

GWS DISCUSSION PAPER 2015 /14

Erweiterung des umweltökonomischen Modells PANTA RHEI um Prosumer-Haushaltstypen

Markus Flaute
Anett Großmann
Christian Lutz
Anne Nieters

Impressum

AUTOREN

Dr. Markus Flaute

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

Anett Großmann

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

Dr. Christian Lutz

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

Anne Nieters

Tel: +49 (541) 40933-240, Email: nieters@gws-os.com

TITEL

Erweiterung des umweltökonomischen Modells PANTA RHEI um Prosumer-Haushaltstypen

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

© GWS mbH Osnabrück, Oktober 2015

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 | Bestimmung der Haushaltstypen | 2 |
| 3 | Anknüpfungspunkte für Prosumer-Haushalte in PANTA RHEI | 5 |
| 4 | Ergebnisse für vereinfachte Prosumer-Szenarien | 10 |
| 5 | Fazit und Ausblick | 18 |
| | Literaturverzeichnis | 20 |

1 EINLEITUNG

Gegenwärtig unterliegt der Energiesektor in Deutschland durch die Energiewende tiefgreifenden Veränderungen. Der Anteil des Stroms aus regenerativen Energiequellen am Bruttostromverbrauch stieg in den vergangenen zehn Jahren deutlich von 10 % auf rund 28 % an. Zunehmend spielen dabei private Haushalte nicht nur als Nachfrager, sondern ebenfalls als Anbieter von Energie eine Rolle, indem sie beispielsweise in eine hauseigene PV-Anlage investieren und den dadurch erzeugten Strom selbst nutzen und/oder in das öffentliche Stromnetz einspeisen. In einem Energiesystem, das verstärkt auf dezentrale Energieerzeugungstechnologien setzt, gewinnen die privaten Haushalte als „Prosumer“ immer mehr an Bedeutung. Es wird erwartet, dass diese zukünftig wichtige Netz- und Systemdienstleistungen erbringen können, bspw. durch Stabilisierung von Schwankungen in der PV- und Windstromerzeugung.

Über die genaue technische Ausstattung der Prosumer-Haushalte, ihre Motive und die Integration in den Strommarkt ist allerdings gegenwärtig noch wenig bekannt (vgl. IEA-RETD 2014 sowie Drosdowski 2015). Auch der rechtliche Rahmen für Eigenverbrauch von Strom ist nicht eindeutig definiert (vgl. EWI 2014). Die zur Politikberatung eingesetzten energiewirtschaftlichen Modelle können daher Prosumer-Haushalte (noch) nicht angemessen abbilden. 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 IÖW, FCN und 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“.

Ein Prosumer ist ein Konsument, der gleichzeitig einen Teil der konsumierten Produkte oder Dienstleistungen selber produziert (vgl. IEA-RETD 2014 für eine Prosumer-Definition). 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.) (vgl. Bost et al. 2013 sowie Oberst & Madlener 2014). Darüber hinaus wurde mithilfe eines Choice Experiments untersucht, wie sich z. B. die Faktoren „Unsicherheit“ und „Amortisationsdauern“ sowie verhaltensökonomische und sozialpsychologische Aspekte auf die Entscheidungen potenzieller Prosumer-Haushalte darauf auswirken, ob eine Investition in die notwendige Infrastruktur getätigt wird oder nicht.

In einem weiteren Schritt wurden knapp 400 unterschiedliche Prosumer-Haushaltstypen entwickelt, welche sich hinsichtlich verschiedener Eigenschaften (z. B. Haushaltsgröße, Gebäudestruktur, eingesetzte Energieerzeugungstechnologie) unterscheiden. Für die einzelnen Haushaltstypen wurde jeweils das Energieerzeugungs- und das Energieverbrauchsverhalten simuliert, welche sich aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Haushaltstypen deutlich unterscheiden können. Die Prosumer-Haushaltstypen wurden

aggregiert und anschließend in Form eines Prosumer-Moduls in das Energiewirtschaftsmodell PANTA RHEI integriert, um der zukünftig potenziell wichtigen Rolle der Prosumer-Haushalte im Energiesystem Rechnung zu tragen.

Im folgenden Kapitel 2 wird das Vorgehen zur Aggregation der Prosumer-Haushaltstypen beschrieben. In Kapitel 3 folgt die Darstellung der Integration der Prosumer-Haushaltstypen in das Modell PANTA RHEI und der bisherigen Verknüpfungen des neu geschaffenen Prosumer-Moduls mit dem bestehenden gesamtwirtschaftlichen Modell. Kapitel 4 enthält erste Ergebnisse der Modellierung. Beispielhaft werden drei Szenarien gerechnet, in denen jährlich jeweils 100.000 Prosumer-Haushalte unterschiedlichen Typs neu auf den Markt treten. Es werden sowohl die energiebezogenen als auch die ökonomischen Effekte der wachsenden Anzahl der Prosumer-Haushalte dargestellt. Kapitel 5 schließt mit einem Fazit und einem kurzen Ausblick auf die nächsten Arbeitsschritte im Projekt.

2 BESTIMMUNG DER HAUSHALTSTYPEN

Für die Abbildung von Prosumer-Haushalten in einem (energiewirtschaftlichen) Modell sind bestimmte Annahmen zu treffen, wie sich eben diese Haushalte in ihrer Größe und ihrer technischen Ausstattung unterscheiden. Mit einer Klassifizierung der Haushalte können unterschiedliche Intensitäten der Haushaltsstromproduktion berücksichtigt werden. Bley (2007) unterscheidet z. B. insgesamt sechs Haushaltstypen, die eine unterschiedlich stark ausgeprägte eigene Haushaltsenergieproduktion haben und damit entweder Nachfrager, Produzent oder Anbieter von Nutzenergie sind.

Tabelle 1: Merkmalsausprägungen der Prosumer-Haushalte

| Personen je Haushalt | Technologie | Möglichkeiten zur Lastverschiebung | Gebäudetypen und Wärmebedarf | Ausrichtung der PV-Anlage |
|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|---|---------------------------|
| 1, 2, 3, 4, 5 | Niedertemperaturkessel | Batterie ja/nein | Altbau (teilw. saniert) 90 kWh/m ² | Süd |
| | PV-Anlage | Systemische Optimierung ja/nein | Neubau (80er/90er Jahre) 60 kWh/m ² | Ost/West |
| | KWK-Anlage | Smart Metering ja/nein | Neubau (nach EnEV) 50 kWh/m ² | |
| | Elektr. Wärmepumpe | | | |
| | Elektr. Heizstab | | | |
| | Elektr. Warmwasserbereitung | | | |

Quelle: Gähns et al. (in Vorbereitung).

Im Rahmen dieses Projektes wurde das Verbrauchs- und Erzeugungsverhalten von ins-

gesamt knapp 400 Haushaltstypen simuliert, welche sich aus der Kombination unterschiedlicher Merkmalsausprägungen ergeben, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Einige Kombinationen bleiben unbesetzt. In Gähns et al. (in Vorbereitung) findet sich eine detaillierte Beschreibung über die Auswahl der Technologien, Haushaltstypen und deren Energieerzeugungs- und -verhaltensverhalten. Neben unterschiedlichen Haushaltsgrößen und Gebäudetypen werden insbesondere verschiedene Technologien für Stromerzeugung und Stromverbrauch unterschieden, welche die Prosumer-Haushalte verwenden. Für die Wärmeerzeugung kommt ein Niedertemperaturkessel zum Einsatz. Für die eigene Stromproduktion der potenziellen Prosumer-Haushalte können PV-Anlagen oder KWK-Anlagen (Nano-BHKW) eingesetzt werden. KWK-Anlagen produzieren sowohl Wärme als auch Strom und entlasten dadurch den Niedertemperaturkessel bei der Wärmeerzeugung. Für eine erhöhte eigene Versorgung mit Strom können elektrische Wärmepumpen, elektrische Heizstäbe oder eine elektrische Warmwasserbereitung installiert werden, welche den selbst produzierten Strom in Wärme umwandeln und somit ebenfalls die konventionelle Wärmeerzeugung entlasten. Zusätzlich können Batteriespeichersysteme installiert werden oder die Stromnachfrage durch Lastverschiebungen der Prosumer-Haushalte besser an die eigene Stromerzeugung angepasst werden.¹

Die detaillierte Abbildung von 400 Prosumer-Haushaltstypen im Modell PANTA RHEI ist nicht sinnvoll, da sie nur zu geringen Änderungen bei den ökonomischen Modellergebnissen führt. Es gilt vielmehr, durch Aggregation der einzelnen Haushaltstypen die Anzahl so zu reduzieren, dass mit den dann gewählten Haushaltstypen die entstehenden Effekte adäquat abgebildet werden können. So führt z. B. die unterschiedliche Ausrichtung einer PV-Anlage mit Süd- bzw. Ostwestausrichtung zu einem unterschiedlichen Sonnenertrag, was im Modell vereinfacht mit einem durchschnittlichen Sonnenertrag abgebildet werden kann.² Entscheidend für eine Prosumer-Abbildung im Modell ist hingegen die Tatsache, ob ein Haushalt mit PV-Anlage zusätzlich noch eine Wärmepumpe besitzt, da diese den Stromverbrauch deutlich erhöht, jedoch einen verbesserten Eigenverbrauch ermöglicht und auf der anderen Seite auch die konventionell produzierte Wärme im Niedertemperaturkessel ersetzt. Für die Modellierung in PANTA RHEI wurden die 400 Haushaltstypen auf zehn Prosumer-Haushaltstypen aggregiert:

- Die Unterscheidung in drei Gebäudetypen erfolgt nicht. Stattdessen liegt der Fokus auf dem Altbau (teilweise saniert), für den ein jährlicher Energieverbrauch von 90 kWh/m² angenommen wird. Dieser ist bereits gering angesetzt, da der durchschnittliche Energieverbrauch eines Einfamilienhauses für Heizen und Warmwassererzeugung im Jahr 2008 in Deutschland bei ca. 149,4 kWh/m² lag (vgl. Frondel & Ritter 2012). Geringer ist der Verbrauch der Häuser, die nach der Energie-

¹ Für eine Darstellung der positiven und negativen Wirkungen von Solarstromspeichern, vgl. z. B. ISEA (2015) oder Bost et al. (2011). Eine Übersicht über Studien zum Thema „Solarstromspeicher“ und deren Rolle im zukünftigen Energiesystem findet sich bei Hoppmann et al. (2014) sowie bei Battke & Schmidt (2015).

