

METHODEN ZUR BEWERTUNG REGIONALER ENERGIEAUTARKIE

Prof. (FH) Dr.-Ing. Wolfgang Woyke, Dipl. Ing. Mario Forero

Fachhochschule Kufstein Tirol Bildung GmbH,

Andreas-Hofer-Straße 7, 8330 Kufstein,

wolfgang.woyke@fh-kufstein.ac.at,

www.fh-kufstein.ac.at

Kurzfassung: In einer weiträumig vernetzten Versorgung mit elektrischer Energie wie dies in Europa seit mehr als einem Jahrhundert der Fall ist, tritt der Begriff der Energieautarkie in einer Abwägung gegenüber Versorgungssicherheit und energiewirtschaftlicher Optimierung in den Hintergrund. Lediglich bezüglich nationaler Wirtschaftspolitik spielt er eine Rolle. Dies hat sich grundlegend verändert.

Dezentrale Erzeugung subsumiert für gewöhnlich Erzeugung aus Kraft-Wärmekopplung und Erzeugung aus Erneuerbaren Energien. Beides sind staatlich geförderte Technologieformen, die auch hohes öffentliches Ansehen genießen. Davon unabhängig ist es für die Bürger von großer Bedeutung zu wissen, woher die Energie stammt, die sie konsumieren. Transparent wird dies nur durch Anlagen in regionaler Nähe, also die dezentrale Erzeugung. Auch wenn es bei Beeinträchtigungen durch den Bau neuer Anlagen immer wieder zu Widerständen kommt, ist der Begriff der Energieautarkie bzw. der dezentralen Erzeugung oftmals das stärkste Argument, um Akzeptanz für neue Projekte zu erzielen.

Dabei gibt es prinzipiell zwei Entwicklungsziele, die im nachfolgenden anhand von zwei Beispielregionen verdeutlicht werden, die bilanzgerechte Energieautarkie und die lastgerechte Energieautarkie. Der Beitrag zeigt anhand von zwei Beispielen Methoden, wie diese Entwicklungsziele bewertet werden können.

Keywords: Dezentrale Erzeugung, Regionale Energieversorgung; Energieautarkie; Smart Grids;

1 Ausgangspunkt

In der politischen Diskussion um die Energiewende werden häufig Regionen als deren Motor bezeichnet. Augenfällig wird regionale Erzeugung als regenerativ oder zumindest dezentral von der Öffentlichkeit erkannt und positiv bewertet. Dies ist ein Ansatzpunkt, um darauf eine Argumentationskette für die Akzeptanz neuer Anlagen zu schaffen. Dezentrale Erzeugung wird dabei den Zielen der Nachhaltigkeit bzgl. erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärmekopplung gleich gesetzt. Dies ist zumeist sachlich richtig und damit auch tragfähig.

Weniger augenfällig ist es dagegen, leistungsbezogene Maßnahmen wie Energiespeicherung, Netzausbau oder Smart Grids zu begründen. Regionale Energieautarkie muss dabei als lastgerechte Energieautarkie näher eingegrenzt werden. Dies ist in entwickelten Regionen mit hoher Versorgungssicherheit kaum zu begründen, da in der Bevölkerung kaum Problembewusstsein mangels praktischer Erfahrung vorhanden ist. Der Beitrag zeigt anhand zwei Beispielen Ansätze zur Bestimmung von bilanzgerechter und lastgerechter Autarkie und verdeutlicht die Chancen und Probleme, die sich in der Anwendung auf die Entwicklung regionaler Ziele daraus ergeben.

2 Bilanzgerechte Energieautarkie am Beispiel der Region Wolfsburg

2.1 Begriffsbestimmung „bilanzgerechte Energieautarkie“

Die bilanzgerechte Energieautarkie bewertet, in wie weit eine Region in einem Bilanzzeitraum von gewöhnlich einem Kalenderjahr den Energieverbrauch mit eigenen regionalen Erzeugungsanlagen decken kann. Allgemein hat sich der Begriff „Dezentrale Erzeugung“ als Trend etabliert, der durch den Maßstab „bilanzgerechte Energieautarkie“ bewertet und begründet wird.

