



HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Stand der Energiewende im Landkreis Emsland

Energieerzeugung, Energieverbrauch und regionale Besonderheiten

Jonas Baars, Anne Schierenbeck und Tim Wawer

Stand: 18.02.2021



Forschungsprojekt RegioPLUS

Regionale praxisorientierte Lösungsansätze für Unternehmen mit Sektorkopplung

Dieses Projekt wird mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert

Antragsnummer ZW6-85032216

Impressum

Hochschule Osnabrück

Kaiserstr. 10c

49809 Lingen

Kontakt

Prof. Dr. Tim Wawer

Mail: t.wawer@hs-osnabrueck.de

Tel: +49 (0)591 800 98 -290

Zusammenfassung

Eine regionale Betrachtung der erneuerbaren Energieversorgung ist wichtig, da die Umsetzung der Energiewende vor Ort geschehen muss. Durch das Aufzeigen von lokalen Unterschieden über den Fortschritt des Ausbaus der regenerativen Energien werden Potenziale deutlich. Es ermöglicht den Zielerfüllungsgrad in der jeweiligen Region zu ermitteln, den lokalen Fortschritt mit den Entwicklungen auf der Bundesebene abzugleichen und den Handlungsbedarf zu identifizieren. Gemeinden mit einem hohen Zielerreichungsgrad können ermittelt und als Vorbild bekannt gemacht werden.

Durch die Gegenüberstellung der lokalen Erzeugung und der lokalen Nachfrage können gerade im Strombereich die Gemeinden identifiziert werden, in denen bereits heute hohe Exporte existieren. Eine Ausweitung des lokalen Verbrauchs verringert die Netzbelastung und steigert die lokale Wertschöpfung.

Auf Basis statistischer Daten wird ein energiewirtschaftliches Bild des Landkreises Emsland gezeichnet. Der LAU-Kategorisierung¹ der EU folgend, wird der Landkreis in 19 Gemeinden und Samtgemeinden aufgeteilt. Statistiken von Landkreis, Land, und Bund werden mit den Daten der Netzbetreiber kombiniert. Statistische Unterschiede zwischen den Netzbetreibern der Strom- und Gasnetze erschweren dabei die Auswertung. Die untenstehenden Aussagen werden aus statistischen Daten hergeleitet. Die Ursachen für statistische Abweichungen sind dabei nicht Gegenstand der Untersuchung.

Diese Übersicht liefert erstmalig eine detaillierte energiewirtschaftliche Betrachtung des Emslandes. Der Großteil der Daten bezieht sich auf das Jahr 2018, wobei als Zieljahr das Jahr 2030 betrachtet wird. Hieraus lassen sich folgende Aussagen für die Erzeugung von erneuerbarem Strom ableiten:

- Der Ausbau der Windenergie im Emsland ist ungleich verteilt. Während in den Gemeinden Werlte, Rhede (Ems) und Lathen zwischen 20-27 MWh Windstrom pro ha landwirtschaftliche Fläche erzeugt werden, sinkt dieser Wert bis auf unter 1 MWh pro ha landwirtschaftliche Fläche in den Gemeinden Geeste und Meppen.
- Das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung (Klimaschutzprogramm 2030) sieht eine installierte Leistung von 71 GW für Windenergie an Land vor (Netzentwicklungsplan Strom 2020). Aktuelle Studien gehen von einem noch höheren Ausbau aus (Agora Energiewende 2020). Dieses bedeutet eine Stromerzeugung von min. 9,4 MWh pro ha landwirtschaftliche Fläche. Im Emsland erreichen die Gemeinden Werlte, Dörpen, Lathe, Rhede, Sögel, Freren, Haselünne, Haren, Nordhümmling, Twist und Lengerich bereits heute die Ausbauziele der Bundesregierung. Dies kann als positiver Fortschritt der Energiewende im Emsland gesehen werden.
- Auch bei der Erzeugung von Strom aus PV auf Dachflächen werden Unterschiede sichtbar. Die Erzeugung pro m² Gebäudefläche ist in den Städten Papenburg und Lingen am geringsten. Die Spitzenreiter sind die SG Werlte (9,7 kWh/m²) und die Geeste (8,5 kWh/m²). Freiflächenanlagen sind in dieser Statistik nicht inbegriffen.

¹ Geographische Untergliederung der NUTS-Systematik in Mitglieds- und Samtgemeinden, die eine hierarchische Systematik zur eindeutigen Identifizierung und Klassifizierung der räumlichen Bezugseinheiten der amtlichen Statistik in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ist.

- Bis zum Jahr 2030 sieht das Klimaschutzprogramm vor, dass insgesamt eine installierte Leistung von 98.000 MW_p in Deutschland erforderlich ist (Netzentwicklungsplan 2020). Dieses würde eine Erzeugung pro m² Gebäudebaufläche von ca. 5 kWh erfordern. Die Gemeinden Werlte, Geeste, Lengerich, Lathen, Haselünne, Rhede und Sögel haben diese Werte bereits erreicht.

Die Nachfrageseite im Emsland ist geprägt von Haushalten mit verhältnismäßig viel Wohnfläche, einer hohen Haushaltsgrößenklasse² und einem hohen Anteil an Industrie im Vergleich zur Einwohnerzahl. Es fallen folgende Punkte auf:

- Der Verbrauchsanteil der Industrie am Stromverbrauch ist deutlich höher als im Bundesdurchschnitt. Dieses gilt insbesondere für die Stadt Lingen (Ems), SG Dörpen, Salzbergen, Meppen und Papenburg
- Der durchschnittliche Stromverbrauch der Haushalte in Abhängigkeit der Personenzahl liegt in den Gemeinden Haselünne und Werlte über den Durchschnittswerten der Bundesrepublik. Hier liegen Potenziale für Effizienzmaßnahmen vor. Die Wohnfläche pro Einwohner ist in allen Gemeinden höher als im Bundesschnitt.
- Wird der Wärmebedarf auf die Gebäudefläche pro Einwohner bezogen, zeigt sich im Emsland ein überhöhter Wert im Vergleich zum Bundesschnitt. Insbesondere in den städtischen Gemeinden Lingen (Ems), Meppen und Papenburg ist der Wärmebedarf pro Einwohner besonders hoch. Ebenfalls der Wärmebedarf pro m² Wohnfläche ist ausgenommen von den Gemeinden Rhede (Ems) und Lengerich im gesamten Emsland über dem Bundesschnitt, sodass hier Energieeffizienzpotenziale bestehen.
- Der höchste Wärmebedarf besteht in den Städten Lingen, Papenburg und Meppen und besitzt somit ein hohes Potenzial für den Ausbau von Wärmenetzen.
- Es existieren durchschnittlich viele PKW je Einwohner, die relativ gleich nach der Einwohnerzahl verteilt sind. Bei der Mobilität lässt sich statistisch kein deutlicher Unterschied zwischen Stadt und Land innerhalb des Landkreis Emsland erkennen.

Um die Erzeugung aus erneuerbaren Energien und die Nachfrage im Strombereich zusammenzuführen, werden die Residuallasten auf Gemeindeebene berechnet. Die Residuallast gibt den Teil der Stromnachfrage an, die nicht aus erneuerbaren Energien in der Gemeinde gedeckt werden kann. Die fossile und nukleare Stromerzeugung wird nicht berücksichtigt. Werden die Erzeugung und die Nachfrage zusammengeführt ergeben sich die folgenden Aussagen:

- Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist im Vergleich zur Last in vielen Gemeinden hoch. Die Last kann im Durchschnitt in 5.850 Stunden pro Jahr durch die eigene Erzeugung gedeckt werden. Mit über 8.500 Stunden bilanziellem Stromüberschuss pro Jahr aus erneuerbaren Energien haben die Gemeinden Lengerich, Rhede (Ems), Werlte, Sögel, Nordhümmling und Haselünne die höchsten Werte.
- Regionen mit hohen regionalen Exporten sind am ehesten für den Aufbau von lokalen Speichern, Sektorenkopplungstechnologien sowie Lastmanagement in Unternehmen geeignet. Die Gemeinden mit den höchsten regionalen Stromexporten sind die Gemeinden Werlte mit über 450.000 MWh und Sögel und Lathen mit jeweils über 270.000 MWh pro Jahr.