² Neben der unterschiedlichen Ausrichtung von PV-Anlagen ist auch der geografische Installationsort der PV-Anlage und damit die vorherrschende Sonneneinstrahlung entscheidend für den Eigenverbrauch und die Wirtschaftlichkeit der Investitionen. Innerhalb eines Landes kann die Sonneneinstrahlung regional deutlich unterschiedlich sein (vgl. z. B. IEA-RETD 2014). Für einen Überblick über die regionale Sonneneinstrahlung, vgl. http://maps.nrel.gov/global_re_opportunity.

einsparverordnung (EnEV) errichtet wurden. Die genannten 90 kWh/m² bilden somit einen guten Durchschnitt.

- Die Unterscheidung von PV-Anlagen nach Süd- oder Ostwestausrichtung erfolgt nicht. Für Haushalte, die sich nur in der Ausrichtung der PV-Anlage unterscheiden, wird eine durchschnittliche Sonnenscheindauer angenommen. Bei gleichzeitiger Kombination mit anderen Technologien (z. B. elektrischer Wärmepumpe) wird auch für das Verbrauchsverhalten ein Durchschnitt gebildet.
- Demand Side Management (DSM) Maßnahmen werden in der Form berücksichtigt, dass Prosumer-Haushalte diese entweder ergreifen oder darauf verzichten. Eine Differenzierung des DSM in systemische Optimierung und Smart Metering wird nicht vorgenommen. Zur Aggregation der Haushaltstypen wurden somit ebenfalls Durchschnitte der Haushalte gebildet, die sich nur in der Ergreifung bzw. nicht Ergreifung von DSM-Maßnahmen unterscheiden.
- Die große Anzahl an Prosumer-Haushaltstypen ergibt sich u. a. durch die Unterscheidung von fünf verschiedenen Haushaltsgrößen. Auch diese Information wird für die Modellierung in PANTA RHEI zunächst aggregiert und vereinfacht abgebildet. Zur Beantwortung der Frage, welche Wirkungen die Erhöhung des Anteils der Prosumer-Haushalte auf den Energieverbrauch, das Konsumverhalten etc. haben, ist es ausreichend, eine durchschnittliche Prosumer-Haushaltsgröße zu betrachten. Darüber hinaus weisen die Ergebnisse des oben genannten Choice Experiments darauf hin, dass die Haushaltsgröße keine Rolle bei der Entscheidung spielt, ob ein Haushalt sich für eine eigene Stromerzeugungstechnologie entscheidet oder nicht. Von den fünf Haushaltsgrößen einer jeden Technologiekombination wurde ein gewichteter Durchschnitt anhand der Verteilung der Wohneigentümer von Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) in der Bevölkerung im Jahr 2014 gebildet. Rund 17 % der Haushalte waren demnach Einpersonenhaushalte, 41 % Zweipersonen- und 18 % Dreipersonenhaushalte. 17 % bzw. 7 % der Haushalte mit Wohneigentum in Deutschland besaßen im Jahr 2014 vier bzw. fünf oder mehr Haushaltsmitglieder.

Durch dieses Vorgehen wurden die 400 Prosumer-Haushalte zu zehn Prosumer-Haushaltstypen zusammengefasst, für die umfassende Informationen zum Erzeugungs- und Verbrauchsverhalten zur Verfügung stehen (vgl. Gähns et al. in Vorbereitung). Diese wurden in das Modell PANTA RHEI integriert. Die Prosumer-Haushaltstypen in PANTA RHEI unterscheiden sich nach den in Tabelle 2 dargestellten Technologiekombinationen.³ Bis auf Haushaltstyp 4 haben alle Prosumer-Haushalte zusätzlich noch einen Niedertemperaturkessel zur Wärmeerzeugung im Einsatz.

³ Auch in EW1 (2014) stehen den Prosumern ähnliche vier Anlagentypen zur Optimierung eines Strom- und Wärmenachfrageprofils zur Verfügung: PV-Anlage, KWK-Anlage, elektrische Speichereinheit und thermische Speichereinheit. Quaschnig (2014) macht deutlich, dass die thermische Nutzung ein wesentlicher Faktor ist, um große Anlagen ökonomisch mit hohen Eigenverbrauchsanteilen betreiben zu können.

Tabelle 2: 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: Eigene Darstellung.

Auch für den Consumer-Haushalt liegen Simulationsergebnisse vor. Der grundlegende Unterschied zwischen Consumer- und Prosumer-Haushalten liegt darin, dass Consumer nur als Nachfrager von Wärme und Strom auftreten und keine eigene Strom- und Wärme-produktion haben. Die Consumer unterscheiden sich ebenfalls nach der Haushaltsgröße sowie nach den Gebäudetypen, wobei bei der Aggregation wie im Falle der Prosumer vorgegangen wird: Es erfolgt keine Unterscheidung hinsichtlich der Gebäudetypen; aus fünf unterschiedlichen Haushaltsgrößen wird ein Durchschnittshaushalt gebildet.

3 ANKNÜPFUNGSPUNKTE FÜR PROSUMER-HAUSHALTE IN PANTA RHEI

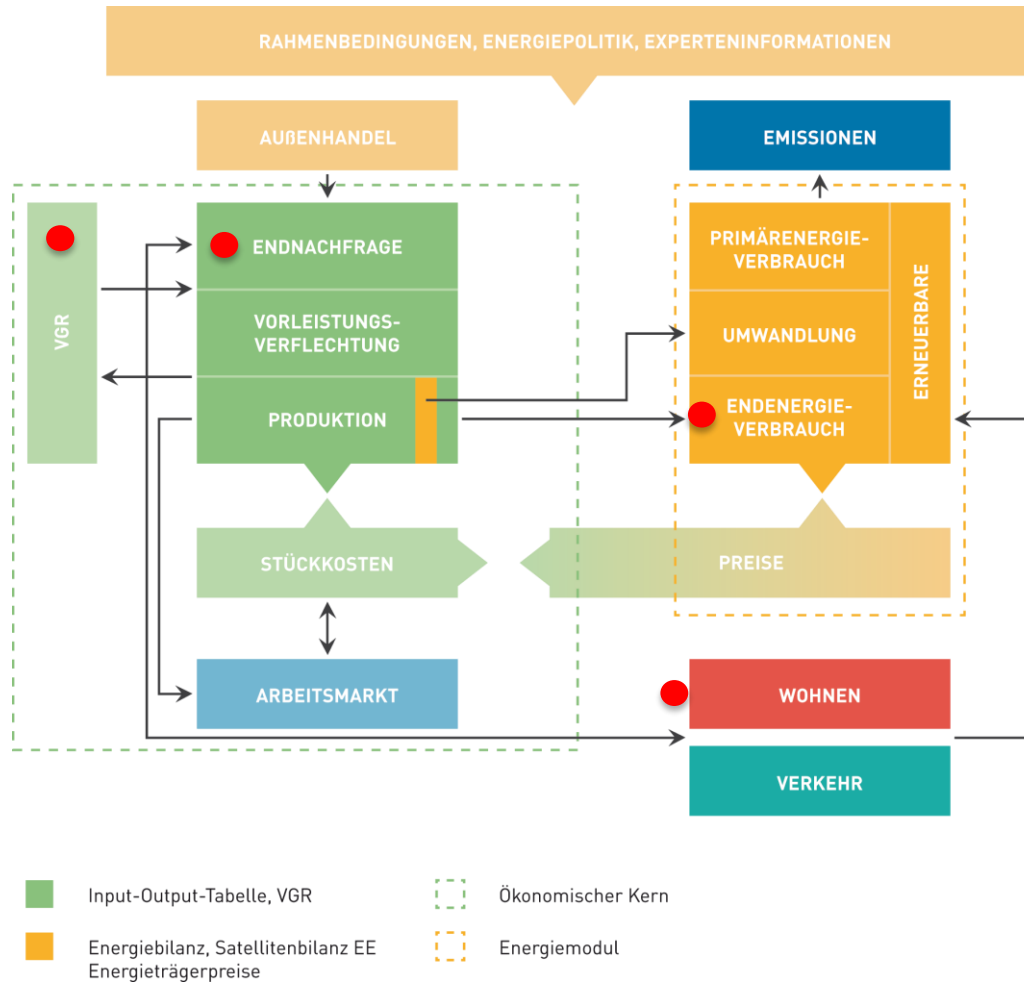
PANTA RHEI ist eine zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen erweiterte Version des makroökonomischen Simulations- und Prognosemodells INFORGE. Der Name, der eine Reflexion des griechischen Philosophen Heraklit zitiert („alles fließt“), ist Programm. Das Modell erfasst den langfristigen Strukturwandel in der wirtschaftlichen Entwicklung sowie in den umweltökonomischen Interdependenzen. Neben der umfassenden ökonomischen Modellierung im Kernmodell INFORGE werden die Bereiche „Energieverbräuche und Luftschadstoffe“, „Verkehr“ sowie „Fläche und Wohnungen“ detailliert erfasst (siehe Abbildung 1).

