

Analysemethode für kommunale Energiesysteme unter Anwendung des zellularen Ansatzes

Benjamin Böckl*, Lukas Kriechbaum*, Thomas Kienberger

Lehrstuhl für Energieverbundtechnik, Montanuniversität Leoben, Franz Josef Straße 18, 8700 Leoben, +43(0)3842 402 5407, benjamin.boeckl@unileoben.ac.at, evt.unileoben.ac.at

Kurzfassung: In dieser Publikation wird der „zellulare Ansatz“ als Werkzeug für die Analyse von bestehenden kommunalen Energiesystemen vorgestellt. Im Fokus stehen sowohl die Methode der Analyse selbst, inklusive deren Vorteile, Schwächen und Grenzen, als auch die ersten erzielten Ergebnisse am Beispiel des Mittelzentrums Bruck an der Mur. Die Resultate beinhalten ausgewählte Ergebnisse der leitungsgebundenen Energieträger Strom, Gas und Fernwärme. Zusätzlich wird auch eine, mittels zellularem Ansatz durchgeführte Potentialanalyse erneuerbarer Energien vorgestellt. Ziel ist es, in Szenarien, die derzeitigen Energieverbräuche mit den Potentialen zeitlich und lokal so zu verschneiden, dass sich möglichst hohe Autarkiegrade einstellen und die Verteilinfrastrukturen entlastet werden kann.

Keywords: Zellularer Ansatz, Energieversorgung, hybride Netze, erneuerbare Potentiale, Lastprofile, Photovoltaik, Autarkiegrad

1 Einleitung

Bei der Umstellung auf eine Energieversorgung aus erneuerbaren Energiequellen, benötigt man aufgrund der fluktuierenden Erzeugungsscharakteristiken höhere installierte Leistungen und die Möglichkeit Energie zu speichern. Bei hohen Gleichzeitigkeiten der Stromerzeugung aus regenerativen Quellen ergibt sich das Problem der Belastung von bestehenden Verteiler- und Übertragungsnetzen. In dieser Arbeit wird ein zeitlich und örtlich auflösendes Analysewerkzeug vorgestellt, wie man den zeitlichen Energiebedarf von Städten und Kommunen der Erzeugung und den bestehenden Potentialen gegenüberstellt. Ziel ist es, mit Hilfe des zellularen Ansatzes zu untersuchen, ob man die benötigte Energie im unmittelbaren lokalen Umfeld selbst bereitstellen kann, um damit größtmögliche leistungsbezogene Autarkiegrade zu erreichen um in der Folge zukünftige Infrastrukturbelastungen bzw. einen teuren Netzausbau zu vermeiden.

2 Der zellulare Ansatz

Der zellulare Ansatz ist eine flexible Methode, die es dem Anwender ermöglicht, einen Kompromiss zwischen Abbildungsgenauigkeit und Rechenaufwand nach individuellen Bedürfnissen zu erzielen. Sowohl sehr große Einheiten wie Staaten oder Regionen können zu Energiezellen zusammengefasst werden, wie auch ein Einfamilienhaus als Summe aller Verbraucher im Gebäude eine Einzelzelle bilden kann. In dieser Arbeit wird der zellulare Ansatz auf Klein- und Mittelstädte angewandt. Dazu werden alle Gebäudeeinheiten typisiert, in Zellen von zumindest 150 Verbrauchern eingeteilt und als Netzknoten zusammengefasst. Dies ermöglicht auch bei unvollständiger Datenlage eine Modellierung von Energieverbrauchern in guter Näherung und wird mittels einer Kombination aus Messwerten

und Standardlastprofilen realisiert. Der zellulare Ansatz ist daher „eine Art Energiewende von unten“, da es in Anwendung auf die Energieversorgungssysteme das erklärte Ziel ist, die Erzeugung und den Verbrauch von Energie auf der niedrigsten möglichen Ebene auszubalancieren. [1]

Eine schematische Darstellung der Funktionsweise des zellularen Ansatzes im Umfeld von Klein- und Mittelstädten findet sich in Abbildung 1 unterhalb. Hier wird gezeigt, dass die Identifikation der einzelnen Verbraucher-, Erzeuger- und Speicherinfrastrukturen der erste Schritt ist. Nach der Klassifizierung werden die einzelnen Kategorien weiter unterteilt. Die Verbraucher werden beispielsweise differenziert in Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, landwirtschaftliche Gebäude, Gewerbe, Industrie, öffentliche Gebäude und diverse Mischformen. Der überwiegende Teil von Kommunen verfügt über detaillierte Informationen zur Gebäudenutzung. Zusätzlich dürfen die Gemeinden gemäß BGBl. I Nr. 9/2004 auf das zentrale Gebäude und Wohnungsregister zugreifen [2].

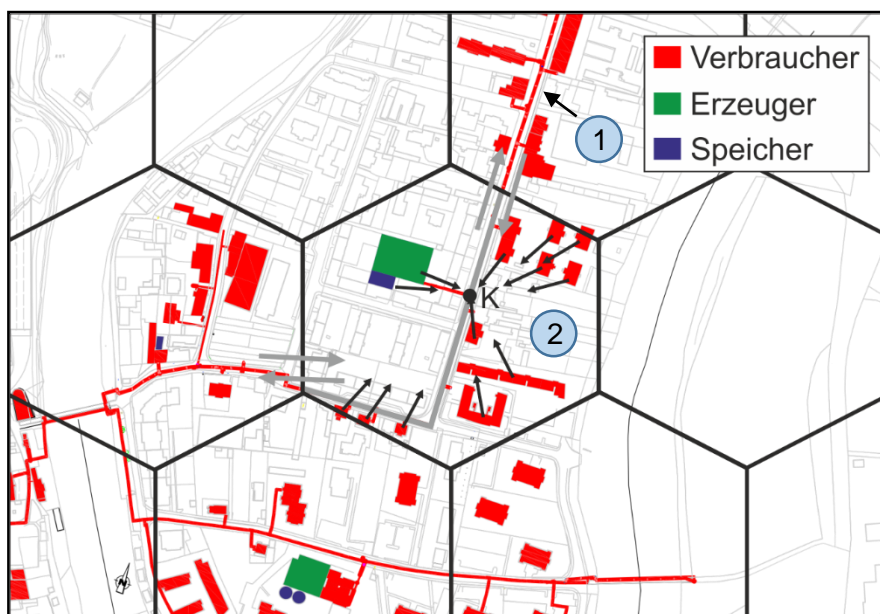


Abbildung 1 Schematische Funktionsweise des zellularen Ansatzes

Im nächsten Schritt werden alle Verbrauchsdaten in zeitlich aufgelöster Form erhoben, aufsummiert und als Knotenpunkt dargestellt. Der Knotenpunkt beinhaltet nun in der gewählten Zeiteinheit (zum Beispiel 15 Minuten Werte), alle Verbrauchswerte der jeweiligen Zelle für das gewünschte Zeitintervall (Zum Beispiel ein Jahr). Analog dazu werden auch alle identifizierten Erzeugerstrukturen, wie Kraftwerke oder PV-Anlagen als Knotenpunkt für Erzeuger dargestellt. Zusätzlich zu diesen beiden Knotenpunkten, werden Speicherstrukturen identifiziert und ebenfalls energetisch und leistungsmäßig aufsummiert. Die Erfahrung zeigt, dass insbesondere Zellen mit Industriebetrieben teilweise bereits bestehende und ungenutzte Speicherinfrastruktur in Form von beispielsweise alten Öltanks aufweisen. Weiters ist zu beachten, dass bei Anwendung des zellularen Ansatzes auf kommunale Energieversorgungsstrukturen naturgemäß die Zusammenfassung der Verbräuche und die Erzeugung für jeden Energieträger separat zu geschehen hat.

