

Energieautarkie: Definitionen, Für- bzw. Gegenargumente, und entstehende Forschungsbedarfe

By Russell McKenna, Carsten Herbes and Wolf Fichtner

No. 6 | MARCH 2015

WORKING PAPER SERIES IN PRODUCTION AND ENERGY



Energieautarkie: Definitionen, Für- bzw. Gegenargumente, und entstehende Forschungsbedarfe

Russell McKenna, Carsten Herbes, Wolf Fichtner

Chair of Energy Economics, Karlsruhe Institute of Technology (KIT),
Institute for Industrial Production (IIP),
Building 06.33, Hertzstrasse 16, 76187 Karlsruhe, Germany.
Tel.: +49 721 6084 4582. E-mail: mckenna@kit.edu

Abstract:

Ambitionierte europäische und nationale Zielvorgaben in der Energiepolitik führen in den letzten Jahren zu einem Umbruch der Energiewirtschaft, der vor allem durch den Ausbau von erneuerbaren Energien geprägt ist. Die Charakteristika dieser Energieträger bedingen, dass ihre Erschließung wenigstens teilweise dezentral erfolgen muss. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist somit stark lokal und regional geprägt, wie z.B. in Deutschland durch die hohe Investition privater Personen in erneuerbare Energieanlagen und der Trend der Bürgerenergie deutlich wird. Das Letztgenannte resultiert aus diversen sozio-ökonomischen Motivationen wie dem Bedürfnis, eine aktive Rolle in der Energieversorgung zu übernehmen und sich unabhängiger von zentralen Strukturen zu machen. Der Begriff der Energieautarkie hat sich in diesem Kontext etabliert und Forschungsfragen aufgeworfen, von denen dieser Beitrag einigen nachgeht. Die Ziele dieses Artikels sind, die sozialen und ökonomischen Motive der Akteure sowie die technischen Für- und Gegenargumente für Energieautarkie zu identifizieren und zu hinterfragen. Dabei werden Definitionen und Bewertungsmethoden diskutiert und konkrete Forschungsbedarfe abgeleitet. Die Auswertung zeigt einen mangelnden Konsens in der Literatur auf, weswegen eine Arbeitsdefinition von Energieautarkie vorgeschlagen wird. Unter den sozialen Motivationen und Voraussetzungen für Energieautarkie werden diverse Aspekte thematisiert und es zeigt sich, dass viele Konsumenten bereit sind, mehr für lokale Energie zu bezahlen. Die techno-ökonomischen Aspekte sind ausschlaggebend: der Grad der möglichen Energieautarkie ist durch die technischen Gegebenheiten bestimmt, insbesondere müssen ausreichende erneuerbare Energien-Potenziale vorhanden sein. Andererseits gibt es drei wesentliche technische Gegenargumente für die Energieautarkie, nämlich der Größendegressionseffekt, der Glättungseffekt und die Versorgungssicherheit. Forschungsbedarfe werden in mehreren Bereichen identifiziert. Empirische Forschung zu der Frage der Übertragbarkeit von Energieautarkie-Ansätzen und standardisierte Rahmenwerke sind notwendig, um die Vergleichbarkeit zwischen und Übertragbarkeit von diversen Projekten zu ermöglichen. Vor allem bei der Erschließung von nachfrageseitigen Potenzialen zur Lastverschiebung und Energieeffizienz scheinen die hier diskutierten Energieautarkieprojekte noch nicht so weit zu sein. Die Eignung und das Zusammenspiel zwischen unterschiedlichen Kommunen sowie die Frage nach dem optimalen Aggregationsgrad sind noch zu klären. Schließlich ergibt sich ein Forschungsbedarf für Bewertungsmethoden und Indikatoren, um Energieautarkie auf der Ebene von einzelnen Kommunen und ihre Auswirkungen auf das übergeordnete Energiesystem flächendeckend zu bewerten.

Energieautarkie: Definitionen, Für- bzw. Gegenargumente, und entstehende Forschungsbedarfe

Russell McKenna¹, Carsten Herbes², Wolf Fichtner¹

1. Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe
2. Hochschule für Wirtschaft und Umwelt (HfWU) Nürtingen-Geislingen, Nürtingen

Abstract

Ambitionierte europäische und nationale Zielvorgaben in der Energiepolitik führen in den letzten Jahren zu einem Umbruch der Energiewirtschaft, der vor allem durch den Ausbau von erneuerbaren Energien geprägt ist. Die Charakteristika dieser Energieträger bedingen, dass ihre Erschließung wenigstens teilweise dezentral erfolgen muss. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist somit stark lokal und regional geprägt, wie z.B. in Deutschland durch die hohe Investition privater Personen in erneuerbare Energieanlagen und der Trend der Bürgerenergie deutlich wird. Das Letztgenannte resultiert aus diversen sozio-ökonomischen Motivationen wie dem Bedürfnis, eine aktive Rolle in der Energieversorgung zu übernehmen und sich unabhängiger von zentralen Strukturen zu machen. Der Begriff der Energieautarkie hat sich in diesem Kontext etabliert und Forschungsfragen aufgeworfen, von denen dieser Beitrag einigen nachgeht. Die Ziele dieses Artikels sind, die sozialen und ökonomischen Motive der Akteure sowie die technischen Für- und Gegenargumente für Energieautarkie zu identifizieren und zu hinterfragen. Dabei werden Definitionen und Bewertungsmethoden diskutiert und konkrete Forschungsbedarfe abgeleitet. Die Auswertung zeigt einen mangelnden Konsens in der Literatur auf, weswegen eine Arbeitsdefinition von Energieautarkie vorgeschlagen wird. Unter den sozialen Motivationen und Voraussetzungen für Energieautarkie werden diverse Aspekte thematisiert und es zeigt sich, dass viele Konsumenten bereit sind, mehr für lokale Energie zu bezahlen. Die techno-ökonomischen Aspekte sind ausschlaggebend: der Grad der möglichen Energieautarkie ist durch die technischen Gegebenheiten bestimmt, insbesondere müssen ausreichende erneuerbare Energien-Potenziale vorhanden sein. Andererseits gibt es drei wesentliche technische Gegenargumente für die Energieautarkie, nämlich der Größendegressionseffekt, der Glättungseffekt und die Versorgungssicherheit. Forschungsbedarfe werden in mehreren Bereichen identifiziert. Empirische Forschung zu der Frage der Übertragbarkeit von Energieautarkie-Ansätzen und standardisierte Rahmenwerke sind notwendig, um die Vergleichbarkeit zwischen und Übertragbarkeit von diversen Projekten zu ermöglichen. Vor allem bei der Erschließung von nachfrageseitigen Potenzialen zur Lastverschiebung und Energieeffizienz scheinen die hier diskutierten Energieautarkieprojekte noch nicht so weit zu sein. Die Eignung und das Zusammenspiel zwischen unterschiedlichen Kommunen sowie die

Frage nach dem optimalen Aggregationsgrad sind noch zu klären. Schließlich ergibt sich ein Forschungsbedarf für Bewertungsmethoden und Indikatoren, um Energieautarkie auf der Ebene von einzelnen Kommunen und ihre Auswirkungen auf das übergeordnete Energiesystem flächendeckend zu bewerten.

1. Einleitung, Zielsetzung und Übersicht

Die ambitionierten europäischen und nationalen Zielsetzungen in der Energiepolitik, vor allem die Minderungsziele für Treibhausgase (THG) und für die Endenergienachfrage sowie die Mindestquoten für Erneuerbare Energien (EE), führen gerade zu einem Umbruch der Energiewirtschaft, der hauptsächlich durch den Ausbau der EE-Technologien und dessen direkte Auswirkungen geprägt ist. Die Aufteilung der nationalen Ziele auf die Regionen innerhalb eines Landes ist aber nicht nur eine technisch-ökonomische Frage nach den „optimalsten“ Potenzialen, sondern hängt vielmehr von den regionalen und lokalen sozio-ökonomischen Gegebenheiten und energiepolitischen Weichenstellungen ab. Windparks werden bspw. nicht ohne vorherige Regionalplanung sowie, zumindest meistens, nicht ohne die Akzeptanz der lokalen Akteure gebaut. Nichtsdestotrotz sind die nationalen Ziele teilweise nicht mit denen der Bundesländer oder denen einzelner Kommunen und Städte abgestimmt, wodurch ein Bruch zwischen top-down Vorgaben und bottom-up Umsetzung entsteht. Eine Ursache dieses Bruches ist die Umsetzung von Energiekonzepten auf kommunaler und lokaler Ebene, die sich in den hohen Anteilen von Landwirten und Privatpersonen an den der EE-Anlagenbetreibern zeigt (Klaus Novy Institut 2011) und selbst zwei besonderen Tatsachen geschuldet sein kann. Die eine ist die geringe Energiedichte sowie die breite räumliche Verteilung der EE-Potenziale. Die zweite ist die soziale Dimension, die letztendlich überhaupt bestimmt ob, wo, wie und von wem (Bürger-)Energemaßnahmen umgesetzt werden.

In den letzten Jahrzehnten haben sich Bürgerenergieprojekte von einer Randaktivität in einen signifikanten Bereich der Energiewirtschaft verwandelt: Etwa 718 Energiegenossenschaften wurden seit 2006 gegründet (DGRV 2014) und etwa 46% der installierten Kapazität an Erneuerbaren Energien in 2012 war Bürgerenergie (trend:research 2013). Dabei zählt als Bürgerenergie: Bürgerbeteiligungen, Bürgerenergiegenossenschaften und Einzeleigentümer; Offshore-Wind und Bürgerenergie sind nicht enthalten. Die Definition der Bürgerenergie wird hier im breitesten Sinne von Holstenkamp und Degenhart (ibid., Abschnitt 2.4.5) übernommen. Diese Projekte sind unter anderem durch hohe Anteile an Bürgerbeteiligung (als Besitzer und/oder Betreiber) und die Ausschöpfung von lokalen, oft erneuerbaren Energieressourcen geprägt. Sie sind fast immer mit einer dezentralen Energieversorgung verbunden und viele

Kommunen versuchen sogar, ihre Eigenenergieversorgung wenigstens teilweise autark zu gestalten. Deswegen wird in diesem Zusammenhang der Begriff Energieautarkie häufig gebraucht bzw. bestimmten Akteuren wie Bioenergieidörfern etc. als Ziel zugeschrieben (Eicke/Krause 2014, Welz 2011: 10 und 28, George 2014: 41, Hauber/Ruppert-Winkel 2012, Mautz et al. 2008).