Das Modell ist in den vergangenen Jahren vielfältig eingesetzt worden, u. a. im Rahmen der Energieszenarien 2010 (Prognos, EWI, GWS 2010), zur Ermittlung von Nettobeschäftigungseffekten der erneuerbaren Energien (Lehr et al. 2015) und als Basis für den Fortschrittsbericht zum Monitoring der Energiewende (GWS, Prognos, EWI 2014). Umfassende Modellbeschreibungen finden sich in Frohn et al. (2003) und in Lehr et al. (2011).

In makroökonomischen Modellen wird üblicherweise von einem Durchschnittshaushalt ausgegangen. Es findet keine Unterscheidung nach Merkmalen wie der Einkommenssituation, der Haushaltsgröße etc. statt. Für die Analyse von Verteilungswirkungen z. B. bei Änderungen in der Energiepolitik (z. B. Kostenbelastung der EEG-Umlage, Haushalte als Energienachfrager und Energieerzeuger) ist eine Erweiterung des Haushaltssektors notwendig. Das Modell wurde daher um die Abbildung der Prosumer-Haushalte erweitert. Im ursprünglichen Modell PANTA RHEI treten private Haushalte als sogenannte Consumer auf: Je nach Einkommen, Ausstattung und Größe der einzelnen Haushalte konsumieren

sie Strom in einem unterschiedlichen Ausmaß. Für die spätere Analyse der Auswirkungen von Veränderungen im Haushaltssektor durch das zukünftige Auftreten von Prosumer-Haushalten werden eben diese Prosumer-Haushalte als zusätzliche Akteure im Modell abgebildet.

Abbildung 1: Anknüpfungspunkte der Prosumer-Modellierung im Modell PANTA RHEI



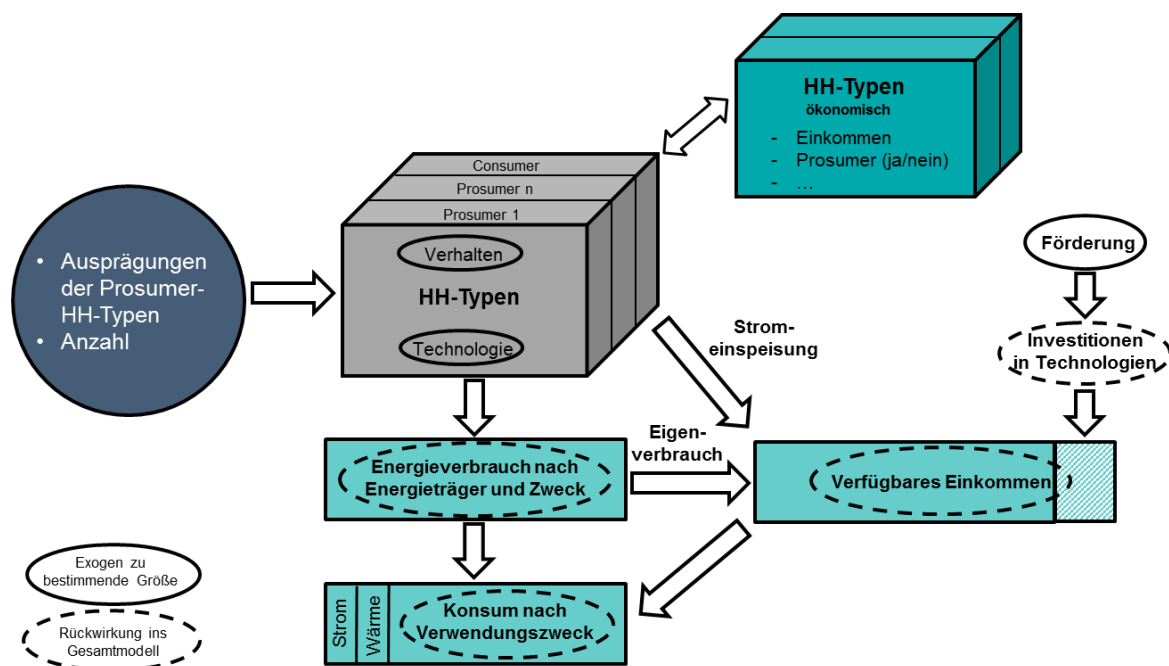
Quelle: Eigene Darstellung.

Die Anknüpfungspunkte für die Prosumer-Haushalte im Modell PANTA RHEI sind in Abbildung 1 mit einem roten Punkt markiert. Neben dem ökonomischen Kern des Modells (grün umrandeter Bereich) gibt es insbesondere Anknüpfungspunkte im Energiemodul (orange umrandeter Bereich) des Modells sowie im Bereich Wohnen.

In den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) werden alle wirtschaftlichen Akteure erfasst, darunter auch die Haushalte als Durchschnittsgröße. Die Prosumer-Haushalte sind ein Teil davon und müssen dementsprechend integriert werden. Ökonomische Größen können z. B. durch die Anknüpfung der Prosumer-Haushalte dahingehend beeinflusst werden, dass es durch Förderprogramme des Staates für Prosumer zu höheren Staatsausgaben kommt. Im Bereich der Endnachfrage im ökonomischen Kern wird berücksichtigt, dass sich die verfügbaren Einkommen der Prosumer durch den Eigenverbrauch und die Eigenproduktion von Strom und Wärme verändern. Die verfügbaren Einkommen sind wiederum eine zentrale Einflussgröße des Konsums. Gleichzeitig führen die

Ausgaben der Prosumer-Haushalte je nach Technologiewahl zu verschiedenen Produktionsanpassungen in der Gesamtwirtschaft. Im Energiemodul kann es durch Anpassungen des Verbrauchsverhaltens oder des Technologieeinsatzes seitens der Prosumer-Haushalte zu einer veränderten Zusammensetzung des Endenergieverbrauchs kommen. Auch die Veränderungen in der Stromproduktionsstruktur beeinflussen das Energiemodul. Die gleichzeitige Produktion von Wärme beeinflusst die Zusammensetzung der Nachfrage nach Raumwärme und wird dementsprechend im Modul Wohnen berücksichtigt. Die Höhe der Wärmenachfrage ist abhängig vom spezifischen Wärmebedarf pro m² und wird durch die Prosumer-Haushalte nicht beeinflusst.

Abbildung 2: Erweiterte Haushaltsmodellierung und Wirkungskanäle in PANTA RHEI



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 2 verdeutlicht die Modellierung der Haushalte im Modell PANTA RHEI und gibt einen ersten Überblick darüber, wie die einzelnen Größen voneinander abhängen. Die Anzahl der Prosumer-Haushalte je Prosumer-Typ sowie die technologischen Ausprägungen werden exogen ermittelt und vorgegeben.⁴ Ein wesentlicher Unterschied zwischen den zehn Haushaltstypen ist die jeweils zum Einsatz kommende Technologie. In einem weiteren Schritt kann auch ein geändertes Verbrauchsverhalten bedingt durch die eigene Stromproduktion abgebildet werden. Je nach eingesetzter Energieerzeugungstechnologie ändert sich der Energiemix (z. B. führt eine höhere PV-Produktion zu sinkender fossiler Stromproduktion).

Per Definition verbrauchen Prosumer einen Teil ihres selbst produzierten Stroms. Dieser Eigenverbrauch beeinflusst das verfügbare Einkommen der Prosumer-Haushalte. Die über den Eigenverbrauch hinausgehende Stromproduktion der Prosumer-Haushalte wird in das Stromnetz eingespeist und vergütet, wobei zu prüfen bleibt, inwieweit ein Auslaufen

⁴ Im Vergleich dazu erfolgt bei EWI (2014) die Bestimmung der Technologieauswahl und der Dimensionierung modellendogen auf Basis von exogen vorgegebenen Strom- und Wärmelastprofilen.

der Vergütung bei Erreichen des 52 GW-Deckels bei der PV die Ergebnisse verändern würde. Neben den Investitionen in die jeweiligen Technologien verändert auch die vergütete Einspeisung das verfügbare Einkommen. Das hat im Modell Rückwirkungen auf die Konsumnachfrage. Je nach unterstellten Entwicklungspfaden und Technologieannahmen ergeben sich Rückwirkungen in das Gesamtmodell beim Energieverbrauch, beim verfügbaren Einkommen und damit einhergehend beim Konsum.