Bei der Festlegung der Zellen wirkt sich die Einhaltung folgender Regeln positiv auf die Genauigkeit der Zellen aus:

Die wichtigste zu beachtende Regel ist die Mindestgröße an Verbrauchern je Zelle bei unvollständiger Datenlage. In Abbildung 2 ist die durchschnittliche Leistung pro Haushalt in Abhängigkeit vom Aggregierungsgrad für einen Wochentag aufgetragen. Es ist klar ersichtlich, dass bei aggregierter Betrachtung von sehr wenigen Haushalten (rote und grüne Kurve) aufgrund von größeren Gleichzeitigkeiten deutlich höhere Spitzen erzielt werden, als bei Zusammenschluss von einer größeren Anzahl an Verbrauchern (hellblaue und dunkelblaue Kurve). Dies ist auch der Grund, warum Kleinverbraucher jedenfalls in Zellen mit mindestens 150 derartiger Verbraucher zusammengefasst werden sollten. Bei vollständiger, zeitlich aufgelöster Datenlage kann von diesem Richtwert auch abgewichen werden.

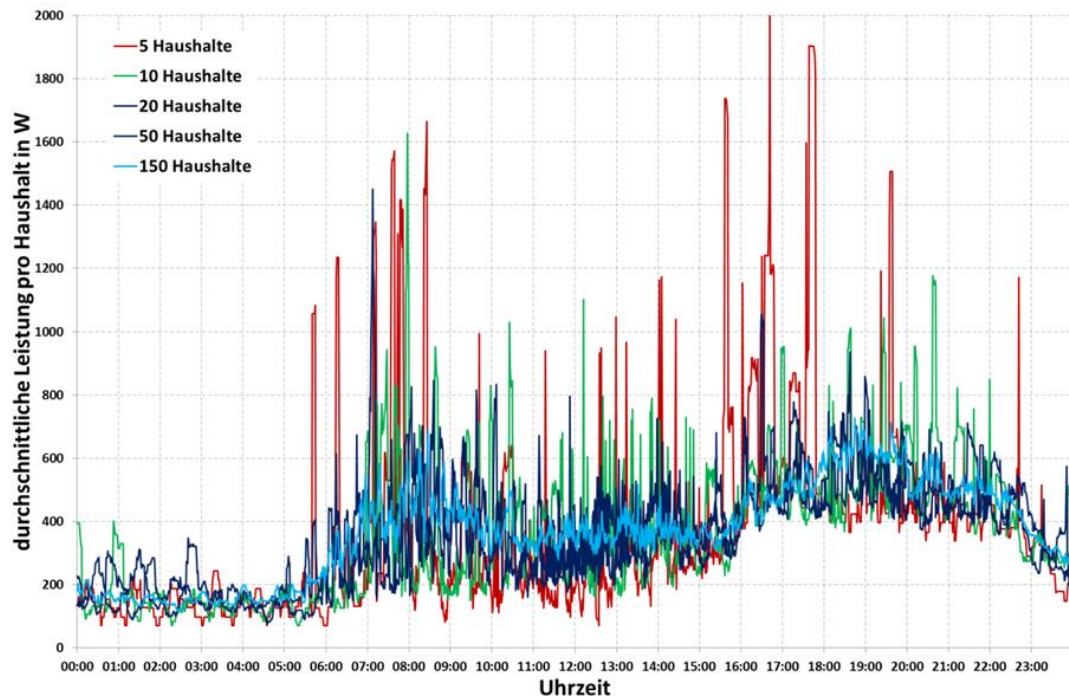


Abbildung 2 Die durchschnittliche Leistung pro Haushalt für einen Wochentag in Abhängigkeit der Anzahl von aggregierten Haushalten (Esslinger 2012) [3]

Weiters ist es wichtig die Netzinfrastruktur bei der Zelleinteilung zu berücksichtigen. Es ist vorteilhaft keine Bereiche von, durch einen Energieträger versorgten Gebiet, mit unversorgten Gebieten zu vermischen, um möglichst allgemein gültige Aussagen je Zelle treffen zu können. In der Anwendung empfiehlt es sich daher, dünn besiedelte Flächenzellen ab dem Ende der Versorgungsgebiete für Gas oder Fernwärme einzuführen, die zumeist am Rande der Gemeindegebiete liegen.

Bei einer eventuell folgenden Lastflussberechnung muss darauf geachtet werden, dass nur Zellknoten verbunden werden, die durch reale Leitungen verbunden sind. Außerdem ist es hierbei wichtig eine systemisch kleinste Betrachtungsebene zu definieren. Zum Beispiel kann bei der Betrachtung der Verteilernetzinfrastruktur des Stromnetzes, die kleinste betrachtete Ebene, der Ortsnetztransformator sein. Es ist zu beachten, dass durch die Aggregation der Daten reale Lastspitzen durch Mittelung schwächer dargestellt sein können, als sie in Wirklichkeit sind. Hierfür empfiehlt sich besonders an neuralgischen Punkten, wie an Netzausläufern von Stichleitungen im Verteilernetz, wie in Abbildung 2 dargestellt, eine eventuelle stochastische Rücktransformation von Verbrauchsspitzen auf wenige Verbraucher.

3 Analyse der bestehenden Energieversorgung

Im Rahmen von momentan am Lehrstuhl für Energieverbundtechnik laufenden Forschungsprojekten wird der zellulare Ansatz an verschiedenen Klein- und Mittelstädten validiert. In dieser Arbeit sollen erstmals Ausschnitte von Ergebnissen veröffentlicht werden. Sowohl die Ergebnisse des Status Quo, als auch die Potentialanalyse und die Szenarienberechnungen beziehen sich auf das Gemeindegebiet Bruck an der Mur in der Steiermark.

3.1 Praktisches Anwendungsbeispiel am Beispiel eines Mittelzentrums

Während die Zelleneinteilung in Abbildung 1 rein schematisch dargestellt war, sieht man in Abbildung 3 die real verortete Zelleneinteilung. Am linken Bild erkennt man innerhalb der blauen Umrandung das gesamte Gemeindegebiet Bruck an der Mur. Die Zelleneinteilung orientiert sich an der Topografie und der Besiedelungs- und Netzstrukturen. Während man die relativ dünn besiedelten Zellen an den Außengrenzen des Gemeindegebiets auf Grund ihrer Größe noch gut erkennen kann, wurde der gekennzeichnete rote Bereich im rechten Bild vergrößert dargestellt.



Abbildung 3 Zelleneinteilung im Gemeindegebiet Bruck an der Mur (links) - Zelleneinteilung des Zentrums Bruck an der Mur (rechts)

3.2 Analyse des Wärmebedarfs

Bei der Analyse des Wärmebedarfs wird in zwei Energieträger unterschieden: Die Fernwärmeversorgung durch ein Biomasseheizwerk im Stadtrandgebiet sowie die ausgekoppelte Abwärme der Papierfabrik Norske Skog und die Gasversorgung, wobei hier zwischen Erdgas für Wärmezwecke und Prozessgas unterschieden wird, um in später entwickelten Szenarien den Verwendungszweck differenzieren zu können. Sowohl im Fernwärmebereich, als auch im Gasbereich werden die ermittelten Jahresverbräuche bei fehlenden zeitlich aufgelösten Daten mittels einer Mischung aus synthetischen Lastprofilen und Standardlastprofilen in Abhängigkeit der durch die ZAMG bekannten Wetterdaten für das Jahr 2014 zeitlich aufgeteilt [4]. Der Gesamtwärmebedarf für das Gemeindegebiet Bruck an der Mur beträgt rund 39 GWh.