In Deutschland, Österreich und der Schweiz, zum Beispiel, stellt sich die Rolle von Energieautarkie im Kontext der Bürgerenergie sehr differenziert (McKenna et al. 2014) dar. Teilweise wird die Energieautarkie als konkretes energiepolitisches Ziel explizit formuliert, wie in Vorarlberg, (Österreich). In Deutschland und der Schweiz dagegen wird sie – sofern sie überhaupt thematisiert wird – eher als Ziel für einzelne Projekte oft ohne konkrete Definition (z.B. hinsichtlich der Art der Autarkie, vgl. Kapitel 2) und Bewertung erwähnt. Es scheint jedoch auch einige Parallelen zwischen den drei Ländern zu geben, wie das Vorhandensein überregionaler Kommunikationsplattformen zum Austausch bisheriger Erfahrungen oder die Existenz von „Pionier“-Gemeinden (bspw. Güssing, Jühnde) zeigt.

Viele Studien weisen darauf hin (z.B. Peter 2013), dass eine komplette Umstrukturierung des nationalen Energiesystems auf eine ausschließlich dezentrale Energieversorgung in kleinen, autarken Kommunen nicht technisch möglich, geschweige denn wirtschaftlich sinnvoll sei. Deswegen stellt sich die Frage, welche Kombination aus zentralen (wie bisher, allerdings zukünftig deutlich CO₂- und energieeffizienter) und dezentralen Versorgungseinheiten (die Frage des „Zentralitätsgrads“) aus ökonomischen, ökologischen, technischen und sozialen Gesichtspunkten zukünftig günstig sein könnte. In der Tat wird Energieautarkie wenigstens ansatzweise auf diversen Aggregationsebenen, von Gebäuden über Kommunen, ausprobiert, bis hin zu für ganzen Nationen wenigstens untersucht. In diesem Beitrag wird der Schwerpunkt auf Energieautarkie in Kommunen bzw. Regionen gesetzt, d.h. die zwei Extreme von Nationen und Gebäuden sollen außen vor gelassen werden. Das Ziel des Beitrags ist es, die sozialen und ökonomischen Motive der Akteure sowie die technischen Für- und Gegenargumente von Energieautarkie auf regionaler bzw. kommunaler Ebene zu identifizieren und hinterfragen, wobei der Schwerpunkt bei den techno-ökonomischen Aspekten liegt. Dabei sollen bestehende Definitionen und Bewertungsmethoden für Energieautarkie ausgewertet werden, um daraus konkrete Forschungsbedarfe zu sinnvollen Bewertungsansätzen und Indikatoren für Energieautarkie abzuleiten.

Der Beitrag ist wie folgt strukturiert. Im sich anschließenden Kapitel 2 werden zunächst die bestehenden Definitionen für Energieautarkie vorgestellt und evaluiert, sowie eine Arbeitsdefinition vorgeschlagen. In Kapitel 3 werden die soziale Aspekte der Energieautarkie, insbesondere die Verbindung zwischen Energieautarkie und Bürgerenergie, sowie die Konsumentenpräferenzen für lokal erzeugte Energie thematisiert. Im darauffolgenden Kapitel 4

wird das regulatorische Umfeld als motivierender Faktor für Energieautarkie diskutiert. Daraufhin werden im Kapitel 5 die techno-ökonomischen Vor- und Nachteile thematisiert. Im 6. Kapitel werden im Anschluss bestehende (gesamtheitliche) Ansätze zur Bewertung von Energieautarkie im Kontext von Bürgerenergie diskutiert, bevor im 7. Kapitel ein Fazit gezogen und ein Ausblick über weiteren Forschungsbedarf gegeben wird.

2. Definitionen von Energieautarkie

Ein Überblick der Projekte im deutschsprachigen Raum, die sich mit Energieautarkie beschäftigten zeigte (McKenna et al. 2014), dass sehr unterschiedlich mit dem Konzept umgegangen wird. Zum einen werden uneinheitliche Definitionen und Begrifflichkeiten verwendet, zum anderen werden verschiedene Grade der Energieautarkie angestrebt. In diesem Kapitel wird deswegen versucht, die wichtigsten Elemente einer Definition von Energieautarkie zu beleuchten und daraus eine Arbeitsdefinition des Konzepts abzuleiten. Der Fokus liegt eher auf den für eine Arbeitsdefinition zu berücksichtigenden Aspekten als bei der Definition selbst.

In der wissenschaftlichen Literatur, dem politischen Diskurs und der Praxis werden verwandte Begriffe wie Energieautarkie, Energieautonomie und Energieunabhängigkeit häufig verwendet. Im Allgemeinen beziehen sie sich auf das Prinzip, lokale bzw. regionale anstatt importierte Energieressourcen zu nutzen. Allerdings besteht sehr wenig Konsens über diese Begrifflichkeiten und im Einzelfall werden sie oft scheinbar etwas willkürlich eingesetzt. Gemeinsam haben diese Begriffe, dass sie auf einen Trend zur dezentralen Energieversorgung hindeuten. Darüber hinaus fehlt eine allgemeingültige Definition. Als Konkrete Definition der Energieautarkie schlagen Müller et al. (2011) beispielweise vor "a situation in which the energy services used for sustaining local consumption, local production and the export of goods and services are derived from locally renewable energy sources". Diese Definition geht zwar in die richtige Richtung, bleibt aber ziemlich abstrakt. Rae & Bradley (2012) konzentrieren sich dagegen auf die wichtigsten, unten weiter diskutierten Aspekte der Energieautarkie, geben aber keine konkrete Definition. Wahrscheinlich der wichtigste Aspekt bei einer konkreten Definition ist der **Grad der Energieautarkie**, wofür eine grobe dreifache Unterteilung in einem anderen Beitrag vorgeschlagen wurde (McKenna et al. 2014):

1. **tendenzielle Energieautarkie**, d.h. Tendenzen hin zu einer dezentralen Energieversorgung, Energieautarkie wird aber nicht als explizites Ziel formuliert (was für viele Bürgerenergie-Projekte zutrifft),
2. **bilanzielle Energieautarkie**, d.h. die Region ist über das Jahr autark, wobei die überregionale Netzinfrastruktur (für Elektrizität, Gas, Wärme usw.) genutzt wird, um Diskrepanzen zwischen Angebot und Nachfrage auszugleichen (auch weiche Autarkie

genannt), und

3. **komplette Energieautarkie**, d.h. die Region ist von ihrer Umgebung energetisch abgetrennt und deckt ihre eigene Energienachfrage ständig und komplett selbst (auch leistungsbezogene, strenge oder starke Autarkie genannt).

Durch eine dezentrale Energieversorgung ist eine Tendenz hin zu Energieautarkie erkennbar, weil per Definition das lokale/dezentrale Energieangebot wenigstens anteilmäßig die lokale/dezentrale Nachfrage deckt. Viele Projekte in der Praxis können deswegen dieser ersten Kategorie zugeordnet werden, ohne dass sie explizit einen hohen Energieautarkiegrad anstreben. In die zweite Kategorie fallen nur Ansätze, die explizit eine bilanzielle Energieautarkie anstreben, meistens über das Kalenderjahr gesehen. Komplette Energieautarkie ist, wenigstens im deutschsprachigen Raum, eher selten zu finden, weil diese eher durch technische und/oder räumliche Gegebenheiten (wie etwa auf einer Insel oder in einem abgelegenen Bergdorf) motiviert wird. Komplette Energieautarkie kann für manche Regionen sogar praktisch (obwohl nicht unbedingt technisch) unmöglich sein, beispielsweise weil die vorhandenen EE-Ressourcen nicht ausreichend vorhanden sind oder weil die benötigten Speicherkapazitäten zu groß wären.

Der Grad der Energieautarkie wird oft durch zwei Indikatoren bemessen, nämlich den Energieautarkiegrad und den Eigenverbrauchsanteil, wie von Weniger et al. (2014) für Gebäude angewendet. Der Energieautarkiegrad EG wird als das Verhältnis zwischen der Eigenerzeugung E_E und dem Energieverbrauch V_G definiert.

$$EG = \frac{E_E}{V_G}$$

Der Eigenverbrauchsanteil EV beschreibt der Anteil der Eigenerzeugung der selbst verbraucht wird (anstatt zum Beispiel eingespeist), mit E_{ES} die Energiemenge für den Eigenverbrauch.

$$EV = \frac{E_{ES}}{E_E}$$

Komplette Energieautarkie deutet also auf Werte von (wenigstens) 100% für beide dieser Indikatoren hin, wohingegen die bilanzielle Energieautarkie lediglich einen Energieautarkiegrad von 100% (oder höher) voraussetzt; der Eigenverbrauchsanteil kann deutlich unter 100% liegen, was v. a. bei der Einspeisung von großen EE-Strom-Mengen der Fall ist.

Andere wichtige Aspekte, die auch unbedingt bei einer Definition bzw. einem Rahmenwerk berücksichtigt werden sollten, sind der Umfang/Ausmaß (Systemgrenze), die berücksichtigten Energiearten, -branchen und -anwendungen, sowie die Anteile die die Erneuerbare Energien ausmachen sollten und deren zeitlicher Aspekt (Müller et al. 2011, Schmidt et al. 2012, Jenssen et

al. 2014, Peter 2013).

Die Systemgrenze ist wichtig, weil sie die räumliche Abgrenzung und somit den Umfang eines Energieautarkieansatzes definiert. Sie bezieht sich also insbesondere auf die Anzahl der Einwohner, Gebäude und damit also auf die Fläche des Energiesystems. In diesem Zusammenhang sind die Importe und Exporte über die Systemgrenze wichtig; oft werden Energieflüsse in Form von Brennstoffen oder Elektrizität erlaubt, aber die Erfassung von grauer Energieflüssen in Personen, Verkehr und Gütern gestaltet sich als sehr schwierig und wird daher vernachlässigt. Hier sind vergleichbare und standardisierte Datensätze und Indikatoren notwendig, um die Bemessung von solchen Strömen auf regionaler bzw. kommunaler Ebene zu ermöglichen.

Die Art der berücksichtigten Energie, also ob primäre, sekundäre oder Endenergie (bzw. ob Strom, Wärme, Kälte oder Kraft), wird in der Praxis oft nicht klar betrachtet, spielt aber natürlich eine wichtige Rolle für die Bewertung und Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Ansätzen. Unter diesem Aspekt ist auch die Art der Primärenergie an sich auch zu definieren, also, ob sie bspw. aus (ausschließlich) erneuerbaren Quellen stammen soll. Die deutschen Bioenergiedörfer, zum Beispiel, müssen mindestens 50% ihres Strom- und Wärmebedarfs aus regional erzeugter Bioenergie decken, allerdings gibt es in der Praxis weitaus ambitioniertere Ziele wie „100 % Wärme“, „100 % Strom“ oder „100 % Wärme und 100 % Erneuerbare Energien“ (Heck et al. 2014). Die Unterscheidung nach Strom und Wärme ist wichtig wegen der unterschiedlichen Transportfähigkeiten dieser zwei Energieträger. Während Elektrizität über größeren Entfernungen transportiert und verteilt werden kann und wird, kann Wärme nur begrenzt übertragen werden, was zu eher dezentralen, oft objekt-bezogenen Wärmeversorgungslösungen führt und bedeutet, dass das Wärmeversorgungssystem an sich tendenzielle Autarkie ausweist.