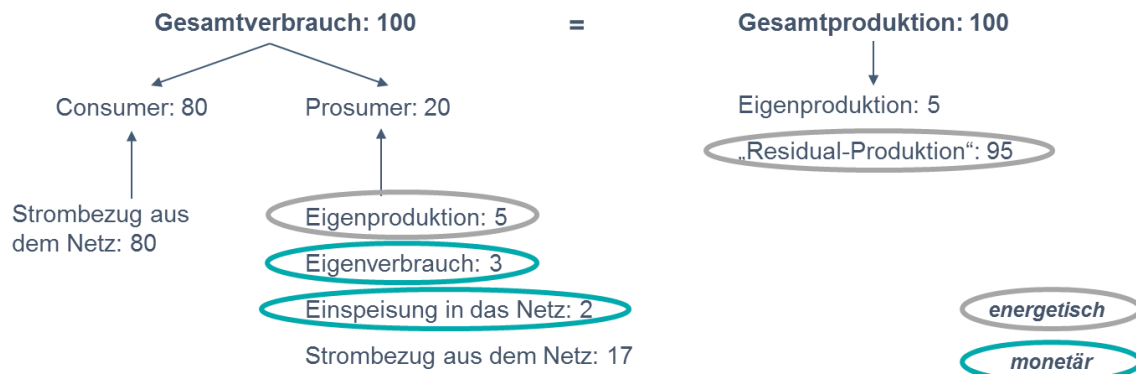
Die Eigenproduktion sowie der Eigenverbrauch von Strom und Wärme sind diejenigen Eigenschaften der Prosumer, die sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite von Strom und Wärme für Anpassungen sorgen. Das Stromangebot wird durch das zusätzliche Angebot der Prosumer geändert. Die Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen erhöht die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien und reduziert definitiv gleichzeitig die konventionelle Stromproduktion; die Stromproduktion aus KWK-Anlagen erhöht je nach eingesetztem Brennstoff entweder die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien oder die konventionelle Stromerzeugung. Bedingt durch die Annahme, dass es sich jeweils um neu in den Markt eintretende Prosumer-Haushalte mit neu zu installierenden Strom- bzw. Wärmeerzeugungsanlagen (PV, KWK) handelt, erhöht sich die im Markt verfügbare regenerative Strommenge durch die Prosumer-Haushalte zusätzlich zum ohnehin im Modell abgebildeten und stattfindenden Ausbau der erneuerbaren Energien. Ein solcher Ausbau kann jedoch nur im politisch gesetzten Rahmen des jeweils geltenden Ausbaukorridors stattfinden. Bei den hier unterstellten Prosumer-Haushaltstypen übersteigt die Eigenproduktion jeweils den Eigenverbrauch. Diese Überproduktion wird in das Stromnetz eingespeist. Consumer werden bei der Stromproduktion nicht berührt, da diese per Definition Strom aus dem Netz beziehen und keine eigenen Produktionsanlagen besitzen.

Der Gesamtstromverbrauch der privaten Haushalte ergibt sich als Summe der Stromverbräuche der Prosumer und der Consumer. Je nach Ausstattung der Prosumer-Haushalte mit zusätzlichen Technologien wie z.B. einem elektrischen Heizstab oder einer Wärmepumpe unterscheidet sich der Stromverbrauch pro Haushaltstyp deutlich. Dabei müssen auch die Wechselwirkungen zwischen Stromverbrauch und Wärmeverbrauch berücksichtigt werden. Durch den Einsatz von elektrischen Heizstäben oder Wärmepumpen kann der Brennstoffverbrauch zur Erzeugung von Wärme in Niedertemperaturkesseln reduziert werden. Auf der anderen Seite erhöht sich der Brennstoffverbrauch beim zusätzlichen Einsatz von KWK-Anlagen neben den Niedertemperaturkesseln.

Folgendes Zahlenbeispiel verdeutlicht die Veränderungen auf der Angebots- und Nachfrageseite für Strom durch die Einführung von Prosumer-Haushalten in das Modell. Im Beispiel in Abbildung 3 beträgt der Gesamtverbrauch aller privaten Haushalte 100 Stromeinheiten (SE). Im Fall ohne Prosumer entfielen der Verbrauch allein auf die Consumer. Der Verbrauch in Höhe von 100 SE wird durch eine Produktion in Höhe von 100 SE gedeckt. Die Einführung von Prosumer-Haushalten hat zur Folge, dass ein Teil des Stromverbrauchs auf diese Haushalte entfällt und dieser Stromverbrauch zum Teil durch seine eigene Stromproduktion befriedigt werden kann. Im Beispiel liegt der Verbrauch der Prosumer-Haushalte bei 20 SE, wovon 3 SE durch die eigene Produktion gedeckt werden und die verbleibenden 17 SE aus dem Stromnetz bezogen werden. Gleichzeitig ist die Eigenproduktion der Prosumer-Haushalte mit 5 SE so hoch, dass 2 SE in das Stromnetz eingespeist werden. Die Gesamtproduktion von Strom wird durch die Eigen-

produktion der Prosumer-Haushalte für einen Ausgleich von Angebot und Nachfrage um diese 5 SE reduziert. Je nach technischer Ausstattung der Prosumer-Haushalte und deren unterstellter Anzahl im Markt kann sich der Gesamtverbrauch an Strom im Vergleich zum Fall ohne Prosumer auch erhöhen (z. B. durch Einsatz einer Wärmepumpe). Diesem erhöhten Stromverbrauch stünde dann ein reduzierter Brennstoffverbrauch für Wärmeherzeugung gegenüber.

Abbildung 3: Energetische und monetäre Anknüpfungspunkte für Prosumer-Haushalte im Strombereich



Quelle: Eigene Darstellung.

Monetär können drei Wirkungen bei den Prosumern identifiziert werden. Durch den Eigenverbrauch des selbst produzierten Stroms sinkt der Strombezug aus dem Netz in eben diesem Umfang. Das reduziert die Ausgaben für Strom der Prosumer-Haushalte. Annahmegemäß haben die betrachteten Prosumer-Haushalte jeweils eine höhere Eigenproduktion im Vergleich zum Eigenverbrauch. Diese Überproduktion an Strom speisen die Prosumer-Haushalte in das Stromnetz ein und erhalten für den eingespeisten Strom eine Vergütung. Die notwendigen Investitionen in die Energieinfrastruktur (z. B. PV-Anlage) haben höhere Ausgaben zur Folge und verdrängen bzw. verlagern die Anschaffung anderer Gebrauchsgüter oder reduzieren die Ersparnisse.

Ähnliches gilt für den Bereich Wärme. Prosumer-Haushalte mit einer zusätzlich installierten KWK-Anlage produzieren sowohl Wärme als auch Strom. Im Gegensatz zu PV-Anlagen benötigen die KWK-Anlagen einen Brennstoff. Neben konventionellen Brennstoffen wie Erdgas oder Heizöl können auch regenerative Brennstoffe wie z. B. Biomasse eingesetzt werden. Bei den hier betrachteten Prosumer-Haushalten sind die KWK-Anlagen so klein dimensioniert, dass diese nur zusätzlich zu einem ebenfalls vorhandenen Niedertemperaturkessel zur Wärmeherzeugung betrieben werden können (vgl. Gähns et al. in Vorbereitung). Je nach bereits installierter Technologie und verwendetem Brennstoff beim Niedertemperaturkessel erfolgt eine Substitution des Brennstoffs und die Wärmeherzeugung des Niedertemperaturkessels kann gedrosselt werden. Sowohl mit als auch ohne KWK-Anlage erfolgt die Wärmeherzeugung im Unterschied zur Stromherzeugung bei den hier betrachteten Haushalten als Eigenproduktion, d. h. Wärme wird nicht ins Netz eingespeist, sondern selbst genutzt. In jedem Fall muss der entsprechende Brennstoff durch die Haushalte gekauft werden. In Abhängigkeit der gewählten neuen KWK-Technologie kann die Brennstoffsubstitution das verfügbare Einkommen der Haushalte entweder belasten oder erhöhen. Monetäre Wirkungen durch einen wegfallenden Wär-

mebezug aus einem Wärmenetz treten also nicht auf. Da die wirtschaftlichen Effekte der Wärmeproduktion insgesamt eher gering ausfallen, wird in den folgenden Modellrechnungen zunächst von der Wärmeproduktion abstrahiert.

Die Beweggründe, warum sich private Haushalte dazu entschließen, Prosumer zu werden, sind vielfältig und reichen von ökonomischen Gründen (niedrigere Ausgaben für Strom) über technologischen Fortschritt (verbesserter Eigenverbrauch durch neue Technologien) bis hin zu nicht-monetären Faktoren (Eigenverbrauch, Umweltschutz, Versorgungssicherheit, Unabhängigkeit) (vgl. IEA-RETD 2014 sowie ISEA 2015). Auf der anderen Seite beeinflussen finanzielle Hemmnisse (fehlender Kreditzugang), informatorische Hemmnisse (mangelnde Kenntnis über Fördermaßnahmen), Ängste (Unannehmlichkeiten in der Bauphase) oder auch rechtliche Hemmnisse die Entwicklung der Anzahl an Prosumer-Haushalten (vgl. EWI 2014 sowie Hoppmann et al. 2014).

4 ERGEBNISSE FÜR VEREINFACHTE PROSUMER-SZENARIEN

Für einen ersten Überblick über die Wirkungskanäle und die möglichen Entwicklungen auf energetischer und auf gesamtwirtschaftlicher Ebene durch Prosumer-Haushalte wird im Folgenden beispielhaft ein möglicher Entwicklungspfad für die Anzahl an Prosumer-Haushalten angenommen. Diese Entwicklung dient jeweils als Basis für erste Berechnungen für drei verschiedene Prosumer-Haushaltstypen. Anhand erster Ergebnisse lassen sich wichtige Wirkungskanäle nachvollziehen.