3.2.1 Fernwärme

In Abbildung 4 unterhalb finden sich zwei Ausschnitte mit zellularer Aufteilung des Gemeindegebiets Bruck an der Mur. Es wurden hierbei nur die Zellen berücksichtigt, die über einen Fernwärmeanschluss verfügen. Auf der linken Seite werden in farblich abgestufter Weise die Anschlussleistungen je Zelle dargestellt. Auf der rechten Seite befinden sich die Jahreswärmemengen in MWh in gelb bis rot dargestellt. Klar zu beobachten ist die hohe installierte Leistung im Stadtzentrum (Zelle 12, 14, 15, 17), die auch mit einem hohen Verbrauch korreliert. Andere Beispiele wie Zelle 8, die das Krankenhaus Bruck an der Mur beinhaltet haben eine niedrigere Anschlussleistung, aber trotzdem einen hohen Verbrauch, was auf ein relativ konstantes Wärmeabnahmeprofil hindeutet.

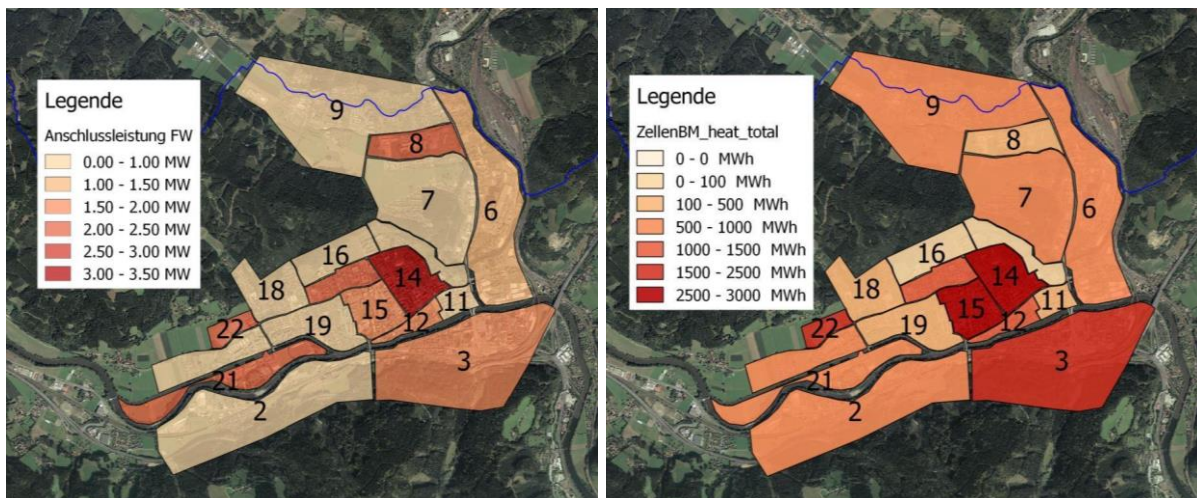


Abbildung 4 Die installierten Anschlussleistungen des Fernwärmenetzes (links) und die Jahreswärmeverbräuche je Zelle (rechts). Je dunkler die Zellen dargestellt sind, desto höher sind die jeweilige Leistungen und die Verbräuche.

Die Verbräuche werden mit Hilfe der Sigmoidfunktion in Abhängigkeit der Außentemperatur zeitlich aufgelöst. [5] Da es jedoch laut Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft zu mehreren Allokationen bei der Abbildung der zeitlichen Verläufe durch die Sigmoidfunktion kommt, wird das Modell in nächster Zukunft auf die weiterentwickelten „SigLinDe“- Profile umgestellt um die Abbildungsgenauigkeit weiter zu erhöhen [6]. Der Jahresfernwärmeverbrauch des Versorgungsgebietes Bruck an der Mur beträgt 17 GWh.

3.2.2 Gas

Bei der Analyse des Gasverbrauches äußert sich ein weiterer Vorteil des zellularen Ansatzes zur Analyse von energetischen Versorgungsstrukturen. Da aus datenschutzrechtlichen Gründen keine Verbrauchsdaten für Einzelverbraucher verfügbar sind, können nur aggregierte Daten verwendet werden. Dazu wurden dem Netzbetreiber die Koordinaten in Form von GIS Daten übermittelt. Die erhaltenen Daten beziehen sich direkt auf die einzelnen Zellen und können anschließend nach Verwendungszweck und Verbraucher klassiert werden. Der Jahreserdgasverbrauch im Gemeindegebiet Bruck/Mur ist mit über 1,3 TWh deutlich über dem vergleichbarer Städte der gleichen Größenordnung. Dies liegt an den vorhandenen Industriebetrieben, die mit über 90% den überwiegenden Anteil des Verbrauches stellen. Da sowohl im privaten, gewerblichen als auch im kommunalen Bereich keine zeitlich aufgelösten Daten vorhanden sind, wurden alle Verbraucher mit der überwiegenden Nutzung von Erdgas

zu Wärmезwecken, analog zur Fernwärme, mit einer Mischung aus synthetischen Lastprofilen und Standardlastprofilen dargestellt.

Das Ergebnis der Ermittlung der Jahresverbräuche in MWh findet sich in Abbildung 5 unterhalb. Es zeigt sich die große Spannweite der Verbräuche, die von 0 MWh (in manchen Außenzellen befindet sich keine Erdgasversorgungsinfrastruktur) bis zu Verbräuchen über einer TWh. Insgesamt berücksichtigt die Grafik knapp 2500 Erdgasverbraucher, die auf die 29 Zellen aufgeteilt sind.