2.2 Die Verbundenheit von Investoren mit ihrer Region

Die LSW Netz GmbH und ihre Vorgängerunternehmen versorgen die Region (siehe Abbildung 1) in und rund um die Stadt Wolfsburg seit Beginn des 20. Jahrhunderts mit Elektrizität. Sie ist in Reaktion auf die Vorgaben nach rechtlichem Unbundling als Tochterunternehmen der LSW LandE-Stadtwerke Wolfsburg GmbH und Co KG, aus dieser hervorgegangen [3]. Neben den institutionellen Eigentümern, der Stadt Wolfsburg, und

Städte und Samtgemeinden/Gemeinden im Netzgebiet der LSW

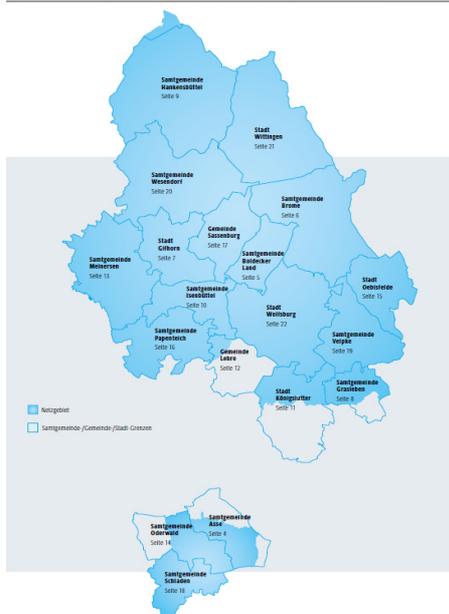


Abbildung 1: Netzgebiet der LSW Netz GmbH [1]

industriellen Eigentümern, E.ON AVACON AG, besitzt auch die FEAG, Fallersleben Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, erhebliche Eigentumsanteile und Mitspracherechte an der LSW.

Die FEAG ist historisch aus den regionalen Genossenschaften zur Elektrifizierung der Region hervorgegangen. Dementsprechend ist der Aktienbesitz regional konzentriert auf ca. 2.100 Aktionäre bei lediglich 4.642 Aktien aufgeteilt. Der Aufsichtsrat trifft sich regelmäßig und berät über die Entwicklung der regionalen Versorgungsstruktur. Aktionäre und Aufsichtsrat setzen sich aus Meinungsführern von Politik, Handwerk und Landwirtschaft zusammen. Diese repräsentieren damit sowohl die potenzielle Investoren als auch Meinungsbildende Gruppen für die Akzeptanz neuer Anlagen.

Aus dieser regionalen Sicht stehen neben den Fragen

zur Entwicklung der regionalen Netztechnik auch Fragen nach dem Maß an regionaler Eigenversorgung im Mittelpunkt des Interesses.

Dazu veröffentlicht LSW als operativ tätige Gesellschaft jährlich unter dem Untertitel „Die Energiewerde mitgestalten“ eine Bilanz der Ortsgemeinden bezüglich Erzeugung und Verbrauch, wobei die hier angesiedelte Erzeugung vollständig auf Erneuerbaren Energien fußt [1]. LSW Netz GmbH zeigt sich damit als „... langfristig orientierter Partner der Kommunen, der für die erforderlichen Investitionen und Entwicklungen einsteht“. LSW als Muttergesellschaft liefert einen „... verbindlichen Datenrahmen für Gespräche zur Gestaltung der regionalen Energiewende“. Dies zeigt sehr deutlich, welche Intention die Gesellschaften verfolgen, obwohl sie selbst weder Eigentümer noch Betreiber der Anlagen sind, über die sie berichten.

Im Ergebnis werden bilanzielle Erzeugungsmengen in Bezug zum bilanziellen Verbrauch gesetzt. „Die Deckung der Energiemengen aus lokaler regenerativer Erzeugung stieg in unserem Netzgebiet ... von 27,99 Prozent auf nunmehr 36,5 Prozent [1]“.

2.3 Charakteristik dezentraler Energieerzeugung in Gesamtgemeinden und in der Region

Der Bericht der LSW [1] beschreibt die dezentrale Erzeugung auf Basis von sogenannten „Gesamtgemeinden“, die aus jeweils einer Hand voll Kommunen bestehen. Das Erzeugungsportfolio der in Abbildung 2 aufgeführten Gesamtgemeinden setzt sich aus der Nutzung von Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik, Deponiegas, Biomasse und Biogas zusammen. Windkraft und Biomasse bzw. Biogas bilden örtliche Schwerpunkte, da diese Anlagen in ihrer Dimensionierung den örtlichen Rahmen sprengen. Wasserkraft und Deponiegas sind aufgrund der Ressourcenlage für die gesamte Region nicht von Bedeutung. Die Photovoltaik verteilt sich flächendeckend über alle Gesamtgemeinden.