Für eine bessere Nachvollziehbarkeit wird in Szenario 1 ein Prosumer-Haushalt mit einer PV-Anlage (Haushaltstyp 5) im Modell PANTA RHEI berücksichtigt. In zwei weiteren Berechnungen werden zum Vergleich jeweils Prosumer-Haushalte mit einer PV-Anlage und Batteriespeicher (Haushaltstyp 3) sowie Prosumer-Haushalte mit PV- und KWK-Anlage (Haushaltstyp 7) betrachtet (vgl. Tabelle 3). Diese drei Sensitivitäten werden mit dem Modell PANTA RHEI berechnet und anschließend verglichen. Alle Haushaltstypen betreiben für die Wärmeproduktion zusätzlich einen Niedertemperaturkessel. Vereinfachend wird für den Prosumer-Haushalt mit PV- und KWK-Anlage angenommen, dass die neu installierte KWK-Anlage den gleichen Brennstoff wie der Niedertemperaturkessel verwendet und der Mehrverbrauch der KWK-Anlage der Reduktion an Brennstoff beim Niedertemperaturkessel entspricht. Somit hat in diesem Fall nur die Stromproduktion der Prosumer-Haushalte wirtschaftliche Auswirkungen.

Tabelle 3: Anzahl der zusätzlichen Prosumer-Haushalte je Szenario und je Typ

| Szenario | Prosumer Typ | |
|----------|--------------------------------|--|
| 1 | Typ 5 (PV) | + 100.000 HH jährlich |
| 2 | Typ 5 (PV) Typ 3 (PV + BAT) | + 50.000 HH jährlich + 50.000 HH jährlich |
| 3 | Typ 5 (PV) Typ 7 (PV + KWK) | + 50.000 HH jährlich + 50.000 HH jährlich |

Quelle: Eigene Darstellung.

Bis zum Jahr 2030 wächst die Anzahl der Prosumer-Haushalte annahmegemäß jedes Jahr um 100.000 Haushalte an. Zu Beginn der Entwicklung wird vereinfachend davon ausgegangen, dass es noch keine Prosumer-Haushalte im Markt gibt.⁵ Es werden drei Szenarien untersucht, in denen sich diese 100.000 Haushalte wie folgt auf die Haushaltstypen aufteilen (vgl. Tabelle 3): Im ersten Szenario steigt die Anzahl der Prosumer mit einer PV-Anlage jährlich um 100.000 an; im zweiten Szenario kommen neben 50.000 Prosumern mit PV-Anlage zusätzlich 50.000 Prosumer mit PV-Anlage und Batteriespeichern hinzu;⁶ im dritten Szenario sind es neben 50.000 Prosumern mit PV-Anlage auch 50.000 Prosumer mit einer KWK-Anlage. Dabei handelt es sich jeweils um neu in den Markt eintretende Prosumer, die für ihre Tätigkeit als Strom- bzw. Wärmeproduzenten und –konsumenten zunächst in die entsprechende Anlage investieren müssen.

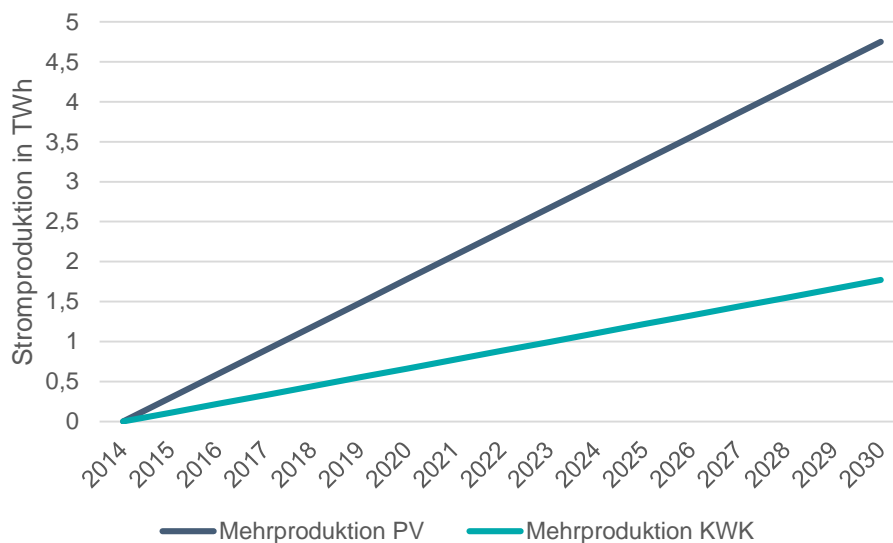
Bis zum Jahr 2030 steigt die Anzahl der Prosumer-Haushalte in allen drei Szenarien auf insgesamt 1,6 Mio. Haushalte an. Ausgehend von ca. 40 Mio. Haushalten in Deutschland (Destatis), von denen 31,3 % Eigentümer von Ein- oder Zweifamilienhäusern sind, ergäbe sich ein maximales Potenzial für Prosumer-Haushalte in Höhe von ca. 12,5 Mio. Haushalten. Die hier betrachteten 1,6 Mio. Haushalte entsprechen somit knapp 13 % des möglichen Potenzials. Insgesamt wäre der Ertrag der für PV nutzbaren Fläche an Ein- und Zweifamilienhäusern rein rechnerisch auf das gesamte Jahr bezogen sogar so groß, dass damit der gesamte Elektroenergiebedarf aller privaten Haushalte gedeckt werden könnte (vgl. Bley 2007).

⁵ Auch EWI (2014) gibt z. B. für das Jahr 2012 nur einen Anteil vom Selbstverbrauch am Nettostromverbrauch der privaten Haushalte von 0,5 % an. Während Bestandsanlagen aus den Jahren vor 2012 bei der Einspeisung von den Förderbedingungen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme profitieren, ist durch eine Kürzung der Förderung seit der EEG-Novelle 2012 der Eigenverbrauch des Stroms die bessere Alternative, da die Ersparnis durch den nicht vom Versorger bezogenen Strom höher ist als die Einspeisevergütung (vgl. ISEA 2015 sowie Oberst & Madlener 2015). Für eine Darstellung der historischen Entwicklung von Eigenerzeugung und Verbrauch des eigenerzeugten Stroms in den Sektoren Haushalte, GHD, Industrie und Verkehr, vgl. EWI (2014).

⁶ Insgesamt wurden in Deutschland zwischen Mai 2013 und März 2015 über 17.000 dezentrale Solarstromspeicher mit einer kumulierten nutzbaren Speicherkapazität von 120 MWh an das Netz angeschlossen. Der hier unterstellte jährliche Zuwachs von 50.000 Solarstromspeichern dient nur zur Veranschaulichung der Wirkungen und ist durchaus ambitioniert.

Die Prosumer-Haushalte installieren zusätzlich zum ohnehin stattfindenden Ausbau der erneuerbaren Energien ihre PV- und KWK-Anlagen und erhöhen so die insgesamt in Deutschland installierte Leistung. Die drei betrachteten Prosumer-Haushaltstypen installieren jeweils eine PV-Anlage mit einer Leistung von 3 kW_p , was einem jährlichen Anstieg der installierten PV-Leistung durch Prosumer in Höhe von 300 MW entspricht.⁷ Für die KWK-Anlagen des Prosumer-Haushalts wird unterstellt, dass die elektrische Leistung bei $0,53 \text{ kW}$ und die thermische Leistung bei $1,3 \text{ kW}$ liegt. Im dritten Szenario erhöht sich damit die installierte elektrische Leistung bei KWK-Anlagen jährlich um 26 MW .

Abbildung 4: Zusätzliche Stromproduktion aus solarer Strahlungsenergie und aus KWK-Anlagen durch Prosumer-Haushalte im Szenario 3 in TWh



Quelle: Eigene Berechnungen.