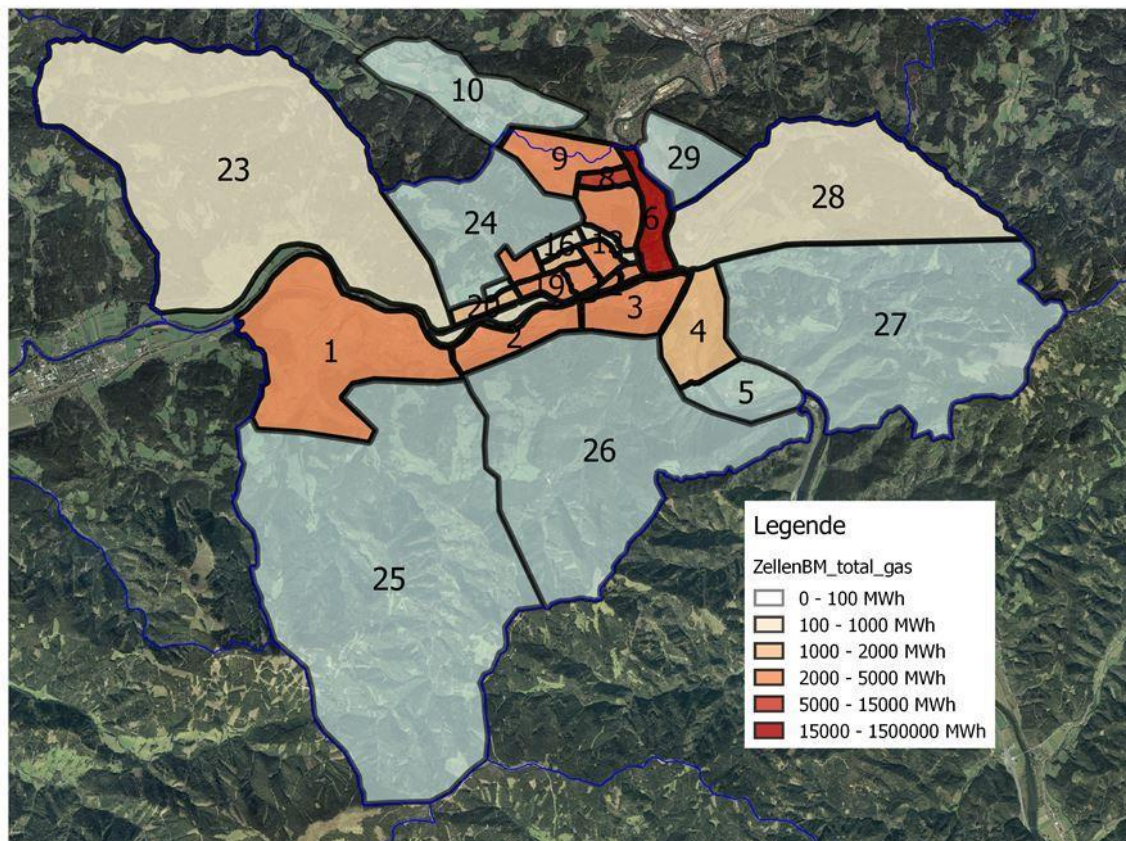


Abbildung 5 Die Jahreserdgasverbräuche des Jahres 2014 in MWh je Zelle

3.3 Analyse des Strombedarfs

Das Beispiel Bruck an der Mur wurde zur Präsentation des zellularen Ansatzes bewusst deswegen gewählt, weil aufgezeigt werden soll, dass auch Projekte mit größeren Datenlücken zuverlässig abgehandelt werden können. Durch die Aggregation der Daten in Cluster ist die Abweichung von zu Verfügung gestellten Daten, zur Verwendung von Lastprofilen (in Form von Standardlastprofilen und synthetischen Lastprofilen) gering und die Aussage über den Verbrauch verändert sich nicht signifikant, wie auch in Abbildung 2 dargelegt.

Durch den vorhandenen Gebäudekataster erfolgt die Aufteilung der vorhandenen synthetischen Lastprofile und der Standardlastprofile des BDEW für Haushalte, verschiedene Gewerbe, öffentliche Gebäude, Landwirtschaftsbetriebe und Andere. Die Lastprofile orientieren sich am Nutzerverhalten der entsprechenden Nutzergruppe, den Wochentag und der Jahreszeit und sind im Gegensatz zu Gaslastprofilen nicht auf die Tagesmitteltemperatur normiert. Außerdem wurde gemäß Daten der Statistik Austria berücksichtigt, dass der auf die Personengröße bezogene Energieverbrauch mit steigender Haushaltsgröße abnimmt [7].

Der Stromverbrauch ist analog dem analysierten Gas- und Fernwärmeverbrauch in Abbildung 6 in der Einheit MWh dargestellt. Die Abweichungen in den einzelnen Zellen sind deutlich geringer im Vergleich zum Gasverbrauch. Dies liegt zum einen an der flächendeckenden Versorgungsinfrastruktur von Strom und zum anderen versorgen sich die großen Industriebetriebe mittels Laufkraftwerken oder Gaskraftwerken zur KWK-Nutzung zum überwiegenden Teil selbst. Das bedeutet, dass der dargestellte Stromverbrauch nur die netzgespeiste Stromversorgung beinhaltet und sämtliche Eigenproduktionen nicht berücksichtigt sind, da sonst gewisse Energieströme doppelt bilanziert werden.

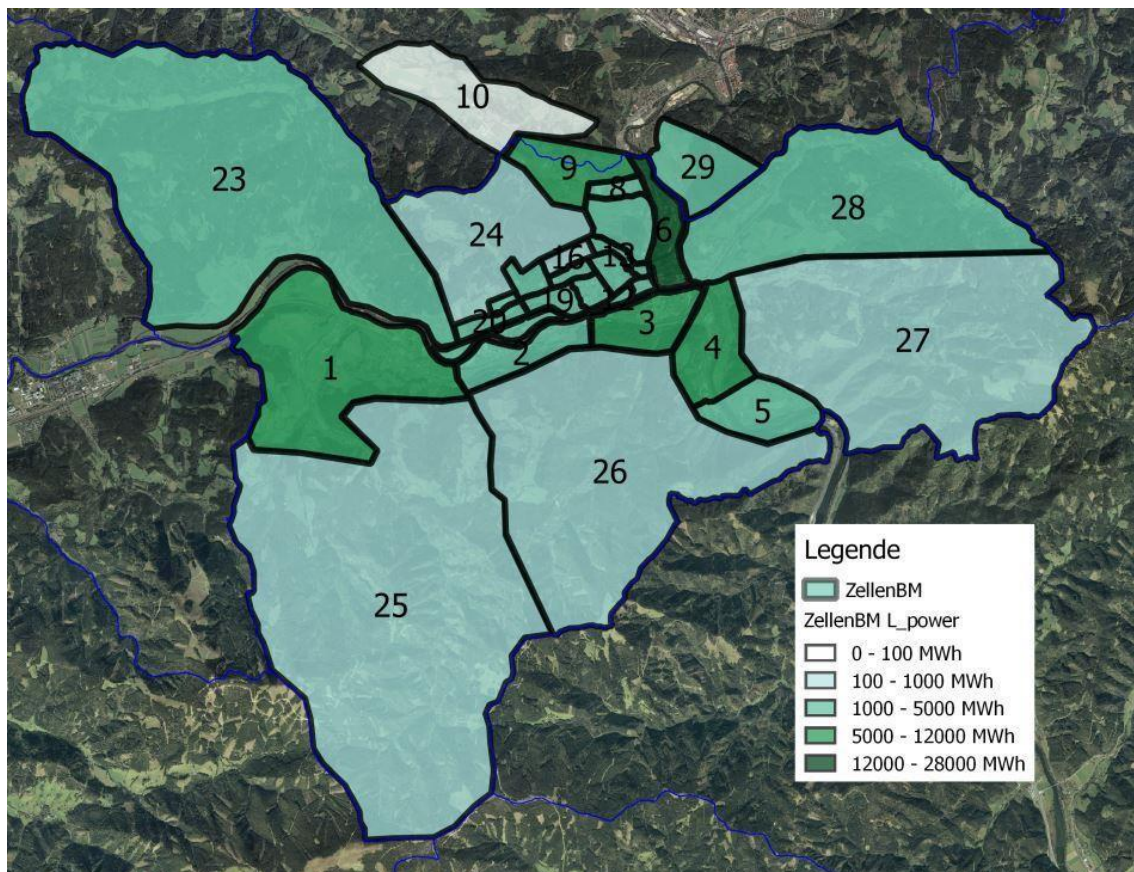


Abbildung 6 Die Jahresstromverbräuche des Jahres 2014 in MWh je Zelle

Wie bei allen anderen Energieträgern auch, sind für alle Zellen die zeitlichen Mess- und Modellwerte für das komplette Jahr 2014 hinterlegt. Um dies zu veranschaulichen wurden in Abbildung 7 die Wochenlastgänge von 3 Zellen (Zelle 11, 14, 21) dargestellt. Es wurden bewusst Profile mit ähnlichen Maximalwerten gewählt, um die unterschiedlichen Charakteristiken der Stromlastgänge einzelner Zellen darstellen zu können. Es ist klar ersichtlich, dass Zelle 11 aufgrund der speziellen Konfiguration aus Gewerbe und Haushalten die maximale 15 Minuten Leistung an Werktagen in der Morgenspitze erreicht und sich die Kurve der Leistungsmaxima am Wochenende stark reduziert. In Zelle 14 konzentrieren sich viele Privathaushalte, was sich sowohl an der ausgeglichenen Morgen- und Mittagsspitze und der dominanten Abendspitze äußert, als auch an den weiterhin hohen Wochenendverbräuchen. Zelle 21 ist geprägt von vielen Gewerbebetrieben. Hier ist insbesondere auffällig, dass sich am Wochenende ab Samstag Mittag der Stromverbrauch eklatant verringert und am Sonntag deutlich unter der Hälfte des Wochentagbetriebes beträgt.