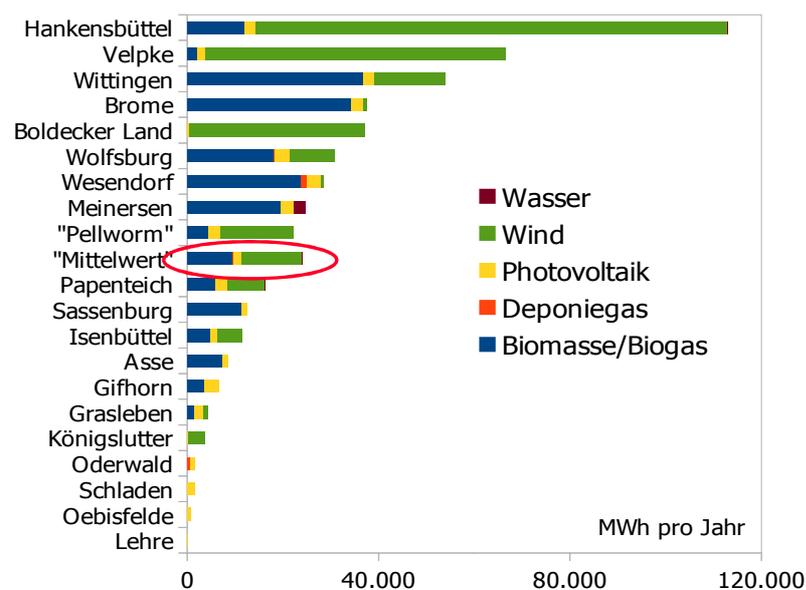


Abbildung 2: Dezentrale Erzeugung in den Gesamtgemeinden der LSW.

Einzelne Orte stehen im direkten Vergleich durch ihren Windkraftbedingten hohen Erzeugungsanteil heraus. Andere Ortsbereiche zeigen dagegen keine oder nur eine sehr geringe Eigenerzeugung. Eine pauschalierte Bewertung der Zusammensetzung von Portfolios auf Ortsebene führt auf der Suche nach einem Bewertungsmaßstab kaum zu belastbaren Aussagen.

Der als „Mittelwert“ bezeichnete Durchschnitt beschreibt das Portfolio der gesamten Region. Seine

Zusammensetzung ist das erwartete Muster bestehend auf Windkraft, Biomasse bzw. Biogas und Photovoltaik, das man als typisch für die Ressourcenlage dieser Region erwarten würde.

2.4 Bewertung der bilanziellen Autarkie

Als Region betrachtet und hier mit dem Begriff „Mittelwert“ bezeichnet, liegt der gewichtete Mittelwert des Quotienten von bilanzierter Erzeugung und Verbrauch in der Region bei 35%.

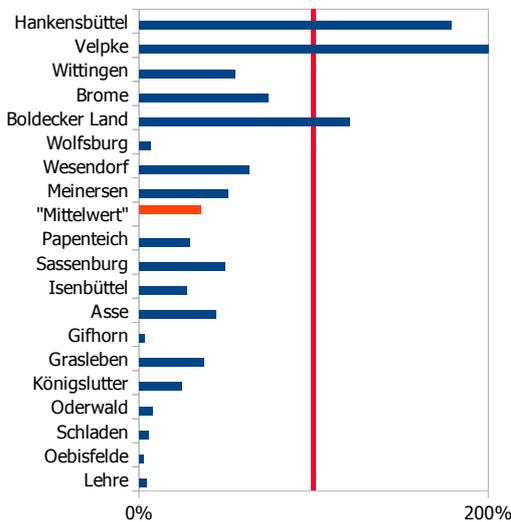


Abbildung 3: Bilanzielles Verhältnis von Erzeugung und Verbrauch

Die rote Linie in Abbildung 3 bezeichnet einen Wert von bilanzieller Autarkie von 100%. Gedeutet als Maß für die Umsetzung der Energiewende in einer Gesamtgemeinde bedeutet dies, dass Gesamtgemeinden links der roten Linie dieses Ziel noch nicht erreicht haben, während Gesamtgemeinden rechts davon sich zu Erzeugungsstandorten entwickeln. Gesamtgemeinden wie Velpke oder Hankensbüttel, mit Werten von bis zu 200% sind Standorte von Windparks. Auch wenn diese Aussage wissenschaftlich wenig überrascht, spielt sie doch für das Selbstverständnis der Bevölkerung eine große Rolle.

