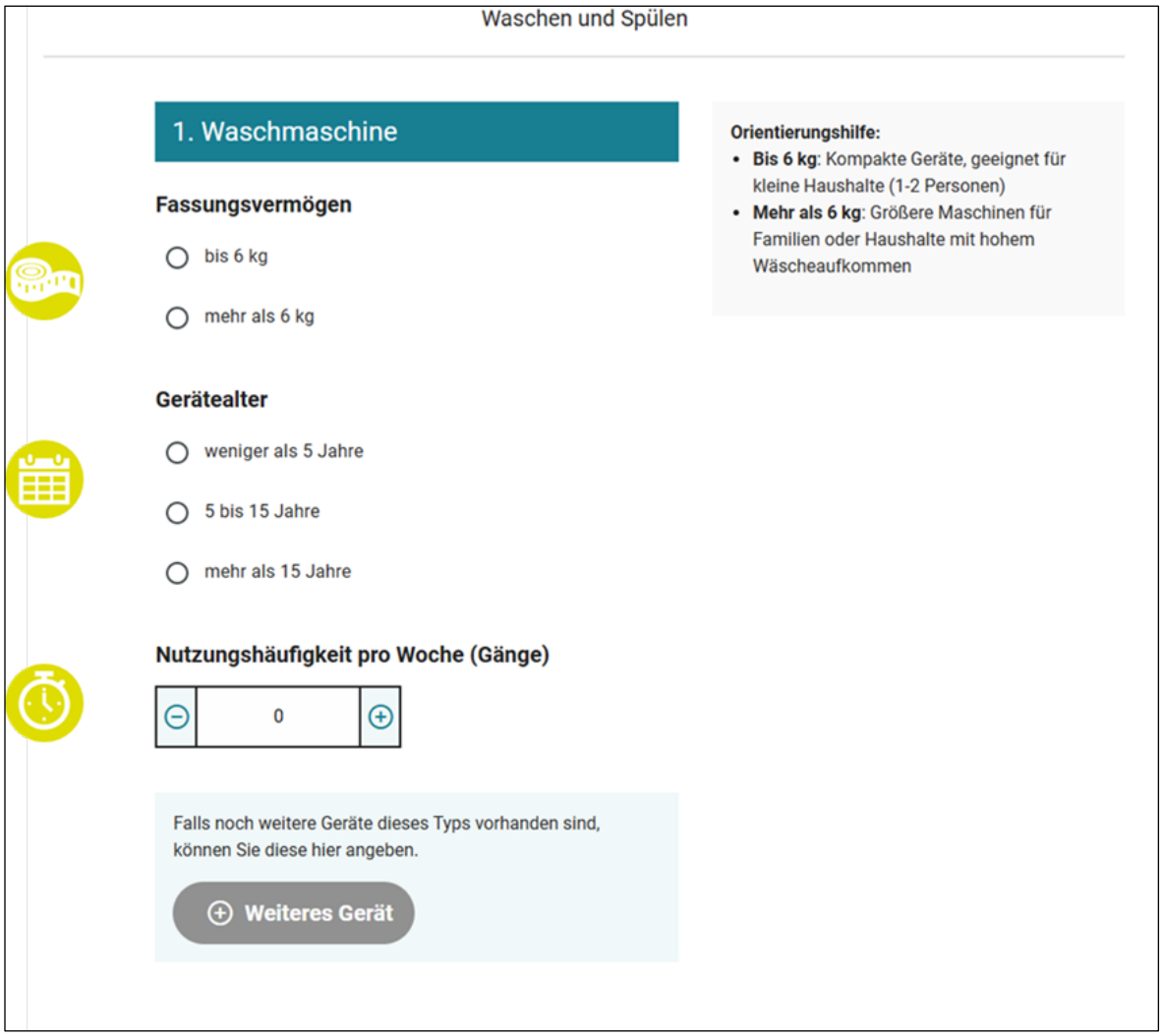


Abbildung 9.13: Geräteabfrage „Waschmaschine“ im StromanwendungsCheck (Screenshot des Online-Checks).
Quelle: StromanwendungsCheck (aufgerufen 27.01.2026)

