

GWS DISCUSSION PAPER 2016 /05

Gesamtwirtschaftliche Effekte von Prosumer-Haushalten in Deutschland

Markus Flaute
Anett Großmann
Christian Lutz

Impressum

AUTOREN

Dr. Markus Flaute

Tel: +49 (541) 40933-295, E-Mail: flaute@gws-os.com

Anett Großmann

Tel: +49 (541) 40933-180, E-Mail: grossmann@gws-os.com

Dr. Christian Lutz

Tel: +49 (541) 40933-120, E-Mail: lutz@gws-os.com

TITEL

Gesamtwirtschaftliche Effekte von Prosumer-Haushalten in Deutschland

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

© GWS mbH Osnabrück, Mai 2016

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers / der Verfasser und spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der GWS mbH wider.

FÖRDERHINWEIS

Die Arbeiten wurden im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekts gefördert. FKZ: 01UN1209.



HERAUSGEBER DER GWS DISCUSSION PAPER SERIES

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 1867-7290

Das Discussion Paper im Überblick

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Prosumer-Haushalte und die Integration in das gesamtwirtschaftliche Modell PANTA RHEI | 2 |
| 3 | Szenarienbeschreibung | 4 |
| 4 | Prosumer-Szenarien MIN, MEDIUM und MAX | 6 |
| 4.1 | Einzelwirtschaftliche Betrachtung | 6 |
| 4.2 | Umwelteffekte | 9 |
| 4.3 | Gesamtwirtschaftliche Effekte | 15 |
| 5 | Batterie-Szenario | 19 |
| 5.1 | Annahmen | 19 |
| 5.2 | Ergebnisse | 21 |
| 6 | Fazit und Ausblick | 24 |
| | Literaturverzeichnis | 26 |

1 EINLEITUNG

Im Zuge der Energiewende kommt privaten Haushalten eine neue Rolle zu: Sie sind nicht nur Energieverbraucher, sondern auch Energieerzeuger (Drosowski 2015 zur Theorie der Haushaltsenergieproduktion). Durch die doppelte Funktion von Prosumer-Haushalten, die sowohl Strom (und Wärme) nachfragen als auch anbieten, können private Haushalte im zukünftigen Energiesystem eine neue Rolle einnehmen und so zu einem besseren Gelingen der Energiewende beitragen (May et al. 2016). So können die Prosumer-Haushalte zum einen für eine Entlastung der Stromnetze sorgen, da ein Eigenverbrauch von selbst produziertem Strom keinen Transport über das Stromnetz erfordert und Lastspitzen im Stromnetz vermeidet (Wiest et al. 2014 und Gähns et al. 2015). Zum anderen können Prosumer-Haushalte auch Systemdienstleistungen erbringen, indem sie ihre Stromerzeugungskapazitäten, Batteriespeicher und Verbraucher netzdienlich einsetzen (Bost et al. 2011).

Durch neue technische Möglichkeiten und ein dadurch verändertes Energieverhaltensverhalten beziehen private Haushalte ihren Strom nicht mehr nur ausschließlich aus dem Netz. Ein immer größer werdender Anteil der privaten Haushalte deckt seinen Stromverbrauch durch eigene Erzeugungsanlagen und neue Technologien. Begünstigt wird das Verhalten der privaten Haushalte durch gleichzeitig steigende Strompreise und sinkende Einspeisevergütungen sowie einem Preisverfall bei der notwendigen Infrastruktur. Als mögliche Technologien kommen insbesondere Photovoltaikanlagen und kleine Nano-KWK-Anlagen infrage. Durch Ergänzungen der Anlagen mit Batteriespeichern kann eine Entkopplung vom solaren Strahlungsangebot erfolgen (Sterner et al. 2015). Auch die Installation von strombasierten Heizsystemen ermöglicht eine Steigerung des Eigenverbrauchsanteils (Quaschnig et al. 2014 und Wiest et al. 2014). Einzelwirtschaftlich kann durch die Eigenversorgung in vielen Fällen ein finanzieller Vorteil generiert werden. Seit dem Jahr 2012 liegt die Einspeisevergütung unter dem Strombezugspreis für private Haushalte (sog. Netzparität), was den Eigenverbrauch für private Haushalte attraktiv macht (Wiest et al. 2014, IEA-RETD 2016 und May et al. 2016). Über die gesamtwirtschaftlichen Effekte dieser noch jungen Entwicklung ist bislang relativ wenig bekannt, da die Eigenversorgung mit Strom erst seit wenigen Jahren für private Haushalte attraktiv ist. Dementsprechend ist die Anzahl dieser Haushalte heute noch gering (EWI 2014).

Die bisher zur Politikberatung eingesetzten energiewirtschaftlichen Modelle bilden die Prosumer-Haushalte (noch) nicht angemessen ab. Um die Unsicherheit bzgl. der zukünftig potenziell wichtigen Marktteilnehmer zu verringern und eine Idee davon zu bekommen, wie das verstärkte Auftreten von Prosumern das Marktgefüge, soziale Aspekte, Governance-Strukturen u. a. beeinflussen könnte, arbeiten das Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), das Institute for Future Energy Consumer Needs and Behaviour (FCN) an der RWTH Aachen und die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) gemeinsam am vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Forschungsprojekt „Private Haushalte als neue Schlüsselakteure einer Transformation des Energiesystems: Empfehlungen für eine sozial-ökologisch orientierte Förderpolitik“.

Im Folgenden werden mögliche Szenarien einer Entwicklung von sog. Prosumer-Haushalten vorgestellt und die gesamtwirtschaftlichen Effekte dieser Entwicklungen skizziert und analysiert. Kapitel 2 erläutert kurz die getroffene Auswahl an unterschiedlichen Prosumer-Haushaltstypen sowie deren Integration in das umweltökonomische Modell PANTA RHEI. Kapitel 3 gibt eine Übersicht über die untersuchten Szenarien. Neben einer einzelwirtschaftlichen Betrachtung werden in Kapitel 4 auch die möglichen Umwelt- und gesamtwirtschaftlichen Effekte beschrieben, die durch eine Zunahme an Prosumer-Haushalten ausgelöst werden. Kapitel 5 enthält als Alternative ein Batterie-Szenario und verdeutlicht mögliche Wirkungen von technischen Innovationen bei Batteriespeichersystemen. Kapitel 6 zieht ein Fazit und gibt einen kurzen Ausblick.

2 PROSUMER-HAUSHALTE UND DIE INTEGRATION IN DAS GESAMTWIRTSCHAFTLICHE MODELL PANTA RHEI

Ein Prosumer ist ein Konsument, der gleichzeitig einen Teil der konsumierten Produkte oder Dienstleistungen selber produziert (vgl. IEA-RETD 2014 für eine Prosumer-Definition). Das Wort Prosumer setzt sich zusammen aus den Begriffen „Produzieren“ (engl. „to produce“) und „Konsumieren“ (engl. „to consume“). Im Fall von Strom produziert ein Prosumer somit (teilweise) seinen konsumierten Strom selbst. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden bereits Beiträge zur empirischen Fundierung der zukünftigen Rolle der Prosumer-Haushalte geleistet (PV-Eigenverbrauch, Demand-Side-Management, etc.) (Bost et al. 2013 sowie Oberst & Madlener 2014). Darüber hinaus wurde mithilfe eines Choice Experiments untersucht, wie sich z. B. die Faktoren „Unsicherheit“ und „Amortisationsdauer“ sowie verhaltensökonomische und sozialpsychologische Aspekte auf die Investitionsentscheidungen potenzieller Prosumer-Haushalte auswirken.

Im Fall der hier betrachteten Rolle der privaten Haushalte im zukünftigen Energiesystem werden private Haushalte betrachtet, welche ihren benötigten Strom bzw. ihre benötigte Wärme teilweise oder vollständig selbst produzieren können. Um die Rolle eines Prosumer-Haushalts ausüben zu können, muss eine entsprechende Infrastruktur installiert werden. In Abhängigkeit der technischen Ausstattung und des Energieverbrauches können verschiedene Haushaltstypen definiert werden (Gähns et al. 2015). Die hier betrachteten Prosumer-Haushalte unterscheiden sich hinsichtlich der eingesetzten Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien, dem Energieverbrauch und der Möglichkeit der Lastverschiebung (Demand-Side-Management, Batterie). Jeder Prosumer-Haushalt hat demnach eine unterschiedliche Eigenproduktion und Eigenverbrauch. Die Eigenproduktion ist die im Haushalt selbst erzeugte Energie. Der Eigenverbrauch ist der Teil der Energienachfrage, die der Prosumer-Haushalt nicht aus dem Netz bezieht. Der Eigenverbrauch ist im Einzelfall abhängig vom Verbrauchsverhalten des jeweiligen Prosumer-Haushalts. Im Gegensatz zu reinen Kleinerzeugern, bei denen die erzeugte und eingespeiste Energiemenge die Anlage refinanziert, steht bei der Dimensionierung der Prosumer-Anlagen die eigene Nutzung im Vordergrund (Wiest et al. 2014).

Für die Analyse der gesamtwirtschaftlichen Effekte von Prosumer-Haushalten wurde das umweltökonomische Modell PANTA RHEI um Prosumer-Haushalte erweitert (Flaute et al.

2015). Das Modell ist in den vergangenen Jahren vielfältig eingesetzt worden, u. a. im Rahmen der Energieszenarien 2010 (Prognos, EWI, GWS 2010), zur Ermittlung von Net-tobeschäftigungseffekten der erneuerbaren Energien (Lehr et al. 2015) und als Basis für den Fortschrittsbericht zum Monitoring der Energiewende (GWS, Prognos, EWI 2014). Im Zuge der Erweiterung wurden verschiedene Prosumer-Haushalte in das Modell integriert, um die Besonderheiten sowie die energetischen und monetären Wirkungen dieser Haus-halte abbilden zu können. Aus dem im Projekt zur Verfügung stehenden Pool an simulier-ten Haushaltstypen (über 400 unterschiedliche Haushaltstypen) wurden durch Zusam-menfassung der Haushaltseigenschaften insgesamt zehn Haushaltstypen konstruiert (Flaute et al. 2015 bzw. Tabelle 1). Die ausgewählten Haushaltstypen unterscheiden sich dabei hauptsächlich in der technischen Ausstattung, welche wiederum maßgeblichen Ein-fluss auf die selbst produzierte und konsumierte Strommenge hat.

Tabelle 1: Technologiekombinationen der Prosumer-Haushalte im Modell PANTA RHEI

| Typ | Technologiekombination | Typ | Technologiekombination |
|-----|------------------------|-----|----------------------------------|
| 1 | KWK | 6 | PV + Elektrischer Heizstab |
| 2 | KWK + Batterie | 7 | PV + KWK |
| 3 | PV + Batterie | 8 | PV + Elektrischer Heizstab + DSM |
| 4 | PV + Wärmepumpe | 9 | PV + KWK + DSM |
| 5 | PV | 10 | PV + DSM |

Quelle: Gähns et al. (2015).

Anknüpfungspunkte für die Prosumer-Haushalte im umweltökonomischen Modell PANTA RHEI gibt es sowohl im ökonomischen Teil des Modells als auch im energetischen Teil. Die Einnahmen und Ausgaben der Haushalte werden in den Volkswirtschaftlichen Ge-samtrechnungen erfasst. Die Energienachfrage und das Energieangebot werden in PAN-TA RHEI in der Struktur der Energiebilanz abgebildet. Die Haushalte sind Teil der Ener-gienachfrager und werden auch als Stromanbieter abgebildet. Zugleich ist der Wegfall bzw. der Einsatz fossiler Energieträger mit den energiebedingten CO₂-Emissionen ver-knüpft.