Städtische Gemeinden wie Wolfsburg und Gifhorn fallen in dieser Bewertung aufgrund der Besiedlungsdichte und der dort angesiedelten industriellen Verbraucher weit zurück.

Man sollte also die Bilanzgrenzen auf eine regionale Betrachtung ausweiten. Die bilanzielle Energieautarkie der Region ist im Unterschied zum Maß der Gesamtgemeinden valides Maß, das auch mit den Bilanzgrenzen des regionalen Versorgungsunternehmens und des regionalen Netzbetreibers übereinstimmt.

2.5 Vergleich der bilanziellen Energieautarkie mit den nationalen Zielen der Bundesrepublik Deutschland für Erneuerbare Energieerzeugung

Die deutsche Bundesregierung veröffentlichte im Jahr 2010 ihren Energieentwicklungsplan [2], der im Jahr 2011 durch die vorzeitige Abschaltung von Kernkraftwerken lediglich in seiner zeitlichen Ausgestaltung, nicht aber inhaltlich revidiert wurde. Als nationales Ziel schreibt er keine regionalen Entwicklungsziele vor. Über die Verbindung von Erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung als Kernstück dezentraler Erzeugung ist aber eine direkte Vergleichbarkeit gegeben. (siehe Abbildung 4).

Im Mittel erfüllt die bilanzielle Energieautarkie der LSW mit einem Wert von 35% schon im Jahre 2011 die Ziele des Jahres 2020 des Anteils erneuerbarer Energien in der Bundesrepublik Deutschland. In dieser Argumentation wird bilanzielle Energieautarkie dezentraler Erzeugung mit anteiliger Erzeugung aus erneuerbaren Energien zur Entwicklung der Nachhaltigkeit umgedeutet. Dies ist aber nur eine alternative Interpretation derselben Datenlage.

In einer weiteren Detailtiefe kann man nun auch noch die Zusammensetzung in den Technologien vergleichen. Ein erhöhter Anteil an Windkraft und Biomasse zu Lasten einer geringeren Erzeugung aus Photovoltaik und Fehlen von Import erneuerbarer Energien sowie von Wind Offshore entspricht dem regionalen Charakter. In Summe muss eine ländliche Region einen wesentlich höheren Anteil zur Energiewende betragen, als dies im nationalen Mittel der Fall ist, da ländliche Gebiete die Nachteile dicht besiedelter Regionen bzgl. der Ressourcen ausgleichen können. Es ist aber von großer Bedeutung durch quantitative Maße verdeutlichen zu können, wo man steht und wohin die weitere Entwicklung führen muss.