Als Berechnungsgrundlage für die Energieverbrauchsermittlung auf Geräteebene wird, soweit vorhanden, der Energieeffizienzindex (EEI) und die Berechnungsmethode des Standardstromverbrauchs den europäischen Verordnungen zur Energieverbrauchskennzeichnung entnommen (Delegierte Verordnungen (EU) 2019/2017, 2019/2014, 2023/2534, 2019/2013, 65/2014). Die Energieeffizienzindizes werden über das Gerätealter erfragt. Den Altersangaben „weniger als 5 Jahre“, „5 bis 15 Jahre“ und „mehr als 15 Jahre“ werden jeweils gerätespezifisch EEIs zugeordnet. Die Gerätegröße wird mit einer in der Berechnungsmethodik geeigneten Größe hinterlegt. Diese Parameter sind ebenfalls gerätespezifisch. So werden beim Geschirrspüler die Füllkapazität an Maßbesteck verwendet, während bei Kühl-Gefrier-Kombigeräten eine Konfiguration auf verschiedenen Kühl- und Gefrierfächern mit jeweiligen Volumina angenommen wird.

Die Wahl der Berechnungsparameter erfolgt als Expertenschätzung auf Basis einer Auswertung der EU-Produktdatenbank EPREL (Europäische Kommission 2026) und stichprobenartiger Onlinemarktanalyse.

Um die Berechnungen greifbarer zu machen wird die Berechnungsmethodik sowie die verwendeten Daten und Formeln exemplarisch anhand des Gerätes Geschirrspüler ausgeführt.

Für Geräte, welche nicht in der EU-Produktdatenbank EPREL mit Verbrauchstandards definiert sind, werden andere Studien und Literatur verwendet, um den Verbrauch in Abhängigkeit der abgefragten Parameter möglichst zutreffend abzubilden.

Ergebnisse des StromanwendungsChecks

Um die Eingaben des StromanwendungsChecks besser einordnen zu können, werden sie den durchschnittlichen Jahresstromverbräuchen vergleichbarer Haushalte gegenübergestellt. Für die Ein- bis Fünfpersonenhaushalte werden die Daten des aktuellen Stromspiegels verwendet. Darüber hinaus wurden durchschnittliche Jahresstromverbräuche für Haushalte mit bis zu zehn Personen aus den Stromspiegeldaten extrapoliert. Die prozentuale Verteilung der Anwendungskategorien basiert auf statistisch erhobenen Angaben des BDEW (BDEW 2021) für einen durchschnittlichen Zweipersonenhaushalt. Im StromanwendungsCheck wird zwischen Wohnungen und Ein- und Zweifamilienhäusern unterschieden. Welche Werte verwendet werden, wird durch die Art des Haushalts (Wohnung/Haus) und die Anzahl der Bewohner*innen festgelegt. Verglichen wird der bereinigte Stromverbrauch nach Abzug von Großverbrauchern wie Elektroauto, Wärmepumpe, etc.