Die neue Rolle der Haushalte als Energieerzeuger wird sowohl energetisch als auch mo-netär erfasst: Der selbst erzeugte Strom wird entweder selbst verbraucht oder in das Stromnetz eingespeist. Der Eigenverbrauch von Strom reduziert den Netzbezug und da-mit die Konsumausgaben der privaten Haushalte für Strom. Höhere Einnahmen erzielt der Haushalt durch die Vergütung des eingespeisten Stroms. Die notwendigen Investitionen in stromerzeugende Technologien belasten zunächst das dem Haushalt zur Verfügung stehende Gesamtbudget und führen zur Verdrängung anderer Konsumausgaben.

Die verschiedenen Wirkungskanäle sind im Modell PANTA RHEI erfasst. Die Integration von Prosumer-Haushalten und ihren Eigenschaften ermöglicht die Simulation gesamtwirt-schaftlicher Effekte, die durch Prosumer-Haushalte ausgelöst werden können.

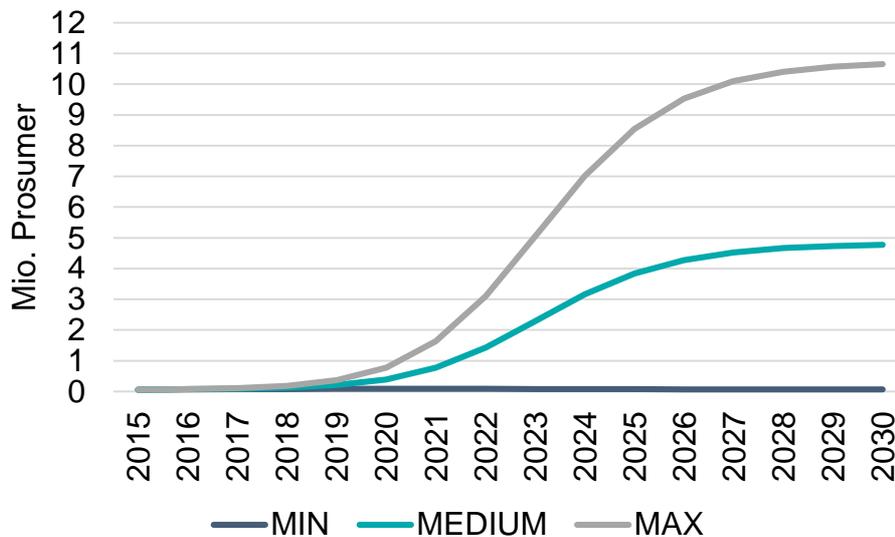
3 SZENARIENBESCHREIBUNG

In Flaute et al. (2015) wurden erste Sensitivitätsrechnungen zur Prüfung der Wirkungen von Prosumer-Haushalten durchgeführt. Während dort noch vereinfachend von einem jährlichen Zuwachs der Prosumer-Haushalte von 100.000 ausgegangen wurde, werden im Folgenden die einzelnen Szenarien vorgestellt, in denen jeweils unterschiedliche Diffusionspfade für Prosumer-Haushalte vorgegeben werden (Oberst et al. 2014, 2016).

Die hier untersuchten Szenarien unterscheiden sich dabei nur in der unterstellten Anzahl und Verteilung der Prosumer-Haushalte auf die zehn Haushaltstypen. Namentlich handelt es sich dabei um die Szenarien MIN, MEDIUM und MAX. Als zeitlicher Horizont wird jeweils der Zeitraum von 2015 bis 2030 betrachtet. Geht man von einer Nutzungsdauer der technischen Ausstattung der Prosumer-Haushalte von 20 Jahren aus, fallen im betrachteten Zeitraum jeweils nur Anfangsinvestitionen und Wartungskosten an; es werden aber keine Ersatzinvestitionen für einen Austausch bestehender Prosumer-Infrastruktur getätigt. Ein weiteres Szenario ist das Batterie-Szenario, das von einer technischen Innovation bei Batteriespeichern ausgeht und eine noch höhere Eigenversorgung der Haushalte mit Strom ermöglicht. Dieses Szenario basiert auf dem MEDIUM-Szenario, unterstellt aber eine andere Verteilung der Prosumer-Haushalte auf die zehn Haushaltstypen.

Die Eigenversorgung mit Strom ist in der Industrie bereits verbreitet. Laut EWI (2014) lag der Selbstverbrauch in der Industrie in den vergangenen Jahren in einem Korridor zwischen 10 – 20 % (entspricht ca. 20 – 50 TWh). Eine genaue Bestimmung ist aufgrund der fehlenden amtlichen Statistik nicht möglich. Für die Privathaushalte hat die Kostensenkung bei Photovoltaik-Modulen sowie die Anpassung der Vergütungssätze von eingespeistem Strom in den vergangenen Jahren dazu geführt, dass sich die Eigenversorgung mit Strom bei privaten Haushalten langsam entwickelt hat. Heute befinden sich Prosumer-Haushalte im Markt, die ihren eigenen Strom produzieren. Die genaue Anzahl der Prosumer-Haushalte sowie die Stromerzeugung und der -verbrauch dieser Haushalte werden aber statistisch nicht gesondert erfasst, sodass es Unsicherheit bzgl. der Anzahl an heutigen Prosumer-Haushalten gibt.

Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl an Prosumer-Haushalten in den Szenarien MIN, MEDIUM und MAX



Quelle: Eigene Darstellung.

Das MIN-Szenario dient im Folgenden als Vergleichsszenario zur Analyse der Effekte einer Zunahme an Prosumer-Haushalten. Im MIN-Szenario wird unterstellt, dass es in Zukunft nur einen sehr geringen Zuwachs an Prosumer-Haushalten geben wird. Es wird angenommen, dass sich im Jahr 2030 insgesamt nur ca. 70 Tausend Prosumer-Haushalte im Markt befinden.

Eine wesentliche Einflussgröße für die Anzahl an Prosumer-Haushalten ist die Anzahl an Haushalten, die potenziell überhaupt ein Prosumer-Haushalt werden kann. Im Projekt wird vereinfachend unterstellt, dass dies nur für Eigentümer von Ein- und Zweifamilienhäusern möglich ist. Nur diese Haushalte verfügen über den notwendigen Platz und die Möglichkeiten, die Infrastruktur überhaupt installieren zu können. Für Mieter in einem Mehrfamilienhaus ist es dementsprechend unter dieser Annahme nicht möglich, Prosumer-Haushalt zu werden. Von den in Deutschland lebenden knapp über 40 Millionen Privathaushalten kommen also nur die Haushalte als Prosumer infrage, die über ein Eigentum in Form eines Ein- oder Zweifamilienhauses verfügen. Bei einer Wohneigentumsquote für Ein- und Zweifamilienhäuser in Deutschland von knapp 30 % sind dies etwa 12 Millionen Privathaushalte (Quelle: abgeleitet aus den Zahlen zu Haushalten im selbst genutzten Eigentum und in Mietwohnungen, Destatis).

Im MEDIUM-Szenario wird angenommen, dass sich ein Teil dieses Potenzials dazu entschließt, Prosumer zu werden. Die Bestimmung der Anzahl an Prosumer-Haushalten seitens des FCN basiert auf dem durchgeführten Choice-Experiment, aus welchem ein Aktivierungsgrad abgeleitet werden konnte (Oberst et al. 2016). In Kombination mit dem Prosumerpotenzial ergibt sich schließlich die Anzahl an Prosumer-Haushalten. Im betrachteten Zeitraum kommt es zunächst zu einem starken Zuwachs an Prosumer-Haushalten. Ab dem Jahr 2025 schwächt sich der jährliche Zuwachs ab und im Jahr 2030 gibt es ca. 4,7 Millionen Prosumer-Haushalte.

Im MAX-Szenario wird davon ausgegangen, dass nahezu alle potenziell möglichen Privathaushalte als Prosumer agieren. Durch die hohe Anzahl an Prosumer-Haushalten von knapp elf Millionen fallen die möglichen Effekte im MAX-Szenario am größten aus. Weder das MEDIUM- noch das MAX-Szenario stellen unter heutigen Rahmenbedingungen eine wahrscheinliche Entwicklung dar. Es geht vielmehr darum, mögliche ökonomische Effekte entsprechender Ausschöpfungen des Prosumerpotenzials zu ermitteln.

Als weitere Alternative werden in Kapitel 5 ein Batterie-Szenario vorgestellt und die möglichen Wirkungen einer technischen Innovation bei Batteriespeichern ausgewertet. Durch eine verbesserte Speichermöglichkeit kommt es im Vergleich zum MEDIUM-Szenario zu unterschiedlichen Diffusionspfaden für die einzelnen Technologien sowie zusätzlichen Prosumer-Haushalten.

4 PROSUMER-SZENARIEN MIN, MEDIUM UND MAX

In diesem Kapitel werden zunächst die Ergebnisse für einzelne Prosumer-Haushalte dargestellt (Kapitel 4.1). Die einzelwirtschaftlichen Ergebnisse unterscheiden sich je nach Technologiekombination und weiteren Parametern wie z. B. dem Energieverbrauch oder der Eigenproduktion pro Prosumer-Haushaltstyp.

Diese Parameter pro Prosumer-Haushaltstyp definieren gemeinsam mit der Anzahl der Prosumer-Haushalte die Größenordnung der energetischen und gesamtwirtschaftlichen Effekte. Diese wurden bereits in ersten Sensitivitätsrechnungen mit dem um Prosumer-Haushalte erweiterten Modell PANTA RHEI evaluiert (Flaute et al. 2015) und werden für weitere Szenarien (MEDIUM und MAX) in Kapitel 4.2 und 4.3 beschrieben.

4.1 EINZELWIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG

Ausgangspunkt der einzelwirtschaftlichen Betrachtung sind die zehn Prosumer-Haushaltstypen, die sich hinsichtlich ihrer technischen Ausstattung und der Möglichkeit des Lastenmanagements (Demand-Side-Management, Batterie) unterscheiden (Gähns et al. 2015 und Flaute et al. 2015; Tabelle 1).

Jeder Haushaltstyp hat in Abhängigkeit der technischen Ausstattung einen Gesamtverbrauch an Strom und Wärme, eine fest definierte Eigenproduktion, einen fest definierten Eigenverbrauch sowie daraus resultierend einen verbleibenden Netzbezug von Strom. Es wird angenommen, dass diese Parameter in den betrachteten Szenarien MIN, MEDIUM und MAX jeweils identisch sind und sich auch im Zeitverlauf nicht verändern.

Aus Sicht eines Prosumers ist die eingesetzte Technologiekombinationen bei gegebenem Energieverbrauch entscheidend. Die Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Technologie kann dabei vielfältige Gründe haben und muss nicht notwendigerweise unter rein wirtschaftlichen Aspekten getroffen werden. IEA-RETD (2014) zählt verschiedene Gründe auf, welche für die Entscheidung, überhaupt ein Prosumer-Haushalt zu werden, und für die Auswahl einer bestimmten Technologie relevant sein können. Neben den rein ökonomischen Gründen kann auch die Unabhängigkeit von der öffentlichen Stromversorgung

oder das Interesse an neuen Technologien als Grund angeführt werden. Oberst et al. (2014) nennen auch ökologische Gründe, die einen Haushalt dazu bewegen können, selber Strom zu produzieren. Neben ökologischen und ökonomischen Gründen konnte mit dem vom FCN durchgeführten Choice-Experiment bestätigt werden, dass insbesondere auch sozialpsychologische Aspekte eine Rolle bei der Prosumer-Entscheidung spielen.

Tabelle 2 enthält die wesentlichen technischen Größen der einzelnen Prosumer-Haushaltstypen, die für die einzelwirtschaftlichen Effekte von Bedeutung sind. Entscheidend für das Prosumer-Dasein ist der Eigenverbrauch von selbst produziertem Strom. Eine Erhöhung dieses Eigenverbrauchs ist mit technischer Zusatzausstattung möglich, was jedoch mit weiteren Anschaffungskosten verbunden ist. Einzelwirtschaftlich muss daher geprüft werden, welche Zahlungsrückflüsse bzw. Einsparungen sich vor dem Hintergrund des eigenen Stromverbrauchsprofils realisieren lassen und welche Anlage dafür am besten geeignet ist. Bei einem Haushalt mit einer PV-Anlage kann z. B. ein ergänzender Heizstab den Eigenverbrauch deutlich erhöhen, da dieser Strom, welcher sonst in das Stromnetz eingespeist werden würde, in Wärme umwandeln kann (Wiest et al. 2014). Neben einem erhöhten Eigenverbrauch kann so auch noch ein reduzierter Brennstoffverbrauch für Wärme realisiert werden.