² Gibt die in einem Haushalt befindliche Personenzahl an

- Aus Netzsicht sind insbesondere Gemeinden mit einem hohen residualen Verbrauch für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien interessant.

Aufgrund der hohen Bedeutung sollte der Energieverbrauch der Industrie im Emsland detaillierter untersucht werden und Effizienzmaßnahmen angeregt werden. Der hohe Wärmeverbrauch erfordert Effizienzmaßnahmen und Sanierungen von Wohngebäuden. In der lokalen Bauleitungsplanung könnte dieses berücksichtigt werden. Ebenso sollte der Ausbau von Wärmenetzen forciert werden, um eine erneuerbare Wärmeversorgung voranzutreiben.

Die Gemeinden mit negativer Residuallast sind mögliche Standorte, um Technologien im Bereich der Sektorkopplung zu erproben. Da das Emsland in Zukunft eine Region mit Überschussstrom darstellen wird, können so Erfahrungen in diesem Bereich gesammelt werden. In den Gemeinden mit verhältnismäßig wenig Stromüberschüssen sollte der Ausbau erneuerbarer Energien weiter vorangetrieben werden.

Die nächsten zehn Jahre werden zudem von einer Mobilitätswende geprägt werden. Hierbei sollte sowohl der Individualverkehr als auch die Logistik betrachtet werden. In diesem Kontext gilt es zu untersuchen, wie Elektromobilität gefördert und Wasserstoff genutzt werden kann.

Insgesamt ist der Landkreis Emsland im Vergleich zum Bundesdurchschnitt geprägt durch eine geringere Einwohnerzahl pro Fläche, eine starke Energiewirtschaft und Industrie. Damit sind optimale Voraussetzungen für einen weiteren starken Ausbau der Erneuerbaren Energien im Landkreis gegeben. So werden die Voraussetzungen für die Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Mobilität geschaffen. Der Industrie vor Ort werden Möglichkeiten geboten, sich vor Ort günstig mit erneuerbaren Energien zu versorgen und neue Geschäftsfelder zu erschließen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Methodik.....	2
3 Elektrizitätssektor	3
3.1 Netzbetreiber	3
3.2 Stromproduktion erneuerbarer Energien	3
3.3 Stromverbrauch	7
3.3.1 Haushalte	8
3.3.2 Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)	10
3.3.3 Produzierendes Gewerbe und Industrie.....	11
3.3.4 Landwirtschaft	12
3.4 Residuallasten	13
4 Wärmesektor	14
5 Mobilitätssektor	17
6 Fazit und Ausblick	18
Literaturverzeichnis	19

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EW	Einwohner
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GVE	Großvieheinheit
GWH	Gigawattstunden
KfZ	Kraftfahrzeug
kWh	Kilowattstunden
LAU	Local Administrative Units
LKW	Lastkraftwagen
MA	Mitarbeiter
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques
PKW	Personenkraftwagen
PLUS	Praxisorientierte Lösungsansätze für Unternehmen mit Sektorkopplung
WZ-C	Wirtschaftszweig C (Produzierendes Gewerbe)

1 Einleitung

In dem kommenden zehn Jahren wird die Energieversorgung des Emslandes eine grundlegende Transformation erfahren. In der Vergangenheit wurde die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bereits stark ausgebaut, sodass der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung im Landkreis schon überdurchschnittlich hoch ist.

Auch in Zukunft ist mit einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien zu rechnen, um die nationalen und internationalen Klimaziele zu erreichen. Ein zusätzliches Element wird die Verwendung von Wasserstoff sein. Erste Elektrolyseure werden bereits heute im Emsland installiert. Wasserstoff bekommt als Energieträger eine zunehmende Bedeutung und kann in verschiedenen Sektoren eingesetzt werden (H₂-Region Emsland 2020, Wietschel et al. 2018).

Auch wenn der Stromsektor keine regionale Differenzierung vorsieht, ist eine Untersuchung in Teilregionen wichtig, da die Umsetzung der Energiewende vor Ort erfolgen muss. In lokalen Betrachtungen werden im Stromsektor lokale Herausforderungen und Handlungsmöglichkeiten erkennbar. Durch das Aufzeigen von lokalen Unterschieden über den Fortschritt des Ausbaus der regenerativen Energien werden die jeweiligen Potenziale einer Gemeinde deutlich. Zusätzlich kommt es durch den wachsenden Anstieg regenerativer Energien in einigen Regionen zu zeitlichen Stromüberschüssen, in denen lokal mehr Strom erzeugt als verbraucht wird, welche durch eine regionalisierte Betrachtung besser erkennbar sind. Das Emsland ist aufgrund des hohen Ausbaus der erneuerbaren Energien auch bundesweit ein interessanter Referenzfall, da hier schon heute eine Situation eintritt, die im Rest der Bundesrepublik erst in einigen Jahren erwartet wird.

Dieser Bericht stellt die Ausgangslage des Energiesystems dar. Er basiert überwiegend auf Daten des Jahres 2018. Bei fehlender Datenlage werden ältere Daten herangezogen. Insbesondere wird eine Analyse von Energieverbrauch und Energieerzeugung bis auf die Gemeindeebene vorgenommen. Dies dient dazu, die Gemeinden zu identifizieren, für die sich im Rahmen der Energiewende besondere Chancen, aber ggf. auch Risiken ergeben. Hierzu wird der Landkreis einer Datenanalyse hinsichtlich der Bereiche Strom- und Wärmeversorgung sowie der Nachfrage nach elektrischer Energie, Wärme und Mobilität unterzogen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung bilden einen Datensatz an Inputfaktoren und Parametern für eine anschließende Szenario- und Optimierungsmodellierung. Grundlage sind öffentliche statistische Daten des Landkreises Emsland, Verbrauchsdaten der Verteilnetzbetreiber und der Stadtwerke sowie externe Analysen zu energiewirtschaftlichen Themen im Emsland. Die Untersuchung wird im Kontext des Forschungsprojektes Regio PLUS durchgeführt. Das Forschungsprojekt wird im Rahmen der Förderrichtlinie EFRE 2.2.2. „Anwendungsorientierte Forschung an Fachhochschulen mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung“ gefördert. Projektträger ist die NBank. Stadtwerke und Verteilnetzbetreiber haben durch die Bereitstellung der Verbrauchsdaten diese Analyse unterstützt.

2 Methodik

Für die energiewirtschaftlichen Analyse wird die Modellregion Landkreis Emsland in 19 Bilanzräume, wie in Abbildung 1 dargestellt, untergliedert. Grundlage sind die Verwaltungseinheiten der Einheits- und Samtgemeinden (LAU-Ebene). Die Unterteilung beruht auf der NUTS-Systematik zur eindeutigen Identifizierung und Klassifizierung der räumlichen Bezugseinheiten der amtlichen Statistik in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union (Kommission europäischer Gemeinschaften 2005). Schwerpunkt der Untersuchung ist der Elektrizitätssektor, insbesondere die Gegenüberstellung der erneuerbaren Stromproduktion mit den lokalen Verbrauchsstrukturen aus den Bereichen Haushalte, Gewerbe-, Handel- und Dienstleistung (GHD), Industrie und Landwirtschaft.