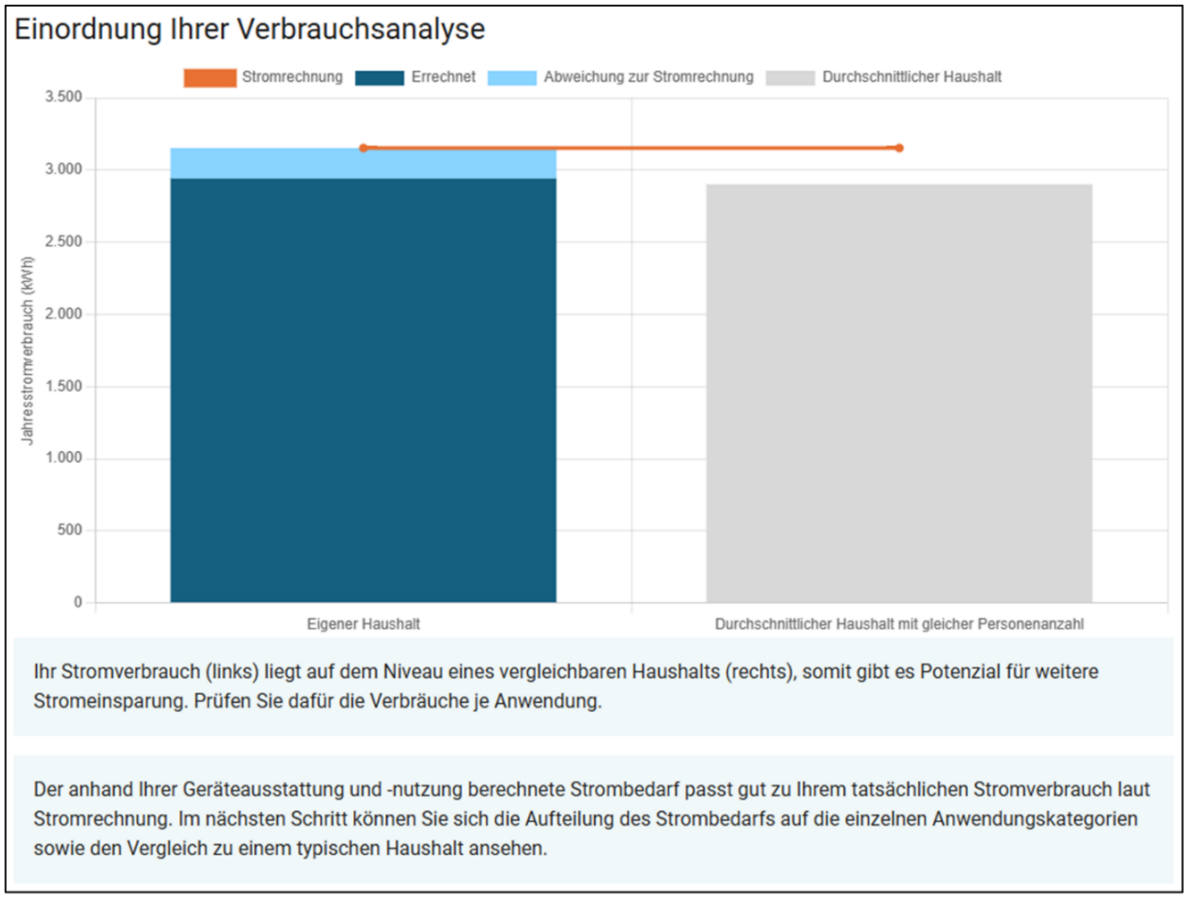


Abbildung 9.14: Ergebnisdarstellung „Einordnung Ihrer Verbrauchsanalyse“ im StromanwendungsCheck (Screenshot des Online-Checks).
Quelle: StromanwendungsCheck (aufgerufen 27.01.2026)

Beispiel: Berechnungslogik Geschirrspüler

Datengrundlage:
DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2019/2017
Der EEI und die Berechnungsmethode des Standardstromverbrauchs wird aus der Verordnung entnommen.

Bewertung Gerätealter:
Die Energieeffizienzklassen werden den Altersklassen Alte, Mittel und Neu EEIs zugeordnet. Dies geschieht nach Expertenschätzung.

Gerätealter	verwendeter EEI-Wert
Alt (15 Jahre oder älter)	65
Mittel (5 bis 15 Jahre)	50
Neu (5 Jahre oder neuer)	40

Bewertung Gerätegröße:
Die Klasse wird über die Gerätebreite bestimmt. Die Angabe „unter 60 cm“ wird mit einer Kapazität von acht Maßgeschirren (ps) hinterlegt; die Angabe „ab 60 cm“ mit einer Kapazität von 14 Maßgeschirren (ps). Der Standardstromverbrauch nach Verordnung (EU) 2017/1369 ist abhängig von der Kapazität an ps. Mit der Produktedatenbank EPREL wird die Verteilung der Modelle in Abhängigkeit der Kapazität an ps betrachtet und für die Größenkategorien der Mittleren Wert an ps festgelegt.
Klein

$$SPEC = 0{,}090 \times ps + 0{,}450$$

8 ps à 117 kWh/100 Nutzungen
Groß

$$SPEC = 0{,}025 \times ps + 1{,}350$$

14 ps à 170 kWh/100 Nutzungen

Mit diesem Werten wird der Standardstromverbrauch für kleine und große Geräte berechnet.

Bewertung Nutzungsdauer:
Die Nutzungsdauer wird über die Nutzungshäufigkeit pro Woche abgefragt. Der Verbrauch wird auf eine Einzelnutzung umgerechnet und mit der Anzahl der Anwesenheitswochen“[1] multipliziert

[1] Wochen im Jahr abzgl. 30 Urlaubstage. Das entspricht etwa 48 Wochen/Jahr.



