

# Modellierung der Eigenversorgung mit Elektrizität für verschiedene Akteure

Philipp OEHLER\*, Holger HÖFLING, Anna-Lena KLINGLER

Fraunhofer ISI, Breslauer Str. 48, D-76139 Karlsruhe, Tel.: +49 721 6809 654,  
philipp.oehler@isi.fraunhofer.de, www.isi.fraunhofer.de

**Kurzfassung:** In diesem Forschungsvorhaben soll ein Beitrag zum besseren Verständnis der Auswirkungen zunehmender Eigenversorgung auf das energiewirtschaftliche System geleistet werden. Hierzu wird ein zweistufiges Modell entwickelt, dass zunächst für eine Vielzahl unterschiedlicher Akteurstypen die Strom- und Wärmeversorgung betriebswirtschaftlich für ein Jahr optimiert. Im nächsten Schritt wird die Marktdiffusion des optimierten Portfolios in der Akteursgruppe für das folgende Jahr ermittelt. Hierdurch sollen Veränderung und Rückkopplungen auf Größen wie Netznutzungsentgelt und Strompreis untersucht werden.

**Keywords:** Eigenversorgung, Photovoltaik, Batteriespeicher, KWK, grid parity, Diffusion, Optimierung.

## Zweistufiges Modellierungskonzept

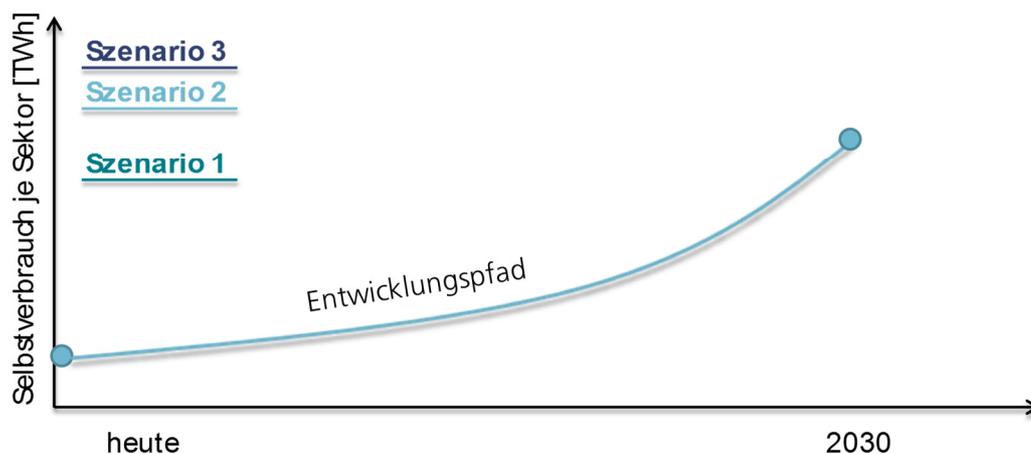
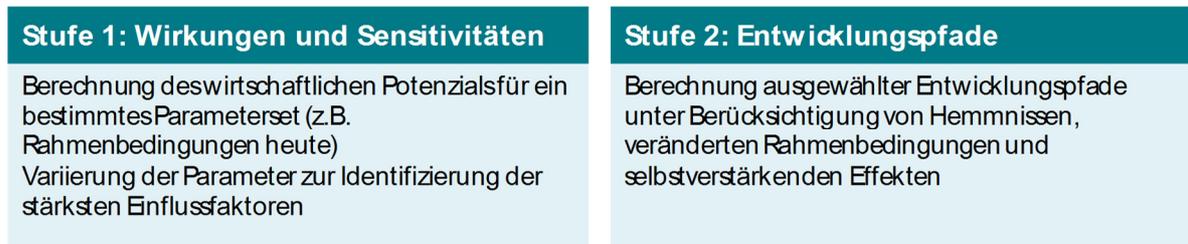


Abbildung 1

## 1 Einleitung

In der wissenschaftlichen und politischen Diskussion gewinnt das Thema Eigenversorgung<sup>1</sup> zunehmend an Bedeutung. Ausgehend von einem expliziten Förderregime spielt die Eigenversorgung, mit ihren impliziten Förderelementen, für den Ausbau der Erneuerbaren Energien eine immer größere Rolle.