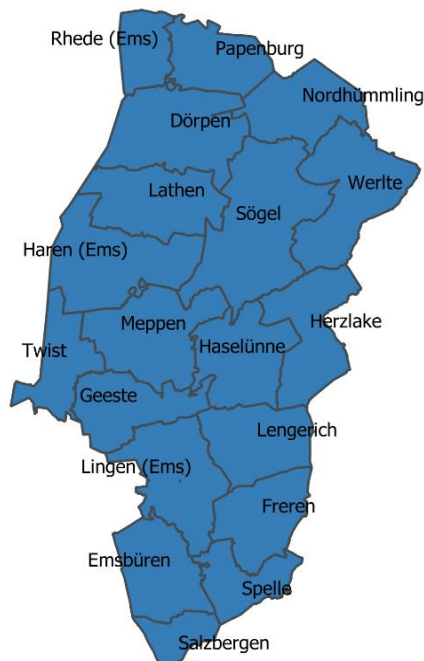


Abbildung 1: Einheits- und Samtgemeinden des Landkreis Emsland

Betrachtungsjahr ist in dieser Untersuchung das Jahr 2018. Diesbezüglich entstehen lokale Angaben zu Residuallastzeiten aus der zeitlichen Differenz aus dem Stromangebot aus erneuerbaren Energien und der Nachfrage nach Elektrizität. Da es sich bei den Verbrauchswerten der Netzbetreiber lediglich um den Netzbezug handelt, wird zum Ausgleich eine Eigenverbrauchsquote für die jeweiligen Verbrauchssektoren angenommen. Der Eigenverbrauch aus erneuerbaren Energieanlagen würde ansonsten nicht berücksichtigt werden. Diese beruht auf dem Marktstammdatenregister und der jeweiligen Differenzierung nach Energiequelle, dem Verbrauchssektor der Anlage sowie der Bedingung der Teilleistung.

Die Ergebnisse dienen zur Entwicklung von Handlungsempfehlungen für den Abgleich der Energieerzeugung und dem -Verbrauch in einem zukünftigen Energiesystem mit ausschließlich regenerativen Energieanlagen. Des Weiteren helfen die Ergebnisse bei der Bewertung von Potenzialen zur Substitution fossiler Energieträger in den Sektoren Wärme und Mobilität, die ebenfalls analysiert werden.

Bei der Überführung von regenerativer elektrischer Energie in die Bereiche Wärme und Mobilität wird von der sogenannten Sektorkopplung gesprochen, die im weiteren Verlauf Untersuchungsgegenstand ist. Mit diesem Vorgehen soll eine Defossilisierung der Sektoren Wärme und Mobilität gelingen, die bezüglich der Energiewende aktuell nur geringe Fortschritte vorzuweisen haben (Niggemeier et al. 2019).

3 Elektrizitätssektor

3.1 Netzbetreiber

Die Netzbetreiber auf Ebene der Verteilnetze sind im Landkreis Emsland geographisch sehr unterschiedlich, wie in Abbildung 2 ersichtlich wird. Das Verteilnetz der Gemeinde Emsbüren wird von der Stadtwerke Schüttorf-Emsbüren GmbH betrieben. Der Verteilnetzbetreiber in der Stadt Lingen (Ems) sind die Stadtwerke Lingen. Der restliche südliche Teil des Emslandes ist Verteilnetzgebiet der Westnetz GmbH. Im nördlichen Bereich der Region wird das Verteilnetz von EWE Netz GmbH betrieben. In den Gemeinden Haren (Ems), Meppen und Haselünne kommt es darüber hinaus zu Unterschieden zwischen Verwaltungsgebiet und der Zuständigkeit der Netzbetreiber, wobei jeweils der nördliche Teil von der EWE Netz GmbH und der südliche Teil von der Westnetz GmbH betrieben wird. Neben den Kooperationspartnern Westnetz GmbH und Stadtwerke Lingen findet die Untersuchung ebenfalls Unterstützung von den anderen Netzbetreibern in Form von Verbrauchsdaten des Stromsektors.

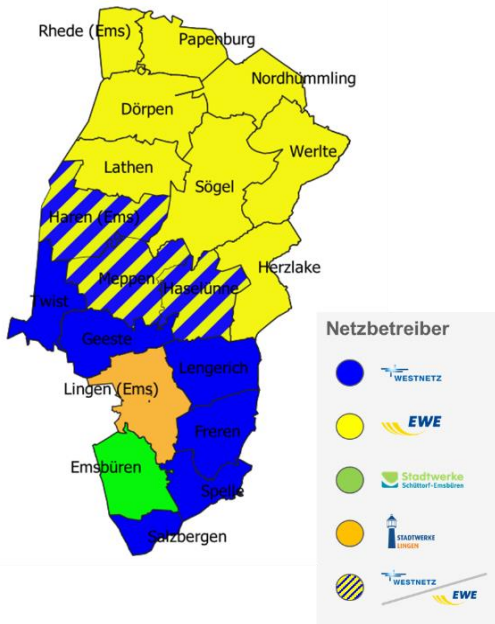


Abbildung 2: Verteilnetzbetreiber im Landkreis Emsland

3.2 Stromproduktion erneuerbarer Energien

Die Regionalisierung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien wird über das Marktstammdatenregister durchgeführt (Bundesnetzagentur 2021). Hierbei werden die jeweiligen Anlagenstandorte und -Leistungen ermittelt und den Gemeinden zugeordnet. Basierend auf den installierten Leistungen, werden die Stromerzeugungsmengen auf Basis regionaltypischer Volllaststunden berechnet. (Windmonitor Frauenhofer 2018, Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V. 2018, Faltilhauser 2016)

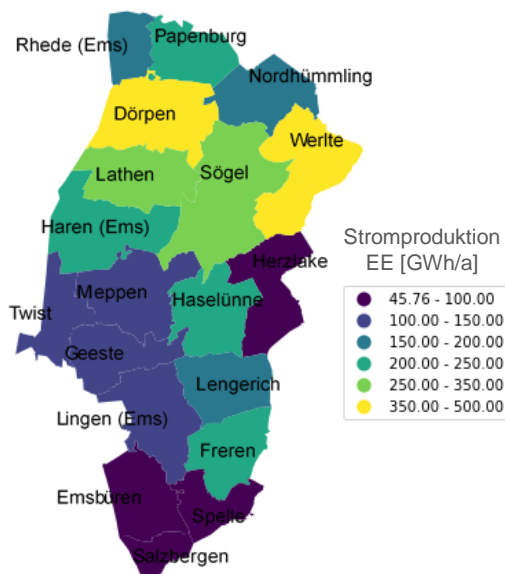


Abbildung 3: Jahresstromproduktion erneuerbarer Energien

Die Abbildung 3 veranschaulicht die Jahresstromproduktion aus erneuerbaren Energien. Neben der durchgängig hohen Stromproduktion aus Windenergie ist die Stromproduktion aus Biomasse in manchen Gemeinden im Landkreis Emsland verhältnismäßig hoch. Diese ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Gemeinde Papenburg, Meppen und Herzlake haben beispielsweise einen Biomasseanteil von über 50% an der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien.

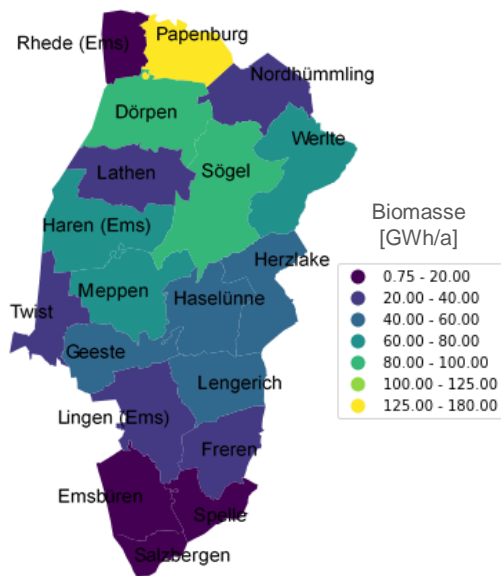


Abbildung 4: Stromproduktion aus Biomasse

Papenburg und Meppen nehmen hier eine Sonderrolle aufgrund des städtischen Charakters ein. Besonders ausgeprägt auf die Landwirtschaftsfläche bezogen ist die Stromerzeugung in SG Werlte, SG Dörpen, SG Lathen, SG Sögel, Rhede und SG Freren.

