SINTEG
SCHAUFENSTER INTELLIGENTE ENERGIE

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

C sells

FfE

Smart Meter, Prosumer, Flexumer

WIE DIE DIGITALISIERUNG DIE ROLLE VON VERBRAUCHERN VERÄNDERT

INHALT

1 01 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
03 Energiewende
07 Digitalisierung

2 11 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
12 Energiewende in Altdorf
15 Netzbelastung in einem exemplarischen Gebiet

3 25 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
28 Verbraucher (Consumer)
29 Erzeuger (Producer)
29 Prosumer
31 Flexumer
33 Relevanz neuer Rollen privater Verbraucher für das Energiesystem

4 35 PROSUMER TECHNOLOGIEN

5 43 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
44 Digitalisierung für Verbraucher
45 Digitalisierung für Erzeuger
46 Digitalisierung für Prosumer
46 Flexumer durch Digitalisierung?

6 49 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
50 Weiterbetrieb oder Stilllegung?
51 Sonstige Direktvermarktung
51 Systemdienstleistungen
52 Steigerung von Eigenverbrauch & Autarkie
53 Nachrüstung von Speichern
54 Neue Vermarktungsmodelle

7 59 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

8 63 LITERATURVERZEICHNIS

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

1

EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS

1 **EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS**
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Der Klimawandel stellt die Menschheit vor monumentale Herausforderungen. Die Erde erwärmt sich zunehmend, ganz wesentlich bedingt durch den von Menschen verursachten Ausstoß energiebedingter Treibhausgase. Laut Umweltbundesamt lagen die 20 wärmsten Jahre seit Beginn der globalen Messungen im Zeitraum nach 1990. Die fortschreitende globale Erderwärmung ist auch in Deutschland spürbar – 10 der 15 wärmsten Jahre in Deutschland wurden im 21. Jahrhundert gemessen **[1]**. Als weltweite Folgen der Klimaerwärmung schmelzen Pole ab, der Wasserspiegel steigt, Wetterereignisse werden extremer und führen mancherorts zu Hitzewellen, Dürren und Waldbränden, andernorts zu Starkregen, Überschwemmungen und Ernteausfällen. Die so entstehenden sozialen und wirtschaftlichen Folgen sind ebenso katastrophal wie die Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt.

Um diese Effekte bestmöglich zu verringern, erfordert es ein gemeinsames Umdenken. Es sind nicht einzelne Maßnahmen einzelner Staaten, die einen Effekt auf das Klima haben, sondern eine vereinte Anstrengung aller. Eine konsequente Reduktion von Treibhausgasen erfordert dabei eine Trendwende in vielen Lebensbereichen und Branchen. Besonders wichtig zur Reduktion von Treibhausgasen sind dabei neben dem individuellen Konsum- und Verbrauchsverhalten die Sektoren Elektrizität, Mobilität und Wärme.

Gerade im Elektrizitäts-, Verkehrs- und Wärmesektor können bereits mit den heutigen technischen Möglichkeiten große Veränderungen geschehen. Statt jede noch so kurze Strecke mit dem eigenen Auto zurückzulegen, kann auf öffentlichen Nahverkehr umgestiegen, auf das Fahrrad zurückgegriffen oder Car- und Ridesharing genutzt werden. Auch der Umstieg auf Elektromobilität (Auto, Roller, Fahrrad) kann bei der Nutzung von Photovoltaik- oder Windstrom einen Beitrag leisten. Energie im Wärmesektor kann gespart werden, indem neue, effiziente Technologien zum Einsatz kommen, energetisch saniert oder gezielter gelüftet bzw. geheizt wird. Der Umstieg auf eine nachhaltigere Stromerzeugung wiederum ist möglich, indem erneuerbare Energien ausgebaut werden. Dies ist durch On- und Offshore Windenergie oder auch durch Wasserkraft, Biogas oder Solarenergie möglich. Letztere hat den Vorteil, dass die Preise

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

in den letzten Jahren sehr stark gesunken sind und sie bei verhältnismäßig geringem Invest auf Hausdächern zum Einsatz kommt. Mit der Investition in eine Photovoltaik-Anlage ändert sich jedoch nicht nur der CO_2-Fußabdruck des Haushalts, sondern es entstehen auch Rückwirkungen auf Stromnetze, Strommarkt und Energiesystem. Es bietet sich daher zusammen mit der Digitalisierung der gesamten Branche die Chance, völlig neue Formen der Beteiligung von Privatpersonen in diesen Bereichen zu schaffen.

Der nachfolgende Leitfaden „Chance Smart Meter? Wie die Digitalisierung die Rolle von Verbrauchern verändert." erklärt die Evolution des Energieverbrauchers hin zu einem aktiven Teilnehmer des Energiesystems sowie die Bedeutung der Digitalisierung für diese Akteure. Die Hintergründe der Energiewende und der Digitalisierung werden ebenso vorgestellt wie die für Prosumer in Frage kommenden Technologien und ihre zukünftige Rolle als Akteure im Energiesystem. Darüber hinaus werden Alternativen aufgezeigt, wie erneuerbare Energien nach dem Auslaufen der Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) weiter genutzt werden können und so auch über diese Zeit hinaus einen wichtigen und dabei wirtschaftlichen Beitrag zur Energiewende leisten können.

EEG

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) trat im Jahr 2000 in Kraft und gewährt grundsätzlich allen Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien eine Förderung (§ 19 Abs. 1 EEG 2017). Förderfähig ist auch Strom, der vor der Einspeisung zwischengespeichert wurde (etwa in einem Hausspeichersystem) (§ 19 Abs. 3 EEG 2017).

Die Einspeisevergütung wird nur für den tatsächlich vom Netzbetreiber abgenommenen Strom gewährt (§ 21 Abs. 1 EEG 2017). Als Voraussetzung gilt daher, dass der Strom nicht in der unmittelbaren Umgebung des Kraftwerks verbraucht und über das Netz übertragen wird (§ 21 Abs. 2 Nr. 1 EEG 2017). Die Tarifzahlungsfrist beträgt 20 Jahre ab dem Tag der Inbetriebnahme. ***[2]***

1.1 ENERGIEWENDE

Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele sind u. a. die Steigerung der Energieeffizienz, Umstellung des fossilen Kraftwerksparks auf erneuerbare Energien wie Wind-, Wasser- und Solarenergie sowie die zunehmende Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors. Dies ist dann ökologisch sinnvoll, wenn der Großteil des produzierten Stromes aus erneuerbaren Energien stammt und die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu konventionellen Verbrennungsmotoren oder Heizkesseln geringer sind.

Die Energiewende begann ab dem Jahr 2000 mit der Einführung des EEG Fahrt aufzunehmen. Das EEG trat als Nachfolger des Stromeinspeisungsgesetzes in Kraft, welches mit einer Laufzeit von 20 Jahren ab Inbetriebnahme einer Anlage

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

bis heute feste Vergütungssätze zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gewährt **[2]**. Durch das Gesetz wurden unter anderem Förderungen für regenerative Energien gewährt und so deren Ausbau beschleunigt.

Abbildung 1–1 **(siehe Seite 05)** zeigt die Entwicklung der installierten elektrischen Leistung dieser Anlagen im Vergleich zur typischen Verbrauchsleistung in Deutschland bzw. der Leistung aus Kohle- und Atomkraftwerken.

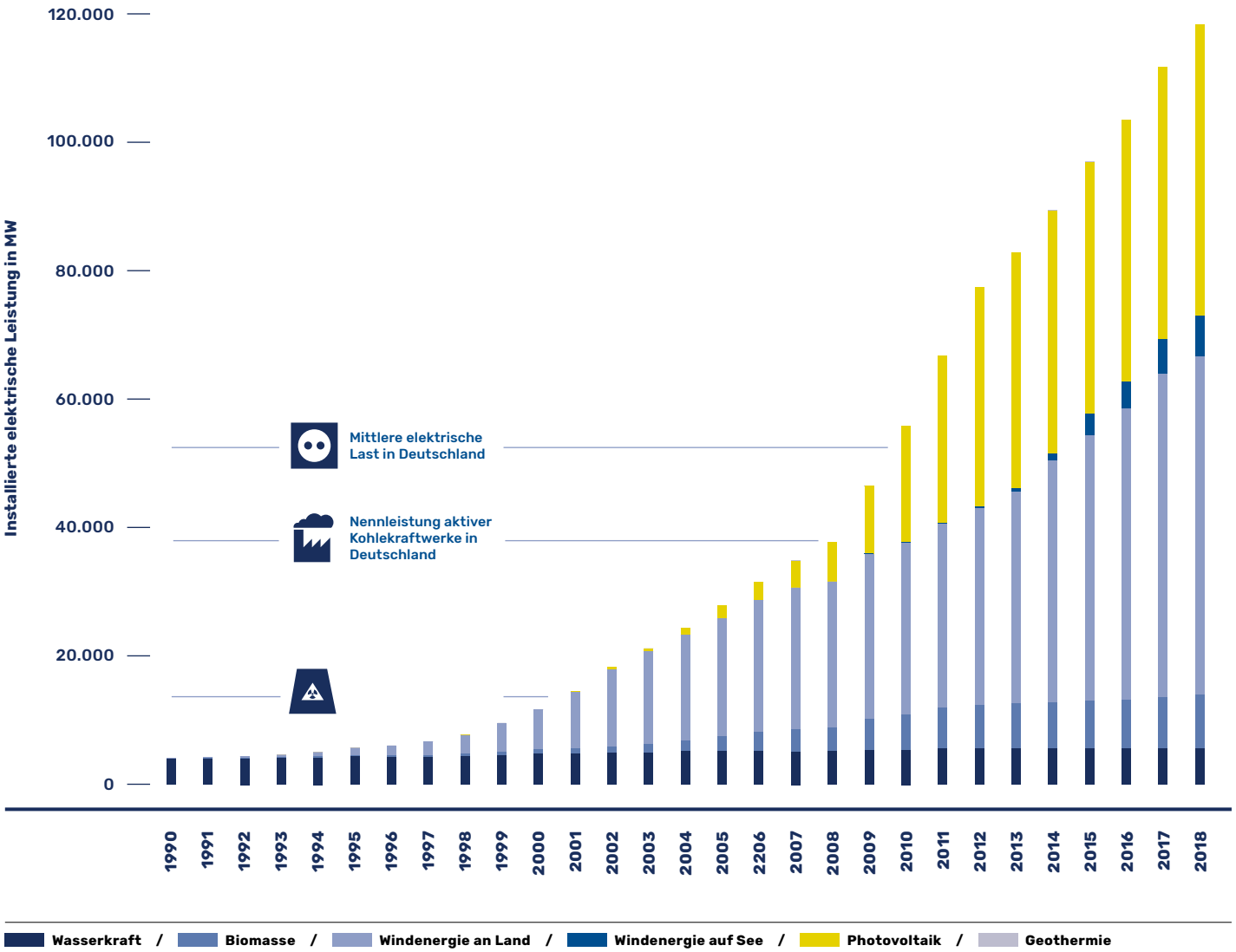
Aus Abbildung 1–1 wird ersichtlich, dass wir bereits über mehr installierte Leistung aus erneuerbaren Energien verfügen, als wir im Mittel in Deutschland benötigen. Da jedoch sowohl Wind als auch Sonneneinstrahlung stark standort-, tages- und witterungsabhängig sind, ist der Anteil der erneuerbaren Erzeugung am Jahresenergieverbrauch in Deutschland deutlich geringer als die installierte Leistung suggeriert. Durch die hohen installierten Leistungen kann es so dazu kommen, dass in Zeiten mit wenig Verbrauch (z. B. Wochenende) bei gleichzeitigem Sonnenschein und hohem Winddargebot deutlich mehr erneuerbare Energie erzeugt als verbraucht wird.

Abbildung 1–2 **(siehe Seite 06)** zeigt, dass die jährlich erzeugte Energiemenge aus erneuerbaren Energien den gesamten Jahresstromverbrauch des Haushalts- bzw. Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungssektors abdecken kann.

Ein wichtiger Bestandteil der Energiewende sind Photovoltaik-Anlagen. Diese können auch mit kleinen Nennleistungen zu relativ geringen Kosten auf Hausdächern installiert werden. Deshalb ist ihre Anzahl bereits auf 1,6 Mio. Stück gestiegen **[5]**. Bisher wurden Privatpersonen von Energieversorgungsunternehmen als reine Verbraucher durch überwiegend Großkraftwerke beliefert. Durch den Zubau von Photovoltaik und Windenergie werden sie nun auch zu Erzeugern, die nur noch in Zeiten ohne ausreichend eigene Erzeugung auf eine Belieferung angewiesen sind. Neue Verbraucher wie Elektrofahrzeuge oder Wärmepumpen führen ebenso wie Photovoltaik-Anlagen zu stärkeren lokalen und regionalen Netzbelastungen, auf die diese bisher nicht ausgelegt waren.

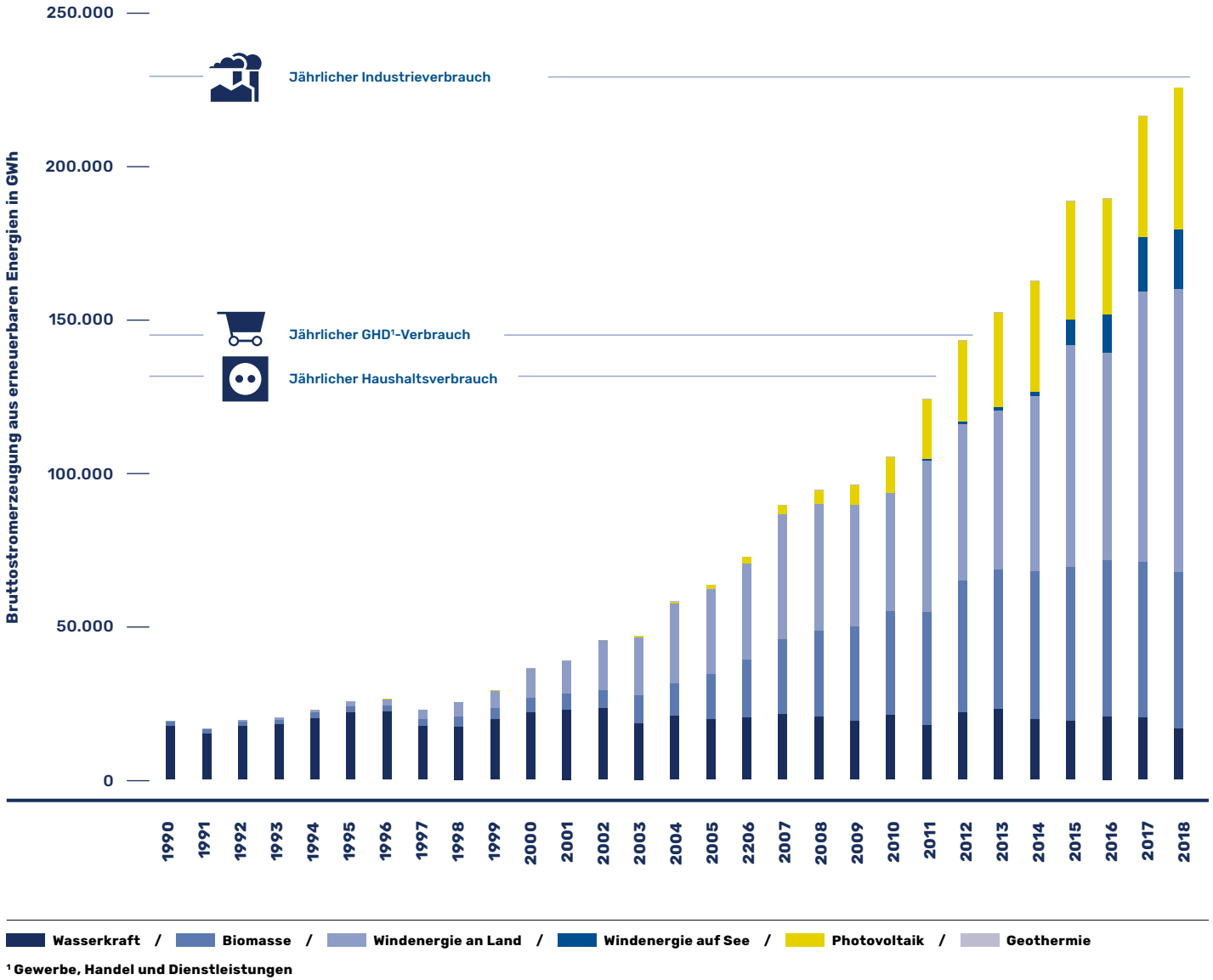
1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROM-NETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1-1 — INSTALLIERTE ELEKTRISCHE LEISTUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN NACH [3], [4]



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROM-NETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1-2 — JÄHRLICHE ERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN UND AUSGEWÄHLTE VERBRAUCHSSEKTOREN IM VERGLEICH NACH [4]



¹ Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Deutschland hat sich mit der Energiewende feste Ziele gesteckt und plant 40 bis 45 % Erzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch im Jahr 2025 und 80 % bis zum Jahr 2050 **[2]**. Zudem erfolgt nach **[6]** sukzessive die Digitalisierung des Energiesystems. Durch eine zunehmende Digitalisierung wird es möglich, die steigende Volatilität der erneuerbaren Energien besser zu erfassen und schneller und gezielter darauf zu reagieren.

1.2 DIGITALISIERUNG

Um die Energiewende und die in Abschnitt 1.1 dargestellten Ziele erreichen zu können, ist eine zunehmende Koordination von Erzeugung und Verbrauch nötig. Dies ist einerseits notwendig, um lokale Netzbelastungen zu reduzieren und andererseits die Stabilität des Energiesystems zu gewährleisten. Denn sind Erzeugung und Verbrauch nicht ausgeglichen, kann es regional zu einer Überlastung von Netzbetriebsmitteln (Leitungen, Kabel, Transformatoren etc.), zu Schwankungen der Spannung oder – bei sehr starken und plötzlichen Abweichungen – zu Abweichungen der Netzfrequenz kommen.

Bei steigender Komplexität des Energiesystems durch zunehmend kleine, dezentrale Erzeugungsanlagen und neue Verbraucher, muss durch Digitalisierung die Abstimmung zunehmend automatisiert vorgenommen und so sowohl die EE-Integration als auch die Sektorkopplung gewährleistet werden. Sie ermöglicht darüber hinaus laufend aktuelle Informationen über Netzzustände, Erzeugungsanlagen und Engpässe sowie eine Automatisierung und bestmögliche Koordination in einem zunehmend verteilten Energiesystem mit vielen kleinen und dezentralen Erzeugungsanlagen.

DIGITALISIERUNG IN DEUTSCHLAND

Im Zuge des „D21-Digital-Index 2018/2019“ wurden deutschlandweit über 2.000 Personen über ihre Kenntnisse und ihr Verständnis zu Begrifflichkeiten der Digitalisierung befragt. Das Ergebnis zeigt einen allgemein niedrigen Wissensstand über Fachbegriffe wie Big Data, Industrie 4.0, E-Government etc. Selbst mittlerweile weit verbreitete Begriffe wie Cloud, Darknet oder Künstliche Intelligenz können nur etwa die Hälfte der Befragten erklären, wobei die Cloud mit 57 % der Befragten am besten abschneidet. Das speziell zu Themen der Digitalisierung in der Energiewirtschaft noch große Wissenslücken bestehen, zeigt das Ergebnis zur Kenntnis über den Begriff Smart Meter – nur 9 % der Befragten fühlen sich in der Lage, die Technologie zu beschreiben. Der Smart Meter schneidet somit am schlechtesten von allen erfragten Begriffen ab **[7]**. *Dieser Leitfaden und speziell der Leitfaden „Smart Meter – Umfeld, Technik, Mehrwert“ der FfE kann hier für Aufklärung sorgen.*

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Die Digitalisierung soll im Energiesystem nach dem „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende" in den nächsten Jahrzehnten umgesetzt werden **[8]**. Nach dem im Gesetz verankerten Rollout-Plan müssen unterschiedliche Verbrauchs- und Erzeugungsgruppen bis zu festgelegten Zeitpunkten mit der notwendigen Infrastruktur ausgestattet sein. Für einige dieser Gruppen ist der Einbau von „intelligenten Messsystemen", auch häufig „Smart Meter" genannt, verpflichtend.

Die geplante digitale Infrastruktur ist jedoch modular aufgebaut und gliedert sich in eine digitale, aber nicht kommunikationsfähige Datenerfassung („moderne Messeinrichtung"), welche den bisherigen analogen Stromzähler ersetzt. An diese moderne Messeinrichtung kann ein sogenanntes „Smart Meter Gateway" (SMGW) angeschlossen werden, welches die erfassten Messwerte (z. B. Stromverbrauch) an berechtigte Empfänger sendet.

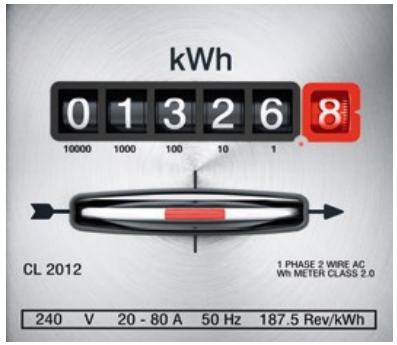
Im Nachfolgenden erfolgt ein Kurzüberblick über die beiden Systeme sowie deren Eigenschaften.