Tabelle 2: Wichtige Eigenschaften der Prosumer-Haushaltstypen

| | Strom | | | Wärme |
|------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| | Gesamtverbrauch kWh / a | Eigenverbrauch kWh / a | Autarkiegrad kWh / a | Brennstoffverbrauch kWh / a |
| KWK | 3.877 | 1.317 | 34,0% | 16.738 |
| KWK+BAT | 3.944 | 2.010 | 51,0% | 16.738 |
| PV+BAT | 3.738 | 1.898 | 50,8% | 13.984 |
| PV+WP | 7.479 | 1.273 | 17,0% | 0 |
| PV | 3.658 | 872 | 23,8% | 13.984 |
| PV+EHZ | 5.031 | 2.248 | 44,7% | 12.440 |
| PV+KWK | 3.877 | 1.989 | 51,3% | 16.738 |
| PV+EHZ+DSM | 4.892 | 2.322 | 47,5% | 12.593 |
| PV+KWK+DSM | 3.877 | 2.230 | 57,5% | 16.738 |
| PV+DSM | 3.658 | 1.085 | 29,7% | 13.984 |

Quelle: Eigene Berechnung basierend auf Gähns et al. (2015) und internen Projektergebnissen.

Aus einzelwirtschaftlicher Sicht gilt es unter ökonomischen Gesichtspunkten, das jeweils für den individuellen Haushalt optimale System zu ermitteln. Da die Investition in die jeweilige Infrastruktur das Kapital langfristig bindet, ist eine solche Entscheidung mit hoher Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen verbunden. Neben den Anschaffungskosten spielen insbesondere die möglichen Einsparungen und Rückflüsse eine entscheidende Rolle bei der Kaufentscheidung, welche jedoch stark abhängig sind von den Erwartungen über die zukünftige Strompreisentwicklung.

Im Folgenden werden mögliche Erträge für ausgewählte Prosumer-Haushalte dargestellt und erläutert. Die Werte stellen sich dabei in allen drei betrachteten Szenarien MIN, ME-

DIUM und MAX für die einzelnen Haushaltstypen ein, da sich die ökonomischen Rahmenbedingungen in den Szenarien nicht ändern. In der Realität dürften die Prosumer-Haushalte jedoch sehr wohl eine Wirkung auf den Strompreis und andere ökonomische Größen haben.

Um Prosumer sein zu können, sind Anfangsinvestitionen in die technische Ausstattung notwendig. Der Eigenverbrauch von selbst produziertem Strom verringert den Netzbezug der Prosumer-Haushalte, wodurch diese die Ausgaben für Strom reduzieren können. Zusätzlich zu diesen Einsparungen erhöht sich das verfügbare Einkommen der Prosumer-Haushalte durch eine Vergütung der eingespeisten Überproduktion. Die Eigenproduktion jedes Haushaltstyps übersteigt in jedem Jahr den Eigenverbrauch, sodass diese Überproduktion in das Netz eingespeist wird. Auch bei der Wärmeerzeugung kommt es zu Anpassungen. Insbesondere bei der Substitution des Niedertemperaturkessels durch die elektrische Wärmeerzeugung erfolgt eine Substitution des Brennstoffs Gas durch Strom. In Abhängigkeit der jeweiligen Preise kommt es zur Veränderung des verfügbaren Einkommens.

Tabelle 3: Wesentliche monetäre Effekte in der einzelwirtschaftlichen Betrachtung für ausgewählte Prosumer-Haushaltstypen

| Euro pro Jahr | 2015 | | | | 2030 | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|-------------|
| | KWK | PV | PV + EHZ | PV + DSM | KWK | PV | PV + EHZ | PV + DSM |
| Abschreibungen | -750,0 | -195,0 | -217,0 | -255,0 | -525,0 | -175,5 | -193,1 | -223,5 |
| Einspeisung Überproduktion | 82,3 | 262,1 | 90,1 | 235,4 | 82,3 | 262,1 | 90,1 | 235,4 |
| Einsparungen Netzbezug | 387,9 | 256,9 | 662,2 | 319,7 | 526,3 | 348,6 | 898,4 | 433,7 |
| Einsparungen Gasbezug | 0,0 | 0,0 | 112,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 139,4 | 0,0 |
| Erhöhter Gasbezug | -200,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -248,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Summe | -480,2 | 324,0 | 647,6 | 300,1 | -164,9 | 435,2 | 934,8 | 445,7 |

Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung.

Die in Tabelle 3 dargestellten Werte gelten für neu in den Markt eintretende Prosumer-Haushalte im angegebenen Jahr für den jeweils angegebenen Haushaltstyp. Die Auswahl an verschiedenen Technologieoptionen zeigt auf, wie unterschiedlich die einzelwirtschaftlichen Effekte ausfallen.

Die in der Anschaffung teuerste Technologiekombination in der Auswahl ist die Nano-KWK-Anlage. Bei einer Anschaffung im Jahr 2015 fallen jährlich 750 Euro an Abschreibungen im Nutzungszeitraum an. Das Einsparpotenzial beim Strombezug ist jedoch im Vergleich zu den hohen Anschaffungskosten eher gering und der Autarkiegrad (Anteil des Eigenverbrauchs am Gesamtverbrauch eines Prosumer-Haushalts) liegt nur bei 34 %. Monetär bewertet ergibt sich mit einer Nano-KWK-Anlage eine Einsparung beim Netzbezug in Höhe von 387 Euro. Zusätzlich kann die Überproduktion eingespeist werden, wel-

che mit 82 Euro vergütet wird. Zusammen mit dem zusätzlichen Brennstoffbedarf der Nano-KWK-Anlage in Höhe von 200 Euro ergibt sich insgesamt jedoch eine negative Nettowirkung in Höhe von 480 Euro. Durch sinkende Anschaffungskosten betragen die Abschreibungen für eine Nano-KWK-Anlage im Jahr 2030 nur 525 Euro. Aber auch die geringeren Abschreibungen und im Zeitablauf gestiegene Strompreise können nicht dafür sorgen, dass es in dieser Rechnung einen positiven Nettoeffekt gibt.

Anders verhält es sich bei den Technologiekombinationen mit einer PV-Anlage. Hier sind die Einsparungen aus Eigenverbrauch und Einspeisung so groß, dass die Abschreibungen überkompensiert werden. Zusätzliche technische Geräte wie ein elektrischer Heizstab oder ein Demand-Side-Management erhöhen den Autarkiegrad und sorgen so für höhere Einnahmen durch Eigenverbrauch. Diesen höheren Einnahmen stehen höhere Anschaffungskosten gegenüber. Insbesondere die Technologiekombination aus PV-Anlage und elektrischem Heizstab ist unter den gemachten Annahmen vorteilhaft, da der Heizstab nur geringe Anschaffungskosten hat und einen deutlichen Anstieg des Eigenverbrauchs ermöglicht. Im direkten Vergleich mit der allein betriebenen PV-Anlage ergibt sich durch die technische Zusatzausstattung ein doppelt so hoher Nettoeffekt.

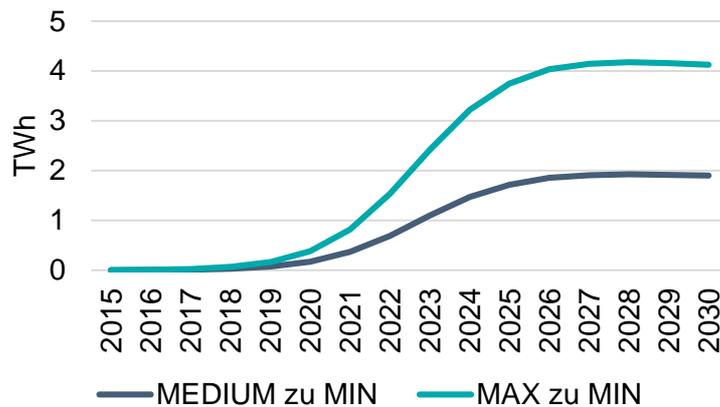
Im Folgenden werden die Wirkungen der Prosumer-Haushalte auf Energiesystem und Umwelt dargestellt. Für die Analyse wird das MIN-Szenario als Vergleichsszenario gewählt. Dieses Szenario basiert in gewisser Weise auf den heute bereits im Markt befindlichen Prosumer-Haushalten und stellt die Situation dar, wenn die zukünftige Entwicklung nur eine sehr geringe Anzahl an Prosumer-Haushalten hervorbringt. Im Vergleich zum MIN-Szenario können für das MEDIUM- und das MAX-Szenario jeweils in einer Differenzbetrachtung unterschiedliche energetische, monetäre und gesamtwirtschaftliche Größen analysiert werden. Die zu beobachtenden Differenzen zwischen den Szenarien resultieren aus den unterschiedlichen Annahmen zur Anzahl insgesamt sowie der Verteilung der Prosumer-Haushalte auf die einzelnen Prosumer-Haushaltstypen.

4.2 UMWELTEFFEKTE

Die Prosumer-Haushalte betreiben ihre eigenen Erzeugungsanlagen. Als mögliche Technologien werden PV-Anlagen und Nano-KWK-Anlagen (erdgasbetriebene Nano-BHKW) unterschieden. Da die Prosumer-Haushalte jeweils neu in den Markt eintreten, erhöht sich durch die neu zu installierenden Prosumer-Erzeugungsanlagen (PV, KWK) die Stromproduktion. Insbesondere die eigene regenerative Stromproduktion mit PV-Anlagen durch die Prosumer-Haushalte reduziert die fossile Stromerzeugung im Markt im gleichen Umfang. Der Anteil der regenerativen Erzeugung an der Bruttostromerzeugung erhöht sich insgesamt.¹ Die Stromproduktion mit Nano-KWK-Anlagen wird im Modell als neutral angesehen, wenn davon ausgegangen wird, dass die eigene Stromproduktion im erdgasbetriebenen Nano-BHKW die fossile (gasbetriebene) Stromproduktion der großen Versorger reduziert. Bei der Wärmeerzeugung kommt es teilweise zu einer Substitution der gasbetriebenen Niedertemperaturkessel durch elektrisch erzeugte Wärme (Wärmepumpe, Heizstab). Die genannten Effekte haben Rückwirkungen auf den CO₂-Ausstoß.

¹ Anders verhält es sich bei den geplanten Anpassungen des EEG, nach denen eine höhere PV-Produktion von Haushalten zu einem reduzierten Wind-Onshore-Ausbau führen würde.

Abbildung 2: Veränderung des Bruttostromverbrauchs im MEDIUM- und MAX-Szenario in TWh



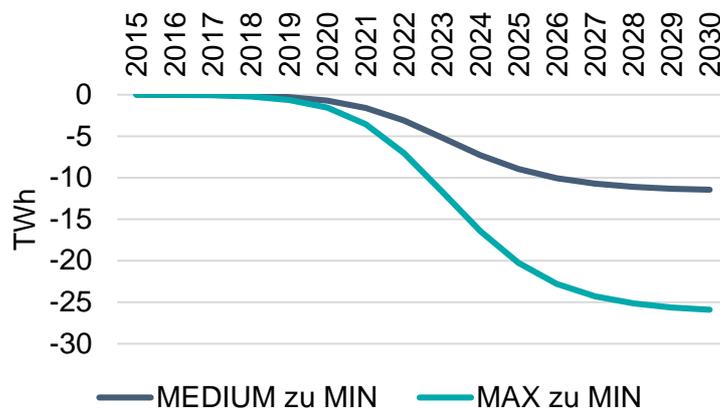
Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 2 verdeutlicht die Entwicklung des Bruttostromverbrauchs für die Szenarien MEDIUM und MAX im Vergleich zum MIN-Szenario. Dem Verlauf der Diffusionspfade für die Prosumer-Haushalte in Abbildung 1 folgend, entwickelt sich auch die Abweichung des Bruttostromverbrauchs.