Der Klimaschutzplan der Bundesregierung sieht ein Ausbauziel von 71 GW Windenergie an Land bis zum Jahr 2030 vor (Klimaschutzplan 2030, EEG 2021, Netzentwicklungsplan Strom 2020). Dieses bedeutet eine Stromerzeugung von ca. 9,4 MWh pro ha landwirtschaftliche Fläche. Die Gerade in Abbildung 5 zeigt dabei die Ausbauziele in Abhängigkeit der Landwirtschaftsfläche. Hiermit ist in Bezug auf den Klimaschutzplan zu erkennen, welche Gemeinden zur Erreichung der Ausbauziele noch Handlungsbedarf haben. Dies zeigt, dass die Gemeinden Werlte, Dörpen, Lathen, Sögel, Freren, Haren, Haselünne, Rhede, Nordhümmling, Twist, Lengerich und Spelle die Ausbauziele auf die Landwirtschaftsfläche bezogen bereits erreicht haben. Das Grundsatzpapier von Naturschutz und Windkraft des Landwirtschaftsministeriums spricht von einer Flächennutzung von 5 ha pro MW Anlagenleistung mit Beachtung der Biodiversität (Kaiser und Seitz 2016). Die Stiftung Klimaneutralität im November 2020 veröffentlichte die Studie „Klimaneutrales Deutschland“ und sieht für 2030 sogar eine installierte Leistung von 80 GW Windenergie an Land vor (Agora Energiewende 2020).

Zum Erreichen des Ziels einer 100% erneuerbaren Energieversorgung ist eine installierte Windleistung von 200 GW nötig, was einer installierten Leistung von 19,86 MWh pro ha landwirtschaftlicher Fläche bei 1.800 Volllaststunden entspricht (Fraunhofer ISE 2012).

Um eine Vergleichbarkeit zu schaffen und nicht erschlossene Potenziale für erneuerbare Energieanlagen zu identifizieren, werden Kennwerte für die Stromproduktion von Photovoltaik und Wind mit geeigneten Parametern gebildet. Die Angaben zu den Flächenparametern für Landwirtschafts- und Gebäudeflächen sind dem amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) entnommen (Landesamt für Statistik Niedersachsen). Es wird verdeutlicht, welche Energieertragsdichte auf den typischen Verwendungsflächen für die Technologien bislang erreicht wird.

Die Abbildung 5 zeigt den spezifischen Windkraft-ertrag pro Hektar Landwirtschaftsfläche. Es wird deutlich, dass in manchen Gemeinden der Ausbau bisher eher schleppend vorangeht. Dies gilt insbesondere für die Gemeinde Geeste, Meppen, Emsbüren und SG Herzlake. Die Städte Lingen (Ems),

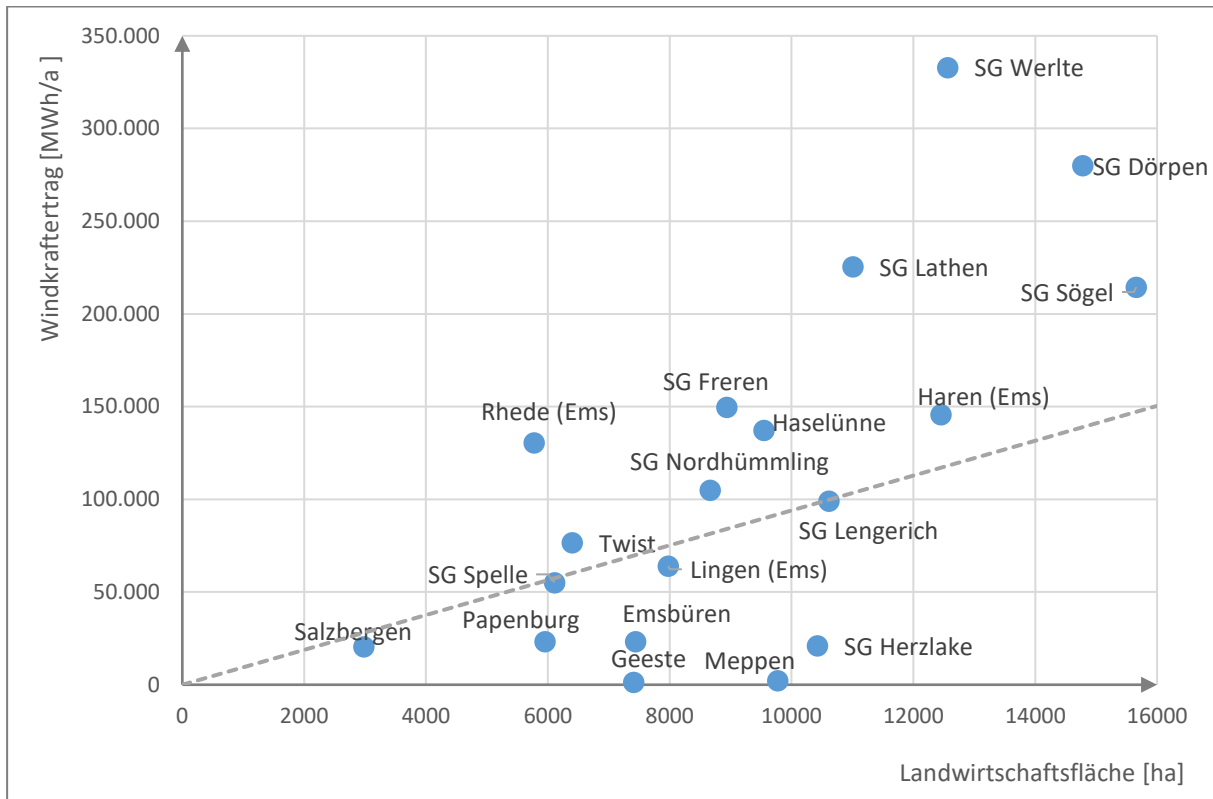


Abbildung 5: Windkraftenergieertrag in Abhängigkeit der Landwirtschaftsfläche

Dabei ist zu beachten, dass der Windkraftausbau durch die Regionalplanung des Landkreises determiniert ist. Im Hinblick auf den bundesweit notwendigen Ausbau im Bereich Windenergie (BMWi 2019) werden im Emsland weitere Flächen für die Windkraftnutzung ausgewiesen werden müssen. Durch die zukünftig geplante stärkere Beteiligung von Gemeinden an den Erträgen von Windenergieanlagen ist es für die Gemeinden finanziell interessant, weitere Potenzialflächen zu identifizieren und in Zusammenarbeit mit der Regionalplanung einen Ausbau der Windenergienutzung zu ermöglichen (FA Wind 2018).

Bis zum Jahr 2030 sieht das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung vor, dass insgesamt eine installierte Leistung von 98.000 MW_p Photovoltaik in Deutschland erforderlich ist (Netzentwicklungsplan 2020). Dieses würde eine Erzeugung pro m² Gebäudefläche von ca. 5 kWh erfordern, wobei sich der Wert durch Freiflächenanlagen reduzieren lässt. Der spezifischen Photovoltaik-Ertrag auf Dächern ist in Abhängigkeit der Gebäudefläche in Abbildung 6 dargestellt. Die Gerade zeigt hier ebenfalls die Ausbauziele in Abhängigkeit der Wohnbau-, Gewerbe- und Industriefläche. Auch hier sind starke Unterschiede in der Ertragsdichte pro Bezugseinheit erkennbar. Insbesondere die städtischen Regionen Meppen, Lingen (Ems) und Papenburg zeigen eine vergleichsweise geringe Ausprägung. Bei einem Vergleich der Städte zeigt sich aber, dass Meppen trotz geringerer Gebäudebaufläche eine höhere PV-Erzeugung als Lingen (Ems) und Papenburg hat. Mit Abstand die höchste Ausprägung weisen in dieser Untersuchung die SG Werlte und Geeste auf, gefolgt von der SG Lengerich und SG Lengerich. Die restlichen Gemeinden sind in der Nähe der Regressionsgerade angesiedelt. Auch hier müssen die heterogenen Eigenschaften der jeweiligen Flächen erwähnt werden, die in dieser Abbildung nicht berücksichtigt werden. Die Anteile der Freiflächenanlagen wurden dahingehend herausgerechnet.