Moderne Messeinrichtung

Die moderne Messeinrichtung (mME) ersetzt den bisher vorhandenen Ferrariszähler mit der analogen Drehscheibe durch einen digitalen Zähler. Dieser ist nicht dazu in der Lage, die Daten von selbst nach außen zu kommunizieren, eine händische Ablesung mit einer Papierkarte ist weiter notwendig. Der Zähler bietet jedoch detailliertere Informationen über den tatsächlichen Energieverbrauch (tages-, wochen-, monats- und jahresbezogen), die tatsächliche Nutzungszeit über eine digitale Anzeige und Schnittstellen für die Anbindung eines SMGW.

Das Messstellenbetriebsgesetz (§ 29 MsbG) sieht einen verpflichtenden Einbau für alle Letztverbraucher bis zum Jahr 2032 vor.

FERRARISZÄHLER



Der bisher verbaute Ferrariszähler wird durch eine moderne Messeinrichtung ersetzt.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Smart Meter Gateway

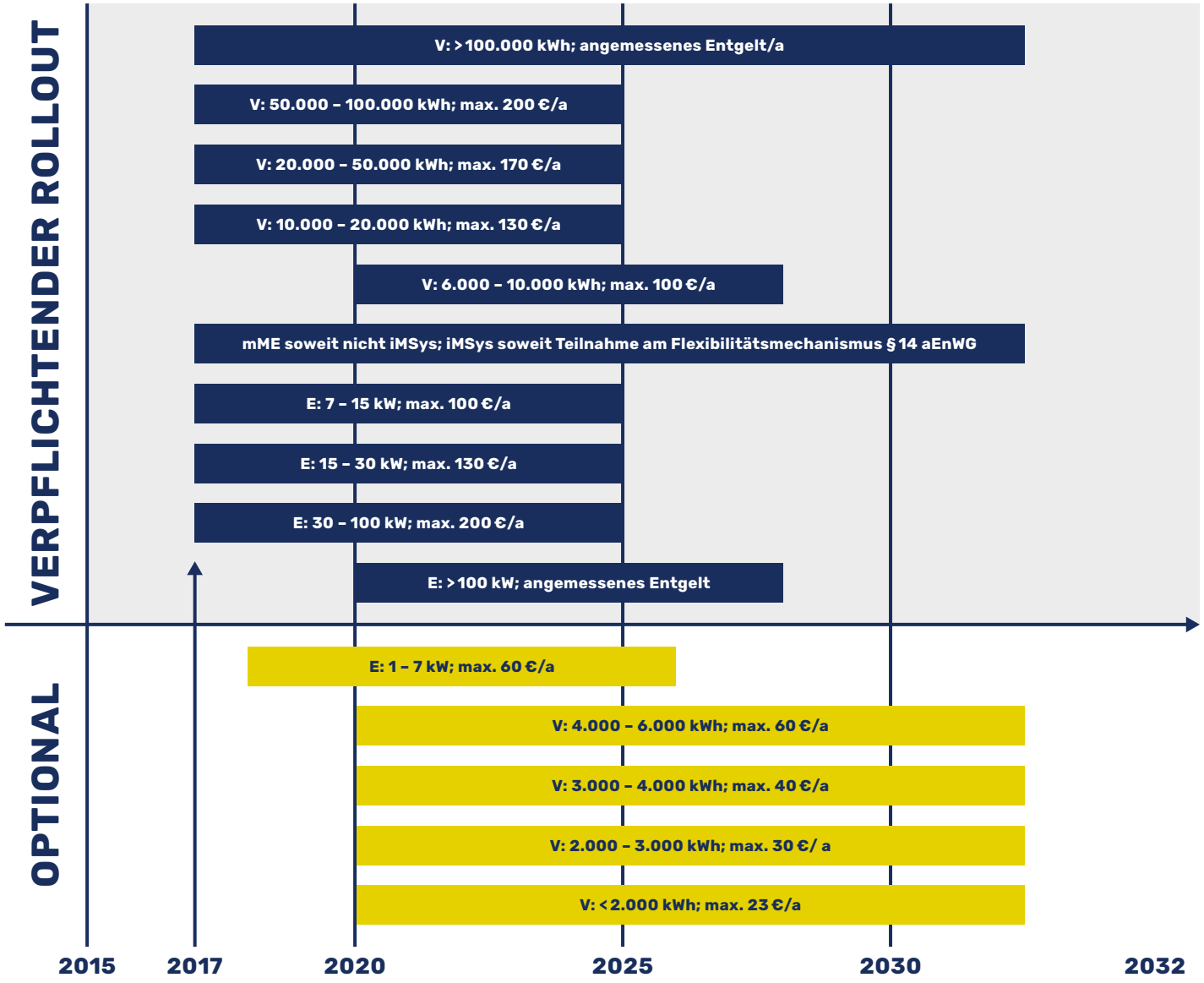
Die mME kann modular durch ein SMGW ergänzt werden. Die Kombination dieser beiden Technologien wird als „intelligentes Messsystem" (iMSys) oder auch umgangssprachlich als „Smart Meter" bezeichnet. Erst durch das SMGW können Daten über unterschiedliche Kommunikationswege ausgelesen und so z. B. die händische Ablesung überflüssig gemacht werden. Über das iMSys können ebenso Zähler weiterer Sparten (z. B. Gas, Wasser) abgelesen sowie Daten lokal auf privaten Endgeräten visualisiert werden. Detaillierte Informationen zum SMGW, rechtlichen und technischen Grundlagen, dem Rollout und dem allgemeinen Mehrwert sind dem Leitfaden „Smart Meter – Umfeld, Technik, Mehrwert" zu entnehmen.

Der gesetzlich festgelegte Rolloutplan für mME und iMSys ist in Abbildung 1–3 dargestellt.

Durch die Digitalisierung bieten sich Chancen und Möglichkeiten für die Energiewende. Die Projektregion Altdorf in Niederbayern dient in den nachfolgenden Kapiteln als reales Beispiel zur Veranschaulichung der Herausforderungen der Energiewende in einem solargeprägten Netz.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
1.1 ENERGIEWENDE
1.2 DIGITALISIERUNG
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1-3 — ROLLOUTPLAN UND PREISOBERGRENZEN NACH [8]



V: Verbraucher / E: Erzeuger / mME: moderne Messeinrichtung / iMSys: intelligentes Messsystem

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

2

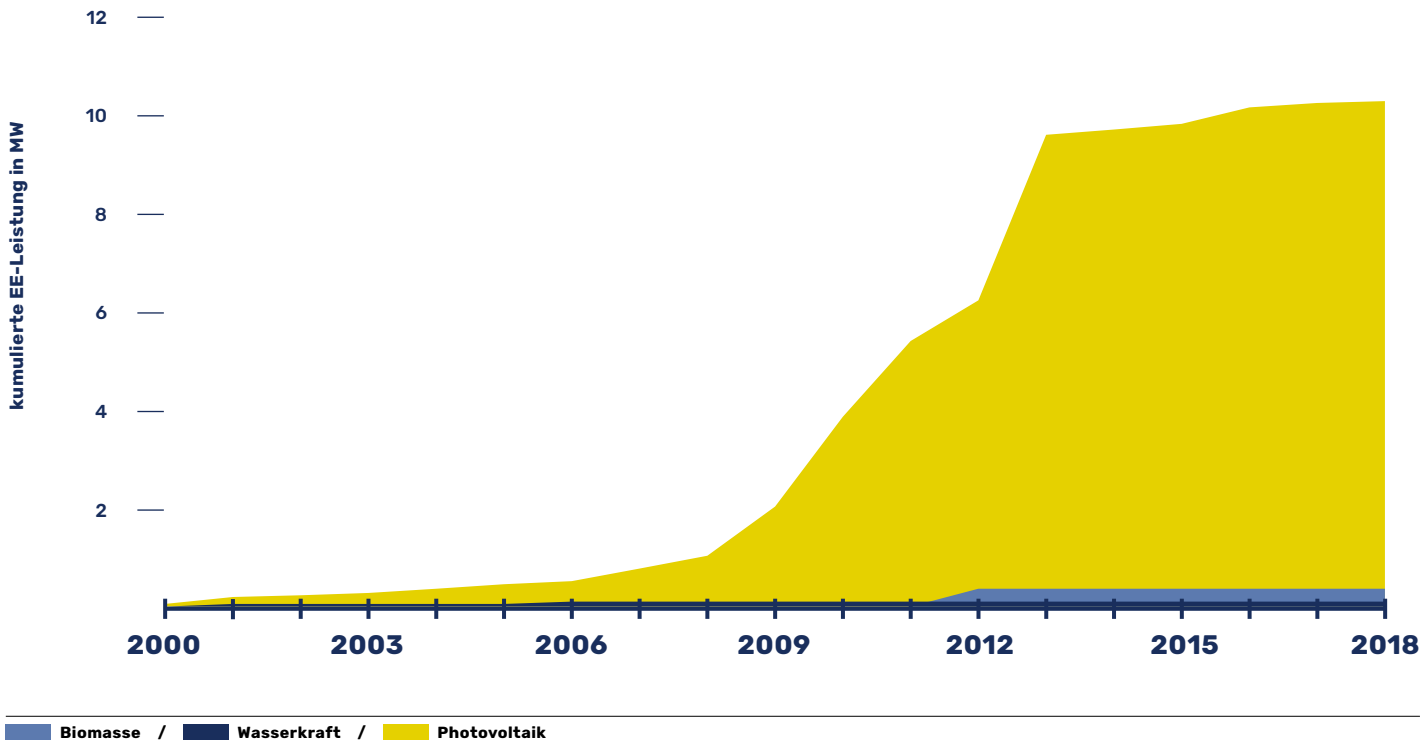
HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Das Demonstrationsvorhaben „Altdorfer Flexmarkt" ist Teil des Projektes C/sells (www.ffe.de/csells), welches Fragestellungen rund um die Koordination von flexiblen Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen analysiert. Die Studie zeigt die veränderte Rolle von privaten Letztverbrauchern im Energiesystem sowie die Möglichkeiten der Partizipation auf und setzt eine eigens dafür entwickelte Flexibilitäts-Plattform in Altdorf bei Landshut um.

2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF

ABBILDUNG 2-1 — ENTWICKLUNG DER INSTALLIERTEN EE-LEISTUNG IM MARKT ALTDORF



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

In Altdorf als Untersuchungsregion bestand der Zubau erneuerbarer Energien (EE) vor allem aus Photovoltaik-Anlagen **(vgl. Abbildung 2–1)**.

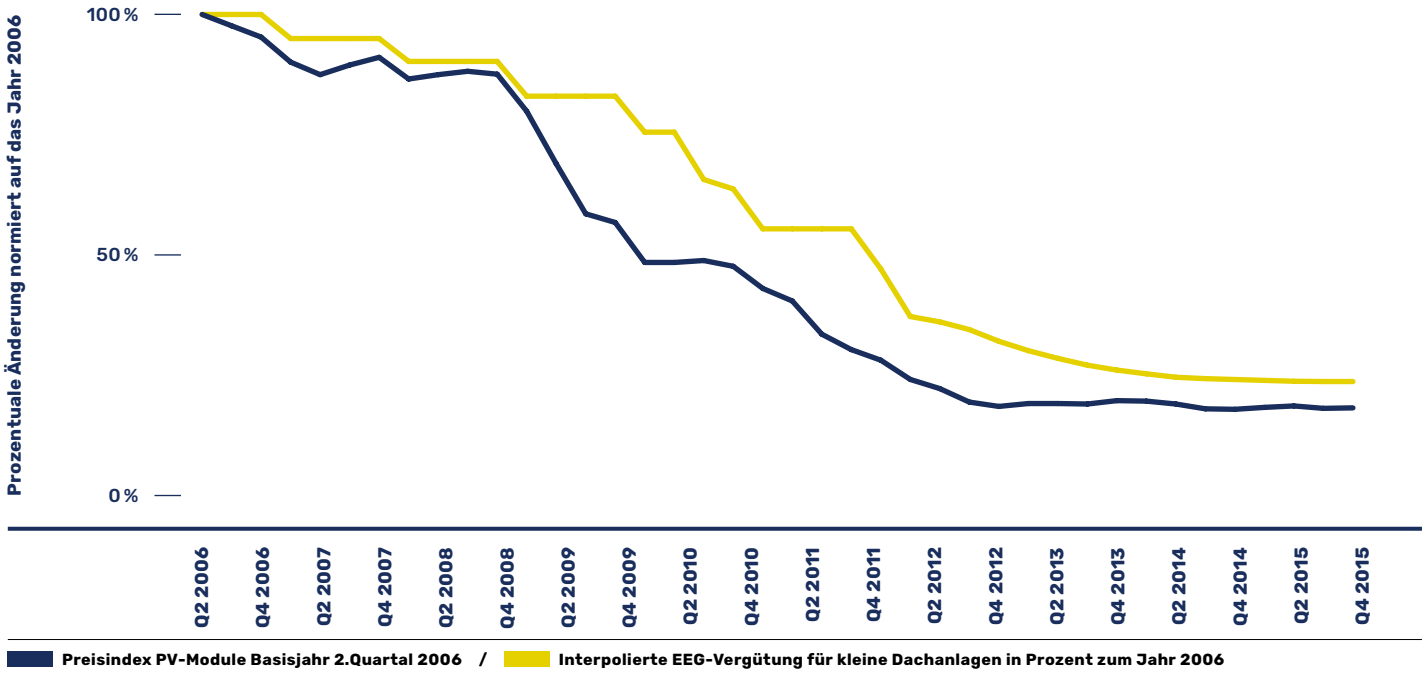
Im Zeitraum zwischen 2008 und 2013 sanken die Preise für Photovoltaikmodule erheblich, die EEG-Vergütung reduzierte sich jedoch nicht in gleichem Maße. Aufgrund dieser Entwicklung konnten im Vergleich zu heute höhere Renditen erreicht werden. Dies wird aus dem steigenden Abstand zwischen den Photovoltaikmodulpreisen und der EEG-Vergütung in Abbildung 2–2 ersichtlich. In Abbildung 2–2 wurde die EEG-Vergütung für kleine Dachanlagen (kleiner 10 kWp) unter Verwendung von Mittelwerten auf Quartale zusammengefasst, die entstehende Treppenfunktion interpoliert und auf das Jahr 2006 normiert.

WEITERE KOMPONENTEN EINER PV-ANLAGE

Für die Installation einer Solaranlage sind neben den PV-Modulen noch weitere Komponenten notwendig. Diese kommen zu den Modulpreisen noch hinzu und umfassen nach [9]:

- ***Montagesystem***
- ***Wechselrichter***
- ***Verkabelung***
- ***einzelne Schalter***
- ***Schutz gegen Blitzeinschlag***
- ***IT Systeme***
- ***Steuerungssysteme***

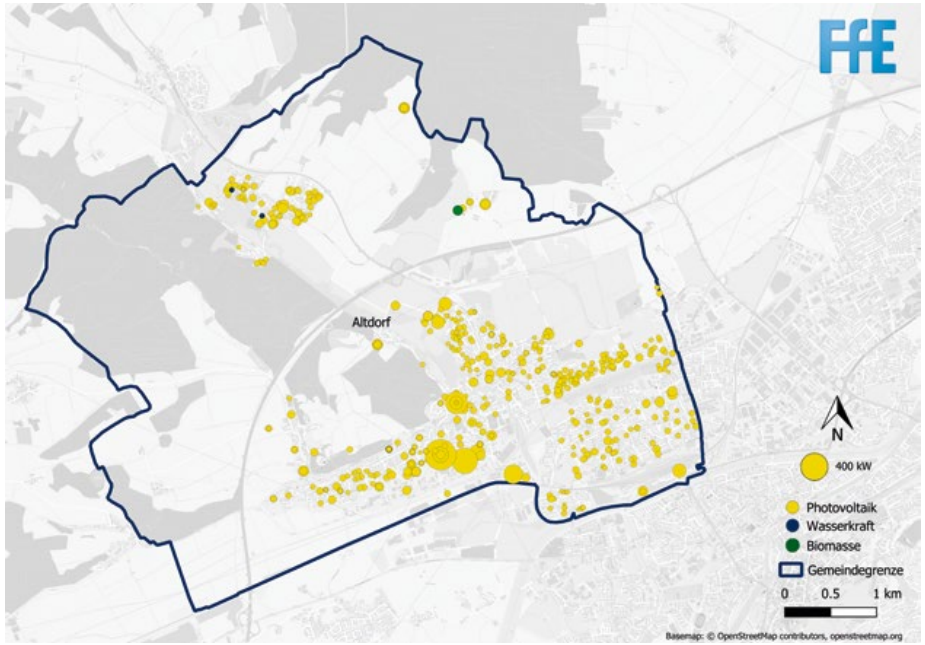
ABBILDUNG 2-2 — ENTWICKLUNG DES PREISES DER PV-MODULE PROZENTUAL ZUM JAHR 2006 SOWIE DIE INTERPOLIERTE EEG-VERGÜTUNG FÜR KLEINE DACHANLAGEN NACH DEM DATUM DER INBETRIEBNAHME ZUM JAHR 2006. [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Ende des Jahres 2016 ist im Markt Altdorf eine kumulierte EE-Leistung von ca. 10 MW installiert **[18]**. Diese Anlagen sind nicht auf wenige Standorte gebündelt, sondern verteilen sich flächenmäßig auf die bebauten Gebiete **(vgl. Abbildung 2-3)**. Je nach verwendeter Betrachtung bieten allein die Dachflächen in der Kommune ein Photovoltaik-Potenzial von insgesamt 30 MW **[19]**.

ABBILDUNG 2-3: VERTEILUNG DER EE- ANLAGEN IM MARKT ALTDORF



Photovoltaik-Anlagen auf Gebäuden, zusätzliche Verbraucher wie Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge werden primär in die Niederspannungsebene eingebunden. Daher wird im Folgenden die Belastung exemplarisch für ein entsprechendes Netzgebiet untersucht und dargestellt.

ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG VON WÄRMEPUMPEN UND ELEKTROFAHRZEUGEN

Wie viele Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge in Zukunft tatsächlich vorhanden sein werden ist nur schwer abzuschätzen. Je nach betrachtetem Szenario wird für Wärmepumpen eine Anzahl zwischen 3,2 und 17 Millionen Stück im Jahr 2050 erwartet. Bei Elektrofahrzeugen ergibt sich für das selbe Zieljahr eine Bandbreite zwischen 11,3 und 35,7 Millionen. ***[20]***

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET

Mit dem Ziel, kritische Netzsituationen zu identifizieren, wurden im Rahmen des Projekts die zukünftigen Herausforderungen auf Netzseite mithilfe des an der FfE entwickelten Verteilnetz-Simulationsmodells „GridSim" für ein Niederspannungsnetz in Altdorf simuliert. Bei dem betrachteten Niederspannungsnetz handelt es sich um eine Streu- und Einfamilienhaussiedlung mit 167 Wohneinheiten.

Insgesamt wurden drei Simulationen mit unterschiedlichen Szenarien über ein ganzes Jahr durchgeführt.

1. Ausgangsszenario „Status Quo": Abbildung der aktuellen Netzbelastung

2. Szenario „Elektrifizierte Netzteilnehmer": Abbildung der zukünftigen Netzbelastung unter Annahme einer zunehmenden Elektrifizierung im Wärme- und Verkehrssektor

3. Szenario „Dezentral optimierte, elektrifizierte Netzteilnehmer": Abbildung der zukünftigen Netzbelastung mit optimierter Betriebsweise der elektrischen Verbraucher

Die mit den unterschiedlichen Szenarien verknüpften Parameter finden sich in Abbildung 2–4 **(siehe Seite 16)**.