Im Vergleich zum MIN-Szenario sorgt die jeweils wachsende Anzahl an Prosumer-Haushalten für einen steigenden Bruttostromverbrauch. Neben der absoluten Anzahl an Prosumer-Haushalten ist die Höhe des Mehrverbrauchs insbesondere abhängig von der Verteilung der Prosumer-Haushalte auf die einzelnen Prosumer-Haushaltstypen. Insbesondere die technischen Einrichtungen zur Wärmeerzeugung aus Strom (Wärmepumpe, Heizstab) sorgen dafür, dass der Stromverbrauch dieser Haushalte größer ist als bei einem Haushalt mit Wärmeerzeugung aus Gas. Im Vergleich zu einem Prosumer-Haushalt mit PV-Anlage (Gesamtstromverbrauch 3.658 kWh pro Jahr) erhöht sich der Stromverbrauch mit einer Wärmepumpe auf knapp 7.500 kWh, bei der Nutzung eines Heizstabes auf ca. 5.000 kWh.

Im Vergleich zum MIN-Szenario liegt der Bruttostromverbrauch im MEDIUM-Szenario im Jahr 2030 ca. 1,9 TWh höher. Dies entspricht einem Anstieg um 0,33 %. Im MAX-Szenario liegt der Bruttostromverbrauch durch die noch höhere Anzahl an Prosumer-Haushalten im Jahr 2030 bei ca. 4,1 TWh (0,73 %) über dem MIN-Szenario. Entscheidend für diesen Mehrverbrauch an Strom ist, dass dieser tlw. durch die eigene Stromerzeugungsanlage produziert wird und so zu einem erhöhten Eigenverbrauch führt. Trotz des erhöhten Bruttostromverbrauchs kann aber die fossile Stromerzeugung durch die Einführung von Prosumer-Haushalten reduziert werden, weil vermehrt Strom in PV-Anlagen produziert wird (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 3: Veränderung der fossilen Stromproduktion im MEDIUM- und MAX-Szenario in TWh



Quelle: Eigene Darstellung.

Mit zunehmender Anzahl an Prosumer-Haushalten erhöht sich annahmegemäß die Anzahl an Prosumern, die eine PV-Anlage betreiben. Zum einen wird der Strom aus diesen Anlagen für den Eigenverbrauch der Prosumer-Haushalte genutzt, zum anderen wird dieser Strom in das Stromnetz eingespeist und sorgt annahmegemäß für eine Reduktion des fossil erzeugten Stroms. Im MEDIUM-Szenario sinkt der fossil erzeugte Strom bis zum Jahr 2030 um ca. 11 TWh, was einer Reduktion um 3,5 % entspricht. Im MAX-Szenario fällt diese Reduktion deutlich höher aus. Durch die höhere Anzahl an Prosumer-Haushalten reduziert sich der fossil erzeugte Strom im Vergleich zum MIN-Szenario um ca. 25 TWh (7,7 %).

Tabelle 4: Veränderung des Endenergieverbrauchs von Gas und Strom im MIN-, MEDIUM- und MAX-Szenario im Jahr 2030

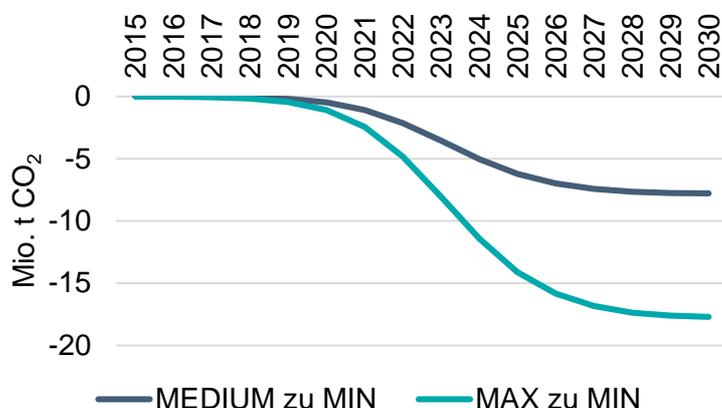
| | absolut in 2030 [in PJ] | | | relative Abweichung [in %] | |
|----------------------------------|-------------------------|--------|-------|----------------------------|---------------|
| | MIN | MEDIUM | MAX | MEDIUM zu MIN | MEDIUM zu MIN |
| Endenergieverbrauch Gas | 1.678 | 1.663 | 1.644 | -0,9 % | -2,0 % |
| Endenergieverbrauch Strom | 1.799 | 1.805 | 1.813 | 0,3 % | 0,7 % |

Quelle: Eigene Darstellung.

Wie bereits oben angedeutet, kommt es durch die zunehmende Anzahl an Prosumer-Haushalten in den Szenarien MEDIUM und MAX zu einer Substitution zwischen Gas und Strom bei der Wärmeerzeugung. Diese Substitution spiegelt sich auch beim Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für die entsprechenden Energieträger im Vergleich zum MIN-Szenario wider. Im MAX-Szenario sinkt der Endenergieverbrauch von Gas um ca. 35 PJ, was einer Reduktion um 2 % gegenüber dem MIN-Szenario entspricht. Im MEDIUM-Szenario fällt die Reduktion etwas kleiner aus (15 PJ bzw. 0,9 % gegenüber dem MIN-Szenario). Der Endenergieverbrauch von Strom steigt im MAX-Szenario im Vergleich

zum MIN-Szenario im Jahr 2030 um 13,5 PJ. Dies entspricht einem Anstieg um 0,7 %. Im MEDIUM-Szenario liegt der Anstieg im Jahr 2030 bei 6,2 PJ bzw. bei 0,3 %.

Abbildung 4: Veränderung der CO₂-Emissionen im MEDIUM- und MAX-Szenario in Mio. t CO₂



Quelle: Eigene Darstellung.

Die genannten Entwicklungen bei der Gas- und Stromnachfrage, die Nachfrageimpulse durch die Anfangsinvestitionen sowie der zusätzliche Konsum durch die Prosumer-Haushalte haben Auswirkungen auf die Höhe der CO₂-Emissionen. In Summe kommt es im Vergleich zum MIN-Szenario zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen (Abbildung 4). Im MAX-Szenario sinken die CO₂-Emissionen im Jahr 2030 um ca. 18 Mio. t. (3 % im Vergleich zum MIN-Szenario), im MEDIUM-Szenario um 8 Mio. t (1,3 %).

Tabelle 5: Veränderung der CO₂-Emissionen der privaten Haushalte und des Energiesektors im MIN-, MEDIUM- und MAX-Szenario im Jahr 2030

| | absolut in 2030 [in Mio. t CO ₂] | | | relative Abweichung [in %] | |
|--|---|--------|-------|-------------------------------|---------------|
| | MIN | MEDIUM | MAX | MEDIUM zu MIN | MAX zu MIN |
| CO₂-Emissionen priv. HH | 58,0 | 57,2 | 56,1 | -1,4% | -3,3% |
| CO₂-Emissionen Energiesektor | 289,3 | 281,7 | 272,2 | -2,6% | -5,9% |

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 5 verdeutlicht die sektorspezifische Veränderung für CO₂-Emissionen. Der weitest größte Teil der CO₂-Einsparungen wird im Energiesektor realisiert. Insgesamt ist der Energiesektor heute für gut die Hälfte der CO₂-Emissionen verantwortlich. Der stattfindende Ausbau der erneuerbaren Energien lässt die Emissionen insgesamt sinken. Durch die Prosumer-Haushalte erhöht sich die regenerative Stromerzeugung, was eine weitere Reduktion der Emissionen im Energiesektor zur Folge hat. Im Jahr 2030 können so durch die Prosumer-Haushalte im MAX-Szenario im Energiesektor weitere 5,9 % an CO₂-Emissionen im Vergleich zum MIN-Szenario eingespart werden. Im MEDIUM-Szenario beträgt die Einsparung 2,6 %.

Die privaten Haushalte sind nach Energiebilanz direkt (d. h. durch Wärmeerzeugung; ohne Stromverbrauch und Treibstoffverbrauch) für gut zehn Prozent der CO₂-Emissionen verantwortlich. Auch in diesem Sektor reduzieren sich die CO₂-Emissionen leicht. Im MAX-Szenario stellt sich im Jahr 2030 eine Reduktion um 3,3 % ein, im MEDIUM-Szenario reduzieren sich die CO₂-Emissionen um 1,4 %. Die Einsparung der CO₂-Emissionen im Haushaltssektor resultiert insbesondere aus der Substitution des Energieträgers Gas zur Wärmeerzeugung durch Strom.

Neben den Änderungen beim Endenergieverbrauch von Gas und Strom bei den Prosumer-Haushalten kommt es auch zu Änderungen beim Primärenergieverbrauch insgesamt. Die Änderungen beim Primärenergieverbrauch resultieren zum einen aus der Substitution von Gas durch Strom bei der Wärmeerzeugung und damit aus den Änderungen beim Endenergieverbrauch sowie zum anderen aus der Substitution der konventionellen Kraftwerke der großen Erzeuger durch die Stromerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen bei den Prosumer-Haushalten und damit aus Änderungen bei der Umwandlung der Energieträger. Die folgende Tabelle stellt die wesentlichen Anpassungen in der Energiebilanz für das Jahr 2030 im Vergleich zwischen MEDIUM- und MIN-Szenario dar.

Tabelle 6: Anpassungen bei Größen der Energiebilanz im Jahr 2030 im Vergleich zwischen MEDIUM- und MIN-Szenario in PJ

| in PJ | Steinkohle | Braunkohle | Gas | Strom |
|---------------------------------|------------|------------|-------|-------|
| Primärenergieverbrauch | -27,0 | -33,2 | -33,5 | 0 |
| Umwandlungseinsatz | -27,0 | -33,2 | -18,1 | 0 |
| öffentl. Wärmekraftwerke | -26,9 | -33,0 | -11,9 | 0 |
| Industriewärme | -0,1 | -0,3 | -6,2 | 0 |
| Umwandlungsausstoß | 0 | 0 | 0 | 6,9 |
| öffentl. Wärmekraftwerke | 0 | 0 | 0 | -36,4 |
| Industriewärme | 0 | 0 | 0 | -4,8 |
| Wind und Photovoltaik | 0 | 0 | 0 | 48,0 |
| Energieangebot Inland | 0 | 0 | -15,0 | 6,2 |
| Endenergieverbrauch | 0 | 0 | -15,0 | 6,2 |

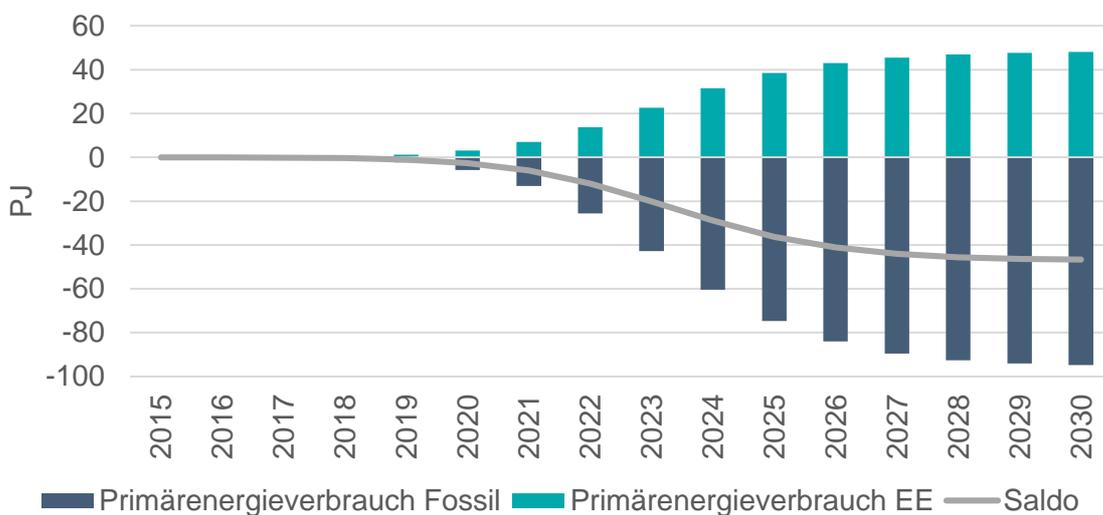
Quelle: Eigene Darstellung.