Neben den Veränderungen der gesetzlichen Regelungen sind auch Veränderungen der ökonomischen Rahmenbedingungen ursächlich für diese Entwicklung. Die zentralen Treiber sind dabei die Kostendegression von Photovoltaiksystemen und Batteriespeichern, steigende Abgaben auf den Strombezug über das Netz, und sinkende Fördersätze. Die veränderten Rahmenbedingungen führen für manche Akteure zu betriebswirtschaftlichen Anreizen, einen Teil ihres Strombedarfs nicht mehr über das Netz für die allgemeine Versorgung, sondern über Eigenerzeugungsanlagen zu decken. Dieser, sich aus dem einzelwirtschaftlichen Kalkül ergebende Systemzustand, wird in der Literatur häufig unter dem Stichwort „grid parity“ diskutiert.

## 2 Motivation

Der öffentliche Diskurs zum Thema Eigenversorgung ist häufig geprägt von der Vorstellung der Akteure, einen wertvollen (ökologischen) Beitrag zu leisten, dabei ist die tatsächliche Wirkung der Eigenversorgung umstritten und keineswegs eindeutig. Es mangelt jedoch bisher an tiefgehenden wissenschaftlichen Untersuchungen zu den vielfältigen Wirkungen der Eigenversorgung, damit der zukünftige Diskurs auf fundierte Erkenntnisse gestützt werden kann.

Von Interesse sind hierbei weniger technische Fragen zu Eigenversorgungssystemen aus Akteurssicht, sondern vielmehr die mögliche Entwicklung und die Wirkungen der Eigenversorgung aus Systemsicht. Hier stehen vor allem die ökonomischen Auswirkungen und die Verteilungswirkungen im Mittelpunkt.

Ein elementarer Baustein zur Untersuchung der Systemwirkungen der Eigenversorgung ist die Berechnung von möglichen Szenarien unter den aktuellen ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Zu diesem Zweck wird im Rahmen des Forschungsvorhabens ein technisch-ökonomisches Modell entwickelt.

Dieses Eigenversorgungsmodell soll in der ersten Ausbaustufe das unter gegebenen Umständen betriebswirtschaftlich optimale Technologieportfolio für einzelne, repräsentative Akteure ermitteln. Da anzunehmen ist, dass nicht jeder Akteur sofort auf eine neue Technologie umsteigt, soll in der zweiten Ausbaustufe die Diffusion dieses neuen Portfolios

---

<sup>1</sup> Projektdefinition der Eigenversorgung: Konzept, bei dem mindestens ein Teil des erzeugten Stroms nicht physisch in ein Netz für die allg. Versorgung eingespeist wird, sondern ohne dessen Nutzung verbraucht wird.

auf dem Markt bestimmt werden. Die Wirkungen der sich jedes Jahr verändernden Gesamtheit der Akteure werden hochskaliert und dienen als Grundlage für die Berechnung von Systemwirkungen (siehe Abbildung 1 und 2).