Für das Ausgangsszenario „Status Quo" wurden für die Durchdringung mit Photovoltaik-Anlagen, Wärmepumpen und elektrischen Speicherheizungen die in Abbildung 2–4 **(siehe Seite 16)** dargestellten Werte aus realen Netzdaten entnommen. Für die Betriebsweise der Anlagen wurden heutzutage typische, bedarfsgeführte Ansätze gewählt. Elektrospeicherheizungen werden somit bevorzugt zu einem vergünstigten Tarif nachts geladen. Wärmepumpen werden hingegen ausschließlich wärmegeführt betrieben. Der Anteil von stationären

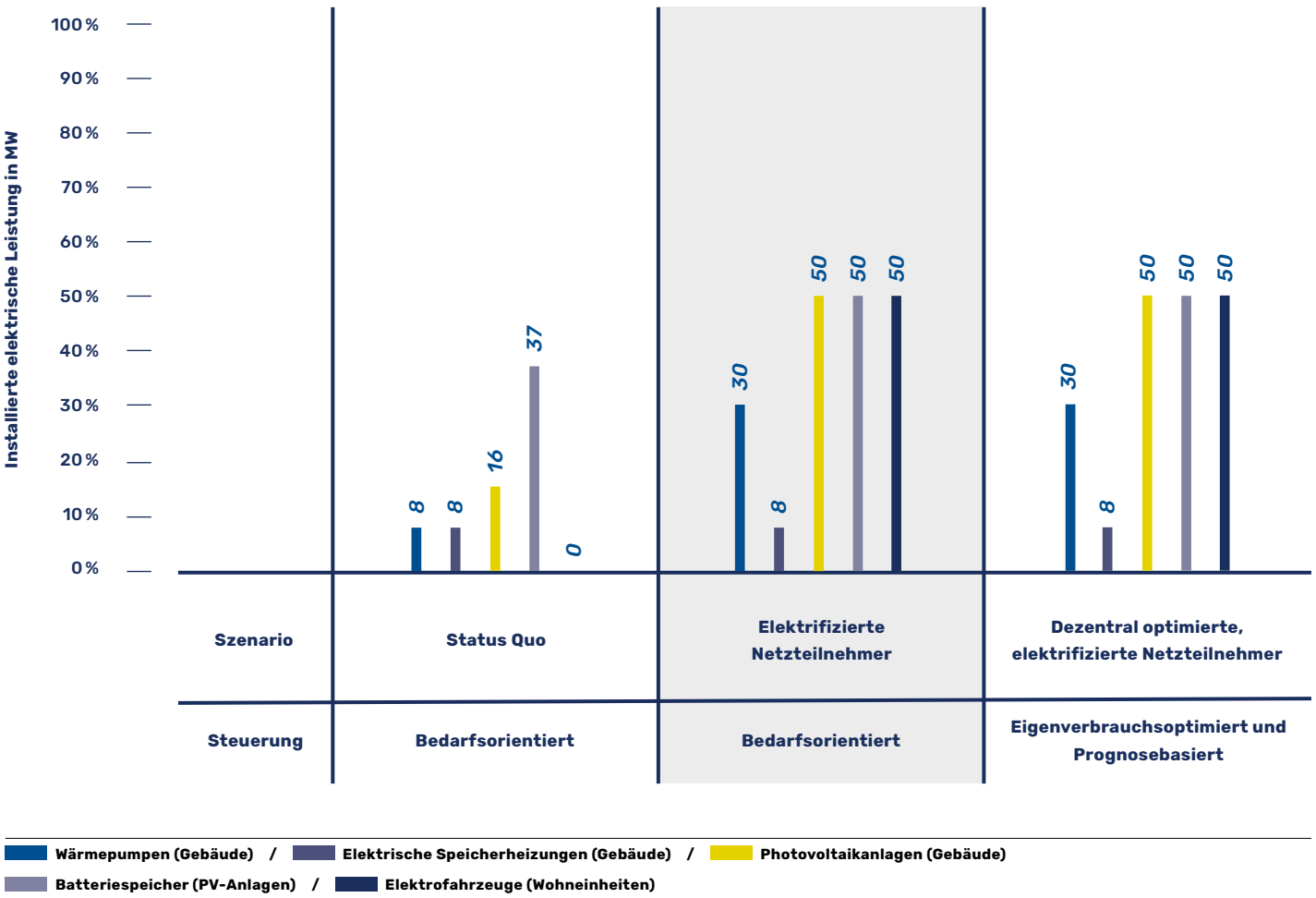
STROMNETZE UND SPANNUNGSEBENEN

Das Energiesystem ist seit seinem Entstehen darauf ausgelegt, Energiemengen aus Großkraftwerken über teils große Distanzen zu den Verbrauchern zu transportieren. Um die Verluste auf den Transportwegen möglichst gering zu halten, erfolgt die Übertragung mit hohen Spannungen von bis zu 380.000 Volt im sog. Übertragungsnetz. Da diese Spannung für die meisten Verbraucher zu hoch ist, wird sie über Umspannwerke und (Ortsnetz-) Transformatoren für das lokale Verteilnetz reduziert. Die so entstehenden Spannungsebenen unter dem Übertragungsnetz gliedern sich in Hochspannung (110 kV), Mittelspannung (bis ca. 50 kV) und Niederspannung (400 V) und werden von Verteilnetzbetreibern betrieben. An der Niederspannung sind wiederum Haushalte angeschlossen, die 400 V („Starkstrom") für z. B. Elektroherde und 230 V für normale Haushaltsgeräte erhalten.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Batteriespeichern und Elektrofahrzeugen im Netzgebiet liegt nach Hochrechnungen aus landesweiten Daten **[37]** bei rund 37 %. Die stationären Batteriespeicher laden hierbei den von der jeweiligen Photovoltaik-Anlage erzeugten Überschuss. Aufgrund der derzeit geringen Anteile von Elektrofahrzeugen in

ABBILDUNG 2-4 — ÜBERSICHT ÜBER DIE DURCHDRINGUNGSGRADE RELEVANTER KOMPONENTEN IN DEN VERSCHIEDENEN SZENARIEN



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

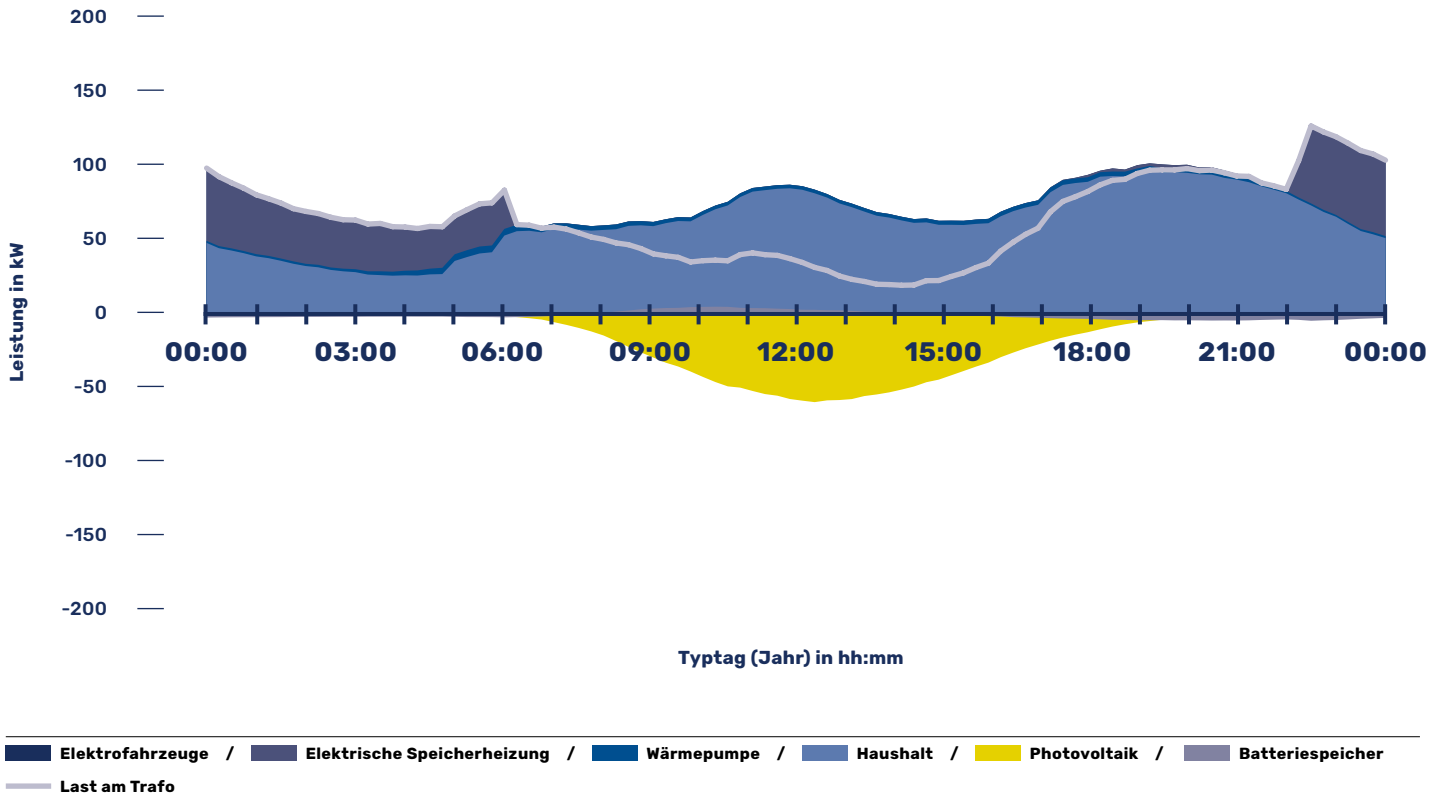
Deutschland wurden für das Netzgebiet in Altdorf keine Elektrofahrzeuge berücksichtigt **[21]**. Das Ergebnis der Simulation des Szenarios „Status Quo" wird in Abbildung 2–5 dargestellt.

Die Abbildung 2–5 zeigt die Auslastung an einem Ortsnetztransformator, welche sich aus den summierten Lastgängen der einzelnen Verbraucher und Erzeuger ergibt. Während des Tages wird die Auslastung des Transformators vor allem durch die Haushalte mit einer mittleren Höchstlast von rund 100 kW in den Abendstunden bestimmt. In der Mittagszeit ist die Trafoauslastung durch die Photovoltaik-Einspeisung deutlich geringer als die Haushaltslast, der Lastfluss

HT/NT-TARIFE

Vor allem bei Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen kommt ein sogenannter Doppeltarif zum Einsatz. Dabei wird in der Nacht der Strom für die Heizung zu einem vergünstigten Tarif bezogen (sogenannte Nachttarif). Die Umschaltung zwischen dem Nachttarif und dem „Tagtarif" erfolgt dabei automatisch, wobei die Umschaltzeiten von dem jeweiligen Netzbetreiber abhängen.

ABBILDUNG 2–5 — VERLAUF DER LEISTUNGSGÄNGE VERSCHIEDENER ERZEUGER UND VERBRAUCHER ÜBER EINEN TYPTAG IM AUSGANGSSZENARIO „STATUS QUO"



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

am Transformator bleibt am mittleren Tag allerdings auch zum Zeitpunkt der stärksten Photovoltaik-Erzeugung positiv und es kommt zu keiner Rückspeisung in das Mittelspannungsnetz. Der Zeitpunkt der höchsten Trafolast ist um 22:00 Uhr und resultiert neben der Haushaltslast aus den sich einschaltenden elektrischen Speicherheizungen. Die Wärmepumpen tragen aufgrund des geringen Anteils im Netzgebiet und dem kontinuierlichen Betrieb nur geringfügig zur mittleren Trafolast bei. Selbst bei Betrachtung der für das Netz kritischen Extremtage kommt es lediglich zu einer maximalen Auslastung des Transformators von knapp 40 %.

Um zukünftige Herausforderungen für die Verteilnetze darzustellen, wurde im zweiten Schritt das Szenario „Elektrifizierte Netzteilnehmer" simuliert. Hierfür wurden für die Durchdringung elektrischer Erzeuger und Verbraucher die in Abbildung 2–4 **(siehe Seite 16)** dargestellten Annahmen getroffen. Elektrofahrzeuge werden in diesem Szenario mit einer Leistung von 11 kW geladen, sobald diese an einer Ladestation zu Hause angeschlossen werden. Die Steuerungen von Batteriespeichern, Wärmepumpen und elektrischen Speicherheizungen bleiben unverändert. In Abbildung 2–6 **(siehe Seite 19)** sind die Ergebnisse des Szenarios „Elektrifizierte Netzteilnehmer" dargestellt, wobei sich ein stark veränderter Trafolastgang zeigt.

Der höhere Anteil an Photovoltaik-Anlagen führt zu einer Verdreifachung der mittleren Photovoltaik-Einspeiseleistung. Um die Mittagszeit resultiert daraus eine negative Trafolast und es kommt zu einer Rückspeisung in das Mittelspannungsnetz. Gegen Abend überwiegt der Verbrauch gegenüber der Erzeugung und die Trafolast steigt bis ca. 160 kW an, was einer Steigerung der Spitzenlast von 60 % gegenüber dem Ausgangsszenario entspricht. Grund für die hohe Last ist vor allem die hohe Ladeleistung der Elektrofahrzeuge, welche mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gleichzeitig laden. Zudem trägt die kontinuierliche Last durch Wärmepumpen von ca. 10 – 30 kW zu einer erhöhten Trafolast bei. Gleichzeitig wird die mittlere Spitzenlast am Trafo um lediglich ca. 15 kW durch Batteriespeicher reduziert, wenn der am Vormittag eigenproduzierte und gespeicherte Solarstrom genutzt wird.

TYPTAGE

Die Darstellungsform eines „Typtages" bietet den Vorteil, dass nicht zufälligerweise ein einzelner Tag mit sehr untypischen (sehr hohes oder sehr niedriges) Lastverhalten dargestellt wird. Für die Bildung des typischen Lastganges werden alle vorhanden Werte, die über ein Jahr zu einem Zeitpunkt auftreten, gemittelt, um somit ein mittleres Verhalten abzuleiten. Über das Jahr treten somit Zeiten auf, in welchen die Leistung sowohl höher als auch niedriger als am Typtag ist.

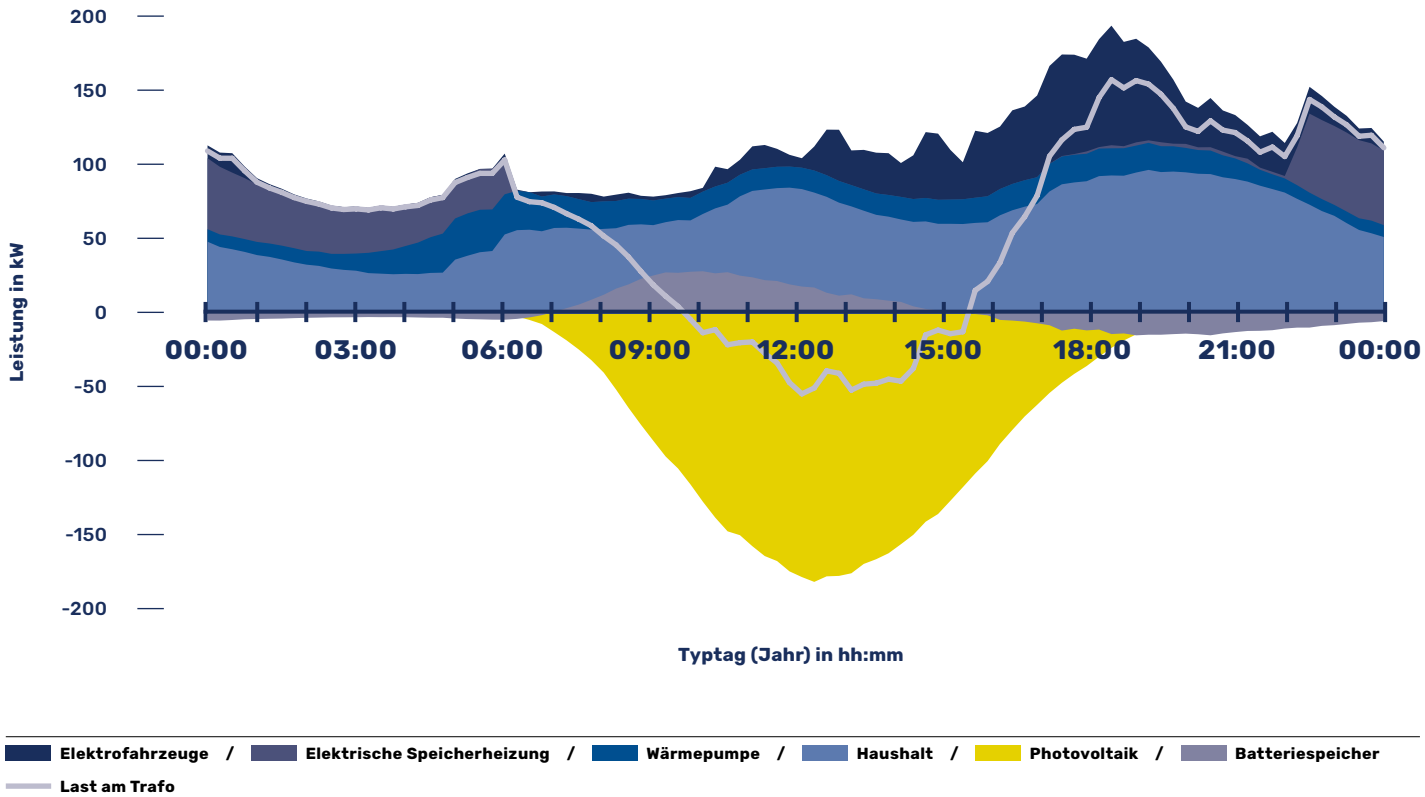
EXTREMTAGE

Im Gegensatz zum Typtag, wird bei der Betrachtung des Extremtages der Tag bzw. Zeitraum ausgesucht, welcher für das Netz die höchste Belastung aufweist. Oft tritt diese hohe (extreme) Belastung nur zu wenigen Zeitpunkten auf.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Zukünftig sind im Verteilnetz genau diese Lastspitzen von Bedeutung. Abweichend von den hier gezeigten mittleren Tagen kann es an extremen Tagen zu Betriebsmittelüberlastungen oder Verletzungen des erlaubten Spannungsbands kommen. Ursachen dafür können sowohl höhere Verbräuche einer zunehmend größeren Anzahl elektrischer Verbraucher, verändertes Verbraucherverhalten wie z. B. Ladegleichzeitigkeit als auch Rückspeisungen von Photovoltaik-Erzeugung ins Netz sein. Im Szenario „Elektrifizierte Netzteilnehmer" zeigt sich für den Tag mit der höchsten Lastspitze eine Trafoauslastung von 78 %. Es kommt also noch nicht zu einer Überlastung der Betriebsmittel, aber zu einer deutlichen Mehrbelastung gegenüber dem Status Quo. Während dies durch die

ABBILDUNG 2-6 — VERLAUF DER LEISTUNGSGÄNGE VERSCHIEDENER ERZEUGER UND VERBRAUCHER ÜBER EINEN TYPTAG IM SZENARIO „ELEKTRIFIZIERTE NETZTEILNEHMER"

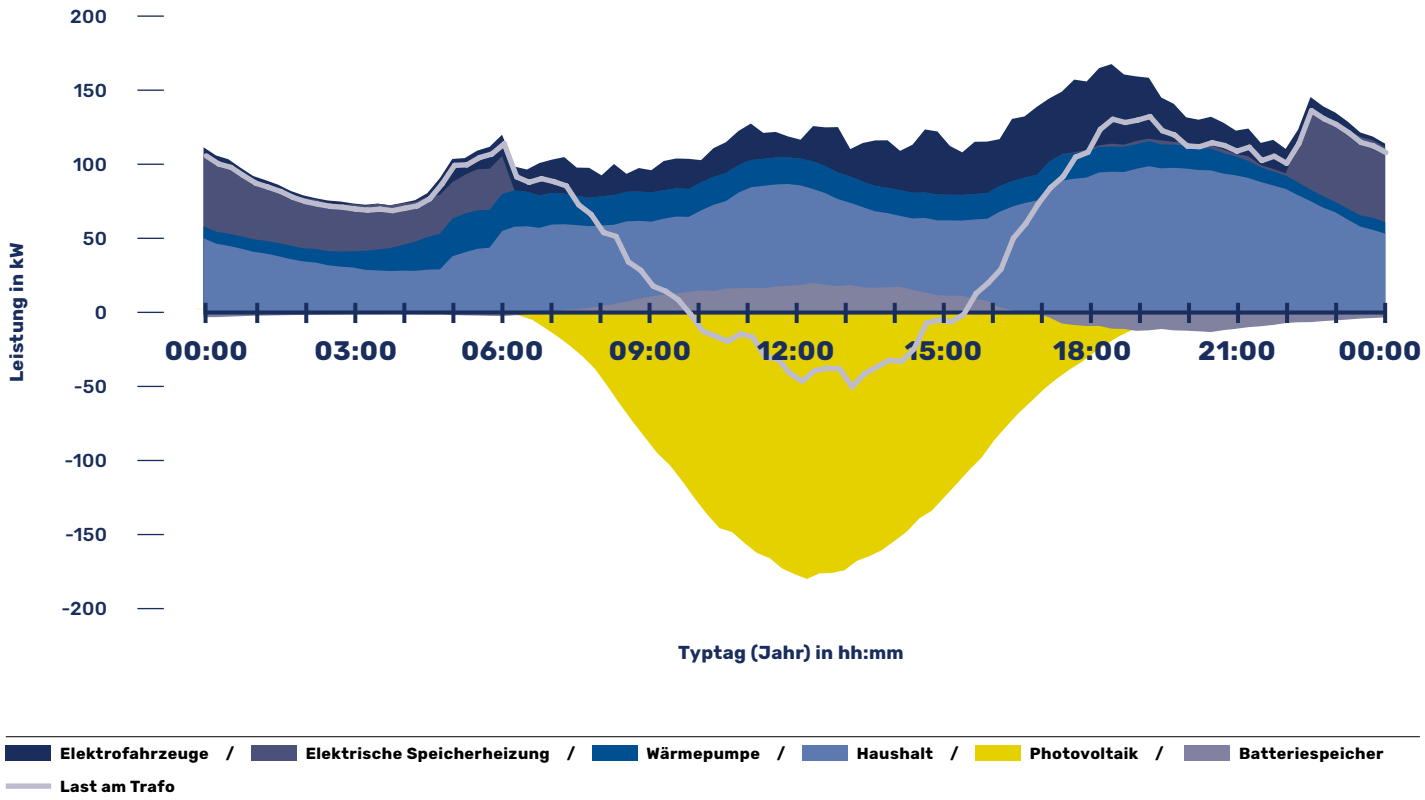


1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Trafodimensionierung im betrachteten Netz keinen direkten Netzausbaubedarf nach sich zieht, kann es in vielen anderen Netzen jedoch dazu kommen, wenn diese auf den Status Quo ausgelegt sind.