Durch die erhöhte Anzahl an Prosumer-Haushalten im MEDIUM-Szenario kommt es zu einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs an Steinkohle, Braunkohle und Gas sowie bei diversen weiteren Energieträgern. Bei Steinkohle und Braunkohle resultiert die Reduktion insbesondere aus einem verminderten Einsatz der Energieträger in öffentl. Wärmekraftwerken. In der Umwandelungsbilanz der Energiebilanz enthält die Zeile der öffentl. Wärmekraftwerke den Brennstoffeinsatz je Energieträger zur Stromerzeugung. Bei Gas kommt zum reduzierten Einsatz zur Stromproduktion auch die oben bereits näher dargestellte Reduktion beim Endenergieverbrauch durch die Substitution der Energieträger zur Wärmeerzeugung (15 PJ) hinzu. Insgesamt reduziert sich der Primärenergieverbrauch im Jahr 2030 bei Steinkohle um 27 PJ (entspricht 2,1 %), bei Braunkohle um 33 PJ (entspricht 2,4 %) und bei Gas um 33 PJ (entspricht 1,5 %).

Der verringerte Umwandlungseinsatz von Steinkohle, Braunkohle und Gas in öffentlichen Wärmekraftwerken resultiert aus der gestiegenen Stromproduktion der Prosumer-Haushalte mit Photovoltaik-Anlagen, was den Umwandlungsausstoß an Strom aus Photovoltaik-Anlagen um insgesamt 48 PJ erhöht. Der Umwandlungsausstoß an Strom hingegen geht durch die Prosumer-Haushalte im Jahr 2030 um über 36 PJ zurück.

Insgesamt reduziert sich der Primärenergieverbrauch durch die Prosumer-Haushalte im MEDIUM-Szenario bis zum Jahr 2030 um ca. 47 PJ (entspricht 0,5 %). Dabei wird ein Teil des fossilen Primärenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien ersetzt. Während sich der fossile Primärenergieverbrauch im Jahr 2030 um knapp 95 PJ reduziert, steigt der Primärenergieverbrauch an erneuerbaren Energien im gleichen Jahr um ca. 48 PJ an. Als Saldo stellt sich so insgesamt eine Reduktion beim Primärenergieverbrauch um ca. 47 PJ ein. Abbildung 5 verdeutlicht die Entwicklung des fossilen und erneuerbaren Primärenergieverbrauchs im Zeitraum bis zum Jahr 2030 im Vergleich zwischen MEDIUM- und MIN-Szenario.

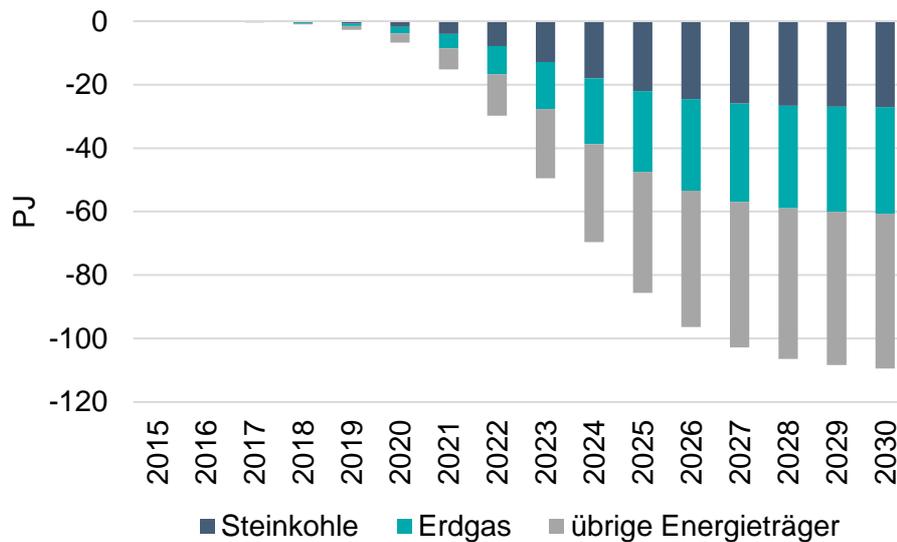
Abbildung 5: Entwicklung des fossilen und erneuerbaren Primärenergieverbrauchs in PJ im Vergleich zwischen MEDIUM- und MIN-Szenario



Quelle: Eigene Darstellung.

Die rückläufige Entwicklung beim fossilen Primärenergieverbrauch hat unmittelbar Auswirkungen auf die Energieimporte Deutschlands. Während Braunkohle fast ausschließlich im Inland gewonnen wird, werden Steinkohle und Erdgas zum größten Teil importiert. Die Netto-Importquote für Steinkohle lag im Jahr 2014 bei 86,5 %, für Erdgas lag sie bei 87,9 % (Quelle: Umweltbundesamt). In Zukunft muss von einer weiter steigenden Importabhängigkeit bei diesen Rohstoffen ausgegangen werden. Vor dem Hintergrund der Versorgungssicherheit ist die durch Prosumer-Haushalte ausgelöste Substitution des fossilen Primärenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien damit deutlich positiv zu bewerten. Abbildung 6 verdeutlicht die durch Prosumer-Haushalte ausgelösten Anpassungen bei den Energieimporten bis zum Jahr 2030.

Abbildung 6: Entwicklung der Energieimporte im Vergleich zwischen MEDIUM- und MIN-Szenario in PJ



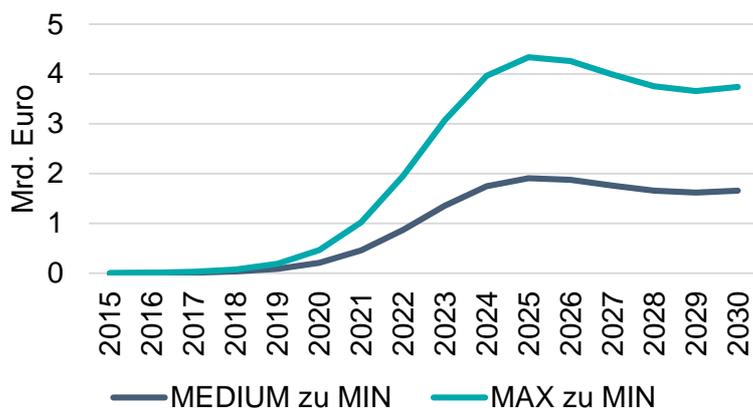
Quelle: Eigene Darstellung.

Mit zunehmender Anzahl an Prosumer-Haushalten können die Energieimporte immer weiter reduziert werden. Im Jahr 2030 beträgt die Reduktion im Vergleich zum MIN-Szenario über 100 PJ. Bei Energieimporten im MIN-Szenario im Jahr 2030 in Höhe von knapp 7.300 PJ entspricht dies einer Reduktion der Energieimporte durch Prosumer-Haushalte um 1,5 %. Insbesondere bei Steinkohle und Erdgas können die Energieimporte bis zum Jahr 2030 um über 60 PJ reduziert werden. Bei Steinkohle beträgt die Reduktion im Jahr 2030 rund 2,1 %, bei Erdgas sind es 1,5 %.

4.3 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE EFFEKTE

Die genannten Wirkungen auf einzelwirtschaftlicher Ebene führen in Summe dazu, dass es auch auf gesamtwirtschaftlicher Ebene zu Anpassungsreaktionen kommt. Die monetären Änderungen bei den Prosumer-Haushalten führen in der Gesamtwirtschaft neben den direkten auch zu indirekten und induzierten Effekten. Wesentlicher Treiber dafür sind die oben genannten monetär bewerteten Größen der einzelnen Prosumer-Haushaltstypen. Ein höheres verfügbares Einkommen der privaten Haushalte insgesamt sorgt für einen höheren privaten Konsum und damit zu einer steigenden Nachfrage in den Industrien, welche die Konsumgüter herstellen. Auch die Anfangsinvestitionen der Prosumer-Haushalte sorgen für eine höhere Nachfrage bei den Herstellern der Prosumer-Technologien.

Abbildung 7: Veränderung des verfügbaren Einkommens der privaten Haushalte im MEDIUM- und MAX-Szenario in Mrd. Euro



Quelle: Eigene Darstellung.

Im MAX-Szenario liegt das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte um über vier Milliarden Euro höher als im MIN-Szenario. Im MEDIUM-Szenario fällt diese Steigerung durch die geringere Anzahl an Prosumer-Haushalten nur etwa halb so hoch aus. Im Jahr 2030 liegt das verfügbare Einkommen im MAX-Szenario um 0,17 % über dem verfügbaren Einkommen im MIN-Szenario. Im MEDIUM-Szenario beträgt die Steigerung im Jahr 2030 nur 0,07 %.

Nicht für alle Prosumer-Haushaltstypen ist die Anschaffung einer Energieerzeugungsanlage wirtschaftlich lohnend. Insbesondere die in der Anschaffung relativ teuren Nano-KWK-Anlagen sorgen z. B. dafür, dass sich das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte reduziert, da die zu erzielenden Einsparungen bzw. Einnahmen dieses Haushaltstyps im betrachteten Zeitraum nicht ausreichen, um die Anschaffungskosten zu decken.

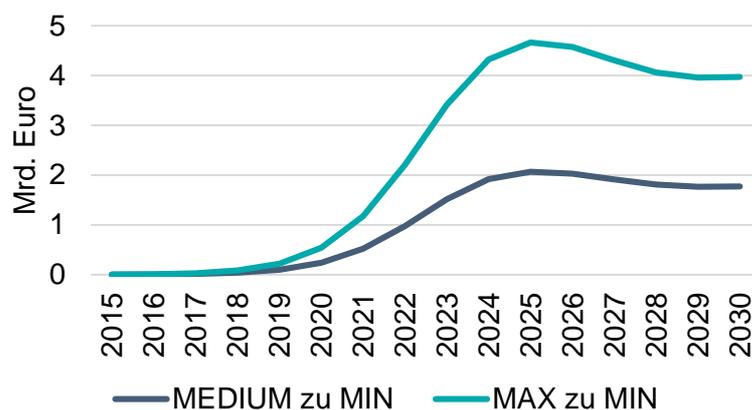
Besonders attraktiv ist die technische Infrastruktur mit nur geringen Anschaffungskosten und einer hohen Eigenproduktion, die zum größten Teil selbst verbraucht werden kann. Damit können sie die größten Einsparungen und Einnahmen erzielen. Insbesondere der Prosumer-Haushaltstyp mit einer PV-Anlage und einem elektrischen Heizstab ist dabei besonders rentabel und erhält bei der Modellierung der Diffusionspfade durch das FCN auch die höchste Anzahl an Prosumer-Haushalten.