## Bottom-up-Ansatz zur Berechnung der Wirkungen und Sensitivitäten (Stufe 1)

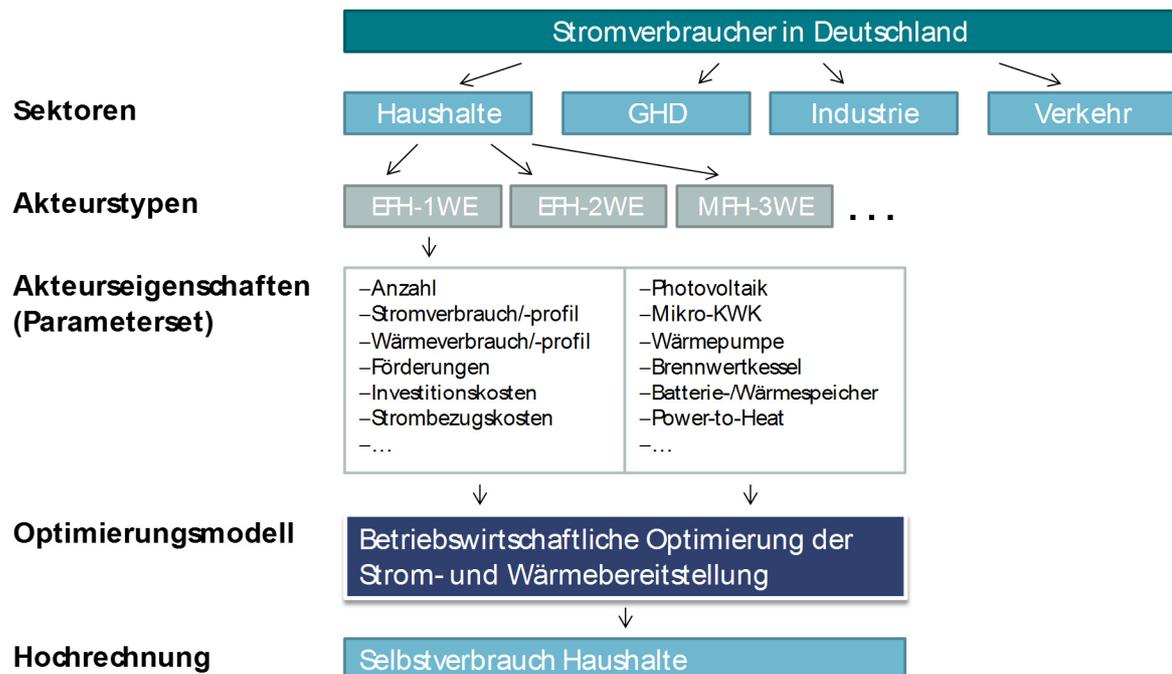


Abbildung 2

### 3 Modellierungsvorhaben

#### 3.1 Modellstufe 1: Optimierung einzelner Akteure

Zunächst soll für jeden Akteur aus einer Auswahl von verschiedenen Versorgungstechnologien das betriebswirtschaftlich günstigste Portfolio bestimmt werden, mit dem die Versorgung gewährleistet werden kann. Hierzu wird die Strom- und Wärmebilanz eines Akteurs stündlich aufgestellt und für ein Jahr linear optimiert. Neben den Möglichkeiten zur konventionellen Versorgung (Deckung der Stromnachfrage durch Netzbezug; Deckung der Wärmenachfrage durch einen Brennwertkessel) stehen dem Modell folgende Technologien zur Verfügung:

- Photovoltaik
- Batteriespeicher
- KWK-Anlage
- Brennwertkessel

- Wärmepumpe
- Power-to-Heat
- Wärmespeicher

Zwar liegt der Fokus in diesem Forschungsvorhaben auf der Eigenversorgung mit Strom, allerdings ist durch die enge Kopplung der Strom- und Wärmeversorgung durch neue Technologien eine kombinierte Betrachtung beider Bereiche unabdingbar. Somit werden in dieser ersten Modellstufe beide Sektoren kombiniert optimiert. Für die zweite Stufe wird ein gemischtes Verfahren angewendet (siehe 3.2).

Aus Modell- und Performancegründen werden die Kostenverläufe der Technologien als linear angenommen. Dies führt zwar zu Verzerrungen für kleine Investitionen, was aber bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden kann. Zusätzlich zu den Anschaffungs- und Betriebskosten werden sämtliche Privilegierungstatbestände nach aktueller deutscher Gesetzeslage berücksichtigt (z.B. Zuschläge, Einspeisevergütungen Investitionszuschüsse, Abgabenhöhe, etc.).

Im Haushaltssektor orientiert sich die Modellstruktur am Gebäudebestand, dazu werden Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser mit unterschiedlich vielen Wohneinheiten betrachtet. Im GHD-Sektor orientiert sich die Struktur an der Wirtschaftszweiggliederung des Unternehmensregisters des Statistischen Bundesamtes (z.B. Handel, Fertigungsbetriebe, büroähnliche Betriebe, etc.). Da im Sektor Industrie die Eigenversorgung häufig aufgrund der Prozessoptimierung (z.B. gekoppelte Erzeugung mit Prozessdampf) attraktiv ist und außerdem die Verfügbarkeit von öffentlichen Daten äußerst schlecht ist, wird der Sektor Industrie von der Modellierung ausgeklammert und separat qualitativ untersucht.

Um die Kosten eines optimierten Portfolios besser vergleichen zu können, werden für jeden Akteur zusätzlich noch die Kosten einer konventionellen Versorgung berechnet. Über dieses Referenzportfolio können für jeden Akteur Kosteneinsparungen ermittelt werden, die als wichtige Entscheidungsgröße in die zweite Modellstufe einfließen.