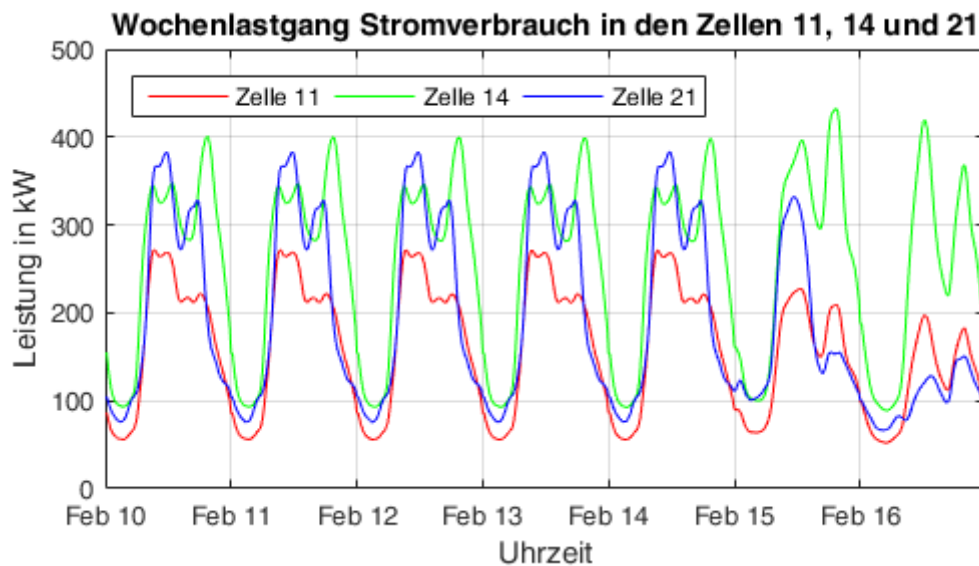


Abbildung 7 Vergleich der Wochenlastgänge von den Zellen 11, 14 und 21

4 Potentialanalyse

Die Potentialanalyse läuft in den einzelnen Zellen analog zur Ermittlung des Status Quo ab. Bei der Analyse wurden sowohl Photovoltaik-, Solarthermie-, Biomasse- und Windkraftpotentiale, als auch Abwärmen in Betracht gezogen. Da die Stadtgemeinde Bruck an der Mur bereits eine gesonderte Erhebung an Windpotentialen verfolgt hat, wird diese in dieser Publikation nicht berücksichtigt. Auch die Abwärmepotentiale fließen aufgrund des noch laufenden Projektstatus nicht in die hier veröffentlichte Potentialanalyse ein und werden gesondert publiziert.

4.1 Photovoltaik Potentiale

Die Potentialerhebung im Bereich der Photovoltaik beruht auf den Daten des 2013 veröffentlichten Solardachkatasters des Landes Steiermark. Grundlage der Berechnungen für den Solardachkataster sind hochauflösende Daten aus dem Airborne Laserscanning (ALS). [8] Dabei werden die Dachflächen erfasst und nach Kriterien wie der Geländeform, Größe, Neigung, Abschattung und Exposition der Dachflächen bewertet. Das Ergebnis ist eine Klassifizierung der Dachflächen in „nicht geeignet“, „gut geeignet“ und „sehr gut geeignet“. Die „gut geeigneten“ Dachflächen sind auf der rechten Seite der Abbildung 8 gelb dargestellt, während die „sehr gut geeigneten“ Flächen rot dargestellt sind.



Abbildung 8 Die ermittelten Dachflächen (lila) in Zelle 7 und den angrenzenden Zellen in Bruck an der Mur (links) und deren Klassifizierung in geeignete Flächen für PV in rot (sehr gut geeignet) und gelb (gut geeignet).

Zur Berechnung der solaren Erträge für beliebige Flächen kommt ein eigens entwickeltes Modell zum Einsatz. Mit Hilfe der Wetterdaten (inklusive Temperaturen und Einstrahlungswerten) von 2014, die in 10 Minuten Mittelwerten vorliegen und von der ZAMG zur Verfügung gestellt wurden können mit Hilfe der mittels ALS ermittelten Dachflächen und Ausrichtungen zeitliche Solarerträge exakt nachgebildet werden. Es wird dabei sowohl der direkte Anteil, der diffuse Anteil als auch der reflektierte Anteil berücksichtigt. Das Ergebnis des Modells für eine durchschnittliche als „sehr gut“ charakterisierte Fläche mit einer Leistung von 1 kWp über ein Jahr in Abhängigkeit der Tageszeit ist in Abbildung 9 ersichtlich.

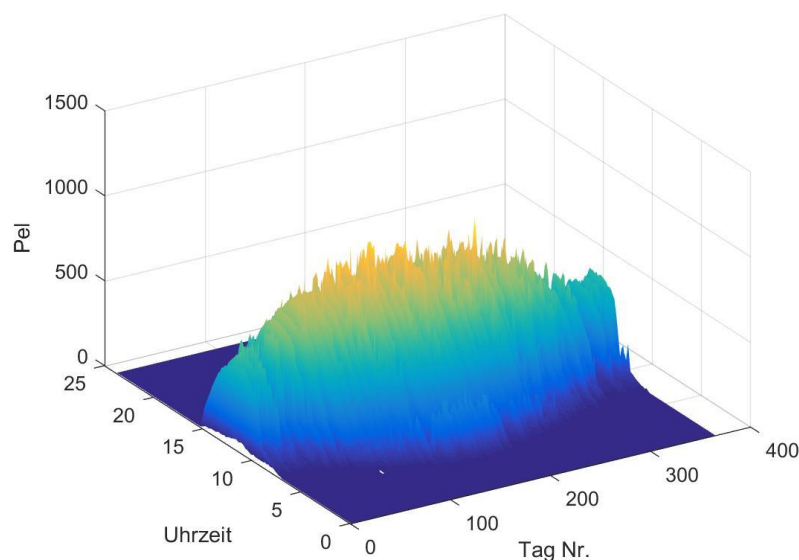


Abbildung 9 Die berechnete elektrische Leistung für das Wetterjahr 2014 in Abhängigkeit der Uhrzeit für eine 1 kWp Anlage. [4]

Mit Hilfe ermittelten Flächen pro Zelle und durch Berücksichtigung der Eignung dieser, wird ein Tageslastgang in Abhängigkeit der Außentemperatur und der Einstrahlung ermittelt. In Abbildung 10 wird in farblich abgestufter Weise das jährliche Potential bei Vollausbau aller potentiellen Dachflächen pro Zelle dargestellt. Klar erkennbar ist, dass die Zellen mit höherem Industrie- bzw. Gewerbeanteil wie es auf Zelle 1 und 6 zutrifft, deutlich höhere Potentiale

haben als der Durchschnitt, aufgrund der großen zusammenhängenden Dachflächen, die sehr oft als Flachdächer ausgeführt werden. Das Gesamtpotential an Photovoltaik auf Dachflächen im Gemeindegebiet Bruck an der Mur beträgt bei Vollausbau 46,5 GWh/a.