Darüber hinaus sollen in Zukunft schwimmende PV-Anlagen auf dem Wasser, an Schallschutzwänden der Autobahn oder als Überdachung auf Parkplätzen weitere Ausbaumöglichkeiten bieten, um die Ausbauziele zu erreichen (Badelt et al. 2020).

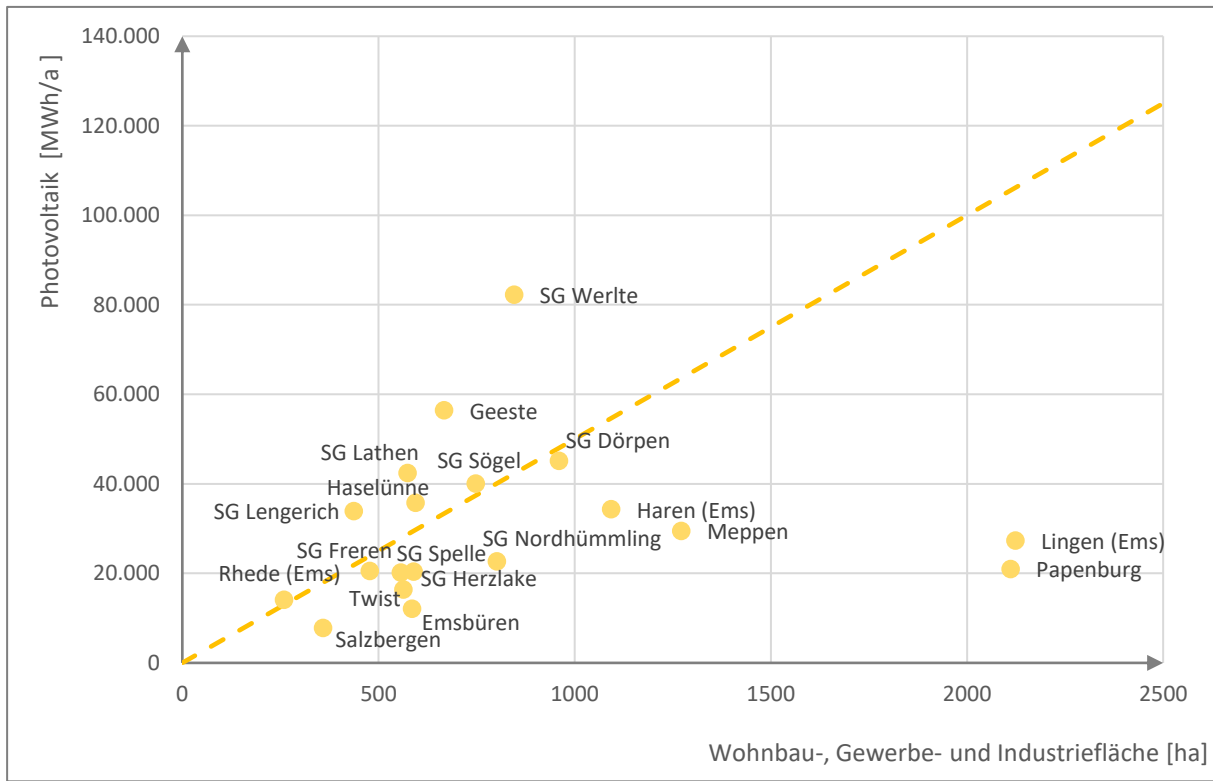


Abbildung 6: PV-Ertrag auf Dachflächen in Abhängigkeit der Wohnbau-, Gewerbe- und Industriefläche

Da die Photovoltaik inzwischen sehr geringe Stromgestehungskosten aufweist, ist es für Haushalte, Landwirte und Industrieunternehmen wirtschaftlich attraktiv, weitere Solaranlagen zu installieren und den erzeugten Strom möglichst selbst zu nutzen. Hier können die Gemeinden mit geringen Solarerträgen von den Gemeinden mit hohen installierten Leistungen lernen. Deutschlandweit wird in verschiedenen Kommunen zudem über die Einführung einer Solarpflicht diskutiert bzw. ist diese schon eingeführt (Enkhardt 2018).

3.3 Stromverbrauch

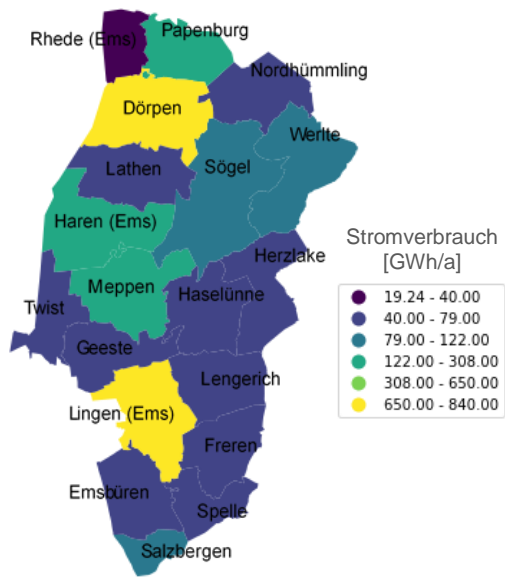


Abbildung 7: Stromverbrauch 2018 der einzelnen Gemeinden

Im folgenden Abschnitt werden die Gemeinden im Landkreis Emsland einer Analyse nach Verbrauchssektoren unterzogen. Hierbei werden die Bereiche Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft genauer analysiert. In Abbildung 7 ist der Stromverbrauch der Gemeinden aus allen Verbrauchsbereichen dargestellt. Dabei sind die Gemeinden mit den höchsten Stromverbräuchen die SG Dörpen, Meppen, Papenburg und Lingen (Ems). Die Abbildung 8 veranschaulicht die Anteile der einzelnen Verbrauchssektoren den Gemeinden. Hierbei fällt auf, dass der hohe Stromverbrauch der Gemeinden Dörpen und Lingen (Ems) auf hohe Anteile aus dem Industriesektor zurückzuführen ist. Die restlichen Gemeinden haben ebenfalls den höchsten Verbrauch im Industriesektor vorzuweisen. Im Mittel macht dieser ca. 77% des Gesamtverbrauchs aus. Sowohl Maßnahmen zur Senkung des Stromverbrauchs (Ef-

fizienz) als auch zur Steigerung des Einsatzes Erneuerbarer Energien und zur Sektorkopplung (Einsatz von Strom zur Wärmeerzeugung oder Mobilität) sollten daher vor allem in der Industrie ansetzen.