### **3.1.1 Eingangsdaten**

Eine wichtige Grundlage für die stundenscharfe Optimierung des Technologieportfolios eines Akteurs sind geeignete Verbrauchsprofile. Da die Akteure jeweils einen typischen Durchschnittsakteur darstellen sollen, werden für die Strom- und Wärmenachfrage gemittelte Profile verwendet, ebenso wie für die Einstrahlung auf Photovoltaikanlagen. Die Stromprofile stellen die Nachfrage ohne die der zugebauten Technologien (wie z.B. Batterieein-/ausspeisung, Wärmepumpen) dar, welche endogen bestimmt werden. In die Wärmeprofile fließt auch der Warmwasserbedarf mit ein.

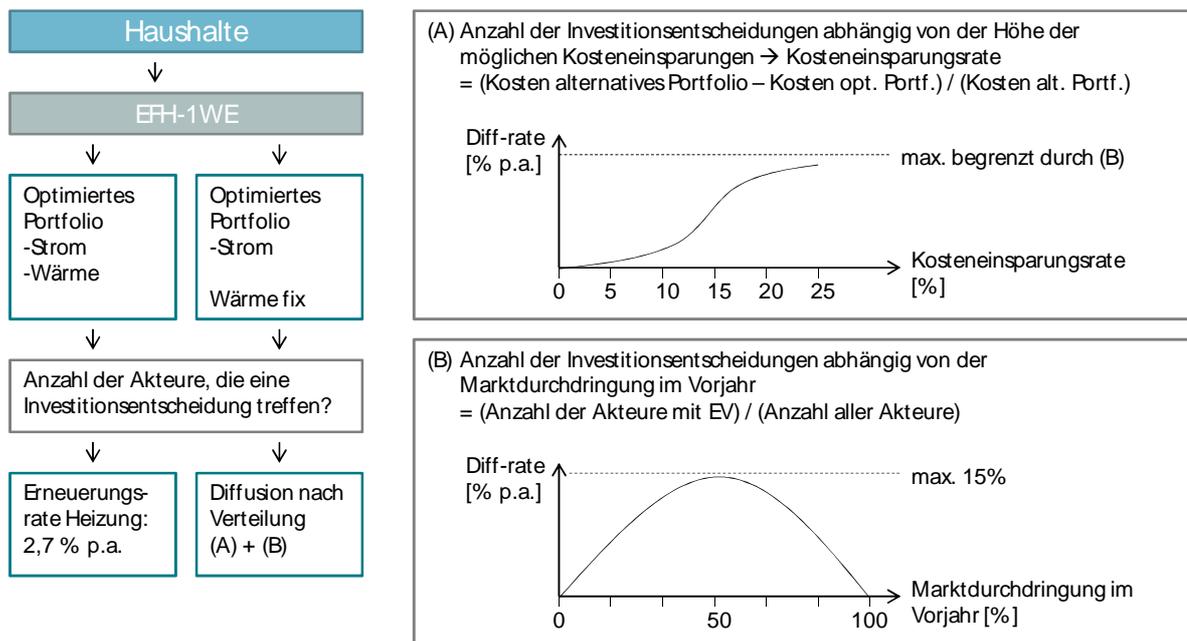
Im Privathaushaltsbereich werden unterschiedliche Profile für Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser verwendet. Für die unterschiedlichen Größen der Mehrfamilienhäuser wird dieselbe Profilform um die angepasste Energiemenge skaliert.

Im GHD-Bereich werden für die jeweiligen Wirtschaftszweige individuelle Nachfrageprofile eingesetzt, da diese untereinander nicht vergleichbar sind und stark voneinander abweichen.

Neben den Profilen fließen eine Vielzahl weiterer statischer Eingangsparameter mit ein. Hierzu zählen unter anderem Gas- und Strompreise, verschiedene Entgelte, technologiespezifische Größen und Kalkulationszinssätze.

### 3.2 Modellstufe 2: Technologiediffusion

## Abbildung von Hemmnissen über Erneuerungsraten und Technologiediffusion



Seite 3

Abbildung 3

Trotz deutlicher Kostenvorteile führen positive Renditen nicht dazu, dass sämtliche Akteure sofort in eine neue Strom- und Wärmeversorgung investieren. Die Adaption neuer Technologien ist aus vielerlei Gründen gehemmt und erfolgt schrittweise und verzögert. In der zweiten Stufe des Modells soll diese Technologiediffusion für aufeinanderfolgende Jahre nachgebildet werden.