In einem dritten Schritt wurde das Szenario „Dezentral optimierte, elektrifizierte Netzteilnehmer" simuliert. Dieses unterscheidet sich gegenüber dem Szenario „Elektrifizierte Netzteilnehmer" durch eine eigenverbrauchsoptimierte Steuerung des Ladeverhaltens der Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen. Zudem wird eine prognosebasierte Steuerung der Batteriespeicher simuliert, um die durch eine zunehmende Elektrifizierung entstehenden kritischen Lastspitzen und die

ABBILDUNG 2-7 — SZENARIO „DEZENTRAL OPTIMIERTE, ELEKTRIFIZIERTE NETZTEILNEHMER"



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

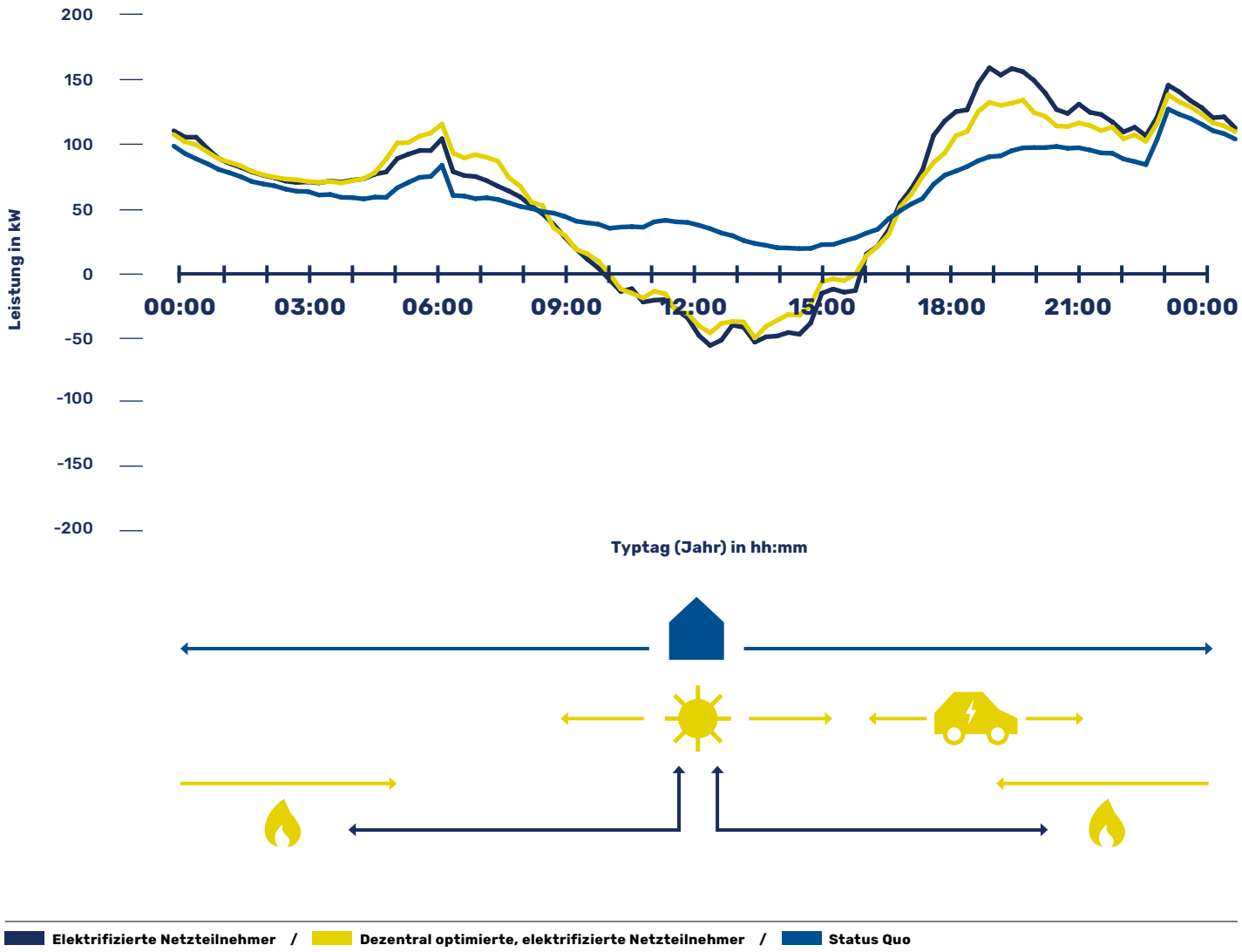
Rückspeisung aus der Photovoltaik-Erzeugung zu verringern. Im dargestellten Diagramm führt dies vor allem zu einem gleichmäßigeren Leistungsbezug der Elektrofahrzeuge **(vgl. Abbildung 2–7)**. Diese werden nicht mehr direkt beim Anschließen des Fahrzeuges geladen, sondern bevorzugt bei verfügbarer Überschussleistung aus der Photovoltaik-Erzeugung. Dadurch ergibt sich auch in der Mittagszeit eine höhere Ladeleistung der Elektrofahrzeuge und die abendliche Lastspitze reduziert sich. Das gleiche Prinzip gilt ebenfalls für Wärmepumpen. In Kombination mit einem thermischen Speicher können diese bevorzugt bei Überschussleistung aus der Photovoltaik-Anlage angesteuert werden, unabhängig vom Wärmebedarf. Bei Batteriespeichern werden durch prognosebasierte Steuerung die Speicher an sonnenreichen Tagen vormittags nicht vollständig mit der Residuallast geladen. Unter Einbeziehung einer Photovoltaik-Prognose wird Kapazität freigehalten, um die im Verlauf des Tages anfallende mittlere Erzeugungsspitze einzuspeichern. Durch eine derartige dezentrale Steuerung der elektrischen Komponenten kann die mittlere Lastspitze um ca. 16 % und die maximale Photovoltaik-Rückspeisung um ca. 6 % im Vergleich zum vorherigen Szenario reduziert werden. Die maximale Auslastung des Transformators kann zudem um ca. 17 % reduziert werden.

Die drei Simulationen zeigen, dass im Rahmen zukünftiger Entwicklungen ein Trafolastgang mit ausgeprägten Lastspitzen zu erwarten ist. Abweichend von den dargestellten, mittleren Lastspitzen führen Extremwerte an bestimmten Tagen trotz optimierter Verbrauchssteuerung zu einer erhöhten Auslastung der Betriebsmittel, was bei fortschreitender Durchdringung zu Problemen im zukünftigen Netzbetrieb führen kann **(vgl. Abbildung 2–8)**.

Das Szenario „Dezentral optimierte, elektrifizierte Netzteilnehmer“ zeigt, dass durch ein eigenverbrauchs- und prognoseoptimiertes Betriebsverhalten die Netzbelastung durch Wärmepumpen, elektrische Speicherheizungen, Elektrofahrzeuge und Batteriespeicher reduziert werden kann.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

ABBILDUNG 2-8 — GEGENÜBERSTELLUNG DER TRAFOLAST AUS DEN DREI VORGESTELLTEN SZENARIEN



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
2.1 ENERGIEWENDE IN ALTDORF
2.2 NETZBELASTUNG IN EINEM EXEMPLARISCHEN GEBIET
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Alles in allem zeigt das Beispiel Altdorf und weitere Projekte (vgl. **[22]**), dass die heutigen Niederspannungsnetze in der Vergangenheit großzügig dimensioniert oder bereits vorausschauend ausgebaut wurden. Die Auswertungen zeigen jedoch auch, dass es durch die Energiewende und die Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors in Zukunft zu hohen Lastspitzen kommen wird. Die Lastspitzen können entweder durch teuren Ausbau der Netze bis auf das „letzte Kilowatt" erfolgen oder vorhandene Flexibilität im Verteilnetz gezielt eingesetzt werden, um dies zu vermeiden. Flexibilität wird daher in Zukunft insbesondere auch im Verteilnetz eine wichtige Rolle spielen. Da hier vor allem private Letztverbraucher angeschlossen sind, wird deren Bedeutung sowie Verantwortung in Zukunft (insbesondere durch die Digitalisierung) im nachfolgenden Abschnitt detailliert thematisiert.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

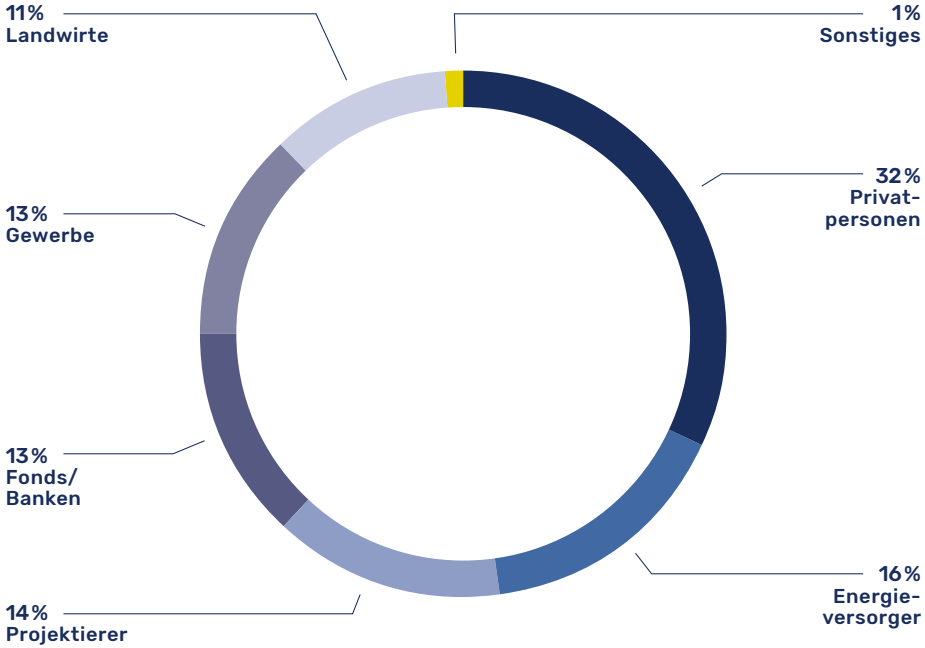
3

LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

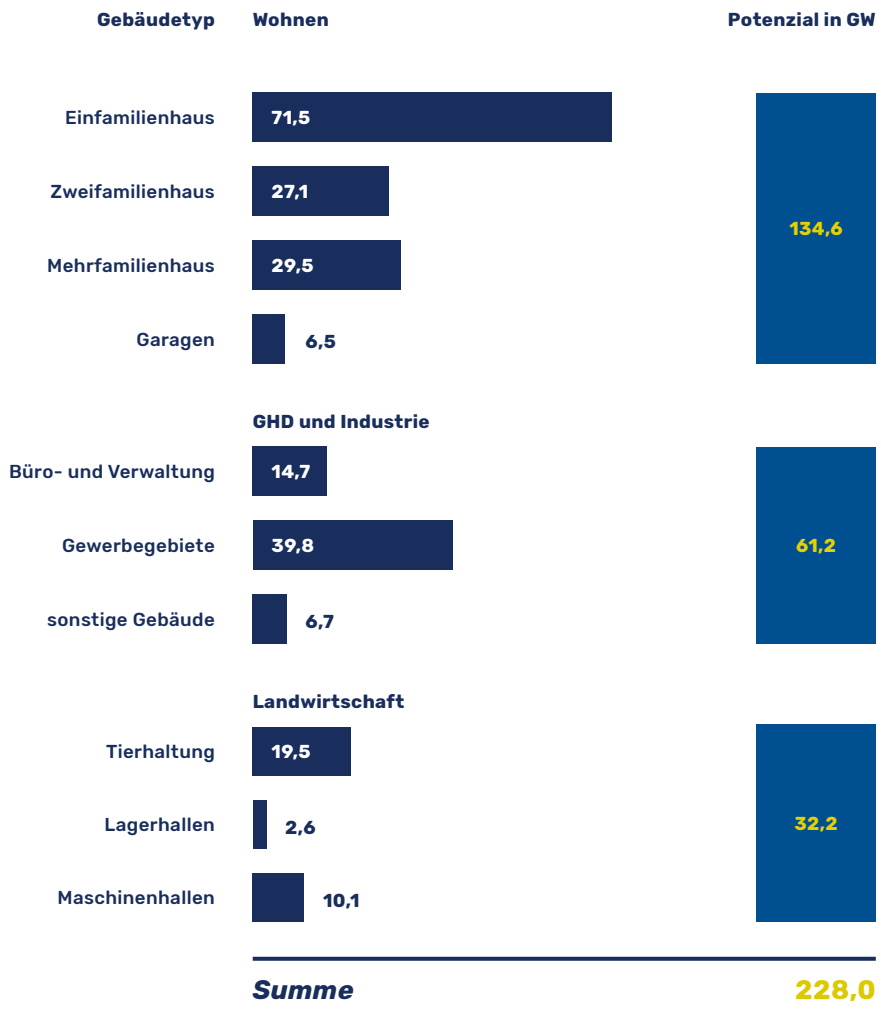
War die Energieerzeugung seit jeher in der Hand und klare Aufgabe von Energieversorgungsunternehmen, ändert sich dieses Rollenbild mit der Energiewende. Abbildung 3–1 zeigt, dass sich ca. ein Drittel der bundesweit installierten Erzeugungsleistung im Eigentum von Privatpersonen befindet. Neben finanziellen Vorteilen durch Kostenersparnisse bei der Stromversorgung oder die Optimierung des Eigenverbrauchs zählen insbesondere der Umwelt- und Klimaschutz zu Hauptgründen für private Investitionen in erneuerbare Energien **[23]**. Lediglich 16 % der installierten Leistung befinden sich in der Hand von Energieversorgungsunternehmen, wobei auf die „großen Vier" - E.ON, RWE, Vattenfall und EnBW - zum Zeitpunkt der Erhebung (2016) 5,4 % entfielen **[24]**.

ABBILDUNG 3-1 — EIGENTUMSVERHÄLTNISSE BUNDESWEIT INSTALLIERTER ERZEUGUNGSLEISTUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN IM JAHRE 2016 [24]



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

ABBILDUNG 3-2 — PHOTOVOLTAIK-POTENZIAL PRO GEBÄUDEKLASSE UND -TYP IN GW IN DEUTSCHLAND [25]



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Wie bereits in Kapitel 1 erläutert, stieg insbesondere die Zahl der Photovoltaik-Anlagen, wobei sich rund 40 % der insgesamt knapp 46 GW installierten Photovoltaik-Leistung auf Dächern privater Gebäude befinden. Etwa die Hälfte aller in Deutschland installierten Photovoltaik-Anlagen verfügen über eine Leistung von bis zu 100 kWp und befinden sich – im Gegensatz zu klassischen Kraftwerken – in den lokalen Verteilnetzen **[25]**.

Die Potenziale für die dezentralen Erzeugungsanlagen sind trotz der gestiegenen Nutzung bei weitem noch nicht ausgeschöpft. So besteht für dezentrale Photovoltaik-Anlagen ein Potenzial von insgesamt 228 GW, wovon 135 GW auf den Bereich der Privathaushalte fällt (siehe Infobox für Potenzialverteilung) **[25]**.

Mit dem Ausbau dezentraler Erzeugungs- und Speichersysteme sowie dem wachsenden Trend der Digitalisierung verändert sich das Rollenbild privater Letztverbraucher zunehmend vom reinen Konsumenten hin zu einem aktiven und integrierten Bestandteil des Energiesystems. Im Folgenden wird diese Entwicklung und der Zusammenhang zwischen Energiesystem, Erzeugung und Verbrauch genauer beleuchtet.

3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)

Als „Consumer" werden Abnehmer und Verbraucher bezeichnet, welche lediglich Strom aus dem öffentlichen Stromnetz beziehen. Consumer sind nicht im Besitz eigener dezentraler Anlagen oder Speichersysteme und können somit keine aktive Rolle im Energiesystem einnehmen. Typische private Verbraucher sind Haushalte, die Strom für elektrische Verbrauchsgeräte oder Wärme nutzen. Zum Stand 2017 gab es insgesamt rund 41,3 Millionen private Haushalte in Deutschland **[26]**. Im selben Jahr machten private Haushalte ca. 25 % (129 TWh) des Gesamtstromverbrauchs in Deutschland aus. Durch die zunehmende Elektrifizierung im Wärme- und Mobilitätssektor kommen zunehmend neue dezentrale, strombasierte Verbraucher wie etwa Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge

DEFINITION CONSUMER

Als „Consumer" gelten klassische Letztverbraucher von elektrischer Energie. Consumer-Haushalte beziehen ihren Strom aus dem öffentlichen Netz und besitzen keine dezentrale Anlage, um ins Netz einzuspeisen. Somit nehmen Consumer keine aktive Rolle im Energiesystem ein.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

hinzu. So waren im Jahr 2018 bereits 54.000 Elektrofahrzeuge in Deutschland gemeldet **[27]**. Die Bundesregierung strebt hingegen eine Reduktion des bestehenden Stromverbrauchs aller Sektoren von 520 TWh in 2017 auf 472 TWh bis zum Jahr 2020 an **[28]**. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Einbindung privater Letztverbraucher von Bedeutung. Diese können im Energiesystem unterschiedliche Rollen einnehmen, welche in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

3.2 ERZEUGER (PRODUCER)

Wie in Abbildung 1–1 im Abschnitt zur Entwicklung der Energiewende in Kapitel 1 dargestellt, veränderte sich die Struktur der Produzenten durch die Energiewende hin zu einem zunehmend dezentralen, durch erneuerbare Energien geprägten Versorgungssystem. Dabei erweiterten sich zugleich die involvierten Akteure der Stromproduktion, wobei neben Kraftwerksbetreibern nun auch Privathaushalte als Erzeuger agieren. Neben der bereits erläuterten Verbreitung von Photovoltaik-Dachanlagen kommen auch gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme durch Blockheizkraftwerke (BHKW) und Kleinwindanlagen zum Einsatz. BHKWs haben durch die Nutzung von Abwärme einen hohen Wirkungsgrad und erhalten deshalb auch vom deutschen Gesetzgeber entsprechende finanzielle Unterstützung **[29]**. Kleinwindanlagen dienen insbesondere in entlegenen und windreichen Regionen als Ersatz oder Zusatz für Photovoltaik-Anlagen.

3.3 PROSUMER

Mit der oben geschilderten Entwicklung wandeln sich Letztverbraucher zunehmend zu Prosumern (Producer & Consumer). Als Prosumer werden private Haushalte oder Gewerbebetreibende bezeichnet, die elektrische Energie durch installierte dezentrale Anlagen selbstständig erzeugen. Neben dem Eigenverbrauch können Prosumer den erzeugten Strom auch ins Stomnetz einspeisen und dafür die im EEG festgelegte garantierte Einspeisevergütung erhalten. Durch

DEFINITION PRODUCER

Als Erzeuger oder „Producer“ von elektrischer Energie gelten Akteure, welche Strom produzieren. Dabei kommen durch die Energiewende neben den klassischen Großkraftwerken auch zunehmend dezentrale erneuerbare Anlagen hinzu. Somit werden auch private Haushalte zunehmend zu Erzeugern.

DEFINITION PROSUMER

Die Bezeichnung „Prosumer“ setzt sich aus den englischen Begriffen „Producer“ und „Consumer“ zusammen. Demnach sind Prosumer Letztverbraucher (Consumer) wie private Haushalte und Gewerbebetreibende, welche elektrische Energie selbstständig produzieren (Producer), bspw. durch PV-Anlagen oder BHKW. Diese können sie selbst (zum Teil) verbrauchen oder in das Stromnetz einspeisen.

Als Einspeiser ins Netz nehmen Prosumer bereits aktiv am Energiesystem teil.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

die Einspeisung selbst produzierten Stroms besteht durch die Rolle des Prosumers bereits ein Wandel von passiven Energiekonsumenten hin zu aktiven Teilnehmern am Energiesystem **[30]**, **[29]**, **[31]**.

Mit steigender dezentraler Erzeugung und dem hohen noch offenen Potenzial, bspw. für Photovoltaik-Anlagen **(vgl. Abbildung 3–2)**, nimmt auch die Anzahl der Prosumer zu. Durch die Installation einer Erzeugungsanlage könnte laut einer Studie zur Entwicklung der Anzahl von Prosumerhaushalten die Zahl von derzeit weniger als einer halben Million auf etwa elf Millionen Haushalte ansteigen **[29]**.

Die Motivationsgründe, um als Prosumer aktiv zu werden, sind vielseitig. Neben ökologischen Gründen, wie einen aktiven Beitrag zur Energiewende zu leisten, zählen dazu finanzielle Vorteile **[32]**, **[33]**, **[33]**. Diese werden durch eingesparte Stromkosten durch die Nutzung von eigenerzeugtem Strom sowie die oben genannten Erlöse durch eine Einspeisung erzielt. Zudem sehen Prosumer die Möglichkeiten zur Kontrolle und Steuerung des eigenen Stromverbrauchs und der Erzeugung als Motivationsgründe. Mit dem Auslaufen der EEG-Vergütung und politischen Förderprogrammen nimmt auch das Bestreben von Prosumern nach einem höheren Eigenverbrauch zu **[34]**, **[35]**. Dies lässt sich durch eine Kombination der Anlagen mit Speichern realisieren. Zugleich werden Batteriespeicher durch technologische Fortschritte und die zunehmende Verbreitung der Elektromobilität attraktiver **[36]**. Im Jahr 2016 wurden rund 50 % der neu installierten Photovoltaik-Anlagen bereits in Kombination mit einem Kleinspeicher erworben – Tendenz steigend **[35]**.