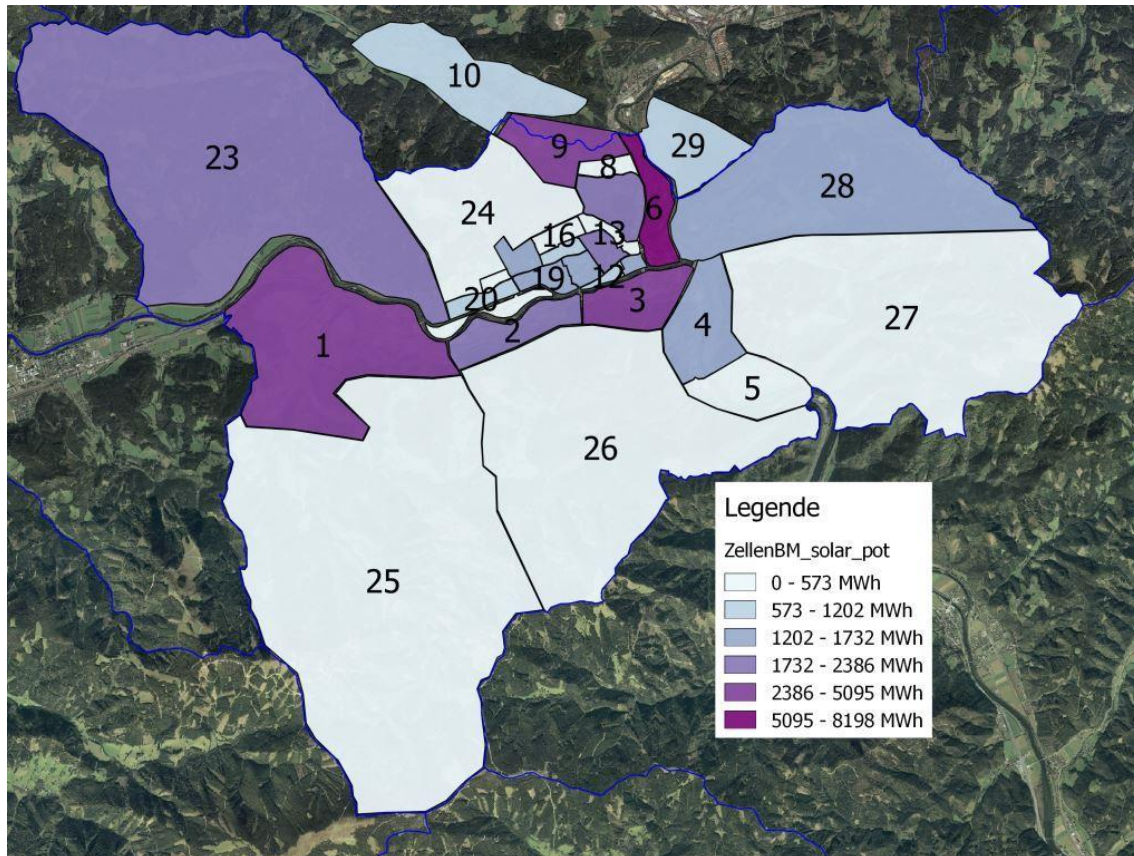


Abbildung 10 Die Jahreserträge bei einem Vollausbau aller potentiellen Dachflächen pro Zelle in kWh summieren sich auf 46,5 GWh/a

4.2 Biomasse Potentiale

Bruck an der Mur verfügt wie viele andere Klein- und Mittelstädte über einen eigenen angrenzenden Stadtforst. Die Gesamtfläche von 1709 Hektar teilt sich in einen 1100 ha Wirtschaftswald und einen 432 ha Lehrforst der höheren Bundeslehranstalt für Forstwirtschaft. Laut Waldwirtschaftsplan von 1992 ergibt sich daraus ein Hiebsatz von insgesamt 8000 Erntefestmetern [9]. Der Hiebsatz ist dabei jene Holzmenge, die bei nachhaltiger Bewirtschaftung dem Wald jährlich entnommen werden kann. Laut § 171 des österreichischen Forstgesetzes ist der jährliche Holzeinschlag periodisch zu erfassen und als Holzeinschlagsmeldung der zuständigen Behörde zu melden [10]. Diese Berichte für den Stadtforst dienen als Datenbasis für die Potentialerhebung. In diesem werden Mengen in Erntefestmetern ohne Rinde (FMO), Baumarten und Verwendungszwecke aufgezeichnet. Durch Schadholzanfall kann der Einschlag auch deutlich über dem Hiebsatz liegen, was durch regelmäßige Sturmschäden verursacht öfters der Fall sein kann. So lag der durchschnittliche jährliche Holzeinschlag zwischen 2005 und 2014 bei 10462 FMO, was gut 30% über dem Hiebsatz liegt.

Für die energetische Betrachtung ist neben den Mengen besonders die Baumart entscheidend, da es signifikante Unterschiede in der jeweiligen Verwendungsart je Baumart

gibt. So werden durchschnittlich nur 3,6% des Nadelholzes als Brennholz verwendet, während der Brennholzanteil an Laubholz mit 83% entscheidend höher ist.

Tabelle 1 Durchschnittlicher Holzeinschlag nach Baumart für die Jahre 2009-2014 und deren verwendeter Anteil für die energetische Verwertung

Art des Holzes	Anteil	Menge	Davon Brennholz	Menge Brennholz
	%	FMO	%	FMO
Nadelholz	97,7	10.221	3,6	368
Laubholz	2,3	241	83,0	200
Gesamtholz	100	10.462	5,4	568

Um die sich daraus ergebenden energetischen Potentiale berechnen zu können müssen die Heizwerte der Holzarten berechnet werden. Dazu verwendet man die in den österreichischen Holzhandelsusancen von 2006 angegebenen Werte zur Umrechnung von FMO in absolut trockene Holzmasse inklusive Rinde (AMM) [11]. Gewichtet nach den Anteilen der einzelnen Baumarten an der Nutzung des Nadel- und Laubholzsortiments in Bruck an der Mur bei der Österreichischen Waldinventur 2007-2009 konnte so die spezifische absolut trockene Holzmasse bestimmt werden. Laut ÖNORM 7132 liegt der Heizwert für wasserfreies Nadelholz bei 19MJ/kg und für wasserfreies Laubholz bei 18 MJ/kg. [12] Um diese Werte auf den realen Feuchtigkeitsgehalt umzurechnen wird die unten beschriebene Formel verwendet. Der Wassergehalt wird mit 20% angenommen.

$$H_u = H_{u,wf}(1 - w) - 2442w \text{ in } \frac{kJ}{kg}$$

Beim angenommen Wassergehalt von 20% ergeben sich für vier verschiedene Szenarien bei unterschiedlichen Nutzungsgraden des Holzes verschiedene energetische Outputs. In den ersten beiden Szenarien geht man von der durchschnittlichen Holzeinschlagsmenge aus und von einer kompletten Ausnutzung des Einschlags für energetische Zwecke, während man im zweiten Szenario von einem durchschnittlichen Brennstoffausnutzungsgrad ausgeht. Die Basis für das dritte und vierte Szenario bildet der Hiebsatz, wobei analog zu den vorhergehenden Szenarien einmal mit der gänzlichen energetischen Nutzung und einmal mit der durchschnittlichen Nutzung kalkuliert wird.

Die Szenarien 1-4 werden in nachfolgender Tabelle 2 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass insbesondere bei höherer Nutzung des Holzeinschlages als Brennstoff noch große energetische Potentiale zu erzielen sind. Im Vergleich zum Gesamtwärmebedarf von 39 GWh zeigt sich, dass sich bei vollständiger Nutzung des Holzeinschlages als Brennstoff, mehr als die Hälfte des Wärmebedarfs decken lässt. Alle Werte beziehen sich auf Heizwerte für Brennstoffe mit 20% Wassergehalt und beinhalten keine Wirkungsgrade.