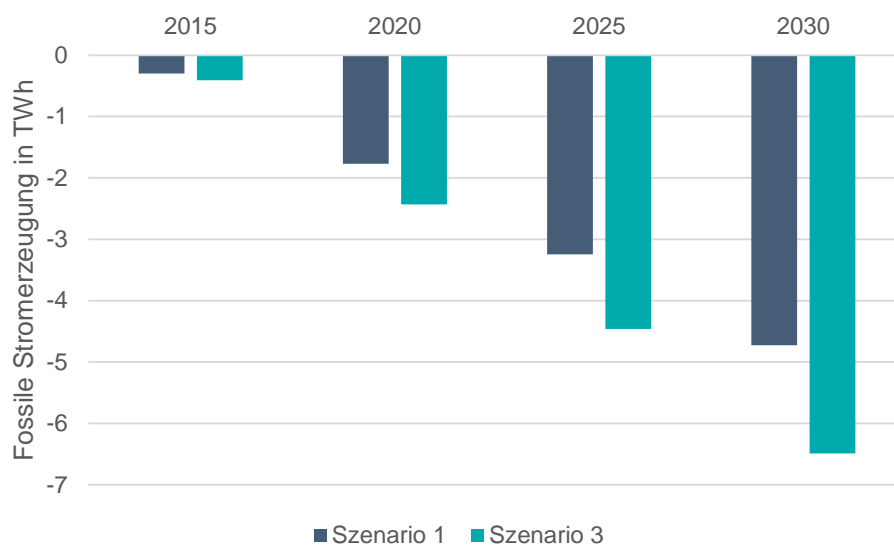
Mit der installierten PV-Leistung und der KWK-Anlage erzeugen die Prosumer-Haushalte Strom, den sie per Definition selbst verbrauchen bzw. in eigenen Batteriespeichern zwischenspeichern oder in das Stromnetz einspeisen. Bei unterstellter mittlerer Volllaststundenzahl in Deutschland von ca. 100 Stunden erzeugt ein einzelner Haushalt mit der PV-Anlage ca. 3.000 kWh Strom pro Jahr (Gährs et al. in Vorbereitung). Bei einem jährlichen Zuwachs der Prosumer-Haushalte um 100.000 Haushalte erhöht sich somit die Stromproduktion aus PV jährlich um etwa $0,3 \text{ TWh}$. Abbildung 4 verdeutlicht die Entwicklung der Stromproduktion der Prosumer-Haushalte aus solarer Strahlungsenergie sowie aus KWK-Anlagen im Szenario 3 im Zeitablauf. Es gilt zu beachten, dass die Entwicklung der Stromproduktion aus solarer Strahlungsenergie in allen hier untersuchten Szenarien jeweils identisch ist. Die unterstellten Prosumer-Haushaltstypen unterscheiden sich nur durch ein zusätzlich zur PV-Anlage installiertes Batteriespeichersystem oder durch eine

⁷ Die Anlagengröße der Prosumer-Haushalte ist entscheidend für die Stromerzeugung, den Eigenverbrauch und die daraus resultierenden gesamtwirtschaftlichen Effekte. In den vergangenen Jahren ist die Anlagengröße bei privaten Haushalten gestiegen, jedoch variiert sie je nach Datenquelle (vgl. Bost et al. 2011). Bost et al. (2011) rechnen dementsprechend mit Anlagenleistungen von $3, 4$ und 5 kW_p , um den Einfluss unterschiedlicher PV-Erträge auf Eigenproduktion und –verbrauch zu untersuchen.

zusätzlich installierte KWK-Anlage. Die Dimensionierung der PV-Anlage ist dabei bei allen drei Haushaltstypen identisch und somit auch die damit produzierte Strommenge.

Durch die Annahme einer linearen jährlichen Steigerung der Anzahl an Prosumer-Haushalten sowie einer im Zeitverlauf konstanten Eigenproduktion der Prosumer-Haushalte erhöht sich die Stromproduktion aus PV bis zum Jahr 2030 um ca. 4,7 TWh im Vergleich zum Fall ohne Prosumer-Haushalte. Bei den KWK-Anlagen erhöht sich die Stromproduktion durch die Prosumer-Haushalte bis 2030 um 1,7 TWh. Als Reaktion auf die erhöhte Stromproduktion aus erneuerbaren Energien kommt es zu einer Anpassung bei der fossilen Stromproduktion.

Abbildung 5: Rückgang der fossilen Stromproduktion durch Prosumer-Haushalte in den Szenarien 1 und 3 in TWh



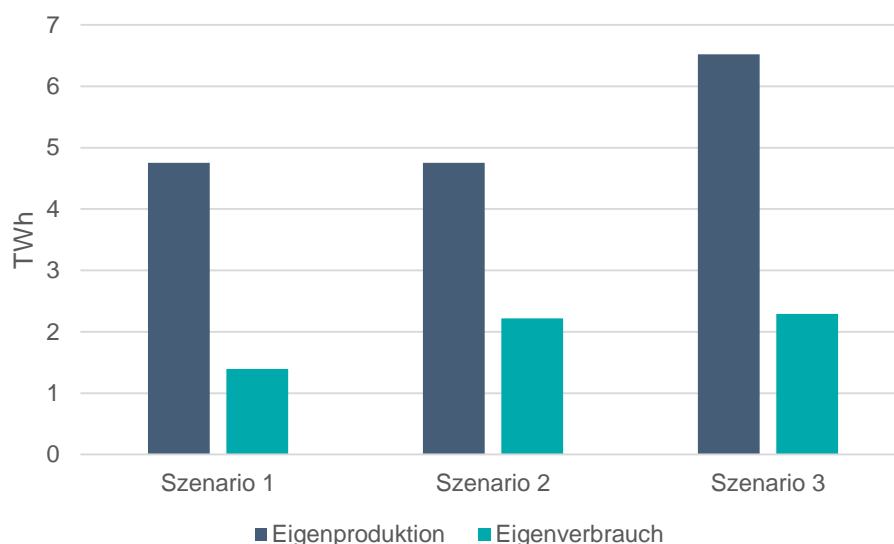
Quelle: Eigene Berechnungen.

Definitiv ergibt sich der fossil erzeugte Strom im Modell als Residualgröße. Eine Veränderung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien hat unmittelbar zur Folge, dass sich die fossile Stromproduktion um eben diesen Betrag reduziert. Entsprechend fällt die fossile Stromproduktion im Jahr 2030 im Fall mit PV-Prosumern ca. 4,7 TWh niedriger aus im Vergleich zum Fall ohne Prosumer. Durch die gleichzeitige jährliche Installation von KWK-Anlagen bei 50.000 Prosumer-Haushalten reduziert sich die fossile Stromerzeugung bis 2030 zusätzlich um die oben bereits genannten 1,7 TWh um dann über 6,4 TWh.

Abbildung 6 verdeutlicht beispielhaft die Eigenproduktion und den Eigenverbrauch der Prosumer-Haushalte für das Jahr 2030. Die Prosumer-Haushalte konsumieren per Definition ihren eigenen produzierten Strom (vgl. IEA-RETD 2014). Der Eigenverbrauch liegt jeweils unterhalb der Eigenproduktion. Im Zeitverlauf steigen die Eigenproduktion und der Eigenverbrauch linear mit der zunehmenden Anzahl an Prosumer-Haushalten an. Bedingt durch die nicht jederzeit verfügbare Sonneneinstrahlung und der damit einhergehenden Einschränkung des Eigenverbrauchs auf die Stunden, in denen solare Strahlungsenergie ausreichend zur Verfügung steht, liegt der Eigenverbrauch der Prosumer-Haushalte im

Szenario 1 nur jeweils bei knapp 870 kWh pro Haushalt, was einem Eigenverbrauchsanteil von ca. 30 % entspricht.⁸ Durch Hinzunahme eines Batteriespeichersystems erhöht sich die Eigenproduktion nicht, da die Anlagengröße der PV-Anlage bei beiden Haushaltstypen gleich dimensioniert ist. Der selbst produzierte Strom kann aber zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden, wodurch sich der Eigenverbrauch steigern lässt.⁹ Der Haushaltstyp mit einer PV-Anlage und einem Batteriespeicher hat einen um 1.000 kWh erhöhten Eigenverbrauch gegenüber dem Prosumer-Haushalt ohne Batteriespeicher.¹⁰ Die zusätzlich zur PV-Anlage installierte KWK-Anlage macht den Eigenverbrauch des Stroms unabhängiger vom Dargebot der Sonne. Die Eigenproduktion bei Kombination aus PV-Anlage und KWK-Anlage steigt auf über 5.000 kWh je Prosumer-Haushalt, der Eigenverbrauch wird mit knapp 2.000 kWh angenommen. Dies entspricht einem Eigenverbrauchsanteil von knapp 40 %. Je nach weiterer Ausstattung der anderen Prosumer-Haushaltstypen – mit z. B. einem elektrischen Heizstab oder einer Wärmepumpe – erreichen diese teilweise einen Eigenverbrauchsanteil von über 90 % (KWK mit Batterienutzung) (Gähns et al. in Vorbereitung).

Abbildung 6: Eigenproduktion und Eigenverbrauch aller Prosumer-Haushalte im Jahr 2030 in TWh



Quelle: Eigene Berechnungen.

⁸ Zu ähnlichen Ergebnissen kommt IEA-RETD (2014): Die Sonneneinstrahlung in Deutschland wird mit 3,10 kWh/m²/d (Sachsen) angegeben; der Eigenverbrauchsanteil bei einer 6 kW-PV-Anlage wird mit 30 % angegeben, bei einer 2 kW-PV-Anlage mit 50%.

⁹ ISEA (2015) und Bost et al. (2011) verdeutlichen, dass diesem individuell positiven Effekt der Erhöhung des Eigenverbrauchs und damit der Verschiebung des Energienutzungsverhaltens durch Solarstromspeicher direkt (weitere) volkswirtschaftliche Effekte (positiv und negativ, z. B. Einsparung EEG-Vergütung, entgangene Steuerzahlungen) gegenüberstehen. Nach ISEA (2015) gleichen sich diese Effekte im Jahr 2014 aber nahezu aus.

¹⁰ Die Integration und Nutzung von Stromspeichern wurde in zahlreichen Studien untersucht. Eine Übersicht über Studien zum Thema „Solarstromspeicher“ findet sich bei Hoppmann et al. (2014).