Ebenfalls entscheidend für die Wirkung der Prosumer-Haushalte auf das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte ist die Höhe der Vergütung für in das Netz eingespeisten Strom sowie die Höhe des Strompreises, mit welchem der verringerte Netzbezug der Prosumer-Haushalte bewertet wird (vgl. dazu auch Eurelectric 2015). Für die Einspeisevergütung für die Prosumer-Haushalte wird vereinfachend angenommen, dass diese sich im Zeitverlauf auf dem Niveau von 2015 bewegt und durchgehend 12,5 Cent/kWh beträgt. Der (nominale) Strompreis steigt im betrachteten Zeitraum in Anlehnung an die Energiereferenzprognose (Prognos, EWI & GWS 2014) von ca. 30 Cent/kWh im Jahr 2015 auf über 40 Cent/kWh im Jahr 2030 an. Im Jahr 2015 haben die Netzentgelte einen Anteil von 23 % (6,7 Cent/kWh) am durchschnittlichen Strompreis für Haushaltskunden und sind damit die zweitgrößte Komponente. Die Stromerzeugung und der Vertrieb bilden mit ei-

nem Anteil von 25 % (7,12 Cent/kWh) die teuerste Komponente, die EEG-Umlage bildet mit 21,4 % (6,17 Cent/kWh) die dritte wesentliche Komponente für den Strompreis. Die übrigen knapp 30 % verteilen sich auf Umsatzsteuer, Stromsteuer, Konzessionsabgabe und sonstige Umlagen. Die Entlastung der Prosumer-Haushalte beim vermiedenen Netzbezug sorgt somit auf der anderen Seite für verringerte Einnahmen bei Netzbetreibern, Städten und Gemeinden (vgl. EWI 2014 für eine detaillierte Darstellung der Umverteilungseffekte). Für die regulierten Netzentgelte wird angenommen, dass die Consumer-Haushalte die ausgefallenen Zahlungen der Prosumer-Haushalte kompensieren müssen. Es findet somit eine Umverteilung zwischen den Haushalten statt. Eine Kompensation der Konzessionsabgaben wird bei der Modellierung nicht berücksichtigt.

Wärmeseitig ist der Gaspreis relevant für die monetären Effekte der Prosumer-Haushalte. Der verminderte Gasbezug wird mit dem Gaspreis bewertet und erhöht das verfügbare Einkommen; der erhöhte Stromverbrauch wird auch mit einem erhöhten Netzbezug gedeckt und reduziert somit das verfügbare Einkommen.

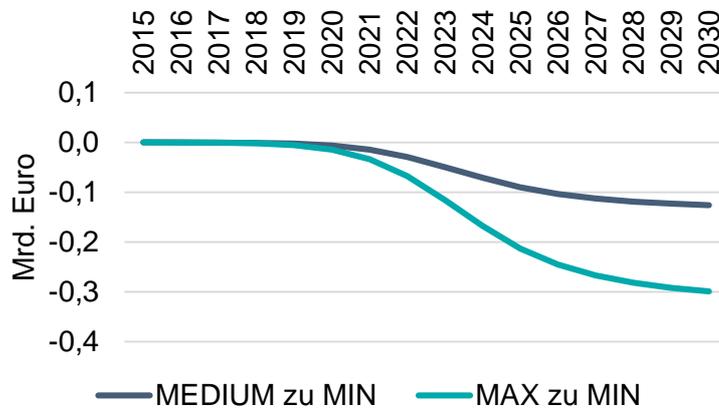
Abbildung 8: Veränderung der preisbereinigten Konsumausgaben der privaten Haushalte im MEDIUM- und MAX-Szenario in Mrd. Euro



Quelle: Eigene Darstellung.

Im Vergleich zum MIN-Szenario ergibt sich durch das erhöhte verfügbare Einkommen bei den Prosumer-Haushalten auch ein erhöhter Konsum. Abbildung 8 verdeutlicht die Wirkung der erhöhten Anzahl an Prosumer-Haushalten im MEDIUM- und MAX-Szenario auf die Konsumausgaben im Vergleich zum MIN-Szenario.

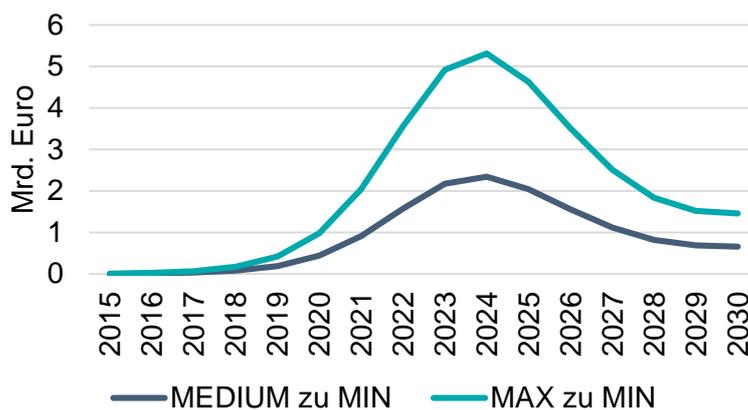
Abbildung 9: Veränderung der realen Konsumausgaben für Strom, Gas und andere Brennstoffe der privaten Haushalte im MEDIUM- und MAX-Szenario in Mrd. Euro



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 9 verdeutlicht die Einsparungen bei den Konsumausgaben für Strom (ohne Eigenbezug), Gas und andere Brennstoffe im MEDIUM- und im MAX-Szenario. Durch den selbst produzierten Strom sparen die Prosumer-Haushalte beim Netzbezug von Strom, was die Konsumausgaben für Strom reduziert. Die Wärmeproduktion mit Strom reduziert den Gasbezug, erhöht jedoch wiederum den Netzbezug von Strom. Im MAX-Szenario sinken die Konsumausgaben für Energie im Vergleich zum MIN-Szenario um 0,3 Mrd. Euro, was einer Reduktion um knapp 0,5 % entspricht. Im MEDIUM-Szenario beträgt diese Reduktion 0,2 %.

Abbildung 10: Veränderung des realen Bruttoinlandsprodukts im MEDIUM- und MAX-Szenario in Mrd. Euro



Quelle: Eigene Darstellung.

Insgesamt sorgen die Prosumer-Haushalte für einen leicht positiven Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt. In Abhängigkeit der Zuwachsraten und den damit getätigten Investitionen ergeben sich die in Abbildung 10 dargestellten Veränderungen im Vergleich zum MIN-Szenario. Im MAX-Szenario liegt das BIP im Jahr 2024 um etwa 5 Mrd. Euro über dem BIP im MIN-Szenario, was einer Steigerung um 0,2 % entspricht. Im MEDIUM-Szenario

liegt diese Steigerung im Jahr 2024 bei knapp 0,1 % und sinkt bis zum Jahr 2030 auf 0,02 % ab.

5 BATTERIE-SZENARIO

5.1 ANNAHMEN

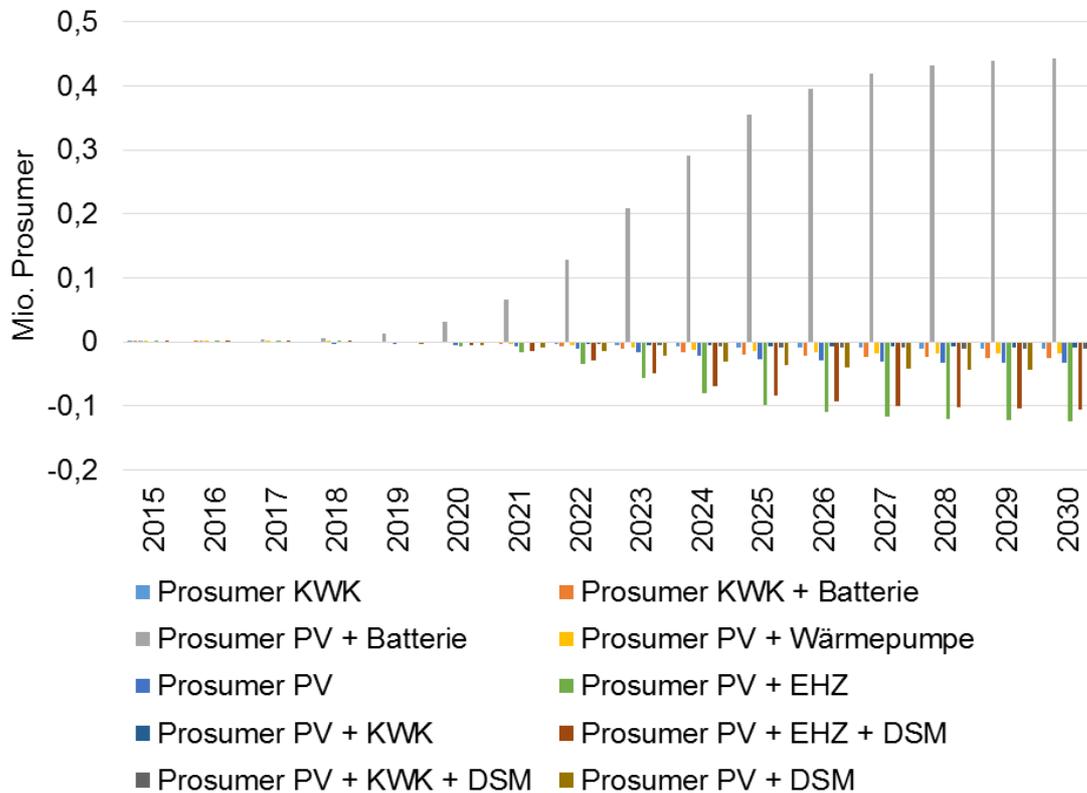
Als Alternative zu den oben diskutierten MIN-, MEDIUM-, und MAX-Szenarien wird im Folgenden ein Batterie-Szenario betrachtet. Das Batterie-Szenario baut auf den Annahmen des MEDIUM-Szenarios auf, welches auch für den Vergleich als Referenzszenario herangezogen wird. Als zusätzliche Annahme wird in diesem Batterie-Szenario unterstellt, dass es in Zukunft bei Batteriespeichern zu einer zusätzlichen technischen Innovation kommen wird, welche die Speichermöglichkeit bei Batteriespeichern verbessert. Es wird angenommen, dass sich dadurch ein erhöhter Eigenverbrauch bei den Prosumer-Haushalten realisieren lässt. Der Eigenverbrauch von neu in den Markt eintretenden Prosumer-Haushalten steigt kontinuierlich an und erreicht im Jahr 2030 schließlich 80 %. Das bedeutet, dass die im Jahr 2030 in den Markt eintretenden Prosumer-Haushalte 80 % ihres selbst produzierten Stroms auch selbst verbrauchen können. Die verbleibenden 20 % werden in das Stromnetz eingespeist.

Batteriespeicher kommen bei zwei Haushaltstypen zum Einsatz. Sowohl in Kombination mit einer Nano-KWK-Anlage als auch in Kombination mit einer PV-Anlage kann ein Batteriespeicher eingesetzt werden. Der Batteriespeicher führt zu höheren Anschaffungskosten, ermöglicht aber auf der anderen Seite einen höheren Eigenverbrauch des selbst produzierten Stroms. So erhöht sich der Eigenverbrauch pro Haushalt beim Betrieb einer PV-Anlage mit Batteriespeicher in den ursprünglichen Szenarien von 870 kWh auf über 1.890 kWh, was einem Anstieg von über 100 % entspricht. Bei einer Nano-KWK-Anlage erhöht sich der Eigenverbrauch durch den Batteriespeicher von 1.300 kWh auf über 2.000 kWh. Der Autarkiegrad der Prosumer-Haushalte erhöht sich bei den PV-Anlagenbetreibern von 24 auf 51 %, bei den Nano-KWK-Anlagenbetreibern von 34 auf 51 %. Diese Werte stehen in Einklang mit Luthander et al. (2015), nach denen sich der Anteil des Eigenverbrauchs durch Batteriespeicher um bis zu 24 % erhöhen lässt. Die Autoren der IEA-RETD (2014) Studie gehen von einer Erhöhung des Anteils des Eigenverbrauchs durch Batteriespeicher von bis zu 80 % aus. Wiest et al. (2014) stellt heraus, dass die Kombination einer PV-Anlage mit Batteriespeicher und zusätzlich installiertem Wärme-Pufferspeicher und elektrischem Heizsystem ein Eigenverbrauchsanteil von nahezu 100 % ermöglicht.