Mit den ermittelten Diffusionsraten werden die Resultate der einzelnen Akteure hochgerechnet, um die Systemwirkungen beurteilen zu können. Diese hochskalierten Ergebnisse sollen als Grundlage für weitere Analysen und als Input für andere Modelle und Berechnungen dienen. Im Fokus steht hier vor allem die Untersuchung von Rückkopplungen auf die EEG-Umlage, auf Netznutzungsentgelte, auf die Strompreise, und auf den „Atmenden Deckel“ der PV-Förderung.

Zur Abbildung der Diffusionsraten wählen wir einen zweigeteilten Ansatz. Hierfür werden über die erste Modellstufe die Portfolios aller Akteurstypen zweimal optimiert, zum einen für Strom und Wärme kombiniert, zum anderen nur für Strom mit fest installiertem Brennwertkessel. Diese Differenzierung ist notwendig um das unterschiedliche Diffusionsverhalten im Wärme- und Strombereich abzubilden.

Nach empirischen Beobachtungen erfolgen Ersatzinvestitionen im Wärmebereich mit konstanter Rate. Je nach Akteurstyp erneuern jährlich zwischen 2-4% der Nutzer ihr Heizungssystem. Dieser Anteil der Akteure entscheidet sich nun für das optimierte Wärme- und Stromportfolio.

Im Strombereich handelt es sich hingegen nicht um Ersatzinvestitionen sondern um überwiegend ökonomische Entscheidungsprozesse. Hier liegen nur unzureichende Erfahrungswerte zu Diffusionsprozessen vor. Deshalb wurde hier ein kombinierter Ansatz zur Ermittlung der Diffusionsrate gewählt. Für diesen nehmen wir an, dass sie im Wesentlichen von zwei Größen bestimmt wird:

- Der Kosteneinsparungsrate gegenüber des Referenzfalls (Strombezug über das Netz für die allgemeine Versorgung und Wärmeerzeugung mit Gastherme)
- Der bisherigen Marktdurchdringung des neuen Portfolios

Der Grund für die erste Abhängigkeit liegt auf der Hand – je rentabler eine Erneuerung, desto mehr Nutzer werden auf diese umsteigen. Die Diffusionsrate wird als Integral einer Gauß'schen Verteilung in Abhängigkeit der Kosteneinsparungsrate modelliert.

Die Diffusionsrate in Abhängigkeit der bisherigen Marktdurchdringung wird durch eine Gaußglocke beschrieben. Dieser Zusammenhang wurde für eine Reihe von historischen Diffusionsprozessen empirisch beobachtet und beschrieben (Rogers, 1962). Zu Beginn übernehmen die „Innovators“ und die „Early Adopters“, welche früh auf die neuen Möglichkeiten aufmerksam werden und oft auch aus anderen als wirtschaftlichen Gründen auf diese umsteigen. Die Akteure im Peak der Kurve bezeichnet man als „Majority“ – hier wurden die neuen Technologien weitgehend akzeptiert und setzen sich zunehmend durch. Die Akteure am Ende der Verteilung sind die „Laggards“, die erst sehr spät eine Investitionsentscheidung treffen.

Die Gesamtrate bildet sich nun aus dem Produkt dieser beiden Verteilungen. So sollen die Effekte beider Größen berücksichtigt werden.

#### **4 Szenarien für die Modellstufe 1: Basisszenario & Sensitivitäten**

Bereits vor der Fertigstellung der zweiten Modellstufe soll über die erste Stufe eine Reihe von Szenarien untersucht werden. Durch diese soll ermittelt werden, welche Größen einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einzelner Technologien oder Kombinationen aus diesen haben und somit als Treiber hin zu mehr Eigenversorgung wirken. Ausgehend von einem *Basisszenario* werden hierfür einzelne Parameter und Eigenschaften des Modells variiert und deren Auswirkungen auf das Portfolio untersucht. Diese Sensitivitäten werden *ceteri paribus* angewendet, also einzeln und unabhängig voneinander, ohne die anderen Größen zu verändern. Dies lässt zwar nur eingeschränkt

Rückschlüsse auf deren kombinierte Wirkung zu, allerdings können damit die Wirkungen einzelner Treiber besser herausgearbeitet werden.