Tabelle 2 Energetischer Output in MWh von den vier beschriebenen Szenarien

Szenario	Beschreibung	Energetischer Output in MWh
Szenario 1	Holzeinschlag mit vollständiger Brennstoffnutzung	21.299
Szenario 2	Holzeinschlag mit durchschn. Brennstoffnutzung	1.284
Szenario 3	Hiebsatz mit vollständiger Brennstoffnutzung	16.286
Szenario 4	Hiebsatz mit durchschn. Brennstoffnutzung	1.098

5 Szenarioberechnung

Im Rahmen der Analyse sind diverse Szenarien, die sich mit Resilienz und der vermehrten Einbindung von erneuerbaren Energien beschäftigen angedacht. Sowohl der Ausbau von Photovoltaik und Solarthermie in verschiedenen Ausbaugraden, die vermehrte Nutzung von Biomasse und die Einbindung von industriellen Abwärmern sind in der Durchführung. Daraus sollen auch diverse Mischszenarien berechnet und bewertet werden. Aufgrund des noch laufenden Projektes ist nur ein Auszug, in Form eines Photovoltaikausbaus, in verschiedenen Ausbaugraden, auf die Ergebnisse möglich.

Durch die Verschneidung des zuvor bestimmten Photovoltaikpotentials einzelner Zellen mit deren Stromverbrauch ergeben sich Überdeckungen und Unterdeckungen. Das Photovoltaikpotential bei einem Komplettausbau aller verfügbaren Dachflächen übersteigt bei Tageslicht und direkter Sonneneinstrahlung durchgehend den Stromverbrauch im selben Zeitraum, während naturgemäß die Stunden vor Sonnenaufgang und nach Sonnenuntergang unterdeckt sind.

In Abbildung 11 ist für Zelle 15 eine Gegenüberstellung eines Tageslastgangs von Strom mit dem Photovoltaikpotential bei verschiedenen Durchdringungen dargestellt. Bei einem Vollausbau ist es deutlich erkennbar, dass die PV-Einspeisung in den Morgenstunden beginnt und dann gegen Mittag sehr steil ansteigt und den Stromverbrauch mit einer maximalen 15 Minuten Einspeiseleistung von rund 1,1 MW deutlich übersteigt. Außerdem ist ersichtlich, dass sich der dargestellte Tag im Winter befindet und die Einspeiseleistung bereits um 16:00 gegen null geht. An Sommertagen ist die Dauer der solaren Einspeisung deutlich länger und es ist möglich die komplette Morgenspitze abzudecken und sogar einen Teil der Abendspitze abzufedern. Im 50% Szenario kann der Stromverbrauch zur Mittagszeit gerade noch gedeckt werden und es sind keine Stromexporte in andere Zellen mehr notwendig, während im realistischen 25% Szenario nur noch ein Teil des Stromverbrauchs gedeckt werden kann und die Stromimporte dementsprechend abgeschwächt werden.

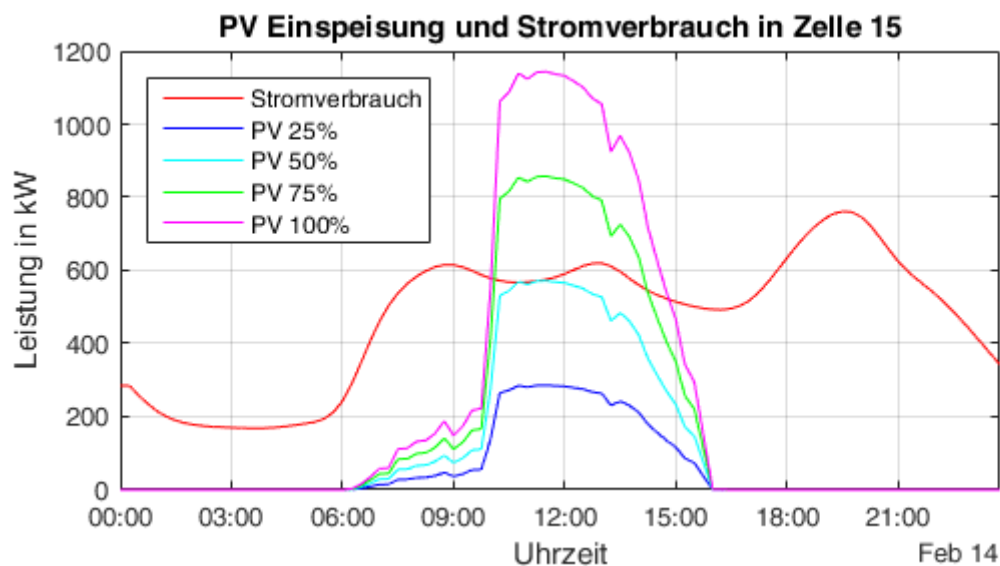


Abbildung 11 Der Stromverbrauch und die PV Einspeisung bei verschiedenen Durchdringungen in Zelle 15

In Abbildung 12 ist die zellenbezogene Residuallast von Zelle 15 ebenfalls am 14. Februar dargestellt. Die Datengrundlage für die Darstellung ist ident zu Abbildung 11 der Vollausbau. Es wurde angenommen, dass die Photovoltaik der einzig erneuerbare Einspeiser ist. Die Berechnung kommt dementsprechend durch die Differenz der nachgefragten Leistung und der durch Photovoltaik zur Verfügung gestellten Leistung zustande und wird in der nachstehenden Formel dargestellt.

$$Residuallast = P_{i,el} - P_{i,pv}$$

Die Residuallast wird also naturgemäß negativ, sobald die PV-Einspeisung den Stromverbrauch übersteigt. Dieser Bereich ist in Abbildung 12 im negativen Bereich dargestellt, während die positiven Residuallasten oberhalb der x-Achse markiert sind.

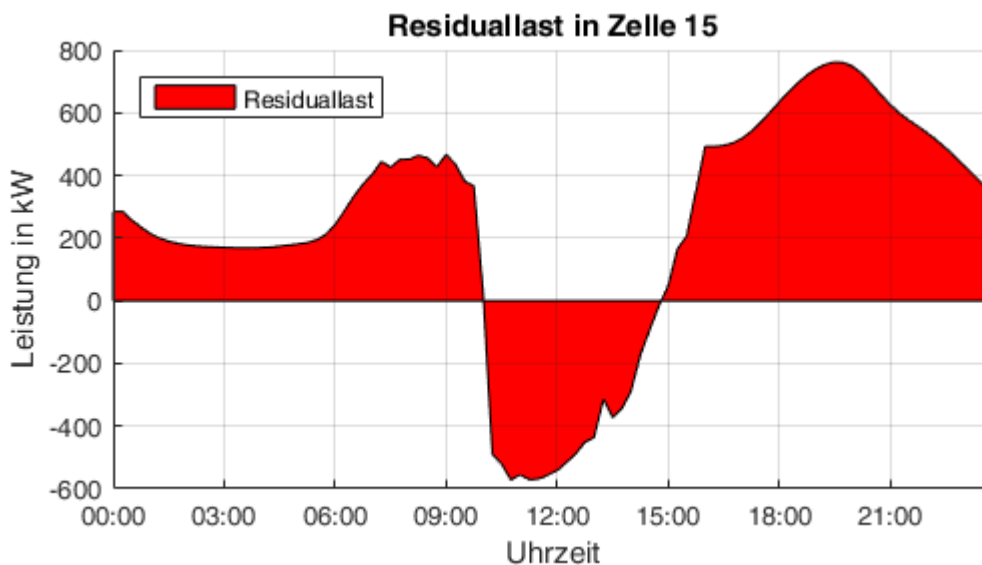


Abbildung 12 Die Residuallast in Zelle 15 am 14. Februar 2014

Um in dieser Arbeit diverse Kennzahlen auch für den Gesamtbereich Bruck an der Mur angeben zu können, müssen die Einzelzellen zu einer Gesamtzelle zusammengefasst werden. Berechnete Kennzahlen umfassen den Gesamtstromverbrauch, den gesamten PV-Ertrag bei unterschiedlichen Durchdringungsszenarien, die Residuallast, sowie Stromimport und -export und den Eigendeckungsgrad. Die verwendeten Berechnungsformeln sowie die Ergebnisse sind unterhalb dargestellt.