Einige Prosumer verfolgen auch den Motivationsgrund nach Energieautarkie und einem damit verbundenen Bestreben nach Unabhängigkeit vom Stromversorger und steigenden Strompreisen **[34]**. Dem stehen jedoch finanzielle und technische Parameter gegenüber. Somit ist die Erreichung von Energieautarkie über den Jahresverlauf hinweg durch damit verbundene notwendige Kapazitäten als auch Kosten weder technisch noch wirtschaftlich heute oder in absehbarer Zukunft realisierbar (siehe Infobox) **[37]**.

ENTSOLIDARISIERUNG DURCH PROSUMER?

Durch die Autarkiebestrebungen von Prosumern entsteht eine Entsolidarisierung. Während der Netzanschluss weiterhin notwendig ist, um in Zeiten ohne Sonne über ausreichend Strom zu verfügen, zahlen Prosumer nur einen Bruchteil der Netzkosten, da diese mengenbezogen abgerechnet werden. Da die Kosten des Stromnetzes über den Strombezug aus dem Netz auf alle Verbraucher umgelegt werden, steigen die Kosten bei sinkendem Stromverbrauch proportional für die übrigen Nutzer an, sodass diese für den Netzanschluss der Prosumer indirekt mitbezahlen.

DEFINITION FLEXUMER

Als „Flexumer“ wird die nächste Stufe der aktiven Teilnahme am Energiesystem bezeichnet, der flexible Consumer. Flexumer können neben der Einspeisung des selbst erzeugten Stroms zudem auf externe Signale des Netzbetreibers reagieren. Durch diese flexible Bereitstellung ihrer Erzeugungs-, Verbrauchs- oder Speicheranlagen können Flexumer einen Beitrag zur Netzstabilisierung leisten und ihre Flexibilität auf Energiemärkten anbieten.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

3.4 FLEXUMER

Neben der in Abschnitt 1.2 beschriebenen Entwicklung der Digitalisierung stellen auch die Dekarbonisierung, Dezentralisierung und Demokratisierung die aktuellen Trends des Energiesystems dar. Durch diese Entwicklungen wird nicht nur die Rolle der Prosumer ermöglicht, sondern eine nächste Stufe zur aktiven Einbindung: den flexiblen Consumer, dem sogenannten „Flexumer". In dieser Rolle können Prosumer oder Consumer Flexibilität für das Verteilnetz bereitstellen. Diese Flexibilisierung kann sowohl auf Seiten der Erzeugung als auch auf der Nachfrageseite, z. B. durch eine flexible Betriebsweise von Verbrauchsanlagen wie Wärmepumpen, oder auch durch Speicheranlagen ermöglicht werden. Flexumer können ihre Flexibilität auf Energiemärkten anbieten, wie es derzeit im C/sells-Projekt des Altdorfer Flexmarkts, das in Kapitel 2 erläutert wurde, erprobt wird (vgl. **[38]**).

FLEXIBLE TARIFE

Flexible Tarife ermöglichen eine dynamische Preisanpassung an die Erzeugungs- und Lastsituation. Dadurch kann netzdienliches Verhalten gefördert werden. Werden Kunden rechtzeitig über solche Tarife informiert, können diese ihren Verbrauch in Zeiten hoher Erzeugung – und somit niedrigeren Preisen – verlagern. Damit wird das Netz entlastet und gleichzeitig spart sich der Verbraucher Stromkosten. ***[45]***

ABBILDUNG 3-3 — EINORDNUNG DER ROLLEN VON LETZTVERBRAUCHERN IM ENERGIESYSTEM

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Der positive Einfluss von flexiblen Letztverbrauchern auf die Netzstabilität wurde bereits in Studien wie **[39]**, **[40]** und **[41]** beschrieben. Dabei liegt der Fokus auf flexiblen Anpassungen des Verbrauchs durch Konzepte wie z. B. Demand Side Management (DSM) oder Smart Home Technologien. DSM beinhaltet Strategien zur Anpassung von Verbrauch und Erzeugung genauso wie die Reduktion des Stromverbrauchs oder die Nutzung automatisiert gesteuerter Geräte. Somit kann der Verbrauch auf Spitzenlastzeiten der Erzeugung gelegt werden **[42]** **[43]**. Kombiniert mit flexiblen Tarifen könnten Anreize geschaffen werden, den Verbrauch gezielt auf Zeiten hoher Stromverfügbarkeit zu verschieben **[41]** **[33]** **[44]**.

Die hier definierte Rolle des Flexumers kann durch installierte Erzeugungsanlagen, Speicher oder Verbrauchsanlagen auf externe Signale reagieren und

TABELLE 3-1 — KERNPUNKTE VON CONSUMER, PROSUMER UND FLEXUMER

ROLLE	CONSUMER	PROSUMER	FLEXUMER
Rollenbeschreibung	Klassischer Letztverbraucher, welcher Energie vom Netz bezieht	Letztverbraucher, welcher zudem Energie produziert (bspw. durch dezentrale Photovoltaik-Anlagen)	Con- oder Prosumer, welcher durch externe Signale dem Netzbetreiber Flexibilität zur Netzstabilisierung bereitstellt und/oder am Energiemarkt anbieten kann
Aktivität im Energiesystem	Keine aktive Teilnahme am Energiesystem	Aktive Teilnahme durch Einspeisung selbst erzeugten Stroms ins Netz	Aktive Teilnahme durch Einspeisung, Ansteuerung durch den Netzbetreiber sowie Anbieten von Flexibilität am Energiemarkt
Nutzung eigener Erzeugung	Keine Möglichkeit zur eigenen Erzeugung/ Eigenversorgung	Möglichkeit zur teilweisen Eigenversorgung durch Nutzung der selbst erzeugten Energie	Möglichkeit zur teilweisen Eigenversorgung, Anbieten der Flexibilität sowie Vermarktung am Energiemarkt
Finanzielle Möglichkeiten	Abhängig von marktbasierten Strompreisen oder Tarifen des Energieversorgers	Gewisse finanzielle Entscheidungsfreiheit zwischen Eigenversorgung und Einspeisevergütung	Zusätzlich zur Eigenversorgung und Einspeisevergütung finanzielle Vorteile durch Anbieten von Flexibilität

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

bietet somit eine Steuerungsmöglichkeit auf Seiten des Netzbetreibers. Digitalisierung und Automatisierung bilden dabei die Grundlage, um deren Anlagen ins System integrieren zu können. Eine standardisierte digitale Infrastruktur wird durch den Smart Meter Rollout ermöglicht **(vgl. Kapitel 5)**. Abbildung 3–3 **(siehe Seite 31)** veranschaulicht die Entwicklung privater Letztverbraucher zum Flexumer im Energiesystem.

Tabelle 3–1 stellt eine Übersicht zur Beschreibung der jeweiligen Rollen, der Aktivität im Energiesystem, der Optionen zur Nutzung selbst erzeugter Energie sowie finanzielle Möglichkeiten dar.

3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM

Die Relevanz neuer Rollen privater Letztverbraucher geht mit der im Abschnitt 3.2 erläuterten veränderten Struktur des Energiesystems einher. Demnach gewinnt durch die zunehmende Elektrifizierung im Wärme- und Mobilitätssektor insbesondere der Einsatz von Flexumern an Bedeutung. Wie die Szenarien in Abschnitt 2.2 veranschaulichen, kann es bspw. durch Gleichzeitigkeiten (verursacht durch das Laden von Elektrofahrzeugen oder dem Betrieb von Wärmepumpen) sowie durch Rückspeisungen von Photovoltaik-Erzeugung zu netzbelastenden Lastspitzen kommen. Wie in den Szenarioergebnissen verdeutlicht, kann ein unkoordiniertes Verhalten dieser Verbraucher und die Einspeisung von Prosumern zu Netzengpässen führen. Derzeit reagieren Netzbetreiber mit „Notfallmaßnahmen“, wobei es zu einer Abregelung der Erzeugungsanlagen kommt. Alternativ müssen Netzbetreiber ihr Netzgebiet entsprechend ausbauen, um auch in Zeiten der Spitzenlast Netzengpässen vorzubeugen. Beide Maßnahmen sind jedoch mit hohen Kosten verbunden, welche durch die Erhebung von Netzentgelten auf die Letztverbraucher umgelegt werden. Die Einbindung von Flexumern bietet eine Alternative, um Abregelungen und Netzausbau zu verringern (vgl. **[38]**). Demnach können sowohl Stromerzeuger wie Photovoltaik Anlagen, aber auch Verbraucher wie

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
3.1 VERBRAUCHER (CONSUMER)
3.2 ERZEUGER (PRODUCER)
3.3 PROSUMER
3.4 FLEXUMER
3.5 RELEVANZ NEUER ROLLEN PRIVATER VERBRAUCHER FÜR DAS ENERGIESYSTEM
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge angesteuert und ihre Fahrweise so genutzt werden, dass sie zur Netzstabilisierung beitragen. Auch Hausspeichersysteme können gezielt gesteuert werden, sodass bei Netzengpässen Strom aus privaten Speichern zur Verfügung gestellt werden kann.

Flexumer sind damit nicht nur aktiv in das Energiesystem integriert, sondern können zusätzlich einen Beitrag zur Netzstabilität leisten und am Energiemarkt teilnehmen. Durch eine Entwicklung vom traditionellen Letztverbraucher zum Prosumer bis hin zum Flexumer können einerseits Lastspitzen im Netz geglättet und dadurch die Integration erneuerbarer Energien vorangetrieben werden. Andererseits können durch diesen Trend auch Haushalte aktiv an der Umstellung hin zu einem dezentralen, dekarbonisierten und digitalisierten Energiesystem teilhaben **[31]**. Laut einer repräsentativen Studie durch **[46]** halten 80 % der Deutschen die Beteiligung der Gesellschaft an der Energiewende für nötig. Durch aktive Partizipation könnte langfristig auch die Akzeptanz gegenüber den Veränderungen des Energiesystems und der Stromversorgung gesteigert werden. Nur 31 % der Deutschen denken, dass die Energiewende momentan erfolgreich umgesetzt wird. Deshalb gewinnt die Integration von Bürgern zunehmend an Bedeutung **[46]**.

Im folgenden Kapitel werden Technologien zur Teilnahme am Energiesystem als Prosumer oder Flexumer erläutert.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

4

PROSUMER TECHNOLOGIEN

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Um die Rolle des Prosumers oder auch des Flexumers einnehmen zu können, sind gewisse Technologien erforderlich. Diese umfassen Erzeugungsanlagen wie Photovoltaik-Anlagen, Hausspeichersysteme, Wärmepumpen, elektrische Speicherheizungen, Elektrofahrzeuge oder Blockheizkraftwerke. Auch mit anderen größeren Verbrauchern oder Erzeugern, welche sich flexibel steuern lassen, kann der Flexumer Flexibilität anbieten und so Netzbetreiber unterstützen, die Netzbelastung zu reduzieren oder Erzeugung und Verbrauch auszugleichen. Nachfolgend sind ausgewählte Technologien übersichtlich dargestellt, erklärt und mit Kennzahlen sowie Wissenswertem zusammengetragen. Für Interessierte ist zudem weiterführende Literatur aufgeführt, die bei Investitionsentscheidungen helfen kann oder ein besseres Verständnis für die Umweltauswirkungen der Technologie schafft.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 **PROSUMER TECHNOLOGIEN**
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

PHOTOVOLTAIK

Photovoltaikanlagen erzeugen aus der Strahlungsenergie des Sonnenlichts elektrische Energie. Hierzu führt Licht dem Silizium Energie zu, was Elektronen in der Zelle anregt. Diese Bewegung induziert eine Spannung, welche über einen Zeitraum elektrische Energie generiert. Für den Netzanschluss und den Betrieb der Anlage sind neben den Photovoltaikmodulen mehrere Komponenten nötig. Diese sind das Montagesystem, ein Wechselrichter für die Umrichtung des von Modulen erzeugten Gleichstroms in Wechselstrom, die Verkabelung, einzelne Schalter, Blitzschutz und IT Systeme/ Steuerungssysteme. Bei Bedarf kann das System durch einen Hausspeicher oder einen Einspeisezähler ergänzt werden.

Typische Kennzahlen

Stromgestehungskosten [47]	7-14 ct/kWh
optimale Ausrichtung der Fläche [47]	Ca. 30° Süd
laufende jährliche Kosten [47]	1 % des Anlagepreises 15 € pro kW Peak/a
durchschnittliche Vollbenutzungsstunden [48]	892 h/a
Energie pro Quadratmeter Modul [47]	150-180 kWh pro Jahr
Fixkosten Wechselrichter [49]	380 €
leistungsabhängige Kosten Wechselrichter [49]	137 €/kWh

Wissenswertes

- PV-Anlagen altern sehr langsam. Auch für die Wissenschaft ist ein Nachweis der Alterung schwierig. Für konservative Kalkulationen ist eine Lebensdauer von 20-25 Jahren aber realistisch **[47].**
- Nach circa 2,5 bis 2,8 Jahren haben PV-Anlagen die Energie erzeugt, welche zu ihrer Produktion benötigt wurde **[47], [50].**
- Die Technologie der Photovoltaikanlage lässt sich mit einem Hausspeichersystem kombinieren. So kann erzeugte Elektrizität auch in den Abendstunden und über Nacht genutzt werden und somit die Eigendeckung erhöht werden.

Weiterführende Literatur

- Mertens, Konrad: Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis. München: FH Münster, 2018.
- Wirth, Harry: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg: Fraunhofer ISE, 2019.
- Raugei, Marco et al: Energy Retrun on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation: A comprehensice response. In: Energy Policy 102 (2017) 377-384. o.O.: SienceDirect, 2016.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 **PROSUMER TECHNOLOGIEN**
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

HAUSSPEICHERSYSTEME

In einem Hausspeichersystem kann der von einer Photovoltaikanlage erzeugte Strom gespeichert werden. Dies ermöglicht eine Erhöhung der Eigendeckung. Als Grundlage dienen Batterien. Die Speicher können auf Lithium-Ionen-, Blei-Säure-, Blei-Gel- oder Redox-Flow-Batterien basieren. Ein Hausspeichersystem kann auch für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) eingesetzt werden. Hiermit ist es möglich, beispielsweise Computer während eines Stromausfalls im Versorgungsnetz zunächst weiter mit Elektrizität zu versorgen. Dafür sind jedoch spezielle Wechselrichter nötig, die in der Lage sind, die Frequenz von 50 Hz stabil im Haushalt zu halten.

Typische Kennzahlen

Speicherpreis Lithiumspeicher pro gespeicherte kWh [51]	20 Cent/ kWh
Speicherpreis Bleispeicher pro gespeicherte kWh [51]	51 Cent/ kWh
Notstromversorgung [51]	möglich
Gewinnschwelle für die Anschaffungskosten [52]	2.000 €/ kWh
Verluste in der Umwandlungskette [52]	11,9 %

Wissenswertes

- Gerade bei Speichern ist eine Betrachtung der Umwandlungswirkungsgrade elementar. Eine Ausführung hierzu ist in **[52]** zu finden.
- Der Speicherpreis pro Kilowattstunde kann mit folgender Formel berechnet werden: Speicherpreis (€/ kWh) = Anschaffungspreis / (kWh netto nutzbar x Vollzyklenzahl x Wirkungsgrad).
- Zur Abschätzung der benötigten Speichergröße kann der letzte Jahresverbrauch genutzt werden. Die Speicherkapazität sollte ungefähr eine kWh pro 1000 verbrauchte kWh betragen **[53]**.

Weiterführende Literatur

- Sterner, Michael et al.: Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration. Heidelberg: Sterner, 2014.
- Auswahlkriterien für Batteriespeicher. In: https://www.eupd-research.com/fileadmin/content/download/pdf/Whitepaper/EuPD_Research_Whitepaper_E3DC.pdf.
- Weniger, Johannes et al.: Dezentrale Solarstromspeicher für die Energiewende. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2015.
- Photovoltaik Stromspeicher: optimale Größe ermitteln. In: https://www.photovoltaik.org/photovoltaikanlagen/stromspeicher/optimale-groesse-ermitteln.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 **PROSUMER TECHNOLOGIEN**
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

WÄRMEPUMPE

Eine Wärmepumpe nutzt für die Bereitstellung von Wärme (und Kälte) Umweltenergie aus der Luft, dem Boden oder dem Grundwasser. Über einen thermodynamischen Prozess wird der Umwelt Energie entzogen und durch die Wärmepumpe auf eine höhere Temperatur konzentriert. Hierzu wird meistens elektrische Energie genutzt. Diese thermische und elektrische Energie dient dann der Beheizung von Gebäuden oder für die Warmwasseraufbereitung. Der benötigte Energiebedarf einer Wärmepumpe kann auch zum Teil über eine Photovoltaikanlage gedeckt werden. Für Wärmepumpen existieren spezielle Tarife, die in der Regel günstiger sind als der normale Haushaltsstrom.

Typische Kennzahlen

Entnahmemedium [54]	Luft; Erdreich; Grundwasser
Sole-Wärmepumpe [55]	314 –1603 €/kW
Luft-Wärmepumpe [55]	489 –1287 €/kW
Wasser-Wärmepumpe [55]	403 –1054 €/kW
Brauchwasser-Wärmepumpe [55]	1312 –1819 €/kW
Strompreis in einem Wärmepumpentarif [56]	21,33 ct/kWh

Wissenswertes

- 80 % des Energiebedarfs eines Haushalts ist für Raumwärme und Warmwasser **[54]**.
- Eine Kilowattstunde elektrische Energie stellt 2,8 kWh thermische Energie bei Luftwärmepumpen zur Verfügung. Bei Sole/Wasser-Wärmepumpe sind dies 4,3 kWh. Diese Zahlen werden als Jahresarbeitszahlen bezeichnet **[57], [58]**.
- Wenn eine Steuerbarkeit durch den Netzbetreiber möglich ist, können die Netzentgelte um durchschnittlich 3,53 ct/kWh **[59]** reduziert werden.
- Zeitabhängige (HT/NT) Tarife sind möglich.

Weiterführende Literatur

- Miara, Marek: Wärmepumpen. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2018.
- Born, Holger: Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes – Bestandsaufnahme und Trends. Bochum: Internationales Geothermiezentrum, 2017.
- Petereit, Lars: Energiepreise. In: https://www.waermepumpe.de/politik/energiepreise/.
- Böhmer, Heike et al.: Heizen mit Wärmepumpen. o.O.: Stiftung Warentest, 2019.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 **PROSUMER TECHNOLOGIEN**
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

ELEKTRISCHE SPEICHERHEIZUNG ESH / NACHTSPEICHERHEIZUNG NSH

Elektrische Speicherheizungen generieren Wärme aus Strom und speichern diese z. B. in einem Stein, welche später über den Tag verteilt abgegeben wird. Bei modernen elektrischen Speicherheizungen erfolgt die Ladesteuerung in Abhängigkeit von der Außentemperatur und der ermittelten Restwärme im Wärmespeicher. Einfachere Speicherheizungen verfügen lediglich über einen manuellen Regler, mit dem der gewünschte Speicherfüllstand in Stufen eingestellt werden kann.

Typische Kennzahlen

Mittlere elektrische Leistung pro ESH [60]	12 –15 kW
Interner Temperaturbereich [61]	600 –700 °C
Investitionskosten [62], [63]	80 –160 €/kW
Strompreis in einem ESH Tarif [56]	21,33 ct/kwh

Wissenswertes

- 80 % des Energiebedarfs eines Haushalts ist für Raumwärme und Warmwasser **[54]**.
- Wenn eine Steuerbarkeit durch den Netzbetreiber möglich ist, können die Netzentgelte um durchschnittlich 3,53 ct/kWh **[59]** reduziert werden.
- Auch Tarife abhängig von der Tageszeit sind üblich. Hierbei wird zwischen Hochtarif und Niedertarif unterschieden.

Weiterführende Literatur

- Dünnhoff, Elke: Nachtspeicherheizungen und elektrische Direktheizungen -Ergebnisse von drei Gruppendiskussionen und einer bundesweiten Verbraucherbefragung. Mainz: Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V., 2017.
- Petereit, Lars: Energiepreise. In: https://www.waermepumpe.de/politik/energiepreise/.
- Moditz, Herbert: Elektrische Raumheizung. Wien, New York: 2012.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 **PROSUMER TECHNOLOGIEN**
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

ELEKTROFAHRZEUG

Der Antrieb eines elektrischen Fahrzeugs erhält seine Energie aus einer im Fahrzeug installierten, wieder aufladbaren Batterie. Der Elektromotor stellt hierzu die benötigte Antriebsenergie am Rad zu Verfügung. Aufgrund weniger beweglicher Teile sind Elektrofahrzeuge relativ wartungsarm. Zur Ladung des Fahrzeuges werden meistens private Ladesäulen am Wohnungsstandort oder eine öffentliche Ladesäule genutzt. In Deutschland steigt die Zahl an Ladesäulen an, was eine bessere Infrastruktur in der Zukunft ermöglicht. Während Elektromotoren bereits hoch effizient sind, wird viel in die Entwicklung von effizienteren und leistungsstärkeren Batterien investiert.