Neben den erläuterten Anpassungen und Transformationen bei der Stromproduktion kommt es zu monetären Änderungen bei den Prosumern und im gesamtwirtschaftlichen Kontext.¹¹ Zum einen können die Prosumer-Haushalte durch den Eigenverbrauch den Strombezug aus dem Netz reduzieren. Dies senkt die Stromkosten. Wie aus Abbildung 6 zu erkennen ist, besteht in allen drei Szenarien eine Überproduktion als Differenz aus Eigenproduktion und Eigenverbrauch, welche in das Stromnetz eingespeist und vergütet wird. Diese Vergütung erhöht das verfügbare Einkommen der Prosumer-Haushalte. Dabei besteht für KWK-Anlagen mit Biomasse als Brennstoff die Möglichkeit, die Vergütung des eingespeisten Stroms entweder nach dem EEG oder nach dem KWK-Gesetz vorzunehmen. Für die gemischte Einspeisung aus PV- und KWK-Anlage wird im Modell mit einem durchschnittlichen Vergütungssatz gerechnet.

Für die Rolle als Prosumer sind anfänglich Investitionen in die entsprechenden Anlagen notwendig. Diese zusätzlichen Ausgaben der Prosumer-Haushalte verdrängen bzw. verlagern die Anschaffung anderer Gebrauchsgüter oder reduzieren die Ersparnisse. Gleichzeitig führen die Investitionen zu einer Erhöhung des Anlagenbestands und zu höherer Nachfrage in den betroffenen Wirtschaftszweigen, was wiederum einen positiven Effekt auf die wirtschaftliche Leistung der Volkswirtschaft hat (vgl. z. B. Lehr et al. 2015 für die Beschäftigungseffekte durch erneuerbare Energien).

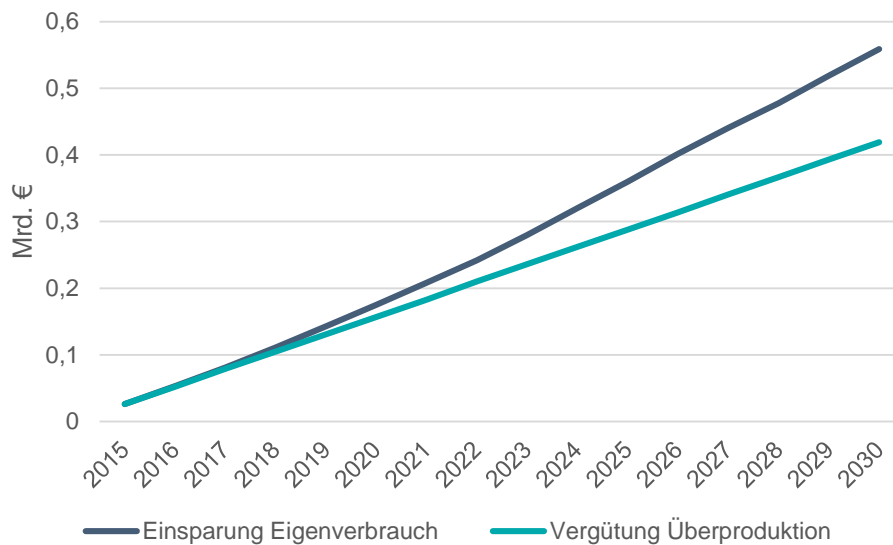
Für die Investitionen der Prosumer-Haushalte kommen verschiedene Zahlungsmöglichkeiten infrage. Neben einer sofortigen vollständigen Bezahlung z. B. von PV-Anlagen muss davon ausgegangen werden, dass teure KWK-Anlagen oder die zusätzliche Installation eines teuren Batteriespeichersystems über einen entsprechenden Zeitraum von den Prosumer-Haushalten finanziert werden. Zusätzlich können auch Fördermaßnahmen des Staates für die Finanzierung der benötigten Infrastruktur entwickelt und eingesetzt werden.¹² Abbildung 7 verdeutlicht die monetären Wirkungen auf das verfügbare Einkommen der Prosumer-Haushalte für das Szenario 1. Dargestellt sind jeweils die im betrachteten Jahr anfallenden Vergütungen und Einsparungen aller im Markt befindlichen Prosumer-Haushalte. Den Einsparungen beim Eigenverbrauch liegt ein im Zeitverlauf steigender Strompreis zugrunde, die Vergütung der Überproduktion wird zunächst pauschal mit einem Vergütungssatz von 12,5 Ct/kWh angesetzt. Dies entspricht in etwa der EEG-Vergütung, welche im zweiten und dritten Quartal 2015 für neu installierte PV-Anlagen in der Größenordnung bis 10 kW_p gezahlt wurde. Individuell betrachtet werden die einzelnen Haushalte je nach Anlagengröße und –ausgestaltung sowie nach Finanzierungsmodell, da jeweils unterschiedliche Beträge und Zeitpunkte für die Amortisation der Anlagen reali-

¹¹ Für einen Überblick über die rechtlichen Sonderbestimmungen für Prosumer-Haushalte und die daraus resultierenden monetären Auswirkungen, vgl. EWI (2014).

¹² Für einen beispielhaften Überblick zur Förderung von dezentralen Solarstromspeichern zur Erhöhung des lokalen Eigenverbrauchs mittels KfW-Förderprogramm „Speicher“, vgl. ISEA (2015). Nach ISEA (2015) waren bis März 2015 insgesamt 3.741 geförderte Solarstromspeicher in Deutschland installiert; die KfW-Bank hat bis März 2015 insgesamt 9.500 Kreditzusagen für geförderte PV-Speicher erteilt. Insgesamt wurden nur ca. 55 % der Solarstromspeicher gefördert, der übrige Anteil wurde ohne staatliche Förderung angeschafft.

siert werden.¹³

Abbildung 7: Monetäre Impulse durch Einführung von Prosumern in Szenario 1



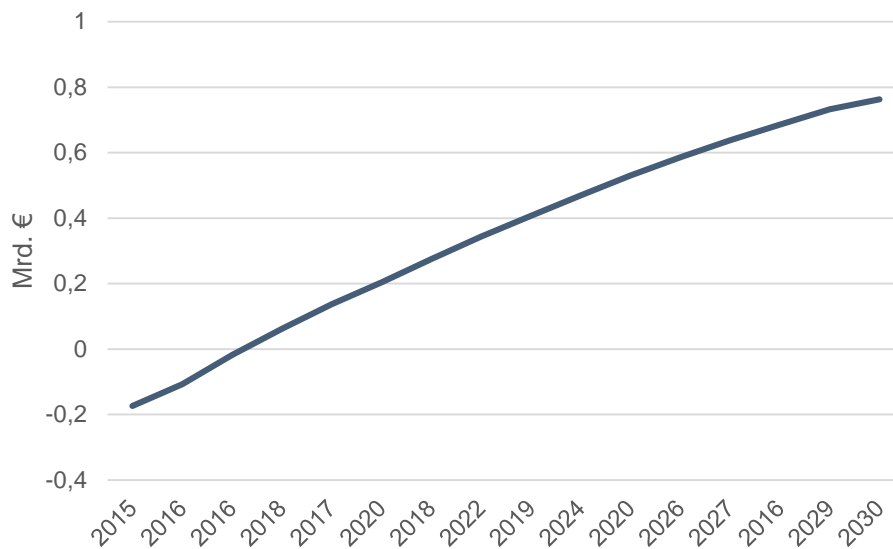
Quelle: Eigene Berechnungen.

Insgesamt wirkt sich die Einführung von Prosumer-Haushalten im Modell PANTA RHEI in den ersten vorläufigen Simulationsrechnungen im Zeitverlauf ganz leicht positiv auf das Bruttoinlandsprodukt aus. Abbildung 8 verdeutlicht den positiven BIP-Effekt mittels Differenzbetrachtung zwischen dem Fall mit Prosumer-Haushalten vom Typ 5 (PV-Anlage) und dem Fall ohne Prosumer-Haushalte.

Im Vergleich zum Fall ohne Prosumer-Haushalte ist das BIP bei 1,6 Mio. vorhandenen Prosumer-Haushalten mit PV-Anlage im Jahr 2030 um ca. 0,8 Mrd. € größer. Bei einer nur sehr geringen Anzahl an Prosumer-Haushalten zu Beginn der Entwicklung ist der Effekt auf das BIP sogar negativ. Der BIP-Effekt ist im Vergleich zur absoluten Größe des BIPs klein, da die Prosumer-Haushalte nur einen sehr kleinen Anteil an der Gesamtbevölkerung ausmachen. Gleichzeitig fallen auch die oben erläuterten monetären Impulse der Prosumer-Haushalte wie z. B. die Veränderungen beim verfügbaren Einkommen oder die angestoßenen Investitionen nur gering aus, sodass deren Wirkungen auf das BIP ebenfalls nur sehr klein sein können. Je nach Technologie führen die Investitionen der Prosumer-Haushalte auch vermehrt zu Importen (z. B. Solarmodule für PV-Anlagen), was ebenfalls eine dämpfende Wirkung auf das BIP hat.

¹³ Beispielhaft sei auf Battke & Schmidt (2015) für Wirtschaftlichkeitsrechnungen zur Installation von Stromspeichern verwiesen.