Der Stromverbrauch und der PV Ertrag summieren die jeweils verbrauchte, beziehungsweise erzeugte elektrische Arbeit für das jeweilige Zeitintervall auf. Der Stromexport aus der Zelle j summiert über das betrachtete Zeitintervall alle elektrischen Arbeiten zum Zeitpunkt i , falls die Residuallast im selben Zeitpunkt kleiner 0 ist. Die Stromimporte summieren umgekehrt alle elektrischen Arbeiten bei positiven Residuallasten.

$$Stromexport = \sum_{ij} \{W_{ij,el} : (Residuallast < 0)\}_i$$

$$Stromimport = \sum_{ij} \{W_{ij,el} : (Residuallast > 0)\}_i$$

Zusätzlich werden zwei Eigendeckungsgrade berechnet. Der maximale Eigendeckungsgrad bringt die erzeugte elektrische Arbeit aus der Photovoltaik Einspeisung in Relation mit der

gesamten verbrauchten elektrischen Arbeit. Der Eigendeckungsgrad berücksichtigt zusätzlich die Stromexporte und erfasst somit nur die tatsächlich selbst den in der Gesamtzelle verbrauchten Photovoltaikanteil.

$$\text{maximaler Eigendeckungsgrad} = \frac{PV \text{ Ertrag}}{Stromverbrauch}$$

$$\text{Eigendeckungsgrad} = \frac{PV \text{ Ertrag} - \text{Stromexport}}{Stromverbrauch}$$

Die Ergebnisse dieser Kennwerte werden in der nachfolgenden Tabelle 3 bei verschiedenen PV-Ausbauszenarien dargestellt. Es ist erkennbar, dass man bis zu einem PV-Ausbaugrad von 25% die gesamte Stromerzeugung lokal in Bruck an der Mur verbrauchen kann und sich der energetische Eigendeckungsgrad nicht vom maximalen Eigendeckungsgrad unterscheidet. Bei Steigerung des Ausbaugrades nehmen zwar beide Werte zu, allerdings wächst auch die Differenz aufgrund des zunehmenden Anteils an Überdeckungen, die in Form von Stromexporten abgegeben werden. Im Extremfall in Form des Vollausbau kann zwar 55% des Stromverbrauchs als Photovoltaik Strom erzeugt werden, allerdings aufgrund des hohen Anteils an Überdeckungen nur 36% davon selbst genutzt werden. Auch die notwendigen Stromimporte sinken bei fortschreitenden Ausbaugraden immer unwesentlicher. In einem weiteren Schritt wird untersucht werden, wie sich bestimmte Speichertechniken und -dimensionierungen, sowie Hybridisierungsansätze wie power to heat auf diese Kennwerte auswirken. Ergebnisse hierzu werden in weiterer Folge veröffentlicht werden.

Tabelle 3 Diverse Kennzahlen der Gesamtzelle bei verschiedenen Photovoltaik Durchdringungsraten

PV Ausbau Szenario	100%	75%	50%	25%
Stromverbrauch in GWh	84,2	84,2	84,2	84,2
PV Ertrag in GWh	46,5	34,9	23,3	11,6
Stromimport	54,0	57,5	62,87	72,6
Stromexport	16,3	8,2	1,9	0
Eigendeckungsgrad	0,36	0,32	0,25	0,14
Max. Eigendeckungsgrad	0,55	0,41	0,28	0,14
Differenz EDG- max. EDG	0,21	0,09	0,03	0,00

6 Conclusio

Der zellulare Ansatz erweist sich als nützliches und geeignetes Werkzeug für die Analyse von kommunalen Energieversorgungsstrukturen und für ermittelte Potentiale. Die Flexibilität und seine modulare Erweiterbarkeit sind vorteilhaft und eignen sich in der Anwendung auf Projekte mit unterschiedlichen Datenlagen und topologischen Voraussetzungen. Grenzen werden dem Tool bei allen Situationen aufgezeigt, in denen die Mittelung der Daten reale kritische

Betriebszustände nicht wiedergibt. Hier ist über Messdaten oder den beschriebenen stochastischen Ansatz eine Rücktransformation durchzuführen.

Die energetische Versorgung von Bruck an der Mur kann durch den Einsatz von Photovoltaik alleine, erwartungsgemäß nicht nachhaltig sichergestellt werden. Zwar weisen etliche Zellen hohe Eigendeckungsgrade auf und der Bereich der Privathaushalte und des Gewerbes kann durch einen massiven Ausbau von verschiedenen erneuerbaren Energien aus derzeitiger Abschätzung energetisch versorgt werden, doch der energieintensive industrielle Sektor mit dem besonders hohen Erdgasverbrauch kann nicht ohne fossile Brennstoffe auskommen.

Weitere Aussagen, insbesondere die Kennwerte von Mischszenarien mit der Betrachtung von Biomasse, Abwärme und Kanalabwärme zusätzlich zur Photovoltaik und der Einbau von verschiedenen Speichern werden detailliertere Erkenntnisse über die realisierbare Energieversorgungssituation in Bruck an der Mur bieten.

7 Literaturangaben

- [1] Der zellulare Ansatz. Grundlage einer erfolgreichen, regionenübergreifenden Energiewende, Verband der Elektrotechnik, 2015
- [2] Republik Österreich: Bundesgesetzblatt I Nr. 9/2004. BGBl. I Nr. 9/2004
- [3] Esslinger, P. u. Witzmann, R. (Hrsg.): Entwicklung und Verifikation eines stochastischen Verbraucherlastmodells für Haushalte. 2012
- [4] ZAMG: Einstrahlungsmessdaten und Temperaturmesswerte des Jahres 2014 für Kapfenberg
- [5] Hellwig, M.: Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile, Technische Universität München. München 2003
- [6] Weiterentwicklung des Standardlastprofilverfahrens Gas, Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft, München 2015
- [7] Energiestatistik: Strom- und Gastagebuch 2012, im Auftrag der Energie-Control Austria und des BMFLUW, Statistik Austria
- [8] Amt der Steiermärkischen Landesregierung: Solardachkataster Steiermark, 2013.
<http://www.gis.steiermark.at/cms/beitrag/11864478/73081691/>, abgerufen am: 26.01.2016
- [9] Christian Wietrzyk: Waldwirtschaftsplan 1992. Brief. 2015
- [10] Republik Österreich: Bundesgesetz vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird (Forstgesetz 1975) StF: BGBl. Nr. 440/1975 (NR: GP XIII RV 1266 AB 1677 S. 150. BR: 1392 AB 1425 S. 344.)
- [11] Österreichische Holzhandelsunionen 1973. Auflage 2001, Bundesholzwirtschaftsrat
- [12] ÖNORM M 7132:1998 *Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff, Begriffsbestimmungen und Merkmale*