Schließlich spielt auch die Zeitdimension eine wichtige Rolle, wird aber oft nicht thematisiert. Hiermit sind zum einen die zeitliche Auflösung (bspw. von Erzeugungs- oder Lastmessungen) und zum anderen der Zeithorizont der Betrachtung gemeint. Die Auflösung hängt stark mit dem Energieautarkiegrad zusammen; vor allem bei einer harten Autarkie müssen Energieflüsse in einer sehr hohen zeitlichen Auflösung gemessen werden; bei den anderen zwei Graden eher nicht. Der Zeithorizont ist primär für die technische, ökonomische und ökologische Bewertung eines Autarkieansatzes relevant, um die Auswirkungen des Ansatzes über die Lebensdauer zu bewerten; je nach Systemgrenze muss auch graue Energie vor dem Projekt berücksichtigt werden.

Es wird also klar, dass eine allgemeingültige Definition von Energieautarkie einige weitere Aspekte berücksichtigen muss als die obige zitierte Definition von Rae & Bradley (2012), die eher für die Bürgerenergie im allgemein gelten könnte. Aus den bisherigen Ausführungen kann die Formulierung von Rae & Bradley (2012) in die folgende Arbeitsdefinition erweitert werden:

Energieautarkie ist eine Befriedigung der lokalen Energienachfrage durch lokale Quellen, die in ihrem Ausmaß für jeden Einzelfall nach folgenden Kriterien festgelegt und gemessen werden können:

- *Grad der Versorgung durch lokale Quellen und Definition der Systemgrenze*
- *Grad der Einbeziehung verschiedener Energieträger, bspw. Strom und Wärme*
- *Grad der Einbeziehung verschiedener Branchen und Anwendungen*
- *Grad der Nutzung des überlokalen Energienetzes*
- *Grad der lokalen Finanzierung der Infrastruktur*
- *Grad der lokalen Vermarktung*
- *Anteil der Erneuerbaren Energien*
- *Zeithorizont*

Diese Definition hat nicht den Anspruch auf Vollständigkeit oder universeller Anwendbarkeit, vielmehr sollte sie die wichtigsten Aspekte der Energieautarkie aufgreifen und miteinander verbinden.

3. Soziale Aspekte der Energieautarkie

a. Bürgerenergie und Energieautarkie

Der Zusammenhang zwischen dem Entstehen von Energieautarkie und dem sozialen Phänomen der Bürgerenergie geht in zwei Richtungen. Zum einen entstehen durch Bürgerenergieprojekte mehr dezentrale Energieversorgungsanlagen und dies erhöht tendenziell den Grad der Energieautarkie von Kommunen und Regionen. Außerdem kann Energieautarkie auch ein Ziel bei der Initiierung von Bürgerenergieprojekten bzw. bei der Investition in solche Projekte sein. Der erste Punkt ist bei Betrachtung der typischen Anlagengrößen in Bürgerenergieprojekten sofort einsichtig. Den zweiten Punkt wurde bisher in der Literatur wenig thematisiert (z.B. in Walker 2008 und Wirth 2014) und wird deswegen hier etwas näher ausgeführt.

Die Forschung hat sich auch bereits mit Autarkiezielen in regionalen Bürgerenergieprojekten beschäftigt. Mautz et al. (2008: 130) nennen z.B. Fürstenfeldbruck und Lüchow-Dannenberg (auch von Hauber & Ruppert-Winkel 2012 erwähnt), die unter Nutzung von Bürgerenergiekonzepten eine regionale Autarkie erreichen wollen, die z.T. sogar über den Stromsektor hinausgeht. Bei den von den Bürgerenergiegenossenschaften selbst genannten Zielsetzungen rangiert Autarkie vor allem bei den Nahwärmegenossenschaften weit vorn (Volz 2012). In der Untersuchung von Degenhart & Nestle (2014) wird Autarkie als Investitionsmotiv für Bürgerenergieprojekte dagegen nicht explizit erwähnt. Der Bezug von Energie, der ja zu Autarkie beitragen würde, ist

aber kein besonders wichtiges Ziel.

Zudem wirkt das Ziel der Energieautarkie seitens der 100%-EE-Regionen, Bioenergiedörfer und Bürgerenergiegenossenschaften nicht besonders überzeugend, wenn man deren Erlösmodelle betrachtet (weitere Ausführungen hierzu befinden sich in McKenna et al. (2014)). In den Bioenergiedörfern wird die in Bioenergieanlagen erzeugte Elektrizität in aller Regel in das öffentliche Stromnetz eingespeist und nach EEG vergütet und eben nicht über Vor-Ort-Verbrauchsmodelle ohne Nutzung des öffentlichen Netzes vermarktet, obwohl das rechtlich möglich wäre.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Analyse von Bürgerenergiegenossenschaften. Explizit von Autarkie sprechen z.B. in Baden-Württemberg zwei BEGs, Deißlingen und Vogtsburg. Die BEG Deißlingen: „um der Vision einer energieautarken Gemeinde ein Stück näher zu kommen.“ Tatsächlich betreiben aber diese beiden BEGs, wie die weit überwiegende Mehrheit (über 90%, eigene Berechnungen auf der Basis von Landtag von Baden-Württemberg 2013 und Holstenkamp & Müller 2013) der BEGs in Baden-Württemberg Photovoltaikanlagen, die ohne zusätzliche Batteriespeicherkapazitäten nicht geeignet sind für komplette sondern nur für bilanzielle Energieautarkie. Dabei wird oft wenn nicht sogar immer eine Einspeisevergütung für Elektrizität im Rahmen des EEGs in Anspruch genommen, wie bei den Bioenergiedörfern, was die Wirtschaftlichkeit wenn nicht sogar die technische Machbarkeit einer Energieautarkie in Frage stellt (vgl. Kap. 5). BEGs, die Wärme in der Regel aus Bioenergie erzeugen, realisieren aber sehr wohl eine lokale Direktversorgung die in Richtung Energieautarkie gehen kann. Weil viele Biogasanlagen nicht über adäquate Wärmenutzungskonzepte verfügen (mangelnde Wärmesenke) ist das restliche Potenzial in diesem Bereich jedoch als ziemlich groß einzuschätzen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Autarkieziele für Bürgerenergieprojekte als Motiv für Initiierung und Investition eine Rolle spielen können, dass aber, zumindest bislang, eine Umsetzung von Autarkie im Sinne einer regionalen Vermarktung weitgehend unterblieben ist.

b. Konsumentenpräferenzen

Zusätzlich zu den obigen sozialen Motivationen und Voraussetzungen spielen die Konsumentenpräferenzen für Strom aus Erneuerbaren Energien eine wichtige Rolle, weil diese oft ein Beweggrund für Energieautarkieprojekte sind. Die internationale Forschung hat zahlreiche Einflussfaktoren auf die Bereitschaft, ein Grünstromprodukt zu kaufen bzw. auf die Zahlungsbereitschaft identifiziert. Diese liegen z.T. in der Person des Konsumenten, z.B. Bildung, Alter oder Einkommen sowie Einstellungen und Werte (z.B. Akcura 2013) und z.T. auch im

regulatorischen Umfeld (vgl. Kapitel 4). So kann eine Zwangsabgabe im Vergleich zu einem rein freiwilligen Regime eine erhöhte Zahlungsbereitschaft auslösen (z.B. Menges & Traub 2009). Als drittes beeinflussen Charakteristika des Grünstromproduktes selbst die Nachfrage und Zahlungsbereitschaft. Neben der Erzeugungsart (z.B. Borchers et al. 2007) wurde hier eine regionale bzw. lokale Erzeugung als Einflussfaktor identifiziert.

Kaenzig et al. (2013) stellen eine nur geringe Wirkung der Attribute „Stadtwerk“ bzw. „lokaler, mittelgroßer Anbieter“ fest, aber andere Studien ordnen diesen und ähnlichen Attributen einen höheren Stellenwert zu. In der Erhebung von Mattes (2012), zum Beispiel, fanden es 63% der befragten Konsumenten wichtig, dass ihr Stromanbieter regional verankert ist. Diese Eigenschaft löste eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft von 3,41 €ct/kWh aus (Mattes 2012). Auch die Studie von Burkhalter et al. (2009) weist lokaler und nationaler Erzeugung einen höheren Nutzen zu als ausländischem Strom. Sagebiel et al. (2014) konstatieren eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft von 3,72 €ct/kWh für die Eigenschaft „regionaler Anbieter“ und untermauern damit die Ergebnisse von Mattes. Außerdem stellen sie noch eine geringe zusätzliche Zahlungsbereitschaft für Strom von Energiegenossenschaften fest. Diese können also nicht nur auf der Finanzierungsseite einen Beitrag zur regionalen Autarkie leisten, sondern haben auch auf der Absatzseite einen Vorteil.

Insgesamt sind allerdings Aussagen zu absoluten Zahlungsbereitschaften mit Vorsicht zu betrachten, da sie mit methodischen Problemen behaftet sind. Die in Umfragen gefundenen hohen Werte führen nicht in gleichem Maße zu hohen Wechselraten hin zu lokalen Grünstromprodukten (Rowlands et al. 2002; Kaenzig et al. 2013; Stigka et al. 2014). Im Marketing von Grünstromanbietern spielt Regionalität als Argument heute noch keine große Rolle (Herbes/Ramme 2014), u.a. deshalb weil die meisten Grünstromprodukte auf Wasserkraft aus skandinavischen und österreichischen Quellen basieren (Herbes 2014). Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Konsumentenpräferenzen ein fördernder Faktor für Projekte lokaler Energieerzeugung und -vermarktung und damit für Energieautarkieprojekte sein können.

4. Das regulatorische Umfeld

Die Wirtschaftlichkeit von einzelnen EE-Anlagen und somit auch Bürgerenergie- und Energieautarkieprojekten hängt im Wesentlichen von den energiepolitischen Rahmenbedingungen ab. In Deutschland haben sich verschiedene Modelle herausgebildet, die vom regulatorischen Umfeld unterstützt werden und regionale Autarkie auf der Absatzseite unterstützen können. Der Grundgedanke bei allen Modellen ist, dass bestimmte Strompreisbestandteile entfallen. Damit entsteht Spielraum, lokal bzw. regional und erneuerbar

produzierten Strom, der teurer ist als Graustrom¹, in das Produkt aufzunehmen. Die entfallenden Strompreisbestandteile machen eine solche Aufnahme möglich, ohne dass der Preis für den Kunden in gleichem Maße steigen muss. Im Wesentlichen werden zwei Modelle unterschieden: der Eigenverbrauch (ggf. in der Variante eines Pachtmodells) und der lokale Direktverbrauch, auch als Direktlieferung bezeichnet. Die Voraussetzung für den lokalen Direktverbrauch sind folgende (Herz 2014):

- Verbrauch in unmittelbar räumlichem Zusammenhang mit der Erzeugungsanlage.
- Keine Durchleitung durch ein öffentliches Netz (Definition siehe § 5 (26) EEG 2014).
- Zeitgleichheit (15-Minuten-Intervalle).