Abbildung 8: Änderung des BIP durch Einführung von Prosumern im Szenario 1 in Mrd. €

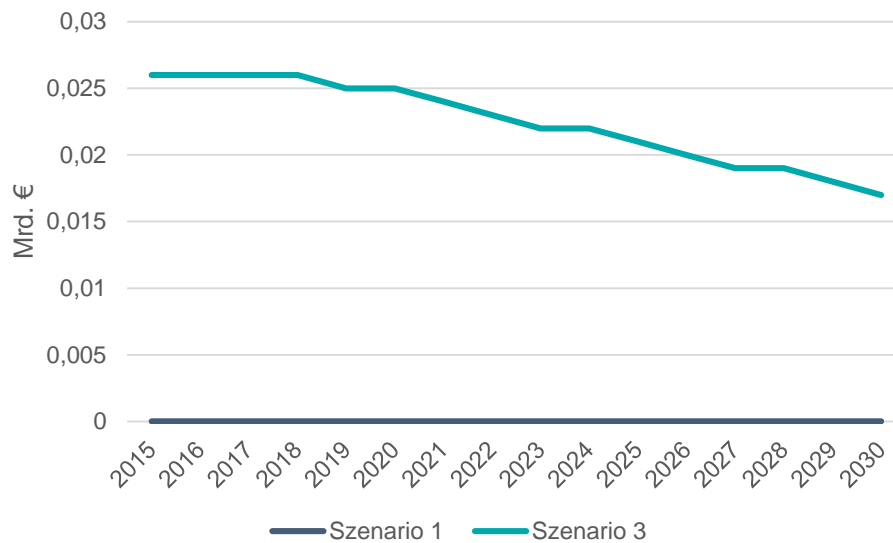


Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Investitionen der Prosumer-Haushalte führen zu Impulsen in den jeweils an der Produktion der neuen Prosumer-Anlagen beteiligten Wirtschaftszweigen bzw. zum Import der entsprechenden Anlagen. Bei Photovoltaik werden die Solarmodule zu großen Teilen aus dem Ausland importiert. Wechselrichter aus deutscher Produktion werden hingegen weiterhin national und international nachgefragt, sodass zumindest für die Nachfrage der Prosumer-Haushalte nach Wechselrichtern davon ausgegangen werden kann, dass diese aus heimischer Produktion nachgefragt werden und es so zu Impulsen im Wirtschaftszweig der Herstellung von elektrischen Ausrüstungen kommt. Planung und Installation der Anlagen finden im Inland statt. Bei KWK-Anlagen wird vereinfachend davon ausgegangen, dass diese in Deutschland produziert werden und insbesondere Vorleistungen aus den Sektoren Metallherstellung, Maschinenbau, Roheisen und Stahlerzeugung sowie der elektrischen Ausrüstung beziehen.

Beispielhaft ist in Abbildung 9 der Wirtschaftszweig Maschinenbau dargestellt. In diesem Wirtschaftszweig fallen die Wirkungen insgesamt klein aus. Der Grund hierfür liegt darin, dass PV-Anlagen so gut wie keine Vorleistungen aus dem Bereich des Maschinenbaus nachfragen. Die jährlich neu installierten 50.000 KWK-Anlagen führen zu einer nennenswerten Nachfrage nach Investitionsgütern aus dem Bereich Maschinenbau, welche in Abhängigkeit der sinkenden Investitionskosten für KWK-Anlagen im Zeitverlauf ebenfalls sinken. Absolut gesehen sorgt die Installation der KWK-Anlagen im Jahr 2015 für einen zusätzlichen Nachfrageimpuls im Bereich Maschinenbau in Höhe von ca. 25 Mio. €, welcher bis zum Jahr 2013 auf ca. 17 Mio. € sinkt. Relativ zum Fall ohne Prosumer-Haushalte entspricht dies einem Anstieg im Jahr 2030 von 0,12 %.

Abbildung 9: Änderung der Nachfrage nach Investitionsgütern des Wirtschaftszweigs „Maschinenbau“ durch Prosumer in Mrd. €



Quelle: Eigene Berechnungen.

5 FAZIT UND AUSBLICK

Der vorliegende Beitrag gibt einen ersten Überblick über die Abbildung von Prosumer-Haushalten im Energiewirtschaftsmodell PANTA RHEI. Die verschiedenen Anknüpfungspunkte im Modell werden dargestellt. Für ausgewählte Prosumer-Haushaltstypen wurde die Modellierung erweitert. Dies betrifft sowohl die veränderte Eigenproduktion von Strom und Wärme und die dadurch ausgelösten Nachfrageänderungen sowie Wirkungen auf die verfügbaren Einkommen. Im Modell müssen noch weitere Wirkungskanäle angeschlossen werden. Dazu müssen zum einen die übrigen Prosumer-Haushaltstypen in das Modell integriert werden, zum anderen sind die Wirkungen im Wärmemarkt abzubilden. Auch Regelungen zur umsatzsteuerlichen Behandlung bei Einspeisung und Eigenverbrauch von Strom sind noch zu prüfen. Schließlich sind Wirkungen auf Bestandteile der Strompreise wie Börsenstrompreis, EEG-Umlage und Netzentgelte sowie die Ausgestaltung der Stromtarife im Kontext detaillierter Szenarien zu betrachten. In den vereinfachten Beispielrechnungen ist die Plausibilität der veränderten Modellierung erfolgreich geprüft worden. Zugleich lassen sich bereits Aussagen zu Größenordnung und Bandbreite der Effekte treffen, wenn unterschiedliche Annahmen zur Anzahl einzelner Prosumer-Haushaltstypen und damit zur Entwicklung der dahinter stehenden Technologien gemacht werden. Für einzelne Prosumer-Haushaltstypen lassen sich Kosten und Erträge gegenüberstellen. Die ersten Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einfluss der Prosumer-Aktivitäten auf die Gesamtwirtschaft relativ klein ist.

Im Forschungsvorhaben werden derzeit Pfade für die Anzahl der einzelnen Prosumer-Typen entwickelt. In den darauf basierenden Modellrechnungen werden dann neben der Zahl der Prosumer-Typen auch Verbraucherverhalten, Technologiekostenentwicklung, mögliche Förderinstrumente für die Technologien mit Finanzierungsvarianten und unter-

schiedliche Entwicklungen der Strompreise sowie die Bepreisung des Eigenverbrauchs variiert bzw. definieren diese Unterschiede teilweise die Pfade der Anzahl der Prosumer-Typen. Unter der Annahme von Verhaltensänderungen könnten sich z. B. verstärkte Rebound-Effekte einstellen: Durch die Eigenproduktion von Strom könnten die Prosumer-Haushalte geneigt sein, mehr Strom zu verbrauchen als im Fall ohne eigene Stromproduktion.

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen können mit Blick auf die gesamtwirtschaftlichen und sektoralen Effekte, Energieeinsatz und Emissionen verglichen werden. Auch Verteilungswirkungen werden diskutiert. Die Ergebnisse dieser Berechnungen gehen abschließend in die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für die sozial-ökologische Transformation des Energiesystems ein.

LITERATURVERZEICHNIS

- Battke, B., Schmidt, T. S. (2015): Cost-efficient demand-pull policies for multi-purpose technologies - The case of stationary electricity storage. *Applied Energy* 155, 344-348.
- Bley, A. (2007): *Haushaltsenergieproduktion. Eine wirtschaftstheoretische Analyse der Nutzung erneuerbarer Energieträger und des Wasserstoffs durch private Haushalte.* Duisburg, Köln.
- Bost, M., Hirschl, B., Aretz, A. & Gährs, S. (2013): *Private Haushalte als neue Schlüsselakteure einer Transformation des Energiesystems. Thesen zum Projekt.*
- 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.*
- EWI (2014): *Eigenerzeugung und Selbstverbrauch von Strom. Stand, Potentiale und Trends. Gutachten im Auftrag des BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. Köln.*
- Frohn, J., Chen, P., Hillebrand, B., Lemke, W., Lutz, C., Meyer, B. & Pullen, M. (2003): *Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen: Abschätzungen mit zwei ökonomischen Modellen. Heidelberg.*
- Frondel, M., Ritter, N. (2012): *Datenauswertung zum Energieverbrauch der privaten Haushalte differenziert nach Gebäudemerkmalen: Sonderauswertung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), RWI Projektberichte. Essen, 2012.*
- Gährs, S., Bost, M., Wieckowski, E., Aretz, A., Hirschl, B. (in Vorbereitung): *Simulation von Prosumer-Haushalten.*
- GWS, EWI & Prognos (2014): *Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Osnabrück, Köln, Basel.*
- Hoppmann J., Volland J., Schmidt T.S. & Hoffmann V.H. (2014): *The Economic Viability of Battery Storage for Residential Solar Photovoltaic Systems - A Review and a Simulation Model, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, 1101–1118.
- 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 er-*

- erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb heute und morgen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Osnabrück, Berlin, Stuttgart, März 2015.
- Lehr, U., Lutz, C., Edler, D., O'Sullivan, M., Nienhaus, K., Simon, S., Nitsch, J., Breitschopf, B., Bickel, P. & Ottmüller, M. (2011): Kurz und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- Lehr, U., Mönning, A., Wolter, M. I., Lutz, C., Schade, W. & Krail, M. (2011): Die Modelle ASTRA und PANTA RHEI zur Abschätzung gesamtwirtschaftlicher Wirkungen umweltpolitischer Instrumente - ein Vergleich. GWS Discussion Paper 11/4, Osnabrück.
- 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 2015-06-17.
- 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.: Photovoltaische Eigenverbrauchsanlagen als Schlüssel für eine neue Dynamik beim Klimaschutz. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 64. Jg. (2014), Heft 8, S. 49-51.