Typische Kennzahlen

Energiebedarf für 100 km [64]	20,5 kWh
staatliche Förderung eines Elektroautos [65]	4.000 €/Fahrzeug
staatliche Förderung für ein von außen aufladbares Hybridfahrzeug [65]	3.000 €/Fahrzeug
jährliche Fahrleistung eines Autos in Deutschland [66]	13.922 km
KFZ Steuer Befreiung [67]	10 a
durchschnittliche Reichweite 2017 [68]	300 km

Wissenswertes

- Für die meisten Fahrten in der privaten Nutzung ist die Reichweite ausreichend **[62]**, **[69]**.
- Eine Liste zur Förderbarkeit von Elektrofahrzeugen in Deutschland wird veröffentlicht und kann unter **[70]** abgerufen werden.
- Bei 30,2 ct/kWh Strompreis kosten 100 km ca. 6,2 €.
- Wenn eine Steuerbarkeit durch den Netzbetreiber möglich ist, können die Netzentgelte um durchschnittlich 3,53 ct/kWh **[59]** reduziert werden.

Weiterführende Literatur

- Karle, Anton: Elektromobilität – Grundlagen und Praxis. München: Hochschule Furtwangen, 2018.
- Leuschner, Karina: Steuervergünstigungen für reine Elektrofahrzeuge. In: https://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/Verkehrsteuern/Kraftfahrzeugsteuer/ Steuerverguenstigung/Elektrofahrzeuge/elektrofahrzeuge_node.html.
- Elektroautos im Test: So hoch ist der Stromverbrauch – Bei Elektroautos gibt es große Unterschiede bei Verbrauch und Reichweite, das hat der ADAC Ecotest ergeben. Zwölf e-Autos im Vergleich – vom günstigen Renault Zoe bis zum teuren Tesla Model X. In: https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 **PROSUMER TECHNOLOGIEN**
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

BLOCKHEIZKRAFTWERK

1234

Ein BHKW besteht unter anderem aus einem Verbrennungsmotor und einem Generator. Mit der Kraft des Motors wird Elektrizität erzeugt. Mit der Abwärme kann das Haus geheizt werden. Durch diese Kombination kann ein hoher Gesamtnutzungsgrad (ca. 86 % **[71]**) erreicht werden. Gängige Brennstoffe sind: Rapsöl, Heizöl, Erdgas, Flüssiggas, Biogas und Holz bzw. Pellets. Die Verbrennungsmotoren können auf verschiedenen Konzepten basieren. BHKWs mit einer elektrischen Leistung unter 2,5 KW werden als Nano-BHKW bezeichnet.

Typische Kennzahlen

Brennstoffe [72]	Erdgas, Heizöl, Flüssiggas, Pflanzenöl, Ethanol, Biogas, Bio-Erdgas, Klärgas, Deponiegas, Holz, Holzgas und Müll/ Abfallbrennstoffe
Elektrischer Wirkungsgrad [72]	≈ 30 %
Investitionskostenanteil [72]	zwischen 15 und 30 %
Preis für ein Nano-BHKW [73]	10.000 -25.000 €

Wissenswertes

- Verschiedene Technologien sind möglich: Stirlingmotor, ORC-und Kalina-Cycle-Anlage, Dampfmotor, Dampturbine, Brennstoffzelle, Verbrennungsmotor (Fremdzünder und Selbstzünder), Gasturbine **[72], [47]**.
- BHKWs können Flexibilität für das Energiesystem bereitstellen, indem die Erzeugung gesteuert und Betriebszeiten durch die Kombination mit einem Pufferspeicher netzdienlich verschoben werden können.

Weiterführende Literatur

- Gailfuß, Markus et al.: Moderne KWK-Technologien – Technik und Wirtschaftlichkeit. Rastatt: BHKW-Infozentrum Rastatt, 2016.
- So viel Kosten 2019 BHKW in der Anschaffung und im Betrieb. In: https://ihr-bhkw.de/bhkw-preise-und-kosten.
- Energie Agentur NRW. In: https://www.youtube.com/watch?v=TJ-ha7rfIfA.
- Brautsch, Markus et al.: Effizienzsteigerung durch Modellkonfiguration in BHKW-Anlagen – F 2840. Stuttgart: Fraunhofer IRB, 2013.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
5.1 DIGITALISIERUNG FÜR VERBRAUCHER
5.2 DIGITALISIERUNG FÜR ERZEUGER
5.3 DIGITALISIERUNG FÜR PROSUMER
5.4 FLEXUMER DURCH DIGITALISIERUNG?
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

5

CHANCEN DER DIGITALISIERUNG

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
5.1 DIGITALISIERUNG FÜR VERBRAUCHER
5.2 DIGITALISIERUNG FÜR ERZEUGER
5.3 DIGITALISIERUNG FÜR PROSUMER
5.4 FLEXUMER DURCH DIGITALISIERUNG?
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Die Digitalisierung durch den anstehenden Smart Meter Rollout schafft Erzeugern, Verbrauchern, Prosumern und Flexumern neue Möglichkeiten, an der Energiewende teilzunehmen. Nachfolgend wird aufgezeigt, welche Chancen sich für die unterschiedlichen Rollen mit unterschiedlichen Technologien bieten und welche Möglichkeiten für Photovoltaikanlagen nach Auslaufen der EEG-Vergütung bestehen.

5.1 DIGITALISIERUNG FÜR VERBRAUCHER

Bereits ohne die Digitalisierung können Verbraucher einen Mehrwert zur Energiewende leisten und den Verbrauch senken. Die Potenziale liegen hier vor allem darin, Strom zu sparen. In Privathaushalten entsteht der meiste Stromverbrauch durch Unterhaltungselektronik und große Haushaltsgeräte **[74]**.

Die Digitalisierung ermöglicht Haushalten unter anderem eine Visualisierung ihres Energieverbrauches und eine dadurch ggf. entstehende Sensibilisierung sowie die Prozessverbesserung (z. B. für Ablesung und Abrechnung). So wurde u. a. eine „Kosten-Nutzen-Analyse" für Smart Meter durchgeführt, anhand derer die Kosteneinsparung berechnet wurde. Diese dient heute u. a. als Grundlage für die Preisobergrenzen der iMSys **[76]**. Darüber hinaus entstehen unterschiedliche Möglichkeiten für Verbraucher, Nutzen aus dem Smart Meter Rollout zu ziehen. So können beispielsweise Kosteneinsparpotenziale z. B. durch Lastgangsanalysen und Energieberatungen ermittelt werden, durch Smart-Home-Anwendungen der Komfort gesteigert und ggf. Strom gespart werden. Zudem können Verbraucher Transparenz und Wahlfreiheit über die Herkunft ihrer Energie und einen sicheren Fernzugriff auf ihre Geräte erhalten.

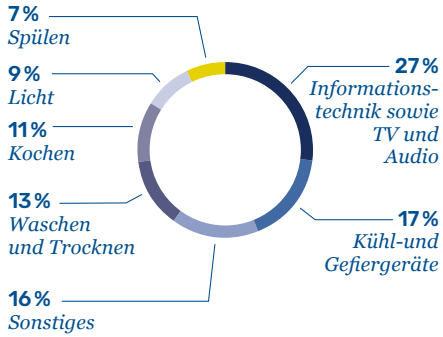
Verbraucher über 6.000 kWh/Jahr sind vom verpflichtenden Smart Meter Rollout betroffen und müssen ab 2020 mit Mehrkosten in Höhe von maximal 100 € brutto im Jahr rechnen. Verbraucher unterhalb dieser Grenze sind nicht verpflichtet, ein Smart Meter einzubauen, außer die grundzuständigen Messstellenbetreiber sind in der Lage, die im Gesetz geregelte „wirtschaftliche

TIPPS ZUM STROMSPAREN

Die besten Möglichkeiten, Strom zu sparen sind:
- *Vermeidung von Standby-Verlusten (ca. 115 €/a)*
- *energieeffiziente Haushaltsgeräte (70 €/a)*
- *Verringerung des Wasserverbrauches durch Sparduschköpfe und Durchlaufbegrenzer (wenn das Wasser mit Strom erwärmt wird) (115- 230 €/a)*
- *Tausch alter Heizungspumpen (100 bis 150 €/a)*

Ein Watt Standby-Verlust kostet im Jahr ca. 2,6 € [75].

STROMVERBRAUCHER IM HAUSHALT [74]



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
5.1 DIGITALISIERUNG FÜR VERBRAUCHER
5.2 DIGITALISIERUNG FÜR ERZEUGER
5.3 DIGITALISIERUNG FÜR PROSUMER
5.4 FLEXUMER DURCH DIGITALISIERUNG?
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Vertretbarkeit" zu gewährleisten **(vgl. Abbildung 1–3) [6]**. Für den Verbraucher bedeutet dies: ist der Messstellenbetreiber in der Lage, die gesetzlich geregelten Preisobergrenzen einzuhalten, kann er ein SMGW auch im optionalen Segment einbauen.

5.2 DIGITALISIERUNG FÜR ERZEUGER

Erzeugungsanlagen ab einer Größe von 7 kWp sollten per Gesetz mit dem Beginn des Smart Meter Rollouts mit iMSys ausgestattet werden.

Erzeugungsanlagen können durch die neue Infrastruktur analog zu Verbrauchern automatisiert und aus der Ferne abgelesen werden. Auch ist eine Visualisierung der Erzeugung aus der Ferne möglich. Durch die so generierten Daten können Defekte oder im Falle von Photovoltaik-Anlagen, Verschattung oder Verschmutzung (auch automatisiert) erkannt werden, um entsprechende Gegenmaßnahmen in die Wege zu leiten. Auch kann – je nach Datenlage – automatisiert sog. „predictive maintenance" betrieben werden. Durch intelligente Algorithmen kann so ein Defekt einzelner Bauteile bevor dieser eintritt erkannt werden, um Stillstandszeiten nach einem Defekt zu minimieren. Versicherungsunternehmen bieten zudem Versicherungsprodukte für Erzeugungsanlagen an, deren Modalitäten sich durch die Bereitstellung der Daten verbessern können oder daran gekoppelt sind.

Da jedoch viele Wechselrichter, Speichersysteme oder Smart-Home-Lösungen bereits heute digitale Schnittstellen zu den Portalen der Anbieter aufweisen, ist der Mehrwert durch die Smart Meter Infrastruktur für diese Anlagen überschaubar. Ein Vorteil durch die Digitalisierung mittels Smart Meter Gateway ist hingegen die Möglichkeit zur Teilnahme an neuen Märkten und Vermarktungsoptionen sowie die Erschließung neuer Anlagen für diese Dienstleistungen. Auch der Wechsel von Anbietern ist durch die neue Infrastruktur einfacher, da diese auf standardisierten Schnittstellen aufbaut. Zudem dient das Smart-Meter-Gateway auch als standardisierte Schnittstelle für Netzbetreiber, die auf bisher vorliegende

SMART METER ALS RISIKO FÜR KLEINANLAGEN?

Bei der Planung neuer PV-Anlagen sollten die Kosten für Smart Meter unbedingt berücksichtigt werden. Durch die zusätzlichen Kosten für Anlagen ab einer Größe von 7 kWp sinkt die Rendite für diese Anlagen, wodurch sie unter Umständen sogar unwirtschaftlich werden können [77].

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
5.1 DIGITALISIERUNG FÜR VERBRAUCHER
5.2 DIGITALISIERUNG FÜR ERZEUGER
5.3 DIGITALISIERUNG FÜR PROSUMER
5.4 FLEXUMER DURCH DIGITALISIERUNG?
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Daten (z. B. aus Wechselrichtern oder Portalen von Speicheranbietern) keinen Zugriff haben. Mittels dieser Informationen ist eine effizientere Bewirtschaftung der Netze möglich.

5.3 DIGITALISIERUNG FÜR PROSUMER

Die Möglichkeiten für Prosumer entsprechen der Kombination derer für Erzeuger und Verbraucher. Jedoch verfügen bereits viele Prosumer vor dem Smart Meter Rollout über digitale Schnittstellen z. B. durch ihre Wechselrichter, Speichertechnologien oder Smart-Home-Lösungen, die eine Visualisierung der Daten, Analysen und Eigenverbrauchsoptimierung ermöglichen. Der Rollout von SMGWs bietet für viele innerhalb dieser Nutzergruppe daher einen eher geringen Mehrwert, da dieser lediglich die standardisierte Schnittstelle nach außen darstellt.

5.4 FLEXUMER DURCH DIGITALISIERUNG?

Flexibilität beschreibt grundsätzlich die technische Fähigkeit einer Anlage, die aktuelle und/oder prognostizierte Erzeugungs- bzw. Entnahmeleistung aktiv zu verändern **[78]**. Nutzen Prosumer externe Signale, um beispielsweise auf flexible Tarife oder Schaltbefehle der Netzbetreiber zu reagieren, welche die neue digitale Infrastruktur verwenden, werden sie zu Flexumern. Dies ermöglicht die Einbindung ihrer Flexibilitätsoptionen in das Energiesystem und ermöglicht Wechselwirkungen z. B. mit Märkten oder dem Netz. Während viele Dienstleistungen und Möglichkeiten für Prosumer (vgl. Solar Clouds, Predictive Maintenance etc.) nicht auf iMSys angewiesen sind und stattdessen auch bereits existierende Hardware (Speicher, Wechselrichter, Smart-Home-Systeme) für diese Zwecke zum Einsatz kommen kann, ist für Flexumer die Smart Meter Infrastruktur eine wichtige Schnittstelle.

Flexumer können durch die Smart Meter Infrastruktur eine Reihe von Angeboten

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
5.1 DIGITALISIERUNG FÜR VERBRAUCHER
5.2 DIGITALISIERUNG FÜR ERZEUGER
5.3 DIGITALISIERUNG FÜR PROSUMER
5.4 FLEXUMER DURCH DIGITALISIERUNG?
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

nutzen und vor allem auf externe Signale reagieren. So können beispielsweise flexible Tarife angeboten werden, die in Zeiten von Netzengpässen oder günstigen Börsenstrompreisen Möglichkeiten bieten, ggf. automatisiert Geld zu sparen. Auch können Flexumer ihre vorhandene Flexibilität im Energiesystem einsetzen oder ihren Eigenverbrauch optimieren und Batteriespeicher bzw. Power-to-Heat-Anlagen gezielter einsetzen. Letzteres ist bereits heute über § 14a EnWG möglich, welcher im Gegenzug zur Steuerbarkeit je nach Netzbetreiber die Netzentgelte im Schnitt um 57 % (bzw. 3,53 ct/kWh) reduziert, wodurch sich jährlich Geld sparen lässt **[59]**. Dies kann entweder durch die Vermarktung von Systemdienstleistungen zur Stabilisierung der Netzfrequenz mittels Aggregatoren erfolgen oder auf regionalen Flexibilitätsmärkten.

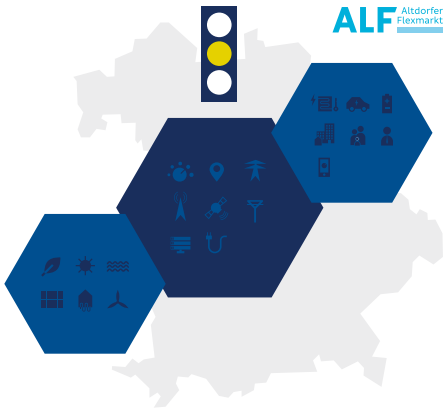
Exkurs: Flexibilitätsplattformen

Flexibilitätsplattformen (kurz: Flex-Plattformen) stellen ein Konzept zur Nutzung der im Netz vorhandenen Flexibilität – aus Elektrofahrzeugen, Wärmepumpen, Erzeugungsanlagen aber auch Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie der Industrie - dar. Sie dienen dabei als Schnittstelle zwischen Netzbetreibern und Flexibilität im Netzgebiet. Dies ermöglicht den Flexibilitätseinsatz kostenoptimal, sicher und zuverlässig zu gewährleisten. Sogenannte Flexibilitäts-Anbieter (kurz: Flex-Anbieter), darunter insbesondere Flexumer, repräsentieren Besitzer, Betreiber und Vermarkter von Flex-Optionen und können auf der zur Verfügung gestellten Plattform ihre Flexibilität anbieten. Der Netzbetreiber als Flexibilitäts-Nachfrager (kurz: Flex-Nachfrager) stellt wiederum ein Gesuch ein, um eine Lösung für seinen Netzengpass zu finden.

Durch diese Lösung ist es Prosumern möglich, direkt zu Flexumern zu werden, Prozesse für die Nutzung von Flexibilität zu erweitern und zu verbessern und auch für Verbraucher eine angemessene Vergütungshöhe für den Abruf zu entwickeln. Die Lösung der Forschungsstelle für Altdorf bei Landshut (Altdorfer Flexmarkt, ALF) sieht zudem vor, dass es insbesondere Flexumer sehr einfach haben, daran teilzunehmen. Die Registrierung ist schnell und einfach erledigt – weiterer Aufwand entsteht nicht. Zudem nutzt die Plattform die Smart Meter Infrastruktur. Wenn der Smart Meter Rollout beginnt, fallen demnach für steu-

ALF

Weitere Informationen zum Altdorfer Flexmarkt (ALF) sind unter www.ffe.de/alf zu finden.



1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
5.1 DIGITALISIERUNG FÜR VERBRAUCHER
5.2 DIGITALISIERUNG FÜR ERZEUGER
5.3 DIGITALISIERUNG FÜR PROSUMER
5.4 FLEXUMER DURCH DIGITALISIERUNG?
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

erbare Anlagen mit SMGW keine zusätzlichen Kosten an.

Derzeit werden Flex-Plattformen im Rahmen des Projektes C/sells (www.csells.net) in Bayern, Baden-Württemberg und Hessen erprobt.

Im Altdorf bei Landshut erfolgt die Implementierung der Flex-Plattform ALF durch die Forschungsstelle für Energiewirtschaft. Die Vorteile einer Teilnahme, Voraussetzungen sowie weitere Informationen zu ALF sind unter www.flexibilitätsmarkt.de und www.ffe.de/alf zu finden.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

6

ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Wie in Abschnitt 1.1 erläutert, werden seit dem Jahr 2000 feste Vergütungssätze für erneuerbare Energien gewährt. Mit dem Jahr 2020 beginnen die ersten EEG-Anlagen aus der – über 20 Jahre zugesicherten – Vergütung zu fallen. Diese stehen dann vor der Frage der Weiterverwendung bzw. –vermarktung. Für das Energiesystem und die Nachhaltigkeit ist es entscheidend, dass noch ausreichend effiziente und funktionsfähige Anlagen möglichst lange betrieben werden. Um die Energiewendeziele zu erreichen ist es daher notwendig, sinnvolle Modelle zu entwickeln und anzubieten, die den Weiterbetrieb insbesondere auch von kleinen Anlagen über das Auslaufen der Förderung hinaus attraktiv gestalten.

Nachfolgend werden daher in Kürze einige auf Basis der Digitalisierung zu beachtende Alternativen beleuchtet und erste Einschätzungen diesbezüglich gegeben. Der Fokus liegt dabei auf Prosumer-Haushalten mit Photovoltaik-Anlagen.

ALTERUNG VON PV-MODULEN

Die Degradation von PV-Anlagen ist relativ gering, sodass von einer Abnahme des Wirkungsgrades von 0,1 % bis 0,5 % für die gesamte Anlage ausgegangen wird ***[79]****. Die ständige Weiterentwicklung z. B. von Dünnschicht-Modulen erschwert jedoch eine exakte wissenschaftliche Bewertung. Grundsätzlich sind die Module jedoch bei eher geringem Leistungsabfall deutlich über die 20 Jahre Einspeisevergütung nutzbar. Komponenten wie Wechselrichter hingegen weisen deutlich geringere Lebensdauern von ca. 10 Jahren auf und sind daher ggf. ein Grund für eine Stilllegung.*

6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?

Viele Anlagenbetreiber (darunter auch Prosumer mit Photovoltaik-Anlagen) stellen sich mit dem Auslaufen der Förderung die Frage, ob sich eine Stilllegung, Neuanschaffung oder ein Weiterbetrieb lohnt.

Der Weiterbetrieb der Photovoltaik-Anlage lohnt sich grundsätzlich, da die bereits abgeschriebene Anlage sowie sonstige Komponenten (wie Wechselrichter) einen geringen Restwert aufweisen und der Rückbau mit Kosten verbunden ist. Bei einem Weiterbetrieb fallen Kosten für Wartung, Reinigung und ggf. Rückstellungen für einen neuen Wechselrichter an. Die Betriebskosten umfassen ca. 1 % der Investitionskosten **[47]**, was bei einer Anlagengröße von 4-5 kWp ca. 250 € im Jahr beträgt.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG

Grundsätzlich besteht nach Ablauf der Förderung weiterhin ein Anspruch auf eine Netzanbindung und die Abnahme des erzeugten Stroms. Im Gegensatz zur EEG-Umlage basiert dies jedoch auf der „sonstigen Direktvermarktung" (§ 21a EEG) und erfordert den Vertragsabschluss mit einem Direktvermarkter, welcher den Strom abnimmt und vermarktet. Im Gegensatz zur fixen Einspeisevergütung entspricht der so generierte Erlös nur den Preisen auf dem Strommarkt. Diese entsprechen i. d. R. ca. 3,99 ct/kWh (Mittlerer Intra-Day-Preis Q1/Q2 2019 aus **[80]**) und liegen damit deutlich unter der ursprünglichen Einspeisevergütung.