Beim Eigenversorgungsmodell tritt als vierte Bedingung hinzu, dass der Stromverbraucher mit dem Anlagenbetreiber identisch sein muss. Dies bedeutet aber nicht, dass der Stromverbraucher auch Eigentümer der Anlage sein muss. Entscheidend ist, dass er das wirtschaftliche Risiko trägt und bestimmenden Einfluss auf die Anlage hat. Diese Regelung eröffnet Spielräume für Pachtlösungen als Variante des Eigenverbrauchsmodells. D.h. der Eigentümer errichtet die Anlage und verpachtet diese an den Stromverbraucher, der sie unter Nutzung der Privilegien des Eigenverbrauchsmodells betreibt. Problematisch ist der „unmittelbare räumliche Zusammenhang“ der einen neu eingeführten unbestimmten Rechtsbegriff darstellt (Herz 2014) und für Betreiber zurzeit noch erhebliche Rechtsunsicherheit mit sich bringt. So ist bspw. unklar, bei welcher Entfernung genau noch von einem „unmittelbaren räumlichen Zusammenhang“ ausgegangen werden kann und welche Wirkung z.B. zwischen Erzeuger- und Verbrauchergrundstück gelegene Straßen oder Gewässer haben. Dazu gibt es noch keine höchstrichterliche Rechtsprechung.

Die entfallenden Bestandteile bei den zwei Modellen „lokaler Direktverbrauch“ und „Eigenverbrauch“ sind in Tabelle 1 aufgeführt. Es wird deutlich, dass gerade im Eigenverbrauchsmodell erheblicher Spielraum entsteht. Strom aus Photovoltaikanlagen kann für den Betrag von knapp 15 €ct durchaus erzeugt werden (Kost et al. 2013). Allerdings bringen Modelle wie „lokaler Direktverbrauch“ oder „Eigenverbrauch“ auch diverse energierechtliche Pflichten mit sich, die sich im Energiewirtschaftsgesetz, EEG oder Stromsteuergesetz finden, z.B. Melde- und Anzeigepflichten oder Pflichten bei der Rechnungsgestaltung.

Es bestehen also neben den Konsumentenpräferenzen für lokal erzeugte Energie auch durch das regulatorische Umfeld in Deutschland Chancen, Autarkie auch auf der Absatzseite zu realisieren. Auf der anderen Seite setzen Einspeisetarife Anreize, den regional erzeugten Strom eben nicht

¹ Als „Graustrom“ wird Strom aus nicht-definierter Herkunft, unter anderem auch nuklearen bzw. fossilen Quellen, bezeichnet.

regional zu vermarkten (Mautz et al. 2008).

Tabelle 1: Entfallende Strompreisbestandteile in den Modellen „lokaler Direktverbrauch“ und „Eigenverbrauch“ (Quelle: BDEW 2014: 46, verschiedene Stadtwerke)

Strompreisbestandteil	Höhe (€ct/kWh netto)	Entfall im Modell „Eigenverbrauch“	Entfall im Modell „lokaler Direktverbrauch“
Umlage f. abschaltbare Lasten	0,009	Entfällt	Entfällt
Offshore-Haftungsumlage	0,250		
§ 19 StromNEV-Umlage	0,092		
KWK-Aufschlag	0,178		
Stromsteuer	2,050		
Konzessionsabgabe	1,790*		
Nettonetzentgelt	5,930**		
EEG-Umlage	6,240	Entfällt aktuell zu 70% (stufenweise Reduktion des wegfallenden Anteils bis 2017)	EEG 2014: fällt voll an
Gesamt entfallende Bestandteile nach EEG 2014 (EuroCt/kWh)		14,667	10,299

* variiert nach Gemeindegröße

** Beispiel Kleinkunde, kann auch erheblich niedriger liegen

Über die konkreten Erlösmodelle hinaus bietet das regulatorische Umfeld auch Rechtsformen für die Realisierung von Bürgerenergie an. In Deutschland haben sich hauptsächlich drei Arten des Besitzes von Bürgerenergieprojekten etabliert (Yildiz 2014):

- a. **Eingetragene Genossenschaft (eG):** Eine stark von demokratischen Entscheidungsprozessen und geringen Haftungsrisiken für die Mitglieder sowie eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz geprägte Rechtsform
- b. **GmbH & Co. KG:** eine Kombination aus einer GmbH und einer allgemeinen Partnerschaft, die Vorteile hinsichtlich einfachere Managementstrukturen und Steuervorteile für Investoren hat. Diese ist die bevorzugte Geschäftsform für

Bürgerenergieparks.

- c. Gesellschaft des bürgerlichen Rechts (GbR): Gesellschafter haften prinzipiell auch mit ihrem Privatvermögen, ist somit eher nur für kleinere Projekte relevant.

Dabei genießt insbesondere die Rechtsform der Genossenschaft hohe Akzeptanz. Der Gesetzgeber hat diese Rechtsform so ausgestaltet, dass insbesondere eine relativ einfache Gründung, eine Haftungsbeschränkung für die Mitglieder und eine demokratische Entscheidungsfindung ermöglicht wird (Pöhlmann et al. 2012, Volz 2012).

5. Techno-ökonomische Vor- und Nachteile

Oft gibt es technische oder geographische Gründe, warum Energieautarkie sinnvoll und/oder notwendig sein könnte, beispielsweise wenn in ländlichen Gebieten keine Gasleitung oder keinen Gasnetzanschluss vorhanden ist (Rogers et al. 2008). Solche Gründe motivieren eher komplette Energieautarkie, wie auf einer Insel, weil die Möglichkeit einer bilanziellen Energieautarkie in dem Fall nicht gegeben ist. Andere Gründe hängen mit den vorhandenen Potenzialen zusammen, bspw. das Aufkommen von Altholz oder Waldrestholz, das weder sonst benutzt noch wirtschaftlich transportiert werden könnte, oder die Windressource in der Kommune. Ein Streben nach Energieautarkie ist also nicht sinnvoll, wenn die technischen Gegebenheiten es nicht zulassen.

In den meisten Fällen kommunaler Energieprojekte ist irgendeine Verbindung zur örtlichen (Verteilnetz) und ggf. auch regionalen (Transportnetz) Energieinfrastruktur vorteilhaft, wenn nicht unabdingbar. Dadurch sind die Möglichkeiten einer Einspeisevergütung (falls vorhanden) und eines Netzbezugs gegeben. Vor dem Hintergrund der bald ablaufenden Stromkonzessionsverträge für Stromnetzbetreiber und Energieversorger, überlegen sich viele Kommunen ihr Stromverteilnetz selbst zu betreiben und/oder zu kaufen (NRW 2013). Einige Kommunen sind diesen Schritt sogar schon gegangen; sie haben durch die Gründung von Bürgergenossenschaften die lokale örtliche Netzinfrastruktur übernommen – wobei die rechtliche Form der Organisation vorwiegend durch die vorhandene institutionelle (formell und informell) Struktur beeinflusst wird (vgl. Kap. 4). Insgesamt gingen seit 2007 über 190 Konzessionsverträge an kommunale Energieversorger und über 60 Kommunen haben ihre eigenen Stadtwerke gegründet. Von insgesamt etwa 20.000 Konzessionsverträgen werden etwa 3.000 in den nächsten Jahren (Stand 2010) ablaufen (BNetzA 2010). Aber die ökonomischen Vor- und Nachteile von Bürgerenergiegenossenschaften die ihre eigene Infrastruktur betreiben sind kaum dokumentiert worden, was die Bewertung dieses Aspekts erschwert.

Die Stimulation der Wirtschaft durch lokale Wertschöpfung, die z.B. durch zusätzliche Arbeitsplätze und/oder den Verkauf der erzeugten Elektrizität entsteht, ist ein oft genannter

Grund für Bürgerenergie (Hirschl et al. 2010). In diesem Zusammenhang werden auch niedrige Energiekosten erwähnt (Rae & Bradley 2012), wobei diese oft nur mit finanzieller Unterstützung zu erreichen sind und sehr stark von den EE-Potenzialen vor Ort abhängen. Inwiefern lokale Wertschöpfung durch Bürgerenergie tatsächlich realisiert wird, ist jedoch sehr umstritten. Klar ist, dass dieser Effekt sehr stark von den regionalen/lokalen Gegebenheiten abhängt, weswegen sich pauschale Werte für den Effekt schwierig wenn überhaupt ableiten lassen. Für Deutschland haben Hirschl et al. (2010) die entstehenden kommunalen Wertschöpfungen für 16 mit gängigen Erneuerbaren Energien verbundenen Wertschöpfungsketten ermittelt. Für die einzelnen Technologien wurden die durch die Investition entstehenden, einmaligen und jährlichen, sowie die über die Lebensdauer der Anlage zu erwarteten Wertschöpfungseffekte in den Kategorien Pacht, Gewinne nach Steuern, Steuern an die Kommune und Nettoeinkommen berechnet. Die Ergebnisse für die Technologien wurden dann für vier Beispielkommunen mit durchschnittlichen EE-Ausbaugraden angewendet um die entstehenden Wertschöpfungen für die Kommune zu ermitteln, und schließlich diese Ergebnisse für ganz Deutschland in 2009 und für zwei Szenarien in 2020 hochgerechnet.