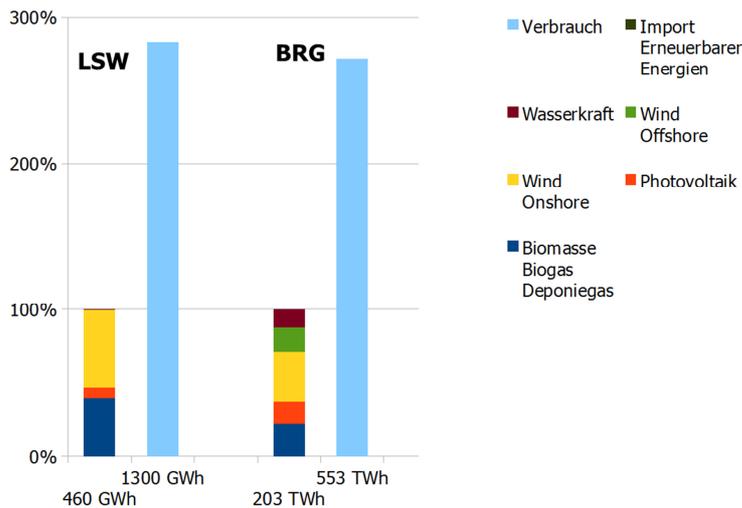


Abbildung 4: Erzeugung und Verbrauch normiert auf die jährliche Erzeugung

3 Lastgerechte Autarkie am Beispiel der Nordseeinsel Pellworm

Für die Region als Teil der Nation liegt die Zielstellung in Bezug auf bilanzielle Energieautarkie darin, ihren bilanziellen Beitrag an den nationalen Zielen zu messen. Damit wird eine gute Argumentationsgrundlage für Investition und Akzeptanz in Erneuerbare Energien geschaffen. Da die gute Vernetzung der Region zu keinen Netzengpässen führt, ist es argumentativ aber schwierig, Leistungsbezogene Maßnahmen wie Energiespeicher oder Smart Grid Lösungen zu begründen. Dies ist nun am Beispiel der Insel Pellworm zu zeigen.

3.1 Begriffsbestimmung „lastgerechte Energieautarkie

Im Unterschied zur bilanzgerechten Autarkie setzt sich die lastgerechte Autarkie zum Ziel, in einer abgeschlossenen Region die vollständige Eigenversorgung sicher zu stellen. Zu jedem Zeitpunkt wird die Energie lokal erzeugt oder aus Speichern bereitgestellt, um den Verbrauch zu decken. Ein Energieaustausch der Region mit einem vorgelagerten Netz dient lediglich der Besicherung von Leistung. Überschuss kann aber exportiert werden.

Die lastgerechte Autarkie zieht auch die zeitlich aufgelöste Bilanz ins Kalkül und ist damit eine Leistungsbetrachtung. Damit ergibt sich eine Rechtfertigung für leistungsbezogene Projekte wie Smart Grids, Netzausbau und Speicher.

3.2 Die Beispielregion Nordseeinsel Pellworm

Als Beispiel dient die Nordseeinsel Pellworm, deren Netzanbindung durch die Insellage und die Problematik von Seekabeln im Wattenmeer besondere Herausforderungen stellt. Seit

fast 30 Jahren ist Pellworm Gegenstand von zahlreichen Forschungsprojekten und Studien mit dem Fokus erneuerbare Energien, Regionalentwicklung oder Fremdenverkehr. Es gibt nur wenige Orte in Deutschland, die so kontinuierlich im Interesse renommierter Forschungsinstitute oder Hochschulen standen [6]. Die Nordseeinsel Pellworm war als Außenstandort der

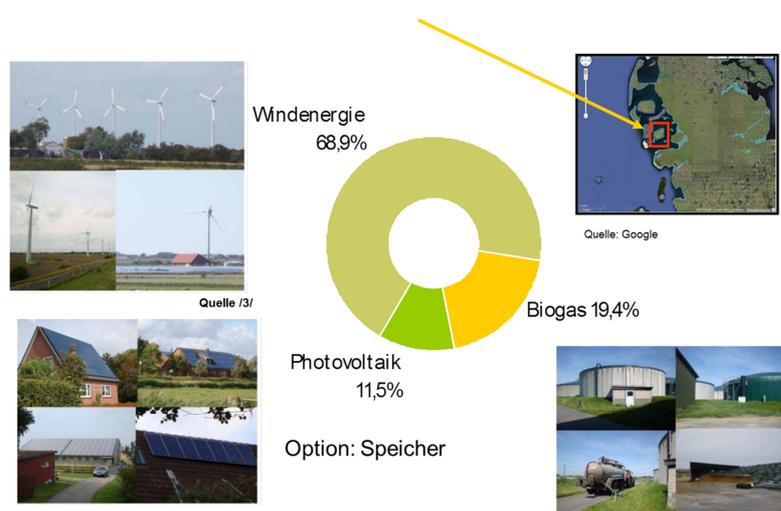


Abbildung 5: Erzeugungsportfolio auf der Insel Pellworm

Weltausstellung 2000 in Hannover seit jeher ein Vorzeigestandort für die Errichtung erneuerbarer Energien. Der örtliche Verteilnetzbetreiber ist seit langem etabliert und genießt das Vertrauen der ca. 1.100 Bewohner. Die örtlichen Energieerzeugungsanlagen sind in Eigentum und Betriebsführung ortsansässiger Privatpersonen, Gesellschaften und Genossenschaften. Der Energieversorger betreibt seit mehr als 20 Jahren eine Versuchsanlage für Photovoltaik und erprobt seit Kurzem hier unter realen Bedingungen Batteriespeicher im Netzbetrieb.