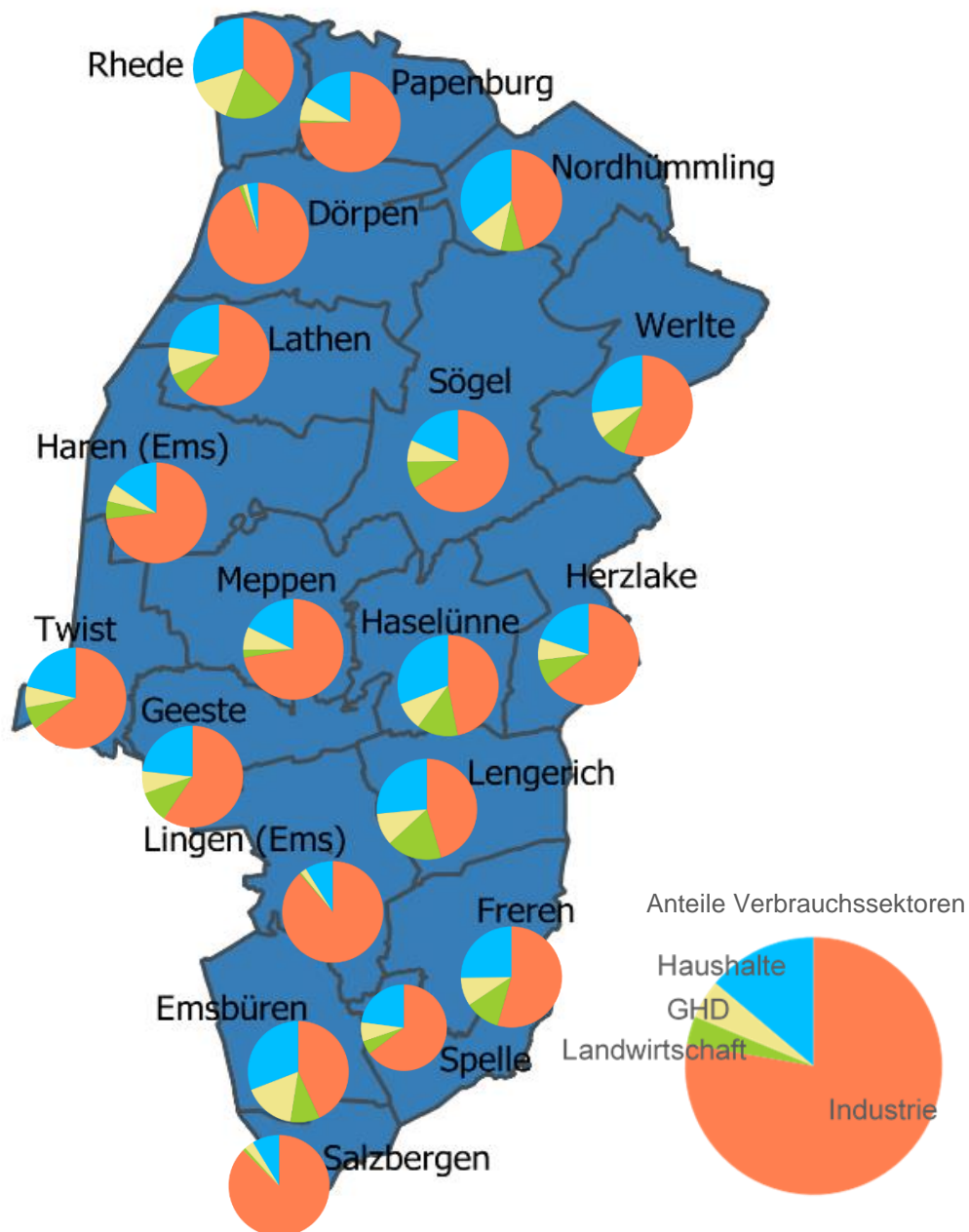


Abbildung 8: Anteile des Stromverbrauchs nach Verbrauchssektoren

3.3.1 Haushalte

Der Haushaltsstromverbrauch hängt maßgeblich von der Einwohnerzahl einer Gemeinde ab, aber auch von der Haushaltstruktur (Personen pro Haushalt) und den vorhandenen Gebäudetypen. Die Abbildung 9 zeigt den Stromverbrauch der Haushalte in jeder Gemeinde. Neben den Stromverbräuchen des öffentlichen Netzes wird der Eigenverbrauch aus Stromerzeugungsanlagen mit einer Teileinspeisung berücksichtigt. Während PV-Anlagen eine Eigenverbrauchsquote von 30% zugesprochen bekommen, wird für BHKW im Haushaltsbereich ein Eigenverbrauch von 50% angenommen. Der höchste absolute Stromverbrauch in privaten Haushalten liegt in der Stadt Lingen (Ems) vor, welche gleichzeitig die höchste Einwohnerzahl im Emsland besitzt. Dahinter liegen die städtischen Regionen Meppen und Papenburg sowie die Gemeinde Haren (Ems).

3.3.2 Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)

Der GHD-Sektor stellt die Energieverbräuche von Dienstleistern sowie dem Groß- und Einzelhandel und Gewerbe <30.000 kWh pro Jahr dar. Aufgrund der Datengrundlage unterschiedlicher Verteilnetzbetreiber weicht die Unterteilung des Sektors in der Definition leicht voneinander ab. Grundsätzlich korreliert der Energiebedarf des GHD-Sektors einer Gemeinde mit der Bevölkerungsdichte (Hagemeier 2019).

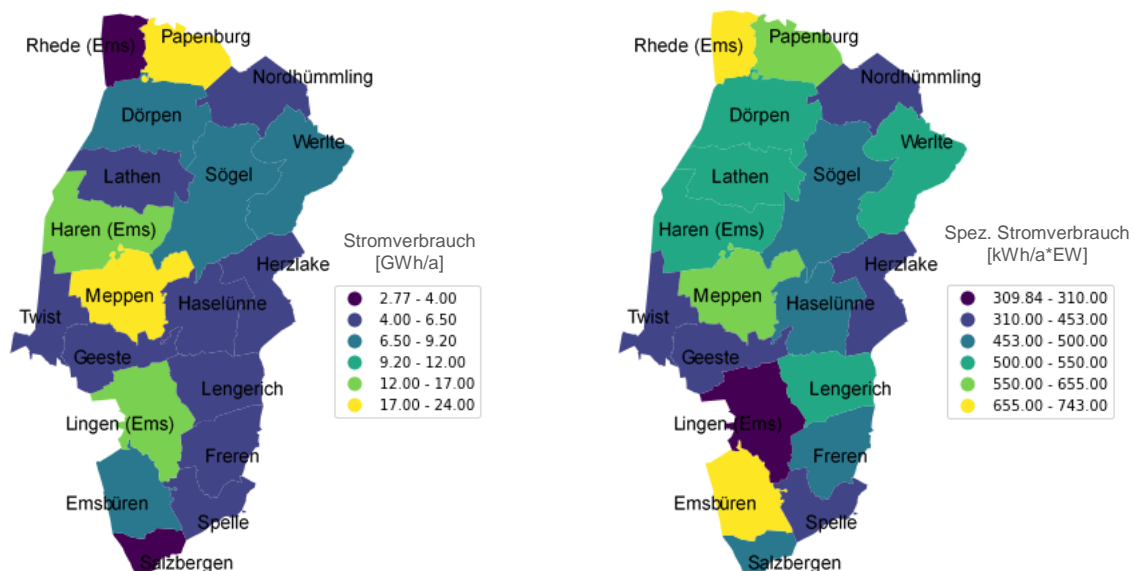


Abbildung 11: jährlicher Stromverbrauch (links) und Spezifischer Stromverbrauch Gewerbe, Handel, Dienstleistung pro Einwohner (rechts)

In der Auswertung des GHD-Sektors wird neben den Netzbezugsdaten der Eigenverbrauch aus EE-Anlagen mittels Angaben aus dem Marktstammdatenregister berücksichtigt. Über die Firmenangaben der Anlagenbetreiber und den Adressen der Anlagen können Annahmen der Zugehörigkeit zum GHD-Sektor getroffen werden. Für die Ermittlung des Eigenverbrauchs werden lediglich Anlagen mit Teileinspeisung betrachtet. In der Berechnung wird den PV-Anlagen ein Eigenverbrauchsanteil von 70% und den BHKW ein Eigenverbrauchsanteil von 50% zugesprochen.