Menges & Müller-Kirchenbauer (2012) greifen dieses angebliche Argument der lokalen Wertschöpfung für eine dezentralere Energieversorgung im Kontext ihrer Rekommunalisierung explizit auf. Während sie den Vorteil einer dezentralen Erschließung von EE- und Energieeffizienzpotenzialen anerkennen, sind sie eher kritisch was die dadurch entstehende regionale Entwicklung angeht. Dabei sei es wichtig zu bemerken, dass „eine dezentrale Energieversorgung, weil bspw. durch das EEG o.ä. sinnvoll, kein sinnvolles Argument für eine Rekommunalisierung darstellt“ (ibid., S.62). Vielmehr gibt es auch negative Beschäftigungseffekte, etwa bei lokalen konventionellen Kraftwerken oder durch die Verdrängung bestehender Arbeitsplätze, die oft nicht in die Bilanz mit einbezogen werden (wie bspw. in Hirschl et al. 2010). Wenn die Klimaschutzpräferenzen der Bürger in Kommunen von denen der gesamten Bevölkerung abweichen, kann eine lokale Klimaschutzstrategie, die unter anderem durch Energieautarkiebestrebungen geprägt ist, begründet werden. Eine solche Strategie kann aber nicht alleine durch die Argumentationen der Wertschöpfung sowie der Kosteneinsparungen begründet werden (Menges & Müller-Kirchenbauer 2012, 64). Persönliche und soziale Motive für Energieautarkie müssen über die reinen ökonomischen Gründen hinaus vorhanden sein (vgl. Kap. 3)

Häufig wird als Ziel von Bürgerenergie in Umfragen und Recherchen genannt, sich unabhängiger von volatilen Energiemärkten sowie Energieimporten aus anderen Ländern bzw. Regionen zu machen (Boon et al. 2014). Für viele Kommunen bedeutet das Streben nach mehr Unabhängigkeit bzw. Kontrolle zum einen niedrigere Energiekosten, obwohl dies oft von politischer Förderung

abhängt (vgl. Kap. 4), und zum anderen eine erhöhte Versorgungssicherheit (Walker 2008). Es wird argumentiert, dass eine Kommune durch lokale Organisation ihrer Energieversorgung, je nach Grad der Autarkie eine höhere Versorgungssicherheit gegenüber dem importabhängigen zentralen Versorgungsmodell erreichen kann. Allerdings steht diese Aussage vor dem Hintergrund einer aktuell sehr hohen Stromversorgungssicherheit in Deutschland – im Durchschnitt 16 Minuten pro Jahr ohne Versorgung für Endkunden² (BMWi 2014) – die möglicherweise die höchste in ganz Europa ist. Zusätzlich kommt hinzu, dass eine Möglichkeit, die fluktuierenden Einspeisungen von erneuerbaren Energien besser ins Energiesystem zu integrieren, der sogenannte Glättungseffekt ist. Durch eine weiträumige Vernetzung von verschiedenen Erzeugern und Verbrauchern werden Angebots- sowie Lastkurven geglättet und die Residuallast, also die Last abzüglich der aktuellen Einspeisung aus erneuerbaren Energieanlagen, reduziert.

Eine weitere Argumentation gegen die lokale bzw. regionale Energieautarkie ist die der Größendegression: größere Anlagen haben, ceteris paribus, geringere spezifische Investitionen und Betriebskosten, was sowohl für Energieanlagen und -infrastrukturen als auch für Organisationen gilt. Es gibt Größendegressionseffekte bei netzgebundenen Wirtschaftsbereichen, bspw. Stromverteilnetzen bei 100.000 Anschlüssen, aber es ist noch unklar, ob und in welchem Umfang diese Effekte auch in kleineren Bereichen vorhanden sind (Menges & Müller-Kirchenbauer 2012, 64). Allerdings steigen auch die Übertragungs- und Verteilungsverluste mit der Entfernung zwischen Erzeugung und Verbrauch, etwa für Elektrizität und Wärme, und die Übertragung von Wärme in Nah- und Fernwärmenetzen hat ökonomisch und technisch bedingte Grenzen. Diese beiden Effekte der Größendegression und der Verluste deuten auf ein technisches und ökonomisches Optimum hinsichtlich des Aggregationsgrades (oder Zentralitätsgrades) bestimmter Energiesysteme hin.

Letztendlich spielt aber die Wirtschaftlichkeit von kommunalen Energieprojekten eine entscheidende Rolle. Es wird also vorausgesetzt, dass Projekte einen wirtschaftlichen Vorteil oder wenigstens keinen Nachteil gegenüber den Alternativen aufweisen, sonst werden sie nicht realisiert. Natürlich hängt die Wirtschaftlichkeit sehr stark von den energiepolitischen Rahmenbedingungen ab, v.a. was die Vergütung von Elektrizität aus EE-Anlagen angeht. Aktuell ist für die meisten EE-Technologien irgendeine Art von energiepolitischer Förderung notwendig, um die Konkurrenzfähigkeit mit anderen Technologien zu gewährleisten, wie im Falle des EEGs in Deutschland. Allerdings haben kommunale Energieprojekte in der Regel eine andere Sichtweise als viele Großprojekte, nämlich eine volkswirtschaftliche anstatt betriebswirtschaftliche. Deswegen können Projekte realisiert werden, die eine geringere Rendite erzielen, als von der

² SAIDI, System Average Interruption Duration Index

privaten Wirtschaft verlangt würde, weil kommunale Investoren nicht so hohe finanzielle Erwartungen an die Investition wie die Industrie stellen. Hinzu kommt die Tatsache, dass Konsumenten im Rahmen von Bürgerenergieprojekten teilweise bereit sind, höhere Kosten für lokale und/oder „grün“ erzeugten Strom zu bezahlen, und es andere Gründe, bspw. positive Effekte auf die lokale Wertschöpfungskette für Bioenergie gibt, warum Bürgerenergieprojekt nicht die wirtschaftlichen Kriterien von anderen Energieprojekten erfüllen müssen (vgl. Kap. 3). Trotzdem ist es in allen Fällen eine Voraussetzung, dass das für ein kommunales Energieprojekt benötigte Kapital im Einzelnen oder insgesamt in der Kommune zur Verfügung steht, weil viele EE-Technologien eine hohe Investition und dementsprechend lange Amortisationszeit haben (Panagiotidou et al. 2013).

Aber auch teilweise ohne energiepolitische Förderung sind EE-Technologien schon mit einem Strombezug aus dem Netz konkurrenzfähig, wie im Falle der PV-Elektrizität für den eigenen Verbrauch. Aktuell liegen die Gestehungskosten von PV bei etwa 15 €/ct/kWh (Kost et al. 2013) und damit deutlich unter den durchschnittlichen Endkundenstrompreis von 29 €/ct/kWh (BDEW 2014), die sogenannte Netzparität. Der Anreiz für einen erhöhten Eigenverbrauch ist somit gegeben, ohne Batteriespeicher ist dies allerdings nur in begrenzten Maßen möglich. Des Weiteren behindern die derzeit extrem hohen Batteriedurchsatzkosten die weitere Ausnutzung dieser Möglichkeit. Zukünftig könnten höhere Endkundenstrompreise und niedrigere Investitionen für PV und Batteriespeicher diese Situation etwas in Richtung Wirtschaftlichkeit kippen.

Zusammenfassend mag die Argumentation für eine regionale oder kommunale Unabhängigkeit von Energiemärkten und -importen, worüber die Region selbst wenige oder keine Kontrolle hat, also wenigstens teilweise gerechtfertigt sein. Sie wirkt den drei genannten Vorteilen einer räumlichen Aggregation, also der Versorgungssicherheit, dem Glättungseffekt und der Größendegression, jedoch eher entgegen. Hierbei stellt sich die konkrete Frage, inwiefern zwischen dezentralen und zentralen Lösungen Kompromisse eingegangen werden müssen. Eine Antwort auf die Frage des „optimalen“ Dezentralitätsgrades ist also nicht bekannt und in diesem Bereich besteht weiterer Forschungsbedarf.

6. Auswertung bestehender Ansätze zur Bewertung von Energieautarkie

Mehrere wissenschaftliche Beiträge haben sich mit der gesamtheitlichen Bewertung von Energieautarkie-Projekten in der Theorie (ex ante) und der Praxis (ex post) beschäftigt.

Beispielsweise Peter (2013) hat die technische Machbarkeit einer 100% auf EE basierenden deutschen Stromerzeugung in autarken, dezentralen Strukturen untersucht. Diese Studie stellt nur eines von drei unterschiedlichen Szenarien dar, die das UBA für eine vollständig EE-basierte Stromversorgung in Deutschland bis 2050 untersucht hat. In diesem Fall handelt es sich um das Szenario „lokal-autark“, in dem sich kleinräumige, dezentrale Strukturen selbst autark mit Strom versorgen und dabei nicht miteinander vernetzt sind. Es geht dabei um eine reine technische Betrachtung anhand mehrerer Simulationsmodelle für die Kraftwerkseinsatzplanung bzw. Lastdeckung; ökonomische, ökologische und soziale Aspekte werden nicht berücksichtigt. Zwei exemplarische Siedlungsstrukturen, die unterschiedliche Nachfragestrukturen und -dichten besitzen, nämlich ein ländliches Dorf und ein Stadtteil, wurden jeweils an Standorten in Nord- und Süddeutschland simuliert. Die Ergebnisse zeigen, dass lediglich in der ländlichen Region eine komplette Eigenversorgung mit EE technisch machbar ist, und dann nur mit „immensen“ Batteriespeichern; in der städtischen Region ist eine komplette Stromautarkie hingegen technisch nicht möglich. Als Fazit wird geschlussfolgert, dass der Ansatz „lokal-autark“ zwar in manchen Fällen attraktiv ist, allerdings keine pauschale Lösung für ein 100%-EE Energiesystem darstellt. Hierfür wäre eine Umsetzung in größerem räumlichem Maßstab und dem Einsatz von Großspeicheranlagen wie Pumpspeicherkraftwerken notwendig, um Glättungseffekte ausnutzen zu können.

Auch in Irland besteht der Wunsch, wegen begrenzter einheimischen fossilen Energieressourcen und zukünftiger Emissionsminderungsziele, das Land als Gesamtheit so energieautark wie möglich zu machen. Goodbody et al. (2013) haben die Möglichkeiten hierzu erforscht, indem sie Irland zunächst in 7 Regionen unterteilt und Kosten-Potenziale für EE-Ressourcen in den Regionen ermittelt haben. In einem zweiten Schritt werden jeweils energieautarke sowie netzgebundene Systeme für die Regionen erstellt, die sich unter anderem hinsichtlich der angewendeten Technologien (PV, Wind, Biomasse, (Bio-)Dieselaggregate, Speicher usw.) sowie Energienachfrage (elektrisch und/oder thermisch) unterscheiden. Insgesamt ergeben sich aus den Kombinationen 44 mögliche „Systeme“, definiert durch Region, Netzanschluss (ja/nein), Technologien und Nachfragen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Stromgestehungskosten sowie die CO₂-Emissionen für die Systeme mit vernetzter Infrastruktur deutlicher geringer sind (als ohne) – in manchen Fällen sogar negativen Emissionen wegen des Offsets des Strommixes. Wind ist die dominante Technologie für die meiste Systeme, weswegen ein integriertes (vernetztes) Energiesystem für Irland laut dieser Studie, unter Berücksichtigung von den verbundenen Kosten und den CO₂-Emissionen, am sinnvollsten erscheint.