POOLING

Einzelne Anlagen mit geringer Leistung zu vermarkten ist häufig nicht wirtschaftlich oder aufgrund von Vorgaben bzgl. Mindestvermarktungsgrößen nicht möglich. Daher werden kleine Anlagen häufig und mit Hilfe von Digitalisierung zu einem „virtuellen" großen Kraftwerk gebündelt und gemeinsam vermarktet. Dabei spricht man von „Pooling".

6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN

Fernsteuerbare Photovoltaik-Anlagen können prinzipiell über virtuelle Kraftwerke bzw. Pools mit vielen anderen Anlagen auch auf weiteren Märkten z. B. Regelleistung anbieten. Dies wird benötigt, um die Systemstabilität in Zeiten volatiler Einspeiser und Verbraucher zu gewährleisten. Die Preise für Regelleistung liegen grundsätzlich höher als die Preise auf den Strommärkten – aufgrund des notwendigen Poolings, der benötigten Fernsteuerbarkeit und der aufwändigen Verfahren, die eine Teilnahme erlauben (Präqualifikation) reduzieren sich die Erlöse für die einzelne Photovoltaik-Anlage jedoch **[81]**, **[82]**. Dennoch können durch Systemdienstleistungen über das Jahr gerechnet so zusätzliche Erlöse generiert und die Wirtschaftlichkeit v. a. in Kombination mit Speichern verbessert werden.

Da viele Anlagen heute erst mit der notwendigen Hardware zur Fernsteuerung ausgestattet werden müssen, können vor allem Kleinanlagen oft nicht wirtschaftlich für diese Zwecke genutzt werden. Der Smart Meter Rollout bietet hier die Chance, diese Anlagen in Zukunft ohne Mehrkosten anzubinden, da die Fernsteuerbarkeit bei einem bereits vorhandenen Smart Meter Gateway (und ggf. notwendiger Peripherie) gewährleistet ist.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE

Allgemein gilt: je höher die Differenz zwischen Gestehungskosten und Bezugskosten, desto mehr lohnt sich Eigenverbrauch. Die durch die abgeschriebene Photovoltaik-Anlage erzeugte Energie ist aufgrund der nicht vorhandenen erzeugungsabhängigen Betriebskosten und nicht vorhandenen Brennstoffkosten sehr kostengünstig. Zudem fällt für selbst verbrauchten Strom keine Stromsteuer an (StromStG) und Anlagen unterhalb von 10 kWp zahlen keine EEG-Umlage (§§ 61 EEG).

Im Verhältnis zu aktuellen Haushaltsstrompreisen von durchschnittlich 30,22 ct/kWh **[83]** ist demnach der Eigenverbrauch von erzeugter Photovoltaik-Energie lohnenswerter als die Erlöse z. B. aus der Direktvermarktung. Je nach Anlagengröße kann so ca. 10-25 % des selbst erzeugten Stromes direkt vor Ort verbraucht werden **[84]**.

Die Digitalisierung ermöglicht im Zuge der Eigenverbrauchssteigerung eine bessere Abstimmung von Erzeugung und Verbrauch. Dies erfordert jedoch sowohl kompatible Haushaltsgeräte (Weißware), Verbraucher wie Elektrofahrzeuge, Speicherheizungen oder Wärmepumpen, die aktiv auf die Photovoltaik-Erzeugung reagieren können. Zudem ist es notwendig, in die notwendige Hard- und Software („Smart Home") zu investieren, um die Anlagen automatisiert zu nutzen.

Eine Steigerung des Eigenverbrauchs ist auch über Speichertechnologien möglich.

EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE

Der Autarkiegrad beschreibt das Verhältnis der gleichzeitig selbst erzeugten und genutzten Energie zum Gesamtenergieverbrauch. Er beschreibt die Unabhängigkeit von einem Energieversorger.

SPEICHER GEGEN STROMAUSFALL?

Viele denken bei Speichern neben der Erhöhung des Eigenverbrauches auch an die Unabhängigkeit im Falle eines Stromausfalles. Dabei gilt jedoch zu beachten, dass viele Speicher nicht in der Lage sind, eine Notstromversorgung zu gewährleisten. Dies ist nur möglich, wenn die Speicher (bzw. Wechselrichter) durch moderne Leistungselektronik in der Lage sind, die Netzfrequenz von 50 Hz lokal aufzubauen und zu halten. Zudem ist eine physikalische Trennung des Gebäudes vom Stromnetz notwendig. Dies ist jedoch mit zusätzlichen Kosten für Hard- und Software verbunden und sollte bei einem Kauf berücksichtigt werden.

Zudem beträgt die durchschnittliche Versorgungsunterbrechung in Deutschland pro Jahr lediglich 15,14 Minuten, wodurch diese Funktion eher selten zum Einsatz kommt ***[59]****.*

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN

Der Autarkie- und Eigendeckungsgrad eines Gebäudes mit Photovoltaik-Anlage kann durch Speicher verbessert werden. Die Auswertung von 74 Lastprofilen ergab, dass der mittlere Autarkiegrad einer Photovoltaik-Anlage ohne Speicher von 35 % durch einen Speicher auf 62 % erhöht werden kann. Beim Eigenverbrauch kann im Mittel annähernd eine Verdoppelung von 25 % auf 47 % durch einen Speicher erfolgen **[49]**.

Die Nachrüstung eines Speichers zu einer Photovoltaik-Anlage ist nach **[77]** und **[49]** heute in der Regel jedoch noch weniger wirtschaftlich als der Betrieb der Photovoltaik-Anlage alleine, da der Speicher sich über die Erhöhung des Autarkiegrades und des Eigenverbrauches refinanzieren muss und das Speichersystem im Verhältnis zu den Kosten einer Photovoltaik-Anlage die teurere Komponente ist **[77]**, **[49]**. Durch die stark sinkenden Batteriepreise ist hier jedoch mittelfristig mit deutlichen Verbesserungen zu rechnen. Durch den Wegfall der Einspeisevergütung von post-EEG-Anlagen steigt hier zusätzlich der Wert des eigenerzeugten Stromes, da dieser deutlich geringere Erlöse durch die Einspeisung erzielt. Während Kunden im Schnitt 30,22 ct/kWh für Haushaltsstrombezug **[83]** bezahlen, erhalten sie für die Einspeisung von Photovoltaik-Strom auf dem Intra-Day-Markt lediglich ca. 4,6 ct/kWh (gewichteter Durchschnitt im Jahr 2018) **[80]**. Die EEG-Vergütung beträgt im Vergleich zur Vermarktung im Mittel 11,47 ct/kWh **[85]**. Wird demnach eine Kilowattstunde Strom nicht ins Netz gespeist, sondern gespeichert und später wieder verbraucht, spart dies im Mittel ca. 25,6 ct/kWh bei der Vermarktung des Überschusses auf dem Strommarkt (Intra-Day) und 18,75 ct/kWh mit EEG-Vergütung. Eine Speicherinstallation lohnt sich dementsprechend nur dann, wenn die zusätzlich durch den Speicher generierten Einsparungen durch erhöhten Eigenverbrauch über die Jahre größer sind als die Kosten für Kauf, Installation, Wartung und Betrieb des Speichers.

CHECKLISTE FÜR DEN KAUF VON SPEICHERN

Die Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz empfiehlt, die folgenden Punkte beim Kauf eines Batteriespeichers zu beachten:

- ***richtiges Produkt finden und Angebote von mindestens drei Betrieben einholen***
- ***Fördermittel z. B. www.kfw.de/275 nutzen***
- ***Kapazität individuell anpassen***
- ***sich steuerlich beraten lassen***
- ***Sicherheit des Systems prüfen und gewährleisten***
- ***Garantien und Lebensdauer prüfen***
- ***Ladestrategie individuell wählen***
- ***Eigenverbrauch des Speichers berücksichtigen***
- ***Anschluss und Zähler einrichten***
- ***Notwendigkeit einer Notstromversorgung prüfen [86]***

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Die Wirtschaftlichkeit hängt jedoch von vielen Faktoren (Dimensionierung der Photovoltaik-Anlage, Eigenverbrauch etc.) ab und weist daher eine breite Streuung auf, wodurch individuelle Berechnungen bzgl. Speicherdimensionierung und den jeweiligen Effekten unerlässlich sind. Zudem agieren viele Prosumer nicht alleine aus wirtschaftlichem Interesse, sondern möchten oft einen Beitrag zur Energiewende leisten, sind technikbegeistert oder wollen mehr Unabhängigkeit. Diese Aspekte können durch einen Speicher abgedeckt werden.

6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE

Die Digitalisierung bietet neue Möglichkeiten für Prosumer, am Energiesystem teilzunehmen. So steigt die Anzahl der Angebote von Start-Ups und Energieversorgungsunternehmen an Peer-to-Peer-Handelsplätze und Energie-Communities teilzunehmen oder direkte Nachweise über Regional-/Ökostrom zu erhalten. Diese Alternativen sollen im Anschluss kurz dargestellt werden.

Peer-to-Peer-Handel

Das Konzept des Peer-to-Peer-Handels beschreibt den direkten Handel zwischen Stromerzeugern und Stromverbrauchern. Dabei wird der eigentliche Weg, den eine Kilowattstunde erzeugter Energie im Falle der Vermarktung über einen Energieversorger zurücklegt, durch den direkten Handel zwischen Erzeuger und Verbraucher abgekürzt. So erhalten Erzeugungsanlagen die Möglichkeit, ihre Energie direkt zu vermarkten und somit ggf. höhere Erträge zu erzielen als über Energieversorger oder Börse.

Die Teilnahme an einem P2P-Markt ist lediglich mit Erzeugungsanlagen ohne oder nach dem Auslaufen der EEG-Förderung möglich, da die Energie ansonsten doppelt vermarktet würde (vgl. § 80 EEG).

Verbraucher erhalten durch P2P-Handel mehr Transparenz über Herkunft und Zusammensetzung ihres Energieverbrauches und größere Wahlfreiheit über

BLOCKCHAIN STATT ENERGIEVERSORGER?

Auch wenn Blockchain-basierte Systeme propagieren, den Energieversorger vollständig substituieren zu können, ist dies im heutigen Energiesystem noch nicht möglich. Dieser muss einerseits überschüssige oder fehlende Energiemengen ausgleichen und zudem vom Gesetzgeber geforderte Pflichten erfüllen, die ein Prosumer alleine nicht erfüllen kann. Diese umfassen nach ***[87]*** *unter anderem:*

- ***Angaben zur Vertragsdauer, Preisanpassungen, Kündigungstermine, -fristen, Rücktrittsrecht, Zahlungsweise, Lieferantenwechsel***
- ***Anzeige der personellen, technischen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit beim Regulator***
- ***Meldung von Lastprognosen an Netzbetreiber inkl. Beachtung der Marktregeln***
- ***Entrichtung der Stromsteuer***

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

ihren Energiemix. Erzeuger erhalten neben mehr Transparenz eine zusätzliche Vermarktungsoption und ggf. höhere Erlöse durch die Bereitschaft von Verbrauchern, für regionalen Ökostrom höhere Preise zu bezahlen. Im derzeitigen Energiesystem ist P2P-Handel zwar möglich, jedoch mit großen bürokratischen Hürden versehen. Aufgrund dieser Hürden ist es nicht sinnvoll, P2P-Handel ohne ein Energieversorgungsunternehmen als Dienstleister (z. B. mittels der Blockchain-Technologie **[88]**) durchzuführen. Weitere Informationen zum P2P-Handel sowie über rechtliche Hürden sind **[87]** zu entnehmen.

Power Purchase Agreements (PPA)

Bei PPA handelt es sich um direkte, langfristige Stromlieferverträge zwischen einem Anlagenbetreiber und einem Stromabnehmer. Dabei werden die Bedingungen (wie Strommengen und Preise) vertraglich festgelegt. Dies reduziert für beide Seiten das Risiko von Preisschwankungen auf den Großhandelsmärkten. Gerade Unternehmen können so auch geforderte oder selbst gesteckte Nachhaltigkeitsziele erreichen.

PPA sind nicht nur für post-EEG-Anlagen eine Möglichkeit. Auch für Neuanlagen können so bessere Erlösmöglichkeiten und so beispielsweise Planungssicherheit oder bessere Kreditzinsen bei der Investition erzielt werden **[89]**.

Energie-Communities

Trotz der fehlenden einheitlichen Definition von Energy-Communities sind Projekte unter dieser Bezeichnung in Europa mittlerweile weit verbreitet – die ersten Community-Initiativen in Deutschland entstanden bereits vor über einem Jahrzehnt **[90]**. Bei bestehenden Energieinitiativen handelt es sich dabei meist um Bürgerprojekte auf lokaler Ebene, welche primär als Zielsetzung die Nutzung lokal verfügbarer erneuerbarer Energiequellen und damit eine nachhaltige und unabhängige Energieversorgung innerhalb der Community anstreben. Der Begriff „Local Energy Community" wurde auch im Winterpaket, dem jüngsten Energie- und Klimapaket der EU, aufgegriffen und als ein mögliches Instrument zur Erreichung der energiepolitischen Ziele diskutiert **[91]**.

POTENZIALE DES P2P-HANDELS AUS SICHT DER VERBRAUCHER

*Da der Haushaltsstrompreis zum Großteil aus Steuern und Abgaben besteht, beträgt der Anteil des Energielieferanten nur 6,88 ct/kWh für Strombeschaffung, Vertrieb und Marge **[83]**. Nach Abzug des durchschnittlichen Intra-Day-Strompreises von 39,94 €/MWh (Januar bis Juni 2019 in **[80]**) für die Energiebeschaffung ergeben sich Anteile für Handel, Vertrieb und Marge von ca. 2,89 ct/kWh. Auf Basis des durchschnittlichen Haushaltsstrompreises von 30,22 ct/kW (**[83]**) entspricht dies ca. 9,56 %. Könnte die Blockchain-Technologie den Lieferanten obsolet machen, entspräche dies dem maximal möglichen Einsparungspotenzial. Nach aktueller Gesetzeslage werden Lieferanten weiterhin benötigt, um die gesetzlichen Vorgaben für den Handel zu erfüllen. In Anbetracht des technischen und bürokratischen Aufwands sind die möglichen Kosteneinsparungen daher in der Praxis deutlich geringer.*

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Laut dieser Definition bildet die geografische Komponente den wesentlichen Unterschied zum zuvor beschriebenen P2P-Handel. Mitglieder einer Energie-Community können zwar P2P-Handel betreiben, im Gegensatz zum allgemeinen P2P-Handel wird hierbei jedoch der lokal erzeugte Strom innerhalb der Energie-Community gehandelt, um die Zielsetzung der Initiative zu erfüllen. Dadurch sind für Teilnehmer einer Energie-Community die Förderung einer Wertschöpfung lokal verfügbarer erneuerbarer Energiequellen als auch die Reduktion von CO_2-Emissionen in der Region weitere Beweggründe. Damit verbundene Motivationsgründe sind die Erreichung lokaler Klimaziele und zunehmende Unabhängigkeit von importierten (fossilen) Energien. Als weitere Motivationsgründe für eine Vermarktung von Strom über dieses Modell gelten die lokale Wirtschaftsförderung sowie die Schaffung neuer Arbeitsplätze **[92]**, **[90]**. Darüber hinaus sind auch das Gemeinschaftsgefühl, Technologieaffinität, Preisbewusstsein, Regionalität und die Bedeutung grüner Produkte für die Teilnahme entscheidend **[93]**.

Nach heutiger Ausgestaltung werden Energie-Communities jedoch aufgrund der fehlenden Digitalisierung nicht analog zu P2P-Handel betrieben, sondern sind stark vergleichbar zu Cloud-Lösungen. Die Begriffe sind beide nicht klar voneinander abgegrenzt und deren Bedeutung ist von Anbieter zu Anbieter unterschiedlich. Gemein haben beide Systeme nach **[94]**, dass „Kosten und die Funktion dieser Angebote für den Kunden missverständlich oder intransparent" sind.

Cloud-Lösungen und Flatrates

Bereits ohne den Smart Meter Rollout werden durch viele Hardware-Hersteller sogenannte Cloud-Lösungen angeboten. Die Abgrenzung zu Communities ist nicht scharf und wird häufig synonym verwendet. Diese suggerieren, überschüssige Energiemengen aus Photovoltaik-Anlagen als „Guthaben" aufzubauen, um diese in Zeiten ohne Erzeugung wieder zu verbrauchen.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
6.1 WEITERBETRIEB ODER STILLLEGUNG?
6.2 SONSTIGE DIREKTVERMARKTUNG
6.3 SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN
6.4 STEIGERUNG VON EIGENVERBRAUCH & AUTARKIE
6.5 NACHRÜSTUNG VON SPEICHERN
6.6 NEUE VERMARKTUNGSMODELLE
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Bei diesen Tarifen ist es jedoch in der Regel nicht der Fall, dass die Energie tatsächlich physikalisch zwischengespeichert wird. Die Rede in den Angeboten ist i. d. R. nur von „virtueller Zwischenspeicherung". Konkret handelt es sich hierbei nicht um einen Speicher, sondern um die Verrechnung der EEG-Vergütung mit den Kosten für den Reststrom. Die Differenz wird häufig als „Speichermiete" bezeichnet. Statt den eigenen Überschussstrom in Zeiten mit geringer Erzeugung zu erhalten, wird der Strombedarf durch alternative Erzeugungsanlagen (nach Angaben der Unternehmen meist Ökostrom) gedeckt. Die Angebote sind in der Regel an die Hardware aus dem jeweiligen Unternehmen gekoppelt. Der Unterschied zu herkömmlichen Lösungen (Einspeisevergütung für Photovoltaik-Strom und Ökostromtarif für Reststrom) ist, dass Zahlungsströme saldiert werden und für die gebuchte Energiemenge eine Flatrate zur Verfügung steht. Werden Flatrates nicht ausgeschöpft, verlieren sie schnell ihren wirtschaftlichen Vorteil. Die Angebote sollten daher individuell geprüft werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass Angebote mit dem Namen „Cloud" oder „Community" bei vielen Anbietern unterschiedliche Bedeutungen aufweisen und oft eher einer virtuellen Verrechnung als einem echten Mehrwert für die Energiewende oder den Kunden entsprechen **[94]**. Durch die Digitalisierung ist es jedoch auch möglich, Erzeugung und Verbrauch aufeinander abzustimmen und durch diese Angebote einen echten Mehrwert zu generieren (z. B. durch die zusätzliche Vermarktung der Community durch den Anbieter). Es ist jedenfalls zu empfehlen, bei der Auswahl alle Facetten des Angebots zu beachten.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

7

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Die Energiewende und die dazu erforderliche Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Mobilität werden zu einem großen Teil von Privatpersonen getragen. Mit steigender Durchdringung von erneuerbaren Erzeugungsanlagen und leistungsstarken Verbrauchern, wie Elektrofahrzeuge und Wärmeerzeuger, steigen jedoch auch die Netzbelastungen stetig an. Das Beispiel Altdorf zeigt, dass dies lokal zu einer stärkeren Auslastung von Leitungen und Transformatoren führen kann. Sind Netze nicht für diese Auslastungen dimensioniert, entstehen durch ihren Ausbau oder die Abregelung von Erzeugern bzw. Verbrauchern Kosten, welche wiederum von Letztverbrauchern über die Netzentgelte getragen werden.

Durch die Installation von Photovoltaikanlagen oder Blockheizkraftwerken werden Verbraucher zu Prosumern. Verfügen diese über ein Smart Meter (auch intelligentes Messsystem genannt) und Wärmepumpen, elektrische Speicherheizungen oder Elektrofahrzeuge, können sie durch externe Signale unterschiedlicher Marktakteure gesteuert werden und aktiv am Energiesystem teilnehmen. So können sie mit ihrer Flexibilität einen weiteren Beitrag zur Energiewende leisten. Der Prosumer entwickelt sich so in Zukunft zunehmend zum Flexumer.

Mit der Digitalisierung des Energiesystems können alle – vom Verbraucher bis zum Flexumer – neue Möglichkeiten nutzen, um die Netze zu entlasten, Energie zu sparen oder neue Dienstleistungen in Anspruch zu nehmen. Dies umfasst die Auswertung von Erzeugungs- und Verbrauchslastgängen und die Identifikation von Energieeffizienzmaßnahmen oder defekten Geräten. Auch schnellerer bzw. automatisierter Lieferantenwechsel sind perspektivisch möglich.

Nach dem Auslaufen der EEG-Förderung ermöglicht die Digitalisierung eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten für erneuerbare Energien. So sollten Anlagen – wenn möglich – weiterbetrieben werden. Die Möglichkeiten des Weiterbetriebs erstrecken sich über die Weitervermarktung durch Aggregatoren oder Energieversorger, die verstärkte Eigenverbrauchsoptimierung, den Einbau von Speichersystemen oder die Teilnahme an P2P-Handel bzw. Energie-Communities oder Cloud-Lösungen. Mit der zunehmenden Anlagenanzahl ohne

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

Förderung in den nächsten Jahren ist mit einem breit gefächerten und vielfältigen Angebot für diese Anlagen zu rechnen. Die Beispiele Communities und Clouds zeigen jedoch auch, dass das Verständnis, die Auslegung sowie die Wertversprechen dieser Angebote unterschiedlich sind. Eine klare, einheitliche Auslegung und transparentere Darstellung der Vor- und Nachteile wäre hier oft wünschenswert.