Das dem zugrunde liegende *Basisszenario* setzt sich aus den in 3.1.1. beschriebenen Standardannahmen und Eingangsdaten zusammen. Es soll die derzeitige rechtliche und wirtschaftliche Situation eines Standardakteurs widerspiegeln.

Die folgende Aufzählung von Sensitivitäten erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, soll aber als Ausgangspunkt für die Untersuchung der Robustheit des Systems und des Modells dienen. Unter anderem werden folgende Szenarien in Betracht gezogen:

- Änderung der gemittelten Lastprofile hin zu gemessenen Profilen. Hierdurch sollen negative Einflüsse der standardmäßig verwendeten Profile ausgeschlossen bzw. ermittelt werden.
- Änderung der gemittelten PV-Einstrahlungsprofile hin zu gemessenen Profilen.
- Variieren des Kalkulationszinssatzes. Hier sollen mögliche Auswirkungen auf die Investitionsbereitschaft untersucht werden.
- Variierung der Technologiekosten. Hier stehen vor allem die Grenzkosten für Batteriespeicher und andere heute noch eher unrentable Technologien im Vordergrund.
- Variieren von Förderungen.
- Erhöhung des Gaspreises und des Börsenstrompreises
- Variierung der Netznutzungsentgelte und der EEG-Umlage.
- Einfluss von Bestandsanlagen.
- Auswirkungen erhöhter Nachfrage durch Elektrofahrzeuge. Hierzu werden gemessene Ladeprofile der Lastkurve hinzuaddiert.
- Bei GHD-Akteuren: Einfluss einer direkten Weitergabe des Strompreises an den Endverbraucher.

Vor allem sollen durch die Sensitivitäten die Zusammenhänge des Systems besser verstanden werden. Zwar lassen sich einige Zusammenhänge und Einflüsse bereits erahnen – so ist es beispielsweise aus der derzeitigen Marktlage offensichtlich, dass Batteriespeicher ihre Wirtschaftlichkeit noch nicht ganz erreicht haben. Solche und andere Aussagen detailliert auszuleuchten und weitere zu finden ist eines der Ziele dieses Modells.

## 5 Ausblick

Das Modell befindet sich derzeit noch teilweise in der Entwicklungsphase. Die Entwicklung und Implementierung der ersten Modellstufe ist jedoch bereits weitgehend abgeschlossen. Mit dieser wurden bereits die wichtigsten Sensitivitäten gerechnet, allerdings befindet sich deren finale Auswertung und Interpretation noch in der Abstimmungsphase, weshalb in diesem Papier nicht darauf eingegangen werden soll.

Als nächster wichtiger Schritt wird das in 3.2 beschriebene Diffusionsmodell abschließend entwickelt und implementiert. Während der Implementierung sollen letzte Feinheiten und Eigenschaften des Diffusionsmodells erörtert werden. Wo zum vorläufigen Einsatz noch Daten fehlen, wird das Modell zunächst mit „Dummydaten“ getestet, um früh ein Verständnis

für die Zusammenhänge des Modells zu erlangen. Echte Ergebnisse können hiermit allerdings noch nicht untersucht werden.

In einer letzten Phase des Modells soll die Wirkung der Eigenversorgung auf das Gesamtsystem analysiert werden. Hier soll der Einfluss auf die Netznutzungsentgelte, die EEG-Umlage, auf den Strompreis und auf den sog. „Atmenden Deckel“ der PV-Förderung im Mittelpunkt stehen. Insbesondere sollen diese Größen nach jedem Modelljahr ermittelt werden und in die Optimierung des nächsten Modelljahres mit einfließen, um so den Einfluss von Rückkopplungen zu berücksichtigen. Hierdurch können nicht nur kurzfristige Auswirkungen, sondern auch längerfristige Entwicklungen untersucht werden.

Als finales Ergebnis fließen die Erkenntnisse der Modellierung und der Szenarien in einen Katalog mit politischen Handlungsempfehlungen ein. Hierdurch soll zum einen aufgezeigt werden, welche Entwicklungen der energiewirtschaftlichen und –politischen Landschaft sich auf die Implementierung von Eigenversorgung und den Einsatz bestimmter Technologien sensitiv auswirken. Zum andern soll aufgezeigt werden, welche Parameter und welche Arten von Förderung als Regler und „Stellschrauben“ dienen können, um politisch den Lauf der Entwicklung der Eigenversorgung zu beeinflussen.