Andere Autoren haben die Machbarkeit einer energieautarken Energieversorgung innerhalb von echten Kommunen quantitativ untersucht. So entwickelt bspw. Schreiber (2012)

Bewertungskriterien für eine hinsichtlich der Selbstversorgung optimierte lokale Energieversorgung mit hohen Anteilen EE und wendet die Methodik für den Landkreis Harz in Sachsen-Anhalt an. Die Kriterien sind der Eigenverbrauchsanteil und der Energieautarkiegrad (vgl. Kap 2) und das regionale Energiesystem wird hinsichtlich einer Minimierung der Residuallast, also die Gesamtlast minus EE-Einspeisung, optimiert. Ein wichtiges Ergebnis ist, dass nur im Falle eines 225% Szenarios, in dem die Energieerzeugung aus EE-Quellen 225% des jährlichen Stromverbrauchs entspricht, eine komplette regionale Energieautarkie – allerdings nur mit der Unterstützung eines Langzeitspeichers – möglich ist. Das heißt also, dass auch für eine komplette regionale Energieautarkie sehr hohe Kapazitäten an EE-Anlagen sowie Speicher notwendig sind.

Schmidt et al. (2012) analysieren die landwirtschaftlich dominierte Region Sauwald in Oberösterreich mit 21.000 Einwohnern. Durch eine Bestimmung der Kosten und Potenziale für die Energiebereitstellung aus EE ermitteln sie die optimalen Energiesystemszenarien durch die Anwendung und Kopplung eines regionalen Energiesystemmodells und Landnutzungsoptimierungsmodells. Während die Autoren schlussfolgern, dass die Biomasse die fossilen Brennstoffe zum Heizen zu relativ niedrigen Kosten ersetzen kann, benötigt das Erreichen einer vollständigen (bilanziellen) Autarkie zur Bereitstellung der Elektrizität und Wärme die Ausschöpfung der gesamten Biomasseressourcen sowie die Installation von PV-Anlagen auf allen Dächern. Demzufolge führt in diesem speziellen Fall die Energieautarkie zu höheren Kosten für die Verbraucher sowie zu einer Reduktion der gesamten lokalen Produktion an Lebensmitteln.

Auch Jenssen et al. (2014) stellen eine Übersicht von Erfahrungen vor, welche bisher aus den „Bioenergiedörfern“ in Deutschland abgeleitet werden können. Sie stellen dem Vorteil einer lokalen Reduktion der CO₂ Emissionen die Nachteile der Erhöhung der Energieversorgungskosten und der Landnutzungskonkurrenz (z.B. zur Lebensmittelversorgung) gegenüber. Eine 100%ige Autarkie durch Biomasse ist innerhalb der untersuchten Modellkommune technisch möglich, jedoch mit den erwähnten Nachteilen verbunden. Zusätzlich wurde bewiesen, dass die Produktion von Biotreibstoffen wegen eines negativen Einflusses auf die Umwelt nachteilig ist und daher eine lokale Produktion von Wärme und Strom präferiert werden sollte. Schließlich wird betont, dass alle Bioenergiedörfer von einem Fern- bzw. Nahwärmesystem abhängen und dieses gegenüber dezentraler Technologien für einzelne Gebäude ökologisch vorteilhaft ist.

Burgess et al. (2012) zeigen eine Fallstudie von Marsten Vale (16000 ha), ein Gebiet in Südengland, Großbritannien auf. Basierend auf den vorhandenen Potenzialen der Biomasse, der Photovoltaik, der Windenergie, sowie der Nachfrage nach Energie (als Strom, Wärme und für Transport), Nahrungsmitteln und Rohstoffen (aus Wäldern) jeweils pro Kopf, analysieren sie die Möglichkeiten von Energieautarkie in dieser Region. Interessanterweise werden neben Energie

sowohl Nahrungsmittel als auch Rohstoffe und dadurch auch der Wettbewerb der Landnutzung berücksichtigt. Die Hauptschlussfolgerung ist, dass während große Anteile der Stromversorgung durch vorhandene Ressourcen gedeckt werden können, die Versorgung von Wärme und Transport Grenzen aufzeigt. Die Autoren heben daher die Notwendigkeit der Reduktion der Nachfrage durch Energieeffizienz und ähnlichen Methoden hervor, wenn die Region komplett autark werden soll.

Der Beitrag von Woyke & Forero (2014) bewertet die Energieautarkie für zwei deutsche Beispielregionen. Für die Region Wolfsburg wird die bilanzgerechte (bilanzielle, weiche) Autarkie bzw. für die Insel Pellworm die lastgerechte (leistungsbezogene, harte) Autarkie untersucht. Es zeigt sich, dass, obwohl einzelne Gemeinden in der Wolfsburg Region große Mengen von Elektrizität aus Windparks exportieren, die Region im Schnitt einen Energieautarkiegrad von etwa 35% aufweist. Andererseits ist Pellworm bilanziell als Erzeugungsstandort zu verstehen: die Erzeugung übersteigt den Verbrauch um mehr als das Dreifache. Eine leistungsbezogene Autarkie ist aber mit dem aktuellen Energiesystem nicht möglich, weil die Verbindungskabel mit dem Festland dies nicht erlauben. Deswegen wären Energiespeicher und/oder Netzausbaumaßnahmen hierfür notwendig. Diese Studie zeigt auf, wie ländliche Regionen gegenüber dichter besiedelten Regionen etwa den Energieautarkiegrad „ausgleichen“ müssen. Um diese qualitative Aussage quantitativ zu bewerten sind aber konkrete Bewertungsmethoden zu erarbeiten. Zudem wird die Frage aufgeworfen, inwiefern zusätzlich zu einer bilanziellen und leistungsbezogenen Energieautarkie auch eine „exportbasierte“ Autarkie sinnvoll ist, und falls ja in welchem Umfang.

Die hier diskutierten Beiträge sind in Tabelle 2 hinsichtlich ihrer Bewertungskriterien, räumlicher Auflösung, räumlichem Umfang, der Art der Energieautarkie und der wesentlichen Erkenntnissen zusammengefasst. Es ist aus dieser Auswertung ersichtlich, dass eine harte Energieautarkie für einzelne Kommunen oft überhaupt nicht technisch möglich ist; wenn, dann eher in ländlichen Regionen und nur mit sehr hohen EE-Anlagen- und Speicherkapazitäten. Für manche Gemeinden ist eine bilanzielle Energieautarkie hinsichtlich Elektrizität durchaus möglich. Wenn diese lediglich durch PV und Wind erreicht werden soll, hängt die „optimale“ Elektrizitätsversorgung für eine bestimmte Gemeinde sehr stark von den vorhandenen Potenzialen, der Nachfragestruktur und dem gewählten Optimierungskriterium ab. Die Ausnutzung von vernetzter Infrastruktur führt zu geringeren Kosten und CO₂ Emissionen als in einem Fall ohne sie. Die Erschließung von großen Bioenergiepotenzialen bringt mit sich eine Flächenkonkurrenz innerhalb der Kommune, vor allem mit der Lebensmittelproduktion. In der Regel kann die Anwendung von Bioenergie zu heizen wirtschaftlich sein, aber für Stromerzeugung oder Verkehr eher nicht.

Tabelle 2: Zusammenfassung der ausgewerteten Studien zur Bewertung von Energieautarkie

Studie	Kriterien	Räumliche Auflösung und Fokus	Anzahl der Bevölkerung bzw. Fläche	Untersuchte Art der Energieautarkie	Ergebnisse bzw. Erkenntnisse
Peter 2013	Kraftwerkseinsatzplanung und Lastdeckung	Einzelne Typkommunen für Deutschland	3.600 ha, 3.850 Personen	Bilanzielle und komplette	Komplette Energieautarkie nur in ländlichen Regionen, mit riesigen Speicherkapazitäten möglich
Goodbody et al. 2013	Stromgestehungskosten und CO ₂ Emissionen	7 Regionen (etwa Bundesländer) in Irland	40 Bewohner und 200 m ² von nicht-Wohngebäuden	Für Irland: komplette, für die Regionen: bilanzielle	Vernetzte Infrastruktur (Stromnetz) führt zu geringeren Kosten und CO ₂ -Emissionen
Schreiber 2012	Eigenverbrauchanteil und Energieautarkiegrad	Kommune: Landkreis Harz	2.105 km ² , 221.043 Einwohner, 105 Einwohner je km ²	Komplette	Riesige Speicher- und EE-Kapazitäten notwendig
Schmidt et al. 2012	Minimierung der Systemkosten	Region Sauwald, Österreich	12 Gemeinden mit insgesamt 20.619 Einwohner und 302 km ² . Die Bevölkerungsdichte liegt bei 60 Per./ha im Vergleich zu dem nationalen Durchschnitt von 100 Per./ha	Bilanzielle	Biomasse für Heizen wirtschaftlich; bilanzielle Energieautarkie verwendet alle vorhandene Biomasseressourcen (verdrängt Lebensmittel) und PV und führt zu sehr hohen Kosten
Jenssen et al. 2014	Technische, ökonomische und ökologische Bewertung	Kommune: diverse deutsche Bioenergiedörfer	3000 Einwohner, 800 Wohngebäude, 2350 ha	Bilanzielle	Bilanzielle Energieautarkie durch Biomasse technisch möglich, aber führt zu hohen Kosten und verdrängt Lebensmittel

Burgess et al. 2012	Technisch: Landnutzungsmodell	Kommune: Marsten Vale, England	16.094 ha und 25.550 Einwohner (geplant : 50.000)	Bilanzielle	Große Anteile der Stromerzeugung können durch lokalen Ressourcen gedeckt werden, bei Wärme und Transport eher nicht; Nachfrageseitige Maßnahmen wie Energieeffizienz sind wichtig
Woyke & Forero 2014	Technische Analyse	Region Wolfsburg bzw. Insel Pellworm	Pellworm: 1.100 Bewohner, 37,44 km ² Wolfsburg: 122.457 Einwohner 204 km ²	Bilanzielle bzw. komplette	Komplette Energieautarkie auf der Insel durch Leitungskapazitäten beschränkt, bilanziell müssen ländliche Kommune die städtische „ausgleichen“
Killinger et al. 2015	Optimierung hinsichtlich drei energiepolitischen Kriterien	4 ausgewählte deutsche Gemeinden in denen eine 100% bilanzielle Energieautarkie durch Wind und PV gegeben ist	Stark unterschiedliche Regionen hinsichtlich Potenzialen, Größe und Nachfragestruktur	Bilanzielle für Elektrizität	Die „optimale“ autarke Elektrizitätsversorgung für eine bestimmte Gemeinde hängt sehr stark von den vorhandenen Potenzialen, der Nachfragestruktur und dem gewählten Optimierungskriterium ab.