Alles in allem ist die Digitalisierung des Energiesystems nicht nur gesetzlich verankert, sondern auch durch die zunehmende Komplexität und den steigenden Abstimmungsaufwand notwendig. Während sich die Digitalisierung aufgrund des Zertifizierungsprozesses verspätet, sind darüber hinaus noch andere Herausforderungen zu überwinden. So muss die Stromwende zu einer echten Energiewende weiterentwickelt werden. Dazu muss die Sektorkopplung konsequent vorangetrieben werden: So lässt sich das Potenzial der Flexumer voll erschließen, wodurch ein Ausbau des Stromnetzes „auf die letzte Kilowattstunde" vermieden werden kann. Darüber hinaus müssen auf Basis der digitalen Infrastruktur Dienstleistungen etabliert werden, die die Ziele einer nachhaltigeren, sicheren und kostengünstigen Energieversorgung stützen. Private Haushalte spielen hier eine zentrale Rolle für die Entwicklung; Stadtwerke, Energieversorger, Energiedienstleister und Netzbetreiber fungieren als Enabler.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

8

LITERATUR-VERZEICHNIS

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

[1] Umweltbundesamt: Trends der Lufttemperatur. In: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#textpart-1. (Abruf am 2019-05-24); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/78bYU7CiR); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2018.

[2] Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017). Berlin: Bundesregierung Deutschland, 2017.

[3] Kraftwerksliste Bundesnetzagentur: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html; Bonn: Bundesnetzagentur, 2019.

[4] Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt Fachgebiet V 1.5 - Energieversorgung und -daten, 2019.

[5] Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik). Berlin: Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar), 2018.

[6] Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. Ausgefertigt am 2016-08-29, Version vom 2016-09-01; Bonn: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2016.

[7] D21-Digital-Index 2018 / 2019. Berlin: Initiative D21 e. V., 2019.

[8] Intelligente Messsysteme - Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende in: http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netze-und-Netzausbau/intelligente-messsysteme.html (Aufgerufen am 20.01.2016). Berlin: BMWI, 2016.

[9] Madel, Andreas: Photovoltaikanlage weitere Komponenten - Sonstige Komponenten einer Photovoltaikanlage. In: https://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-technik/photovoltaikanlage-weitere-komponenten. (Abruf am 2019-08-01); Ulm: Anondi GmbH, 2019.

[10] Photovoltaik-Preismonitor Deutschland - German PV ModulePriceMonitor © 2016. Bonn: EuPD Research, 2016.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

[11] Quaschning, Volker: Vergütung für Strom aus Photovoltaikanlagen nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz - Entwicklung der Vergütung für Photovoltaikanlagen nach dem EEG. In: https://www.volker-quaschning.de/datserv/EEG-PV/index.php. (Abruf am 2019-07-30); Berlin: Quaschning, 2011.

[12] Degressions- und Vergütungssätze für solare Strahlungsenergie nach den §§ 32 und 33 EEG ab dem 01.01.2011:. Bonn: Bundesnetzagentur, 2010.

[13] Degressions- und Vergütungssätze April 2012 bis Juli 2014: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Photovoltaik/ArchivDatenMeldgn/Degressions- %20und %20Verg %C3 %BC-tungss %C3 %A4tze %20April %202012 %20bis %20Juli %202014.xls?__blob=publicationFile&v=1; Bonn: Bundesnetzagentur, 2014.

[14] Degressions- und Vergütungssätze August 2014 bis September 2014: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Photovoltaik/ArchivDatenMeldgn/DegressionsVergSaetze_08_2014-09_2014.xls?__blob=publicationFile&v=1; Bonn: Bundesnetzagentur, 2014.

[15] Degressions- und Vergütungssätze Oktober bis Dezember 2016: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Photovoltaik/ArchivDatenMeldgn/DegressionsVergSaetze_Okt-Dez2016.xls?__blob=publicationFile&v=2; Bonn: Bundesnetzagentur, 2016.

[16] Anzulegende Werte für Solaranlagen November 2018 bis Januar 2019: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/PV_Datenmeldungen/DegressionsVergSaetze_11-01_19.xlsx?__blob=publicationFile&v=3; Bonn: Bundesnetzagentur, 2018.

[17] Anzulegende Werte für Solaranlagen Mai bis Juli 2019: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/PV_Datenmeldungen/DegressionsVergSaetze_05-07_19.xlsx?__blob=publicationFile&v=3; Bonn: Bundesnetzagentur, 2019.

[18] Marktstammdatenregister - Öffentliche Einheitenübersicht. In: https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht. (Abruf am 2019-03-07); Bonn: Bundesnetzagentur, 2019.

[19] Schmid, Tobias; Jetter, Fabian, Konetschny, Claudia: Regionalisierung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien - Begleitdokument zum Netzentwicklungsplan 2030 Version 2019. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2018.

[20] Bründlinger, Thomas et al.: dena-Leitstudie Integrierte Energiewende - Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050 - Teil A: Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen (dena) - Teil B: Gutachterbericht (ewi Energy Research & Scenarios gGmbH). Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2018.

[21] Elektromobilitätsgesetz (EmoG) - Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge. Frankfurt am Main: Deutsches Dialog Institut GmbH, 2018.

[22] Samweber, Florian; Köppl, Simon; et al.: Projekt MONA 2030: Bewertung Netzoptimierender Maßnahmen gemäß technischer, ökonomischer, ökologischer, gesellschaftlicher und rechtlicher Kriterien - Teilbericht Einsatzreihenfolgen. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2017.

[23] Zeuner, Jörg: KfW-Energiebarometer 2018: Energiewende kommt in der Breite an - Dynamik im Bereich Elektromobilität. In: KfW Energiebarometer; Frankfurt: KfW Bankengruppe, 2018.

[24] Verteilung der Eigentümerstruktur zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren-Energieanlagen in Deutschland im Jahr 2016: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/803990/umfrage/eigentuemerstruktur-zur-stromerzeugung-aus-erneuerbaren-energieanlagen-in-deutschland/; Hamburg: Statista GmbH, 2018. (überarbeitet: 2019).

[25] Corradini, Roger; Konetschny, Claudia; Schmid, Tobias: FREM - Ein regionalisiertes Energiesystemmodell in: et - Energiewirtschaftliche Tagesfragen Heft 1/2 2017. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft, 2017.

[26] Statistisches Bundesamt: Anzahl der Privathaushalte in Deutschland von 1991 bis 2017. In: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156950/umfrage/anzahl-der-privathaushalte-in-deutschland-seit-1991/. (Abruf am 2019-06-04); Hamburg: Statistisches Bundesamt, 2018.

[27] Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2018. In: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html?nn=644526. (Abruf am 2019-03-07); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/76gwEMjzd); Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, 2019.

[28] Umweltbundesamt: Stromverbrauch. In: https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/stromverbrauch. (Abruf am 2019-06-04); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/78s9uphVJ); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2019.

[29] Madlener, Reinhard et al.: Prosumer-Haushalte - Private Haushalte als neue Schlüsselakteure einer Transformation des Energiesystems - Schlussbericht. Aachen, Osnabrück, Berlin: Studie im Auftrag des BMBF, 2016.

[30] Flexibilität im Stromversorgungssystem - Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität - Diskussionspapier Stand 03. April 2017. Bonn: Bundesnetzagentur, 2017.

[31] Flaute, Markus et al.: Gesamtwirtschaftliche Effekte von Prosumer-Haushalten in Deutschland. Osnabrück: Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS), 2016.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

[32] Flaute, Markus et al.: Macroeconomic Effects of Prosumer Households in Germany. Osnabrück: Institute of Economic Structures Research (GWS), 2017.

[33] Rickerson, Wilson: Residential Prosumers - Drivers and Policy Options. Paris, France: International Energy Agency (IEA), 2014.

[34] Konrad, Wilfried et al.: Das Smart Grid im Privathaushalt. Zur Digitalisierung des Energiesystems aus Verbrauchersicht - InnoSmart-Arbeitsbericht 06. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), 2017.

[35] Graulich, Kathrin et al.: Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparen - Ergebnisse aus dem BMBF-geförderten Verbundprojekt BuergEn „Perspektiven der Bürgerbeteiligung an der Energiewende unter Berücksichtigung von Verteilungsfragen". Freiburg: Öko-Institut e.V., 2018.

[36] Mwasilu, Francis et al.: Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 34 (501–516). South Korea: Dongguk University-Seoul, 2013.

[37] Sauer, Dirk Uwe et al.: Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0 - Speichermonitoring 2018. Aachen: Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe RWTH Aachen, 2018.

[38] Köppl, Simon; Estermann, Thomas; Zeiselmair, Andreas: Laufendes Projekt: C/sells – Großflächiges Schaufenster im Solarbogen Süddeutschlands in: www.ffe.de/csells. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2017.

[39] Kubli, Merla et al.: The flexible prosumer: Measuring the willingness to co-create distributed flexibility. In: Energy Policy 114/2018. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2018.

[40] Mohaupt, Franziska et al.: InnoSmart - Partizipative Gestaltung von verbrauchernahen Innovationen für Smart Grids - Schlussbericht. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), 2016.

[41] Gährs, Swantje et al.: Prosumer-Haushalte - Handlungsempfehlungen für eine sozial-ökologische und systemdienliche Förderpolitik. Aachen, Osnabrück, Berlin: RWTH Aachen, 2016.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

[42] Seidl, Hannes; Schenuit, Carolin; Teichmann, Mario: Roadmap Demand Side Management - Industrielles Lastmanagement für ein zukunftsfähiges Energiesystem. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2016.

[43] Gellings, Clark: Evolving practice of demand-side management. In: Journal of Modern Power Systems and Clean Energy 5/2017. Berlin: Springer, 2017.

[44] Gährs, Swantje: Prosumer in der Energiewirtschaft - Überblick, Potenziale und Erkenntnisse aus Projekten des IÖW. In: Offenes Cluster-Forum "Neue Trends in der Energiewirtschaft - Zukunft oder Hype?"; Potsdam: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), 2017.

[45] Schnurre, Sebastian: Variable Tarife aus dem Blickwinkel der Lastverlagerung in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 64. Jg. (2004) Heft 6. Essen: etv Energieverlag GmbH, 2014.

[46] Setton, Daniela: Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2018. Potsdam: Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung (IASS), 2019.

[47] Wirth, Harry: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg: Fraunhofer ISE, 2019.

[48] Reichmuth, Matthias: Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG-geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2017 bis 2021. Leipzig: Leipziger Institut für Energie, 2016.

[49] Nagl, Michael: Modellierung und individuelle Auslegung von PV-Hausspeichersystemen auf Basis gemessener Verbrauchsdaten - Modelling and individual dimensioning of residential PV storage systems based on measured consumption data. Masterarbeit. Herausgegeben von der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik; betreut durch die Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München, 2017.

[50] Raugei, Marco et al.: Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation: A comprehensive response. In: Energy Policy Energy Policy 102 (2017) 377–384. o. O.: ScienceDirect, 2016.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

[51] Auswahlkriterien für Batteriespeicher. In: https://www.eupd-research.com/fileadmin/content/download/pdf/Whitepaper/EuPD_Research_Whitepaper_E3DC.pdf. (Abruf am 2019-02-27); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/76V22nbLa); Bonn: E3DC Energy Storage, EuPD Research, 2019.

[52] Weniger, Johannes et al.: Dezentrale Solarstromspeicher für die Energiewende. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2015.

[53] Photovoltaik Stromspeicher: optimale Größe ermitteln. In: https://www.photovoltaik.org/photovoltaikanlagen/stromspeicher/optimale-groesse-ermitteln. (Abruf am 2019-02-27); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/76V6zRVPk); Bad Homburg: Christian Münch GmbH, 2019.

[54] Miara, Marek: Wärmepumpen. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2018.

[55] Born, Holger: Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes - Bestandsaufnahme und Trends. Bochum: Internationales Geothermiezentrum, 2017.

[56] Petereit, Lars: Energiepreise. In: https://www.waermepumpe.de/politik/energiepreise/. (Abruf am 2019-02-21); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/76LtpdTQI); Berlin: Bundesverband Wärmepumpen e.V., 2017.

[57] Russ, Christel et al.: Feldmessung Wärmepumpen im Gebäudebestand. Freiburg: Fraunhofer - Institut für Solare Energiesysteme (ISE), 2010.

[58] Kersten, Sven et al.: Leitfaden Wärmepumpe - Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaik. Düsseldorf: EnergieAgentur.NRW, 2015.

[59] Monitoringbericht 2018. Bonn: Bundesnetzagentur, 2018.

[60] Kleimaier, Martin et al.: Elektro-Speicherheizung – neue Anwendung statt Verbot. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 59. Jg. (2009) Heft 5. Essen: Kleimaier, 2009.

[61] Elektrotechnik Hildebrand: Elektrische Heizungsanlagen / Wärmebedarf in: http://www.hillebrand-elektrotechnik.de/. Zülpich, 2013.

[62] Samweber, Florian; Köppl, Simon; Bogensperger, Alexander: Projekt Merit Order Netz-Ausbau 2030 - Teilbericht Maßnahmenklassifizierung. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2016.

[63] Mayrhofer, Philip: Email-Auskunft zur Lebensdauer der Elektroden von Elektrodenheizkesseln. München: Enerstorage GmbH, 2016.

[64] Elektroautos im Test: So hoch ist der Stromverbrauch - Bei Elektroautos gibt es große Unterschiede bei Verbrauch und Reichweite, das hat der ADAC Ecotest ergeben. Zwölf e-Autos im Vergleich – vom günstigen Renault Zoe bis zum teuren Tesla Model X. In: https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/. (Abruf am 2019-02-13); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/769Wilunv); München: ADAC, 2018.

[65] Förderung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen - Merkblatt für Anträge nach der Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus) vom 26.02.2018 (gilt für alle ab dem 03.03.2018 gestellten Anträge). Eschborn: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2018.

[66] Kurzbericht - Verkehr in Kilometern, Jahr 2017. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, 2018.

[67] Leuschner, Karina: Steuervergünstigungen für reine Elektrofahrzeuge. In: https://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/Verkehrsteuern/Kraftfahrzeugsteuer/Steuerverguenstigung/Elektrofahrzeuge/elektrofahrzeuge_node.html. (Abruf am 2019-02-22); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/76NZTppKG); Bonn: Generalzolldirektion, 2019.

[68] Weber, Oliver: Durchschnittliche Reichweite von Elektrofahrzeugen nimmt weiter deutlich zu - Aktuelle Pressemitteilungen. In: https://www.horvath-partners.com/de/presse/aktuell/detail/date/2018/08/01/durchschnittliche-reichweite-von-elektrofahrzeugen-nimmt-weiter-deutlich-zu/. (Abruf am 2019-05-02); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/7844ALcRh); Stuttgart: Horvath & Partners, 2018.

[69] Follmer, Robert; et al.: Mobilität in Deutschland 2008 - Datensatz auf DVD. Bezogen von: Clearingstelle für Verkehr. Bonn: infas institut für angewandte sozialwissenschaft, 2010.

[70] Liste der förderfähigen Elektrofahrzeuge - Stand: 12.02.2019. Eschborn: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2019.

[71] Brautsch, Markus et al.: Effizienzsteigerung durch Modellkonfiguration in BHKW-Anlagen - F 2840. Stuttgart: Fraunhofer IRB, 2013.

[72] Gailfuß, Markus et al.: Moderne KWK-Technologien - Technik und Wirtschaftlichkeit. Rastatt: BHKW-Infozentrum Rastatt / BHKW-Consult, 2016.

[73] So viel kosten 2019 BHKW in der Anschaffung und im Betrieb. In: https://ihr-bhkw.de/bhkw-preise-und-kosten. (Abruf am 2019-02-27); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/76V8bU00u); Brilon: scon-marketing GmbH, 2019.

[74] Der Stromverbrauch im Haushalt. In: https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-im-haushalt/. (Abruf am 2019-06-15); Berlin: co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH, 2013.

[75] Bogensperger, Alexander; Estermann, Thomas; Samweber, Florian; Köppl, Simon; Müller, Mathias; Zeiselmair, Andreas, Wohlschlager, Daniela: Smart Meter - Umfeld, Technik, Mehrwert. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2018.

[76] Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler - Endbericht zur Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Stuttgart: Ernst & Young GmbH, 2013.

[77] Bergner, Joseph et al.: Sinnvolle Dimensionierung von Photovoltaikanlagen für Prosumer. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2019.

[78] Müller, Mathias et al.: Dezentrale Flexibilität für lokale Netzdienstleistungen - Eine Einordnung des Flexibilitätsbegriffs als Grundlage für die Konzipierung einer Flexibilitätsplattform in C/sells. In: BWK - Das Energie-Fachmagazin 6/2018. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2018.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

[79] Kiefer, Klaus; Dirnberger, Daniela; Müller, Björn; Heydenreich, Wolfgang; Kröger-Vodde, Anselm: A Degradation Analysis of PV Power Plants. In: 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Valencia: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), 2010.

[80] Marktdaten verschiedener Jahre in: www.epexspot.com. Paris: EPEX Spot, 2013.

[81] Regelleistung.net - Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung. In: https://www.regelleistung.net/ext/static/abla. (Abruf am 2019-05-02); (Archived by WebCite® at http://www.webcitation.org/784UUm9W7); Berlin, Pulheim, Bayreuth, Stuttgart: 50 Hertz, Amprion, TenneT, Transnet BW, 2019.

[82] Präqualifikation für den Regelenergiemarkt. Was ist das und wie funktioniert es? in: https://www.next-kraftwerke.de/energie-blog/praequalifikation-regelenergiemarkt (21.01.2016). Köln: Next Kraftwerke GmbH, 2013.

[83] Schwencke, Tilman et al.: BDEW-Strompreisanalyse Januar 2019 - Haushalte und Industrie. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2019.

[84] Weniger, Johannes; Tjaden, Tjarko; Quaschning, Volker: Solare Unabhängigkeitserklärung. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2012.

[85] Fördersätze für PV-Anlagen. In: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/PV_Datenmeldungen/DegressionsVergSaetze_02-04_19.xlsx?__blob=publicationFile&v=4. (Abruf am 2019-03-20); Bonn: Bundesnetzagentur, 2019.

[86] Checkliste für den Kauf von Batteriespeichern. Mainz: Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V., 2017.

[87] Bogensperger, Alexander; Zeiselmair, Andreas; Hinterstocker, Michael; Dufter, Christa: Die Blockchain-Technologie - Chance zur Transformation der Energiewirtschaft? - Berichtsteil: Anwendungsfälle. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2018.

1 EVOLUTION DES ENERGIESYSTEMS
2 HERAUSFORDERUNGEN IM STROMNETZ AM BEISPIEL ALTDORF
3 LETZTVERBRAUCHER ALS SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE?
4 PROSUMER TECHNOLOGIEN
5 CHANCEN DER DIGITALISIERUNG
6 ERNEUERBARE ENERGIEN NACH AUSLAUFEN DER EEG-FÖRDERUNG
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT
8 LITERATURVERZEICHNIS

[88] Bogensperger, Alexander; Zeiselmair, Andreas, Hinterstocker, Michael: Die Blockchain-Technologie - Chance zur Transformation der Energieversorgung? - Berichtsteil Technologiebeschreibung. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2018.

[89] Huneke, Fabian et al.: Power Purchase Agreements - Finanzierungsmodell von erneuerbaren Energien. Berlin: Energy Brainpool GmbH & Co. KG, 2018.

[90] Oteman, Marieke et al.: The institutional space of community initiatives for renewable energy: a comparative case study of the Netherlands, Germany and Denmark. Nijmegen: Radboud University, 2014.

[91] Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates mit gemeinsamen Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt (Neufassung) (COM(2016) 864 final 2016/0380(COD)). Ausgefertigt am 2016-11-30, Version vom 2017-02-23; Brüssel: Europäische Kommission, 2017.

[92] Koirala, Binod Prasad et al.: Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems. Delft, Madrid, Wuppertal: Delft University, 2015.

[93] Mengelkamp, Esther et al.: Quantifying Factors for Participation in Local Electricity Markets. In: 15th International Conference on the European Energy Market (EEM) June 27-29. Lodz, PL: IEEE, 2018.

[94] Semerow, Natalja: Vergleichsanalyse von Community und Cloud Angeboten in Deutschland 2019. Bonn: EuPD Research Sustainable Management GmbH, 2019.

IMPRESSUM

Bericht zum Projekt: C/sells

Veröffentlicht am: 15.10.2019
Bearbeiter/in: Alexander Bogensperger, Thomas Estermann, Simon Köppl, Daniela Wohlschlager, Sebastian Faller, Mathias Müller
ISBN: 978-3-941802-44-5
FfE-Auftragsnummer: BMWI-39
Förderkennzeichen: 03SIN121

Herausgeber: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE)
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Wissenschaftlicher Leiter:
Prof. Dr.-Ing. U. Wagner
Geschäftsführer:
Prof. Dr.-Ing. W. Mauch
Projekt-Manager:
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. R. Corradini

Kontakt:
Am Blütenanger 71
80995 München
Tel.: +49 (0) 89 158121-0
Fax: +49 (0) 89 158121-10
E-Mail: info@ffe.de
Internet: www.ffe.de

Gestaltung und Umsetzung: © hw.design gmbh, München