Urbane Gebiete haben grundsätzlich einen höheren Anteil an Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und übernehmen diese Aufgaben für die benachbarten ländlichen Regionen. In Abbildung 11 ist der gesamte Stromverbrauch pro Jahr sowie der spezifische Stromverbrauch des GHD-Sektors je Einwohner dargestellt. Es fällt auf, dass die städtischen Regionen Lingen (Ems), Meppen, Papenburg und Haren den höchsten jährlichen Strombedarf haben, was auf den vorab genannten Gründen beruht. Bei der Betrachtung des spezifischen Stromverbrauchs pro Einwohner weist die Stadt Lingen (Ems) den geringsten Stromverbrauch pro Einwohner auf, wohingegen die Gemeinden Emsbüren und Rhede (Ems) mit einem geringen Gesamtstromverbrauch die höchsten spezifischen Stromverbräuche pro Einwohner besitzen.

3.3.3 Produzierendes Gewerbe und Industrie

Der Verbrauchssektor Industrie und produzierendes Gewerbe ist regional sehr unterschiedlich und hat ein stark heterogenes Verbrauchsverhalten. Gründe dafür sind auf der einen Seite die unterschiedlichen branchenspezifischen Technologien. Andererseits sind auch die Verbrauchsprofile unterschiedlich und es gibt keine direkte Verbindung zwischen hohem Verbrauch und bevölkerungsstarken Städten bzw. Ballungszentren, wie es aus dem Haushalts- und GHD-Sektor hervorgeht (Hagemeier 2019).

Für die Eigenverbrauchsanalyse werden die Anlagen analog zum GHD-Sektor analysiert. Für PV-Anlagen wird eine Eigenverbrauchsquote von 70% und für BHKW ein Anteil von 80% angenommen. Die Abbildung 12 stellt auf der linken Seite den absoluten Jahresstromverbrauch und auf der rechten Seite den spezifischen Stromverbrauch pro Mitarbeiter (MA) aus dem Wirtschaftszweig C (WZ-C) in der jeweiligen Gemeinde dar (Landesamt für Statistik Niedersachsen). Mit großem Abstand haben die Stadt Lingen (Ems) und die SG Dörpen den höchsten Jahresstromverbrauch sowie spezifischen Stromverbrauch pro MA im WZ-C. Dies ist bedingt durch die energieintensiven Industrien in Lingen (Ems) – das Raffineriekraftwerk von BP und das Stahlwerk Benteler Steel/Tube – und in Dörpen die Papierfabrik Nordland Papier sowie der Kraftfuttermittelhersteller Raiffeisen (BMW i 2019). Aber auch Papenburg, Meppen, Salzbergen und Haren (Ems) sind gekennzeichnet durch einen hohen industriellen Stromverbrauch. Insgesamt macht der Industriesektor über drei Viertel des Stromverbrauchs im Landkreis Emsland aus, weshalb dieser Bereich im weiteren Verlauf des Projektes „Regio PLUS“ ein besonderes Augenmerk bekommt.

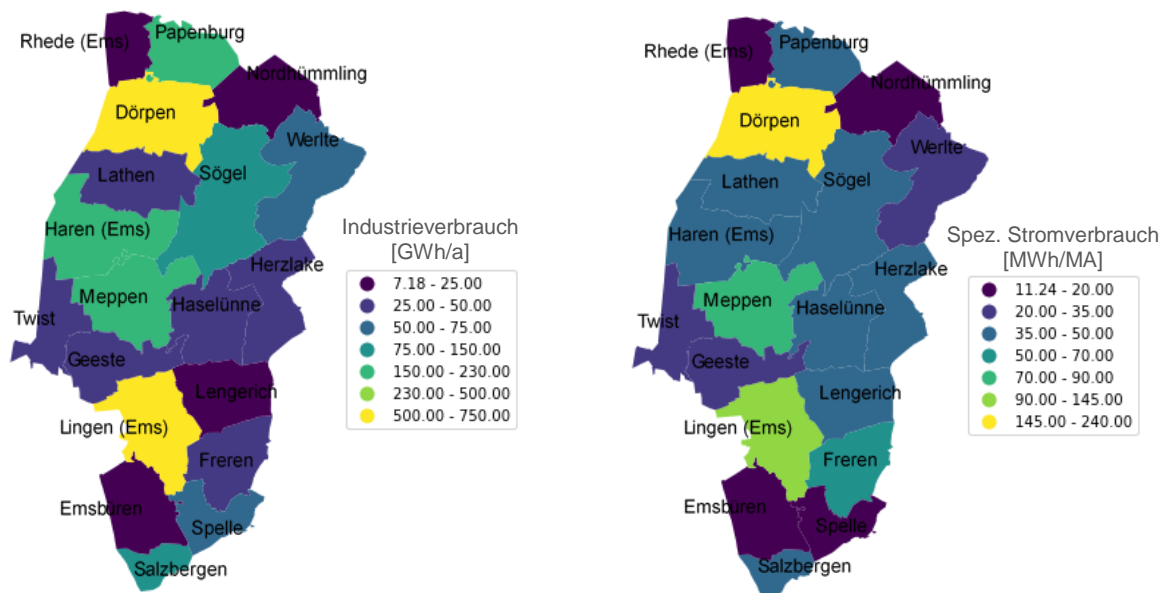


Abbildung 12: Absoluter Jahresstromverbrauch Industrie (links) und spez. Stromverbrauch pro MA (rechts)

3.3.4 Landwirtschaft

Der Verbrauchssektor Landwirtschaft hat den geringsten Anteil am Stromverbrauch. Nach dem gleichen Vorgehen wie für den GHD- und Industriesektor wurde der Eigenverbrauch bestimmt. Für den PV- sowie für den BHKW-Eigenverbrauch wird ein Anteil von 50% von der Eigenerzeugung angenommen. Um auch hier eine Vergleichbarkeit herzustellen, werden spezifische Werte in Abhängigkeit der Großvieheinheit (GVE) berechnet, welche in Abbildung 13 auf der linken Seite dargestellt sind (Landesamt für Statistik Niedersachsen). Der Stromverbrauch hängt hauptsächlich von der Viehhaltung ab, wohingegen der Treibstoffverbrauch mit der landwirtschaftlichen Fläche korreliert (Schloman et al. 2015).

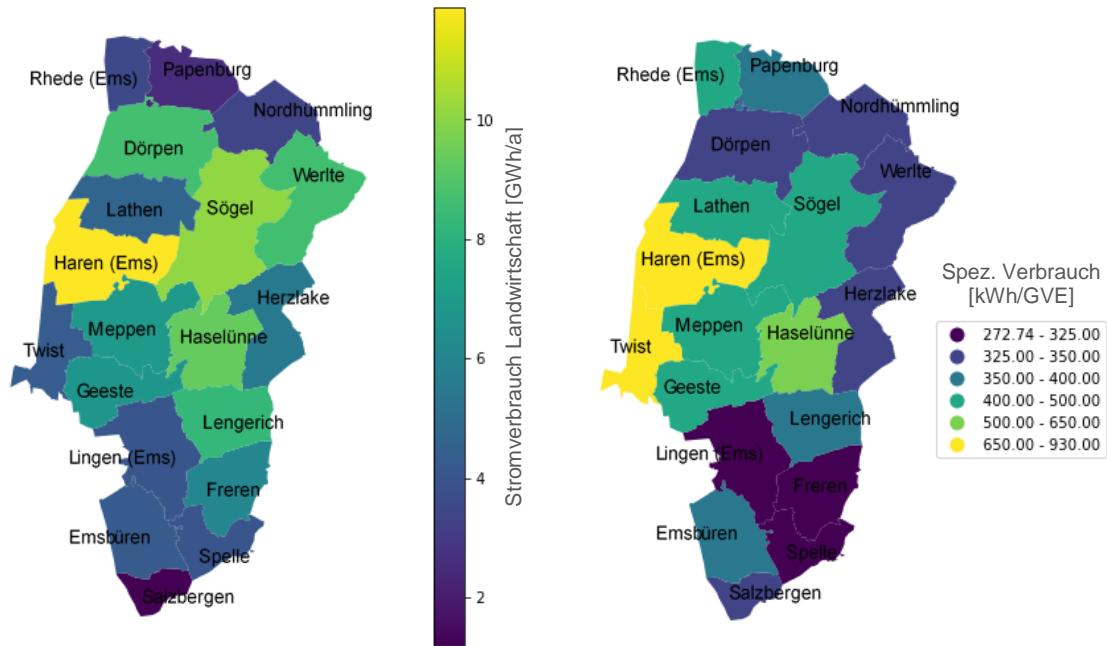


Abbildung 13: Gesamtverbrauch der Landwirtschaft (links) und Spez. Stromverbrauch pro Großvieheinheit (GVE) (rechts)