Der mögliche erhöhte Eigenverbrauch durch die verbesserten Batteriespeicher ist einzelwirtschaftlich sinnvoll, da der eingesparte Netzbezug von Strom den Prosumer-Haushalten einen größeren finanziellen Vorteil bringt als die Vergütung der Einspeisung des Stroms. Vor diesem Hintergrund kommt es zu einer Zunahme der Anzahl an Prosumer-Haushalten, die einen Batteriespeicher nutzen, insbesondere in Kombination mit einer PV-Anlage. Abbildung 11 verdeutlicht die geänderte Technologiewahl der Prosumer-Haushalte im Vergleich zwischen dem Batterie- und MEDIUM-Szenario. Die Basis für die

Ableitung der Diffusionspfade bildet auch in diesem Fall ein Auswahl-Experiment des Projektpartners FCN. Die Anzahl der einzelnen Haushaltstypen wird somit exogen bestimmt und im Modell genutzt.

Abbildung 11: Veränderung der Anzahl an Prosumer-Haushalten je Typ im Vergleich zwischen Batterie- und MEDIUM-Szenario in Mio.



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Anzahl der Prosumer-Haushalte mit PV-Anlage und Batteriespeicher ist im Batterie-Szenario deutlich höher als im MEDIUM-Szenario. Im Vergleich zu den übrigen Technologien ohne Batteriespeicher bzw. zum Batteriespeicher in den ursprünglichen Szenarien sorgt der erhöhte Eigenverbrauchsgrad zu Verschiebungen zwischen den Technologien. Insbesondere die Anzahl an Prosumer-Haushalten mit elektrischem Heizstab sowie mit zusätzlich dazu installiertem Demand-Side-Management nimmt im Vergleich zum MEDIUM-Szenario stark ab, im Jahr 2030 jeweils um ca. 0,1 Mio. Haushalte. Die Anzahl der Prosumer-Haushalte mit PV-Anlage und Batteriespeicher nimmt dafür stark zu, im Jahr 2030 um über 0,4 Mio. Haushalte. Die mangelnde wirtschaftliche Attraktivität der Nano-KWK-Anlagen ändert sich durch die Kombination mit einem Batteriespeicher kaum. Im Vergleich zum MEDIUM-Szenario kann im Batterieszenario nur der Prosumer-Haushaltstyp „PV + Batterie“ einen Zuwachs verzeichnen. Alle anderen Prosumer-Haushaltstypen sehen sich einer geringeren Anzahl an Prosumer-Haushalten gegenüber.

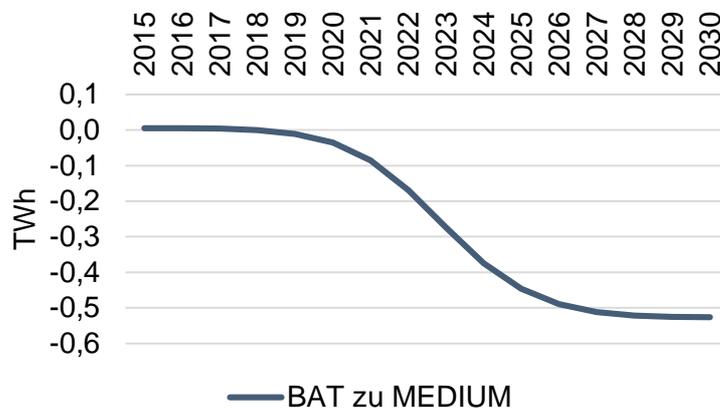
Es gilt zu beachten, dass sich die Innovation bei den Batteriespeichern über den gesamten Betrachtungszeitraum vollzieht und erst im Jahr 2030 für neue Anlagen ein Eigenverbrauch der Eigenproduktion von 80 % möglich ist. Dementsprechend langsam vollzieht sich die Zunahme der Prosumer-Haushalte mit Batteriespeicher. Da angenommen wird,

dass die installierten Anlagen bei den Prosumer-Haushalten für mindestens 20 Jahre in Betrieb bleiben, bedeutet die kontinuierliche Zunahme des Eigenverbrauchs, dass sich im Vergleich zum MEDIUM-Szenario erst gegen Ende des Betrachtungszeitraums deutliche Effekte erkennen lassen, da erst dann eine ausreichend große Anzahl an Prosumer-Haushalten mit immer besser werdender neuer Batterietechnik auf dem Markt ist. Insgesamt sorgt die verbesserte Batterietechnik dafür, dass sich die absolute Anzahl an Prosumer-Haushalten im Vergleich zum MEDIUM-Szenario bis zum Jahr 2030 um weitere 70.000 Prosumer-Haushalte erhöht, sodass sich im Batterie-Szenario im Jahr 2030 insgesamt 4,8 Millionen Prosumer-Haushalte auf dem Markt befinden. Im Folgenden werden wesentliche Ergebnisse des Batterie-Szenarios kurz dargestellt.

5.2 ERGEBNISSE

Durch die erhöhte Anzahl an Prosumer-Haushalten mit Batteriespeichern kommt es zu Anpassungen beim Angebot und der Nachfrage nach Strom und Gas. Durch die Verschiebung der Haushalte hin zum Haushaltstyp mit PV-Anlage und Batteriespeicher sowie durch die neu in den Markt eintretenden Prosumer-Haushalte steigt der regenerativ produzierte Strom im Markt. Da gleichzeitig die Stromnachfrage der Prosumer-Haushalte durch die Reduktion der Anzahl der Haushalte mit Wärmepumpe und elektrischem Heizstab sinkt, ergibt sich insgesamt eine Verringerung des fossil erzeugten Stroms (Abbildung 12). Im Jahr 2030 beträgt die Reduktion etwa 0,5 TWh bzw. 0,05 % im Vergleich zum MEDIUM-Szenario.

Abbildung 12: Veränderung des fossil erzeugten Stroms im Vergleich zwischen Batterie- und MEDIUM-Szenario in TWh

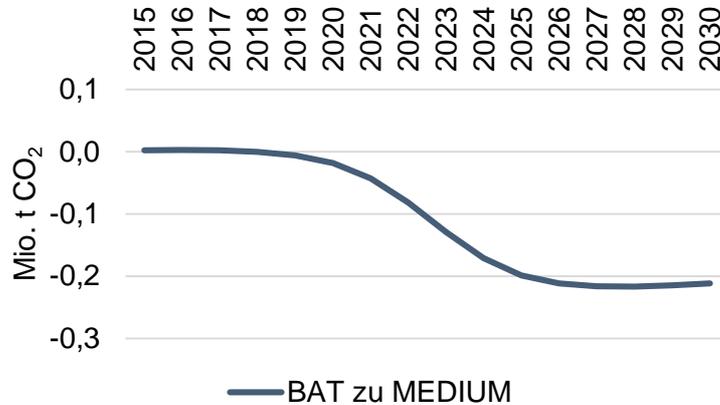


Quelle: Eigene Darstellung.

Da die Prosumer-Haushalte mit Batteriespeicher zum Heizen einen erdgasbetriebenen Niedertemperaturkessel betreiben, steigt die Gasnachfrage im Vergleich zum MEDIUM-Szenario an (Endenergieverbrauch Gas +0,1 % im Jahr 2030), während die Stromnachfrage durch die geringere Anzahl an Wärmepumpen und Heizstäben sinkt (Endenergieverbrauch Strom -0,05 % im Jahr 2030). Insgesamt kommt es durch die genannten energetischen Anpassungen zu einer leichten Reduktion der CO₂-Emissionen. In Abhängigkeit des Verlaufs der Diffusionspfade sinken die CO₂-Emissionen im Jahr 2030 um etwa

0,2 Mio. t CO₂, was im Vergleich zum MEDIUM-Szenario einer Reduktion um 0,04 % entspricht.

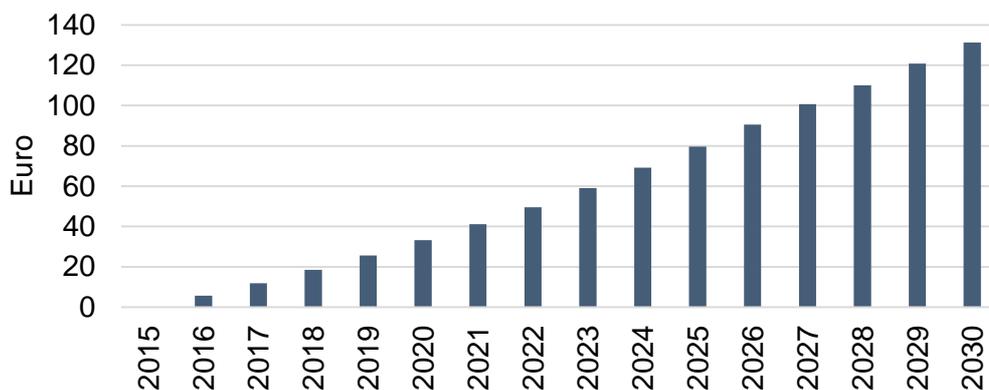
Abbildung 13: Veränderung der CO₂-Emissionen im Vergleich zwischen Batterie- und MEDIUM-Szenario in Mio. t CO₂



Quelle: Eigene Darstellung.

Aus einzelwirtschaftlicher Sicht wird die Technologiekombination mit einem Batteriespeicher durch die Innovation bei Batteriespeichern attraktiver. Abbildung 14 verdeutlicht, wie sich die wirtschaftliche Situation eines Prosumer-Haushalts mit der Technologiekombination PV-Anlage und Batteriespeicher im Vergleich zum MEDIUM-Szenario verbessert.

Abbildung 14: Monetäre Nettowirkung der verbesserten Batterietechnologie für neue Prosumer-Haushalte mit der Technologiekombination PV und Batterie im jeweiligen Jahr im Vergleich zwischen Batterie- und MEDIUM-Szenario in Euro



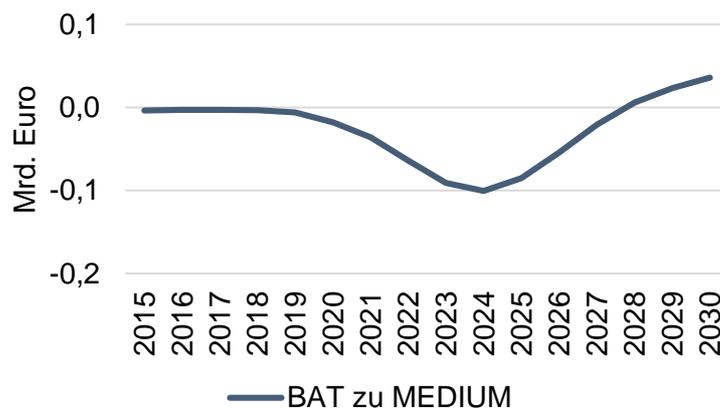
Quelle: Eigene Darstellung.

Für jedes Jahr ist der Saldo zwischen Batterie- und MEDIUM-Szenario dargestellt, der sich aus den aufsummierten monetären Effekten für einen Prosumer-Haushalt ergibt. Monetär relevant für einen Prosumer-Haushalt sind insbesondere die Abschreibungen für die installierte Anlage, die Einnahmen durch die Vergütung der Überproduktion an Strom, die Ersparnisse durch einen reduzierten Netzbezug mit Strom sowie die Kosten für die Wärmeerzeugung mit Gas bzw. mit Strom. Wie in Abbildung 14 zu sehen, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit bei der Technologie-Kombination PV-Anlage und Batteriespeicher im

Vergleich zum MEDIUM-Szenario deutlich. Da im Modell eine kontinuierliche Verbesserung der Speicherfähigkeit der Batteriespeicher angenommen wird, entwickelt sich die monetäre Nettowirkung analog zur Verbesserung der Speicherfähigkeit in einem linearen Verlauf. Die Werte beziehen sich jeweils nur auf das dargestellte Jahr für neu in den Markt eintretende Prosumer-Haushalte. Die verbesserte Wirtschaftlichkeit bei den PV-Anlagen mit Batteriespeicher resultiert jeweils aus dem erhöhten Eigenverbrauch des produzierten Stroms. Der positive Effekt durch den reduzierten Netzbezug (Jahr 2030: + 191 Euro) ist größer als die entgangene Vergütung für die Einspeisung einer eventuellen Überproduktion (Jahr 2030: - 59,7 Euro). Für einen Prosumer-Haushalt, welcher sich im Jahr 2030 eine PV-Anlage mit Batteriespeicher anschafft, erhöhen sich die Einnahmen durch die technische Innovation bei den Batterien somit um ca. 130 Euro.