Abbildung 9.15: Ergebnisdarstellung „Verbrauchsanalyse Ihrer Geräteausstattung“ im StromanwendungsCheck (Screenshot des Online-Checks).
Quelle: StromanwendungsCheck (aufgerufen 27.01.2026)

Die Ergebnisausgabe erfolgt auf einer Ergebnisseite in zwei Diagrammen. Das erste Diagramm (Abbildung 9.14) bleibt auf der Ebene des gesamten Haushaltsstroms. Das zweite Diagramm (Abbildung 9.15) behandelt die Verbräuche der Anwendungskategorien im Vergleich zum Standardhaushalt. Im ersten Diagramm erfolgt eine Einordnung des realen Stromverbrauchs gegenüber einem vergleichbaren Durchschnittshaushalt. Weiterhin wird die Differenz der Bottom-Up

Berechnung zum Stromverbrauch gemäß Stromrechnung („Differenz zur Stromrechnung“) dargestellt[6], wenn diese eine positive oder negative Abweichung aufweist. In beiden Fällen werden Hinweise zur Überprüfung der Eingaben ausgegeben, um den Fehler zu reduzieren. Falls eine PV-Anlage installiert ist, wird der PV-Eigenstrom als dritte Säule zusätzlich angezeigt, sowie eine textliche Einordnung wie hoch der PV-Eigenstromverbrauch absolut und relativ zum Gesamtstromverbrauch ist.

Im zweiten Diagramm (vgl. Abbildung 9.15) werden in einem Balkendiagramm die berechneten Verbräuche je Gerätekategorie den Standardverbräuchen eines vergleichbaren Haushalts gegenübergestellt. Neben der grafischen Darstellung wird der Verbrauch pro Gerätekategorie textlich dargestellt, mit farblicher Abhebung kann schnell erfasst werden, in welchen Bereichen das Einsparpotenzial höher und niedriger ist. Ferner wird im Erläuterungstext auf die Kategorien und Abweichungen eingegangen und es werden Links zu weiteren Informationen bereitgestellt. Diese werden durch Klicken auf die Gerätekategorie angezeigt.

Für eine personalisierte Ergebnisdarstellung wurde eine Fallunterscheidung implementiert. Daraus ergeben sich drei grundlegende Fälle:

1. Deutlich niedriger berechneter Verbrauch
2. Deutlich höher berechneter Verbrauch
3. Plausible Übereinstimmung von Berechnung und Rechnung

Ziel ist es, verständlich einzuordnen, wie gut die Berechnung zum realen Verbrauch passt und ob Hinweise auf besondere Stromverbraucher oder fehlerhafte Angaben bestehen.

Im ersten Fall liegt der berechnete Stromverbrauch deutlich unter dem tatsächlichen Stromverbrauch. Das beutet darauf hin, dass bestimmte Stromverbraucher nicht erfasst wurden oder besondere Stromnutzungen vorliegen (z. B. Sauna, Klimaanlage, Aquarium). In diesem Fall werden Hinweise angezeigt, welche auf die möglichen Sondergroßverbraucher im Haushalt als mögliche Ursache verweisen und der Empfehlung die Angaben nochmals zu prüfen, falls keine Sondergroßverbraucher im Haushalt vorhanden sind.

Im zweiten Fall ist der berechnete Stromverbrauch deutlich höher als der tatsächliche Stromverbrauch. In diesem Fall liegen höchstwahrscheinlich fehlerhafte Angaben vor, etwa bei der Nutzungsdauer oder der Anzahl an Geräten. Auch wird ein Hinweis gezeigt, die Eingabe nochmal zu prüfen, mit dem Verweis anhand der zweiten Grafik die Gerätekategorie mit auffälligen Verbrauchswerten zuerst zu prüfen. Zudem wird darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse ohne weitere Korrekturen eine hohe Unsicherheit aufweisen.

Im dritten Fall stimmen der berechnete und tatsächliche Stromverbrauch gut überein. In diesem Fall werden keine weiteren Hinweise angezeigt.

Des Weiteren wird ein Warnhinweis angezeigt, wenn der Stromverbrauch extrem hoch oder niedrig im Vergleich zu dem Durchschnittshaushalt ist. Hier wird empfohlen die Strommenge aus dem der Stromrechnung und den Betrachtungszeitraum zu prüfen, sowie gegebenenfalls den Eigenstromverbrauch aus der PV-Anlage.

---

[6] Ist eine PV-Anlage vorhanden, so wird der Eigenstromanteil berücksichtigt.

Der StromanwendungsCheck unterstützt somit Haushalte dabei, ihren Stromverbrauch transparent zu erfassen und Einsparpotenziale sichtbar zu machen. Durch eine verständliche Aufbereitung der Geräteverbräuche und konkrete Handlungsempfehlungen bietet er einen praxistauglichen Einstieg in nachhaltiges Energiesparen.

ADRESSE UND KONTAKT
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, gemeinnützig
Potsdamer Straße 105
10785 Berlin
Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0
Telefax: + 49 – 30 – 882 54 39
E-Mail: mailbox@ioew.de

www.ioew.de