3.3 Der Status der bilanziellen Energieautarkie

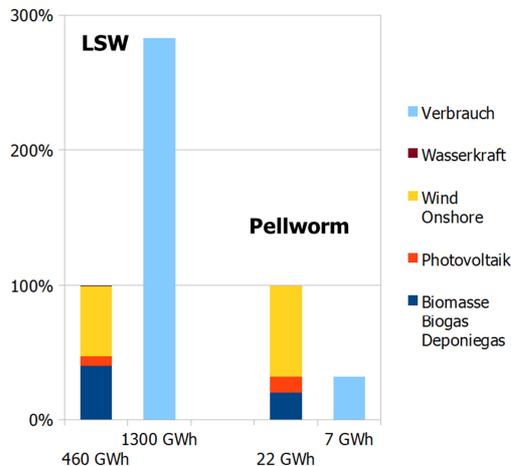


Abbildung 6: Erzeugung und Verbrauch normiert auf die jährliche Erzeugung

Die Erzeugung von 22 GWh durch Windkraftanlagen, PV-Anlagen und ein Biomassekraftwerk übersteigt den jährlichen Verbrauch von etwa 7 GWh um mehr als das Dreifache. Bilanziell ist Pellworm also nicht nur Energieautark sondern vielmehr sogar ein Exportstandort.

Eine Gegenüberstellung mit der Erzeugungssituation im Gebiet der LSW zeigt dort deutlich andere Verhältnisse. Die Erzeugung übersteigt auf Pellworm den Verbrauch um mehr als das Dreifache. Man kann die Situation also weniger mit dem Begriff der bilanziellen Erzeugungsautarkie als viel mehr mit dem Begriff eines Erzeugungsstandorts beschreiben.

Im Vergleich der Zusammensetzung der Portfolios dominiert die Windkraft aufgrund der Seelage auf Pellworm noch etwas mehr als in der Region der LSW.

Diese bereits herausgehobene Position führt zu dem Anspruch, ob es nicht möglich wäre, Pellworm vollständig von Energieimporten vom Festland unabhängig zu machen.

3.4 Der Lastgang der Nordseeinsel Pellworm

Die leistungsbezogene Bewertung der Insel Pellworm basiert auf dem Lastgang der beiden Verbindungskabel zum Festland im Jahre 2011.

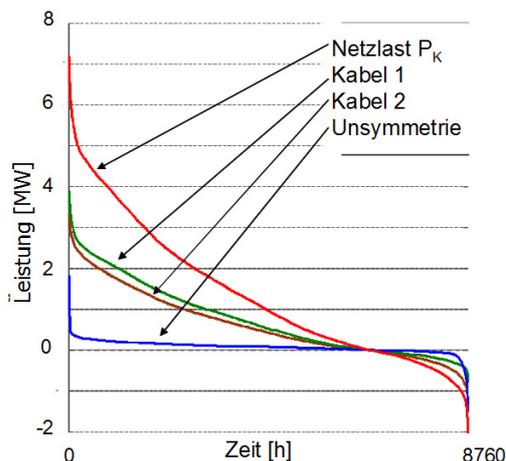


Abbildung 7: Lastgang der Insel Pellworm

Die Darstellung der Dauerlinie dieses des Lastgangs zeigt aber, dass sich Pellworm lastgerecht Energieautark ohne Austausch mit dem Festland nicht selbst versorgen könnte.

Durch die Netztopologisch unterschiedlichen Verknüpfungspunkte mit dem Festland kommt es zu einer unsymmetrischen Belastung der Kabel, die auch als Durchleitung interpretierbar ist.

Unabhängig von diesem technisch lösbaren Problem konzentriert sich die Bewertung der lastgerechten Energieautarkie auf die Summe der Belastungen beider Seekabel.

In den negativen Werten der Netzlast am rechten Ende der Skala von Abbildung 7 der geordneten Lastganglinie wird deutlich, dass trotz eines Überschusses in der Erzeugung von mehr als 15 GWh ein Nettolastfluss vom Festland auf die Insel von 1,1 GWh stattfindet. Der Status lastgerechter Energieautarkie ist also trotz bilanzieller Energieautarkie bei weitem noch nicht erreicht.

Beide Seekabel weisen eine Nennleistung von jeweils 10 MW auf. Die Kapazität der Leistung in beiden Seekabeln reicht derzeit also selbst bei Erzeugungsspitzen aus, die Leistung mit (n-1) Ausfallsicherheit zu übertragen. Sie beschränkt allerdings den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien, speziell der Windkraftanlagen.