Obgleich es zu einer verbesserten finanziellen Situation bei den Prosumer-Haushalten mit PV-Anlage bzw. Nano-KWK-Anlage und Batteriespeicher kommt, verschlechtert sich durch den veränderten Technologiemitx bei den Prosumer-Haushalten insgesamt die wirtschaftliche Situation. Durch die Wanderung der Prosumer-Haushalte im Batterie-Szenario hin zu den Haushaltstypen mit Batteriespeicher nimmt die Anzahl der Prosumer-Haushalte mit elektrischer Wärmeerzeugung ab. Abbildung 15 verdeutlicht die sich einstellende negative Entwicklung beim verfügbaren Einkommen, welche bis zum Jahr 2024 anhält. Ab dem Jahr 2025 sorgt die stetig größer werdende Speicherkapazität der Batteriespeicher für eine positive Wirkung auf das verfügbare Einkommen. Ein weiterer entscheidender Grund für die Reduktion des verfügbaren Einkommens liegt auch in den erhöhten Abschreibungsraten für die technische Ausstattung. Die Technologiekombination aus PV-Anlage und Batteriespeicher ist deutlich teurer in der Anschaffung als eine Kombination aus PV-Anlage und Wärmepumpe bzw. PV-Anlage und elektrischer Heizstab. Durch die höhere Anzahl an Prosumer-Haushalten mit Batteriespeicher fallen dementsprechend auch die jährlichen Abschreibungszahlungen im Batterie-Szenario höher aus, was das verfügbare Einkommen reduziert.

Abbildung 15: Veränderung des verfügbaren Einkommens der privaten Haushalte zwischen Batterie- und MEDIUM-Szenario in Mrd. Euro



Quelle: Eigene Darstellung.

Wie oben bereits erläutert, wirkt sich das leicht niedrigere verfügbare Einkommen negativ auf die Konsumausgaben der privaten Haushalte aus. Der weniger stark steigende Kon-

sum wiederum wirkt sich negativ auf das Bruttoinlandsprodukt aus. Auch hier fallen die Veränderungen im Vergleich zum MEDIUM-Szenario minimal aus.

6 FAZIT UND AUSBLICK

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die wirtschaftlichen und energetischen Wirkungen und Effekte von Prosumer-Haushalten in Deutschland. Dazu wurden verschiedene Prosumer-Haushaltstypen in das Energiewirtschaftsmodell PANTA RHEI integriert und ausgewählte Szenarien gerechnet, die sich im Wesentlichen in der Anzahl an Prosumer-Haushalten bzw. deren Verteilung auf die Prosumer-Haushaltstypen unterscheiden.

Eine zunehmende Zahl von Prosumer-Haushalten führt zu einem Rückgang der CO₂-Emissionen und ist gleichzeitig mit leicht positiven gesamtwirtschaftlichen Effekten verbunden. Zum einen investieren die Haushalte in zusätzliche Technologien, zum zweiten lohnt sich das Prosumieren in der überwiegenden Zahl der Fälle auch einzelwirtschaftlich. Bezogen auf die gesamte Volkswirtschaft sind die Effekte eher klein, für die einzelnen Prosumer-Haushaltstypen kann das Prosumieren jedoch einen deutlichen positiven Ertrag bringen. Insbesondere vor dem Hintergrund des Erreichens der deutschen Energie- und Klimaschutzziele können Prosumer-Haushalte einen Beitrag leisten.

Die Simulationsergebnisse sind dabei stark abhängig von den getroffenen Annahmen, die in den zugrunde liegenden Arbeiten vom IÖW und FCN sowie bei der Einstellung der Szenarien in das Modell PANTA RHEI getroffen worden sind. Die Ergebnisse zeigen die Wirkungsrichtungen und mögliche Größenordnungen der Effekte. Rückkopplungen zwischen dem Choice-Experiment zur Bestimmung möglicher Verhaltensänderungen, der technischen Festlegung von Prosumer-Haushaltstypen und den gesamtwirtschaftlichen Effekten konnten (noch) nicht berücksichtigt werden. Für eine abschließende Bestimmung der Wirkungen von Prosumer-Haushalten bzw. Prosumenten besteht nicht nur deshalb weiterer Forschungsbedarf.

Durch die Einbeziehung weiterer Prosumer-Potenziale z. B. im Bereich der Mehrfamilienhäuser und Mietwohnungen werden die Effekte von Prosumer-Haushalten weiter verstärkt. Auch eine Berücksichtigung von Haushalten mit auslaufender EEG-Förderung kann die Ergebnisse und Wirkungen von Prosumer-Haushalten über das Jahr 2030 hinaus deutlich beeinflussen. Wenn die installierten Anlagen nach der EEG-Förderung weiterhin funktionieren, bietet sich eine Nutzung zur Eigenversorgung an. Eine Förderung von Batteriespeichern dürfte die Anzahl an Prosumer-Haushalten ebenfalls weiter steigen lassen.

Die monetären Annahmen im Modell könnten mit Blick auf verschiedene Fragestellungen hin verändert und für stärker differenzierte Haushaltstypen analysiert und bewertet werden. Da die Prosumer-Haushalte trotz Eigenversorgung weiterhin auf einen Netzanschluss und einen Strombezug aus dem Netz angewiesen sind, wird aktuell diskutiert, die Privilegierung der Prosumer-Haushalte bei den Netzentgelten aufzuheben und bei den Prosumer-Haushalten den Eigenverbrauch mit Netzentgelten zu belasten, um die entstehende Mehrbelastung bei den Consumer-Haushalten zu reduzieren. Die Annahmen zur

zukünftigen Entwicklung der Einspeisevergütung für Prosumer-Haushalte sowie die Bedeutung der EEG-Umlage bzw. des Einspeisevorrangs sind weitere wichtige Faktoren für die Entwicklung der Prosumer-Haushalte.

Obwohl die Prosumer-Haushalte bei richtiger politischer Gestaltung einen positiven Beitrag zur CO₂-Minderung leisten können, ist dieser Beitrag auch mit anderen Minderungsoptionen zu vergleichen. Sollte Deutschland eine Minderung der THG-Emissionen um 95 % bis zum Jahr 2050 anstreben, was nach dem Pariser Klimaabkommen zu erwarten ist, werden die Prosumer mit Sicherheit zur Erreichung der Klimaschutzziele benötigt. Quaschnig et al. (2014) weisen darauf hin, dass die für den Eigenverbrauch optimierten Anlagendimensionen nicht zu klein gewählt werden dürfen, um mögliches Dachflächenpotenzial für PV-Anlagen und damit Klimaschutzpotenzial nicht ungenutzt zu lassen. Als Anlagengröße wird bei Quaschnig et al. (2014) 7 kW pro Einfamilienhaus genannt, damit die deutschen Klimaschutzziele erreicht werden können. Dies entspricht der doppelten Anlagengröße im Vergleich zu den im Modell eingesetzten Prosumer-Anlagen.

Des Weiteren könnte eine Untersuchung des Prosumer-Potenzials unter sozioökonomischen Gesichtspunkten weitere interessante Ergebnisse liefern. Insbesondere die Kategorien der Prosumer- bzw. Consumer-Haushalte sowie Hauseigentümer bzw. Nicht-Eigentümer sollten mit Blick auf unterschiedliche Fördermechanismen, Einspeiseverhalten und -vergütungen sowie daraus resultierende Verteilungswirkungen analysiert werden. Eine solche Untersuchung bedarf jedoch detaillierter Informationen über die Einkommensstruktur der einzelnen Prosumer-Haushalte, welche in diesem Projekt nicht gegeben waren.

Schließlich könnten die Modellansätze der drei beteiligten Institute zukünftig stärker miteinander verzahnt werden, um die Entwicklung der Anzahl an Prosumer-Haushalten und deren Wirkungen in einem konsistenten Rahmen bestimmen zu können. Technische Ausstattung und einzelwirtschaftliches Verhalten könnten stärker variiert und mit Blick auf Wechselwirkungen, gesamtwirtschaftliche Effekte und politische Handlungsoptionen besser verstanden werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bost, M., Hirschl, B. & Aretz, A. (2011): Effekte von Eigenverbrauch und Netzparität bei der Photovoltaik. Beginn der dezentralen Energierevolution oder Nischeneffekt? Studie im Auftrag von Greenpeace eG. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Berlin, Hamburg, 2011.
- Drosdowski, T. (2015): Theorie der Haushaltsenergieproduktion und die Transformation des Energiesystems. GWS Discussion Paper 2015/11, Osnabrück.
- Eurelectric (2015): Prosumers – an integral part of the power system and the market. Brüssel, 2015.
- EWI (2014): Eigenerzeugung und Selbstverbrauch von Strom. Stand, Potentiale und Trends. Gutachten im Auftrag des BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. Köln.
- Gähns, S., Wieckowski, E., von Braunmühl, J., Wolfmaier, A., Hirschl, B. (2015): Private Haushalte als neue Schlüsselakteure einer Transformation des Energiesystems. Arbeitspapier zur Simulation des Haushaltssektors im Energiesystem unter Berücksichtigung hoher dezentraler Energieeinspeisung. Berlin, 2015.
- GWS, EWI & Prognos (2014): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Osnabrück, Köln, Basel.
- IEA-RETD (2016), RE TRANSITION – Transitioning to Policy Frameworks for Cost-Competitive Renewables, [Jacobs et al., IET – International Energy Transition GmbH], IEA Technology Collaboration Programme for Renewable Energy Technology Deployment (IEA-RETD), Utrecht, 2016.
- IEA-RETD (2014): Residential Prosumers - Drivers and Policy Options (RE-Prosumers).
- ISEA (2015): Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher. Jahresbericht 2015. Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH Aachen. Aachen, 2015.
- Lehr, U., Edler, D., O’Sullivan, M., Peter, F., Bickel, P., Ulrich, P., Lutz, C., Thobe, I., Simon, S., Naegler, T., Pfenning, U. & Sakowski, F. (2015): Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb heute und morgen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Osnabrück, Berlin, Stuttgart, März 2015.
- Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., Palm, J. (2015): Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. Applied Energy 142, 80–94. 2015.
- May, N., Neuhoff, K. (2016) : Eigenversorgung mit Solarstrom: Ein Treiber der Energiewende?, DIW Roundup: Politik im Fokus, No. 89. Berlin, 2016.
- Oberst C., Madlener R. (2014). Prosumer Preferences Regarding the Adoption of Micro-Generation Technologies: Empirical Evidence for German Homeowners, FCN Working Paper No. 22/2014, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior, RWTH Aachen University, December. Revised Version September 2015.

- Oberst, C., Bargende, D., Madlener, R. (2016): Entwicklungspotential von Prosumer-Haushalten. Aufstellung von präferenzbasierten Technologiediffusions-Szenarien als Input für das Energiewirtschaftsmodell PANTA RHEI. In Vorbereitung.
- Prognos, EWI & GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Prognos AG Basel, EWI Köln, GWS Osnabrück, Juni 2014.
- Prognos, EWI & GWS (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Basel, Köln, Osnabrück, August 2010.
- Quaschnig, V., Weniger, J. & Tjaden, T. (2014): Photovoltaische Eigenverbrauchsanlagen als Schlüssel für eine neue Dynamik beim Klimaschutz. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 64. Jg. (2014), Heft 8, S. 49-51.
- Sterner, M.; Eckert, F; Thema, M.; Bauer, F (2015).: Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung, Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES) OTH Regensburg, Kurzstudie im Auftrag von BEE e.V. und Hannover Messe, Regensburg / Berlin / Hannover.
- Wiest, M., Finkel, M., Engel, B. (2014): Innovatives Energiemanagement bei Haushaltskunden – ein Beitrag zur Netzstabilität? 13. Symposium Energieinnovation, Graz, Österreich, 2014.