7. Fazit und Ausblick

Der große Trend der Bürgerenergie in den letzten Jahren geht in mancher Hinsicht mit einer Tendenz zu Energieautarkie einher. In diesem Beitrag werden als Ausgangspunkt drei Definitionen von Energieautarkie von (McKenna et al. 2014) übernommen, die sich vor allem hinsichtlich des Grades der Autarkie unterscheiden. Obwohl der Ausbau von Erneuerbaren Energien per Definition mit einer (wenigstens teilweise) dezentralen, und daher aus Sicht der Kommunen autarkeren Energieversorgung verbunden ist, sollte der Begriff der Energieautarkie nur im Falle einer angestrebten weichen (bilanziellen) oder harten (leistungsbezogenen) Energieautarkie und nicht bei einer reinen tendenziellen Energieautarkie (vgl. Kap. 2) verwendet werden. Hierzu wurde eine Arbeitsdefinition von Energieautarkie erarbeitet, die versucht, die wichtigsten Aspekte des Grades, des Umfangs und des Anteils an Erneuerbaren Energien sowie die Charakteristika der Energienachfrage (Energieart, Anwendung und Branche) zu berücksichtigen. Diese Definition bedarf weiterer Konkretisierung, die in mancherlei Hinsicht eine bessere und standardisierte Datengrundlage voraussetzen würde – vor allem was graue

Energieströme und ihre Bemessung auf regionaler und kommunaler Ebene angeht.

Die Diskussion der sozialen Aspekte der Energieautarkie hat gezeigt, dass diverse Motivationen und Voraussetzungen auf den Ebenen der Kommune und des Individuums vorhanden sind. Viele Konsumenten sind bereit, einen höheren Preis für Elektrizität aus lokaler, erneuerbarer, und/oder genossenschaftlich erzeugter Herkunft zu bezahlen. Diese erhöhte Zahlungsbereitschaft für lokal und genossenschaftlich erzeugte Energie eröffnet finanzielle Spielräume für die Deckung der höheren Kosten von höheren Autarkiegraden. Dieselbe Wirkung entfalten Erlösmodelle wie der Eigenverbrauch oder der lokale Direktverbrauch, die durch das regulatorische Umfeld ermöglicht werden. In diesen Modellen entfallen bestimmte Strompreisbestandteile und ermöglichen so den Einsatz lokal erzeugter und tendenziell teurerer erneuerbarer Energien. Jedoch wurden die techno-ökonomischen Vor- und Nachteile von Netzgenossenschaften bisher kaum quantitativ erforscht.

Durch Betrachtung der techno-ökonomischen Aspekte der Energieautarkie wurde erkannt, dass eine harte/komplette Energieautarkie oft nur durch die (eher technischen) Gegebenheiten vor Ort (bspw. Insel, Bergdorf) motiviert wird. Zudem ist eine Energieautarkie nur mit ausreichenden technischen Potenzialen überhaupt sinnvoll. Eine weiche oder harte Energieautarkie durch PV und Batteriespeicher-Verbundsysteme ist aus heutiger Sicht weder auf kommunaler Ebene noch auf der des Einzelgebäudes wirtschaftlich attraktiv. Wenn die Investitionen für Batteriespeicher sich zukünftig stark reduzieren, könnte sich diese Situation deutlich ändern.

Die oft genannte Argumentation einer lokalen Wertschöpfung durch Bürgerenergie ist mit Vorsicht zu genießen: dieser Effekt hängt sehr stark von regionalen Gegebenheiten ab, wie bspw. inwiefern der Energieerzeugungsprozess in bestehende Wertschöpfungsstrukturen integriert werden kann. Zusätzlich zu den häufig erwähnten positiven Effekten, führen Bürgerenergieprojekte auch oft zu negativen Beschäftigungseffekten, wie etwa in fossilen Kraftwerken. In ähnlicher Weise soll die Motivation, durch Energieautarkie eine Unabhängigkeit von externen Energiemärkten und somit Preisen zu erreichen, auch kritisch hinterfragt werden. Drei technische Gegenargumente, nämlich die Versorgungssicherheit, der Glättungseffekt durch großräumige Integration von Erzeugung und Verbrauch sowie die Größendegression sprechen wenigstens teilweise gegen eine kommunale Energieautarkie.

Eine Auswertung der Literatur hat gezeigt, dass eine harte Energieautarkie für einzelne Kommunen oft überhaupt nicht technisch möglich ist; wenn, dann eher in ländlichen Regionen und nur mit sehr hohen EE-Anlagen- und Speicherkapazitäten. Die Ausnutzung von vernetzter Infrastruktur führt zu geringeren Kosten und CO₂ Emissionen als in einem Fall ohne sie. Die Erschließung von großen Bioenergiepotenzialen bringt mit sich eine Flächenkonkurrenz

innerhalb der Kommune, vor allem mit der Lebensmittelproduktion. In der Regel kann die Anwendung von Bioenergie zum Heizen wirtschaftlich sein, aber für Stromerzeugung oder Verkehr eher nicht. Dahingegen eignen sich gebäudegebundene PV- und Windanlagen für die Stromerzeugung auf kommunaler Ebene, wobei ihre Potenziale unter anderem von der Siedlungsdichte und anderen regionalen Gegebenheiten abhängen.

Zusammenfassend lassen sich die folgenden weiteren Forschungsbedarfe für Energieautarkie aus diesem Beitrag ableiten. Aus sozio-ökonomischer Sicht besteht vor allem Bedarf für empirische Forschung zu der Frage der Übertragbarkeit von Energieautarkie-Ansätzen zwischen Kommunen, Regionen und Ländern (vgl. hierzu Müller et al. 2011). Darüber hinaus sind standardisierte Prozesse und Rahmenwerke notwendig, um die Vergleichbarkeit zwischen und Übertragbarkeit von diversen Projekten im nationalen sowie internationalen Kontext zu ermöglichen (Rogers et al. 2008). Wenn Energieautarkie und/oder Bürgerenergie gefördert werden soll, dann müssen die energiepolitischen Rahmenbedingungen diese weichen, sozialen Aspekte explizit berücksichtigen, vor allem was die Einbindung der Bürger als Bestandteil anstatt externe Beobachter des Energiesystems bedarf.

Aus techno-ökonomischer Sicht konnten einige weitere Forschungsbedarfe abgeleitet werden. Vor allem bei der Erschließung von nachfrageseitigen Potenzialen zur Lastverschiebung (DSM) (Rae & Bradley 2012) und Energieeffizienz scheinen die hier diskutierten Energieautarkieprojekte noch nicht so weit zu sein – meistens werden sie kaum oder gar nicht eingesetzt bzw. untersucht. Inwiefern diese Maßnahme die Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit einer Energieautarkie beeinflussen wäre also noch zu untersuchen. Während es klar ist, dass eine komplette, auf energieautarken Kommunen basierende Energieversorgung nicht realistisch ist, ist das Zusammenspiel zwischen unterschiedlichen Kommunen hinsichtlich der Energieautarkie sowie die Eignung einzelner „Arten“ von Kommunen noch zu klären. Vor allem stellt sich die Frage, ob und inwiefern eher ländlichere Kommunen mit ihren hohen EE-Potenzialen die eher geringeren Potenziale in städtischen Gebieten ausgleichen müssen.

Somit ergibt sich ein Forschungsbedarf für Bewertungsmethoden und Indikatoren um Energieautarkie auf der Ebene von einzelnen Kommunen und ihre Auswirkungen auf das übergeordnete Energiesystem flächendeckend zu bewerten. Die zu entwickelnden Indikatoren sollen mögliche Antworten zu der Frage des Dezentralitätsgrads, also die Abwägung zwischen einer zentralen und dezentralen Energieversorgung, sowie eine quantitative Entscheidungsunterstützung für Energieforscher und die Energiepolitik zu den vielfältigen und teilweise widersprüchlichen technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten der Energieautarkie liefern. Wichtig dabei sind sowohl eine Orientierung an bestehenden Methoden und Datensätzen auf kommunaler Ebene als auch eine Berücksichtigung der Anforderungen der

Kommunen bei solchen Entscheidungswerkzeugen, um die Umsetzung der Methoden in der Praxis nicht zu verhindern. Hiermit ist die Energiesystemanalyse gefragt, sich dieser Problematik zukünftig zu widmen.

8. Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) im Programm INTERREG und der Wissenschaftsoffensive der Trinationalen Metropolregion Oberrhein für die Finanzierung der Projekte „Wettbewerb Energieeffiziente Stadt“ und „PLAN-EE“, die diesen Beitrag ermöglicht haben.

9. Literatur

Akcura, E. (2013): Mandatory versus voluntary payment for green electricity. Working Paper No. 161. European Bank for Reconstruction and Development, zuletzt geprüft am 14.10.2014.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW, 2014): Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2014) - Anlagen, installierte Leistung, Stromerzeugung, EEG-Auszahlungen, Marktintegration der Erneuerbaren Energien und regionale Verteilung der EEG-induzierten Zahlungsströme, Berlin.

Boon, F. P., & Dieperink, C. (2014): Local civil society based renewable energy organisations in the Netherlands: Exploring the factors that stimulate their emergence and development. In: *Energy Policy*, 69, S.297-307.

Borchers, A. M., Duke, J. M., Parsons, G. R. (2007): Does willingness to pay for green energy differ by source? In: *Energy Policy* 35 (6), S. 3327–3334. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.12.009.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, 2014), Monitoring-Bericht nach § 51 EnWG zur Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität, BMWi, Bonn.

Bundesnetzagentur (BNetzA) & Bundeskartellamt (BKartA) (2010): Gemeinsamer Leitfaden von Bundeskartellamt und Bundesnetzagentur zur Vergabe von Strom- und Gaskonzessionen und zum Wechsel des Konzessionsnehmers, Berlin, Dezember 2010.

Burgess, P. J., Casadoa, M. R., Gavua, J., Mead, A., Cockerill, T., Lord, R., van der Horste, D., Howard, D. C. (2012) A framework for reviewing the trade-offs between renewable energy, food, feed and wood production at a local level. In: *RSER*, 16, S. 129-142

Burkhalter, A., Kaenzig, J., Wüstenhagen, R. (2009): Kundenpräferenzen für leistungsrelevante Attribute von Stromprodukten, in: *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 2/2009, S. 161-172.

Degenhart, H., Nestle, U. (2014): Marktrealität von Bürgerenergie und mögliche Auswirkungen von regulatorischen Eingriffen, Eine Studie für das Bündnis Bürgerenergie e.V. (BBEn) und dem Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), Leuphana Universität Lüneburg.

Deutscher Genossenschafts- und Raiffeisenverband (DGRV, 2014): Energiegenossenschaften: Ergebnisse der Umfrage des DGRV und seiner Mitgliedsverbände, Bundesgeschäftsstelle Energiegenossenschaften, Berlin, Frühjahr 2014.

Eicke, C., Krause, M. (2014): Das E-Modell der Energieautarkie. In: o. Hrsg. (2014): Referate der 34. GIL-Jahrestagung in Bonn 2014, o. S.