Sowohl der Wunsch nach lastgerechter Energieautarkie als auch nach einem weiteren Ausbau erneuerbarer Energien stellt die regionalen Akteure vor die Frage, ob sie Energiespeicher oder weitere Kabelverbindungen fordern sollten.

3.5 Der Einsatz von Batterien zur Reduktion der maximalen Last auf der Festlandsverbindung

Da die Installation von Seekabeln mit hohen Kosten verbunden ist und auf wenig Akzeptanz stößt, wird die Nutzung von Batteriespeichern hier näher untersucht. Nach Diskussion der örtlichen Interessenlage zeigte ich allerdings, dass weniger die lastgerechte Energieautarkie, sondern vielmehr Netzengässe der Festlandsverbindung im Vordergrund stehen. Durch Simulation des Einsatzes eines Batteriespeichers kann dessen Einfluss auf den Lastgang

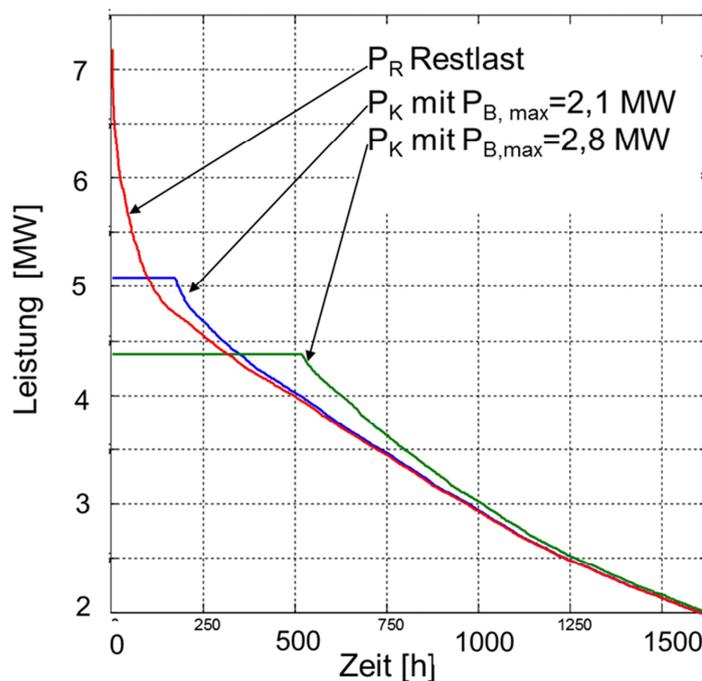


Abbildung 8: Dauerlinien der Netzanbindung mit Batterieeinsatz

der Festlandsverbindung nachgewiesen werden [4].

Der optimierte Speichereinsatz zur Reduktion der maximalen Kabelbelastung besteht darin, den Speicher bei Erreichen einer Schaltschwelle des Restlastgangs zu befüllen und ihn unmittelbar nach unterschreiten derselben Schwelle wieder zu entladen. Der Restlastgang setzt sich dabei aus der Summe der örtlichen Erzeugung vermindert um den Verbrauch zusammen. Die Schaltschwelle entsteht aus der Differenz des Maximalwerts der Übertragungsleistung vermindert um die Leistung, mit der ein Speicher befüllt werden kann.

Aus diesen Vorgaben kann eine für den Speichereinsatz notwendige Energiekapazität der Beladung ermittelt werden. Diese Energiekapazität ist die wichtigste Einflussgröße auf die Kosten eines Speichers, für den sich aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nur Batterien eignen.

Eine Reduktion der maximalen Kabelbelastung um 2,1 MW erfordert eine Energiekapazität von 7,3 MWh und reduziert die maximale Exportkapazität auf 5,1 MW. Eine Reduktion der maximalen Kabelbelastung um 2,8 MW erfordert bereits eine Energiekapazität von 12,1 MWh und reduziert die maximale Exportkapazität auf 4,6 MW.

3.6 Ziele einer lastgerechten Energieautarkie

Mit einem ähnlichen Verfahren kann wie unter Punkt 3.5 beschrieben auch die notwendige Speicherkapazität für lastgerechte Energieautarkie abgeschätzt werden [7]. Für die lastgerechte Energieautarkie ist eine Leistung von 1,3 MW und eine Speicherkapazität von 13 MWh erforderlich. Es ist aber sehr fraglich, ob dies finanzierbar ist, wenn man als Faustregel einen Systempreis von ca. 500 € pro MWh veranschlagt.

Um zunächst Klarheit zu schaffen wurde in Punkt 3.1 der Begriff der lastgerechten Energieautarkie festgelegt. Wie der Fall Pellworm zeigt, ist diese Begriffsbestimmung aber nicht unbedingt zwingend. Im übergeordneten Interesse argumentieren vor allem Erzeugungsstandorte mit diesem Begriff. Da hier der Energieexport nicht ausgeschlossen wird, zeigt die konkrete Untersuchung, dass die energiewirtschaftliche Zielstellung weniger in der Reduktion von Import als vielmehr in der Maximierung von Export liegt. Während ersteres gut zur Argumentation in der Öffentlichkeit genutzt werden kann, zeigt einen größeren technischen und wirtschaftlichen Nutzen. Es wird künftig noch zu untersuchen sein, inwieweit sich beide Zielstellungen mit einander vereinbaren lassen.

Im Rahmen eines geförderten Projekts wurden mittlerweile zwei Batteriespeicher installiert. Dies ist zum einen eine Lithium-Ionen-Batterie mit einer Leistung von 1,1 MW und einer Kapazität von 0,56 MWh sowie eine Redox-Flow-Batterie mit einer Leistung von 0,2 MW und einer Kapazität von 1,6 MWh.

4 Zusammenfassung und Bewertung

Der Bewertungsmaßstab bilanzieller Energieautonomie kann zielführend als die Jahresbilanz zwischen Erzeugung und Verbrauch eines Jahres bestimmt werden. Eine Bilanzierung scheint aber erst bei regionaler Dimensionierung sinnvoll zu sein. Der Vergleich mit nationalen Entwicklungszielen im Portfolio gibt belastbare Hinweise für die Bewertung von Regionen.

Der Bewertungsmaßstab für lastgerechte Energieautarkie ist nicht so eindeutig fest zu legen. Bezüglich der Datenbasis bietet sich der Lastgang mit dem vorgelagerten Netz an. Es ist aber Anwendungsabhängig zu untersuchen, ob die leistungsbezogene Optimierung von Importunabhängigkeit oder Exportkapazität als Ziel zu verfolgen ist.

Eine Motivation für die Entwicklung dezentraler Erzeugung ist die These, dass diese auf mehr Verständnis und Akzeptanz für den weiteren Ausbau und Umbau der Energieversorgung im Zuge der Energiewende stößt. Die bilanzielle Energieautarkie als Begriff und Zielstellung bewertet dabei gezielt Projekte der Energieerzeugung. Die lastgerechte Energieautarkie unterstreicht die Bedeutung von leistungserhöhenden Projekten. Neben dem Netzausbau betrifft dies künftig auch Projekte im Bereich von Smart Grids und von Energiespeicherung.

Die beiden untersuchten Beispielregionen geben bereits erste Hinweise, dass regionale Entwicklungsszenarien unterschiedliche Schwerpunkte haben müssen. Es wird aber auch deutlich, dass diese methodisch unterschiedliche Grundmuster aufweisen.

Literatur

- [1] LSW Erneuerbare-Energien-Report 2011;
www.lsw.de/CMS/..LSW/LSW/.../LSW_EEGReport_2011.pdf (Abgerufen am 23.1.2014)
- [2] Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011;
<http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf> (Abgerufen am 23.1.2014)
- [3] FEAG, Fallersleben Aktiengesellschaft 2012; Imagebroschüre
- [4] Forum für Zukunftsenergien e.V. 1997. Energieversorgung mit erneuerbaren Energien am Beispiel der Nordseeinsel Pellworm – ein lokaler Entwicklungsplan. Bonn: Forum für Zukunftsenergien e.V., 1997
- [5] Forero, M.: Optimierte Auslegung eines Speichersystems für eine Insel mit Festlandsanschluss. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der Technisch Universität München, München 2011.
- [6] Hemmers, R.: Weiterentwicklung des Energiekonzeptes für die Gemeinde Pellworm, März 2010.
- [7] Schütt, R. et.al.: Innovationsstudie Pellworm; Fachhochschule Westküste, 2011