Energieagentur NRW (NRW, 2013): Energie in Eigenregie: Stromnetze in Bürgerhand: Wie Bürgergenossenschaften in Deutschland sich an der kommunalen Energieversorgung beteiligen, Energieagentur Nordrhein-Westfalen, Wuppertal.

George, W. (2014): Regionalentwicklung durch genossenschaftlich organisiertes Engagement, in: Hartmut Bauer / Christiane Büchner / Friedrich Markmann (Hrsg.): Kommunen, Bürger und Wirtschaft im solidarischen Miteinander von Genossenschaften, KWI-Schriften 8, Universitätsverlag Potsdam, Potsdam.

Goodbody, C., Walsh, E., McDonnell, K. P., & Owende, P. (2013): Regional integration of renewable energy systems in Ireland—the role of hybrid energy systems for small communities. In: International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 44(1), S. 713-720.

Hauber, J., Ruppert-Winkel, C. (2012): Moving towards Energy Self-Sufficiency Based on Renewables: Comparative Case Studies on the Emergence of Regional Processes of Socio-Technical Change in Germany. In: Sustainability, 4(4): S. 491-530.

Heck, P., Anton, T., Böhmer, J., Huwig, P., Meisberger, J., Menze, S., Pietz, C., Reis, A., Schierz, S., Synwoldt, C., Wagener, F., Wangert, S. (2014): Bioenergiedörfer – Leitfaden für eine praxisnahe Umsetzung, Gülzow-Prüzen: FNR (Hrsg.).

Herbes, C. (2014): Wie grün ist Grünstrom? In: Sonne, Wind & Wärme 11/2014, S. 25-27.

Herbes, C., Ramme, I. (2014): Online marketing of green electricity in Germany—A content analysis of providers' websites. In: Energy Policy, 66, S. 257-266

Herz, S. (2014): Rechtliche Rahmenbedingungen für solare Eigenversorgungs- und Direktliefermodelle, Vortrag auf dem Kongress 100 % Erneuerbare-Energie-Regionen – Forum 2, Kassel, 11. November 2014, http://www.100-ee-kongress.de/fileadmin/redaktion/100-ee-kongress/Kongress_2014/Vortraege_2014/F2_Herz.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2014.

Hirschl, B., Aretz, A., Prahl, A., Böther, T., Heinbach, K., Pick, D., & Funcke, S. (2010): Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. In: Schriftenreihe des IÖW, 196(10).

Holstenkamp, L., Müller, J. R. (2013): Zum Stand von Energiegenossenschaften in Deutschland - Ein statistischer Überblick zum 31.12.2012. In: Arbeitspapierreihe Wirtschaft & Recht Nr. 14, Leuphana Universität Lüneburg.

Jenssen, T., König, A., Eltrop, L. (2014): Bioenergy villages in Germany: Bringing a low carbon energy supply for rural areas into practice. In: *Renewable Energy*, 61, S. 74–80.

Kaenzig, J., Heinzle, S. L., Wüstenhagen, R. (2013): Whatever the customer wants, the customer gets? Exploring the gap between consumer preferences and default electricity products in Germany. In: *Energy Policy* 53, S. 311–322. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.10.061.

Killinger, S., Mainzer, K., McKenna, R., Kreifels, N., Fichtner, W. (2015): A regional optimisation of renewable energy supply from wind and photovoltaics with respect to three key energy-political objectives, angenommen in *Energy*, im Erscheinen

Klaus Novy Institut e.V. & trend:research (2011), "Marktakteure: Erneuerbare-Energien-Anlagen in der Stromerzeugung", Köln.

Kost, C., Mayer, J. N., Thomsen, J., Hartmann, N., Senkpiel, C., Phillips, S., Nold, S., Lude, S., Schlegel, T. (2013): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, Studie Version November, Fraunhofer ISE, Freiburg.

Landtag von Baden-Württemberg (2013): 15. Wahlperiode, Drucksache 15 / 4195, 23. 10. 2013, Antrag, der Abg. Paul Nemeth u. a. CDU und Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Entwicklung der Bürgerenergiegenossenschaften in Baden-Württemberg.

Mattes, A., (2012) Grüner strom: Verbraucher sind bereit, für Investitionen in erneuerbare Energien zu zahlen. In: *DIW-Wochenbericht*, 79 (7), S. 2–9.

Mautz, R., Byzio, A., Rosenbaum, W. (2008): Auf dem Weg zur Energiewende: die Entwicklung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien in Deutschland; eine Studie aus dem Soziologischen Forschungsinstitut Göttingen (SOFI). Universitätsverlag Göttingen.

McKenna, R., Jäger, T., Fichtner, W. (2014): Energieautarkie – ausgewählte Ansätze und Praxiserfahrungen im deutschsprachigen Raum. In: *Umwelt Wirtschafts Forum*, 22(4), S. 241–247, DOI 10.1007/s00550-014-0339-y

Menges, R., Müller-Kirchenbauer, J. (2012): Rekommunalisierung versus Neukonzessionierung der Energieversorgung. In: *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 36, S.51-67

Menges, R., Traub, S. (2009): An Experimental Study on the Gap between Willingness to Pay and Willingness to Donate for Green Electricity. In: *finanzarchiv*, 65 (3), S. 335–357. DOI: 10.1628/001522109X477804.

Müller, M. O., Stämpfli, A., Dold, U., Hammer, T. (2011): Energy Autarky: A conceptual framework for sustainable regional development. In: *Energy Policy*, 39, S. 5800–5810.

Panagiotidou, M., & Fuller, R. J. (2013): Progress in ZEBs—A review of definitions, policies and construction activity. *Energy Policy*, 62, S. 196-206.

Peter, S. (2013): Modellierung einer vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Stromerzeugung im Jahr 2050 in autarken, dezentralen Strukturen, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau-Roßlau.

Pöhlmann, P., Fandrich, A. und Bloehs, J. (2012): *Genossenschaftsgesetz : Gesetz betreffend die Erwerbs- und Wirtschaftsgenossenschaften nebst umwandlungsrechtlichen Vorschriften für Genossenschaften; [Kommentar] / erläutert von. - 4., neu bearb. Aufl. des von Eduard Hettrich und Peter Pöhlmann begründeten, in 2. Aufl. von Bernd Gräser und Roland Röhrich mitbearbeiteten Werkes. - Beck*

Rae, C., & Bradley, F. (2012): Energy autonomy in sustainable communities - A review of key issues. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, S. 6497–6506.

Rogers, J. C., Simmons, E. A., Convery, I., & Weatherall, A. (2008). Public perceptions of opportunities for community-based renewable energy projects. In: *Energy Policy*, 36 (11), S. 4217-4226.

Rowlands, I. H.; Parker, P.; Scott, D. (2002): Consumer perceptions of “green power”. In: *Journal of Consumer Marketing*, 19 (2), S. 112–129. DOI: 10.1108/07363760210420540.

Sagebiel, J., Müller, J. R., Rommel, J. (2014): Are consumers willing to pay more for electricity from cooperatives? Results from an online Choice Experiment in Germany. In: *Energy Research & Social Science*, 2, S. 90–101. DOI: 10.1016/j.erss.2014.04.003.

Schmidt, J., Schönhart, M., Biberacher, M., Guggenberger, T., Hausl, S., Kalt, G., Leduc, S., Schardinger, I., Schmid, E. (2012): Regional energy autarky: Potentials, costs and consequences for an Austrian region. In: *Energy Policy*, 47, S. 211–221.

Schreiber, M. (2012): Bewertungskriterien einer optimierten Energieversorgung regionaler Verbände mit hohen Anteilen erneuerbarer Erzeugung. In: *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 36, S.257-265.

Stigka, E. K., Paravantis, J. A., Mihalakakou, G. K. (2014): Social acceptance of renewable energy sources: A review of contingent valuation applications. In: *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 32, S. 100–106.

Trend:research, Leuphana Universität Lüneburg (2013), *Definition und Marktanalyse von Bürgerenergie in Deutschland*, Dresden.

Volz, R. (2012): Bedeutung und Potenziale von Energiegenossenschaften in Deutschland. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, o.Jg. Nr. 9/10 2012, S. 515-524.

Walker, G. (2008): What are the barriers and incentives for community-owned means of energy production and use? In: *Energy Policy*, 36 (12), S. 4401–4405. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.09.032.

Welz, J. (2011): *Geschäftsmodelle und Erfolgsfaktoren von deutschen Bioenergiedörfern: Eine empirische*

Untersuchung, Centre for Sustainability Management (CSM), Leuphana Universität Lüneburg

Weniger, J., Tjaden, T., & Quaschnig, V. (2014). Sizing of Residential PV Battery Systems. In: Energy Procedia, 46, S. 78-87.

Wirth, S. (2014): Communities matter: Institutional preconditions for community renewable energy. In: Energy Policy, 70, S. 236-246.

Woyke, W., Forero, M. (2014): Methoden zu Bewertung Regionaler Energieautarkie, Beitrag auf dem 13. Symposium Energieinnovation, 12.-14.02.2014, Graz, Österreich.

Yildiz, Ö (2014): Financing renewable energy infrastructures via financial citizen participation: The case of Germany. In: Renewable Energy, 68, S. 677-685.

Working Paper Series in Production and Energy

recent issues

- No. 1** Alexandra-Gwyn Paetz, Lisa Landzettel, Patrick Jochem, Wolf Fichtner:
Eine netnografische Analyse der Nutzererfahrungen mit E-Rollern
- No. 2** Felix Teufel, Michael Miller, Massimo Genoese, Wolf Fichtner:
Review of System Dynamics models for electricity market simulations
- No. 3** Patrick Jochem, Thomas Kaschub, Wolf Fichtner:
How to integrate electric vehicles in the future energy system?
- No. 4** Sven Killinger, Kai Mainzer, Russell McKenna, Niklas Kreifels, Wolf Fichtner:
A regional simulation and optimisation of renewable energy supply from wind and photovoltaics with respect to three key energy-political objectives
- No. 5** Kathrin Dudenhöffer, Rahul Arora, Alizée Diverrez, Axel Ensslen, Patrick Jochem, Jasmin Tücking:
Potentials for Electric Vehicles in France, Germany, and India
- No. 6** Russell McKenna, Carsten Herbes, Wolf Fichtner:
Energieautarkie: Definitionen, Für- bzw. Gegenargumente, und entstehende Forschungsbedarfe

The responsibility for the contents of the working papers rests with the author, not the institute. Since working papers are of preliminary nature, it may be useful to contact the author of a particular working paper about results or caveats before referring to, or quoting, a paper. Any comments on working papers should be sent directly to the author.

Impressum

Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU)

Hertzstr. 16
D-76187 Karlsruhe

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

Working Paper Series in Production and Energy
No. 6, März 2015

ISSN 2196-7296

www.iip.kit.edu

www.kit.edu