Den höchsten Stromverbrauch pro GVE weist in dieser Auswertung die Gemeinde Haren (Ems) mit ca. 12 GWh pro Jahr auf. Der spezifische Wert pro GVE ist mit ca. 930 kWh pro Jahr und GVE ebenfalls in Haren erkennbar. Aber auch die Gemeinde Twist zeigt einen erheblich höheren spezifischen Verbrauch von 770 kWh pro GVE im Vergleich zu den anderen Gemeinden. Die prozentual erheblichen Abweichungen können eine Stromsparkampagne für die Landwirtschaft motivieren. Durch gezielte Beratung und Förderprogramme kann der Energieverbrauch in der Landwirtschaft deutlich gesenkt werden (BLE 2020, Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2010).

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Landwirtschaft sowohl durch den Bau und Betrieb von Biogasanlagen als auch durch die Errichtung von PV-Anlagen einen wesentlichen Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Emsland leistet.

3.4 Residuallasten

Aus der Gegenüberstellung von Erzeugung durch erneuerbare Energien und Strombedarfen aus den Verbrauchssektoren auf stündlicher Basis wird für jede Gemeinde ein Residuallastgang entwickelt. Dieser dient dazu, die Zeitpunkte zu erkennen, wann eine Gemeinde Überschussstrom besitzt oder zu wenig Erzeugung aus erneuerbaren Energien vor Ort erfolgt.

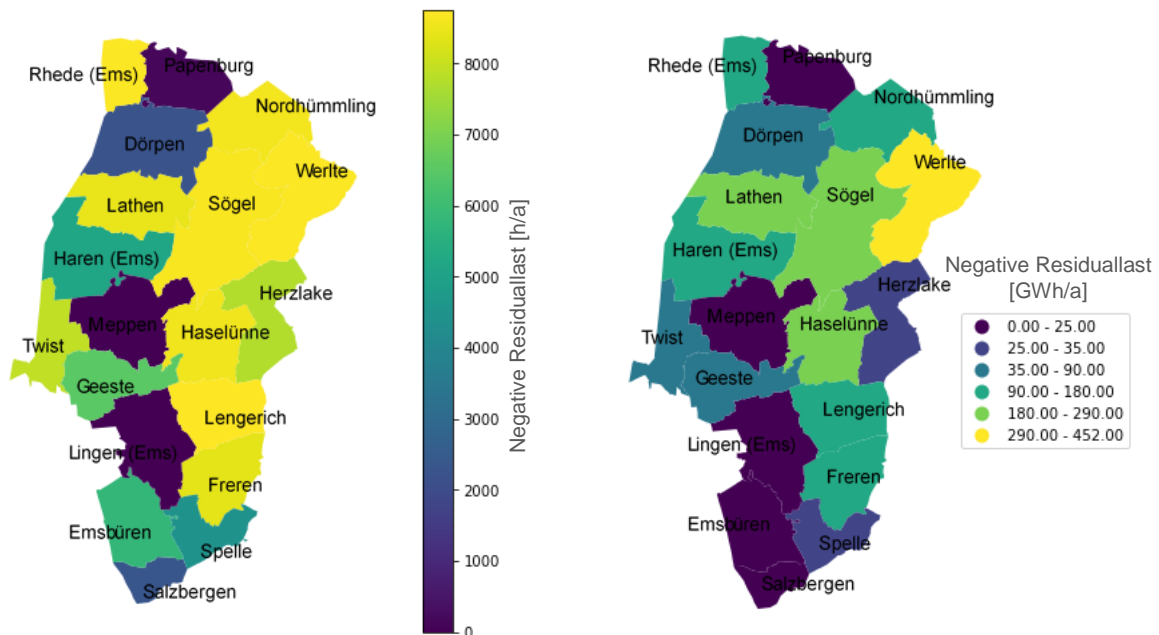


Abbildung 14: Stunden pro Jahr mit negativer Residuallast (links) und Menge negativer Residuallast (rechts)

Die Verbrauchssektoren Haushalte, GHD und Landwirtschaft werden dabei anhand von Standardlastprofilen zeitlich aufgelöst (VDEW 2000). Mittels synthetischer Lastprofile wird der Industriesektor zusammen mit den Standardlastprofilen in einen gesamten Jahreslastgang in stündlicher Auflösung überführt. Die zeitliche Auflösung für die Technologien Photovoltaik und Windkraft an Land wird über generische Einspeisepprofile für das Bundesland Niedersachsen durchgeführt (Koch et al. 2016).

Die Abbildung 14 veranschaulicht auf der linken Seite die Dauer im Jahr, in der negative Residuallast – also ein Stromüberschuss aus der Differenz von erneuerbarer Stromproduktion und Stromlast – in den jeweiligen Gemeinden bilanziell herrscht. Dabei produzieren die gelb gekennzeichneten Gemeinden mit einer Zeit von über 8.000 Stunden pro Jahr fast das komplette Jahr mehr Strom aus Erneuerbaren Energien als vor Ort genutzt wird. Dieses verdeutlicht, den erfolgreichen Ausbau der erneuerbaren Energien im Emsland.

Diese Gemeinden exportieren Strom in andere Gegenden. Gleichzeitig besteht zur Steigerung der lokalen Nutzung ein Potenzial für den Ausbau der Sektorenkopplung, d.h. die Nutzung erneuerbaren Stroms in anderen Sektoren wie der Wärmeerzeugung, der Herstellung von Wasserstoff in Elektrolyseuren und gegebenenfalls einer weiteren Umwandlung in synthetisches Methan oder anderer Kohlenwasserstoffe (UBA 2019).

Die rechte Seite der Abbildung 14 stellt die Summen der negativen Residuallastmengen dar. Dadurch wird die Höhe an Überschussstrom und andererseits die Menge an Stromunterspeisung in dieser räumlichen und lokalen Bilanzierung verdeutlicht. Die Gemeinde Werlte exportiert in den Stunden mit negativer Residuallast ca. 450 GWh pro Jahr an, gefolgt von den

Gemeinden Lathen, Sögel und Haselünne mit negativen Residuallastmengen im Bereich von 180-290 GWh pro Jahr. Die städtischen Regionen Lingen (Ems), Meppen und Papenburg sowie die Gemeinde Dörpen haben dagegen in den Zeiten mit positiver Residuallast eine Stromunterspeisungsmenge von über 100 GWh pro Jahr. In den Regionen mit Unterspeisung macht es Sinn, die erneuerbare Stromerzeugung vor Ort nach Möglichkeit noch einmal deutlich auszubauen. Der Strom kann direkt vor Ort verbraucht werden.

Zum einen kann der Überschussstrom durch die Übertragungsnetze an die Gemeinden übertragen werden, die zu den Zeiten eine Stromunterspeisung haben. Andererseits ist das Bestreben einer solchen Region, wie es das Emsland ist, das sehr geeignete Bedingungen für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien hat, urbane Regionen in der Umgebung des Landkreises durch ihre hohen Anteile erneuerbarer Energien mitzuversorgen (Arge Landentwicklung 2014)

4 Wärmesektor

Zur Auswertung des Wärmesektors werden Daten des Hotmaps-Project verwendet (Pezzutto et al. 2019). In diesem Projekt werden aus nationalen Energiebilanzen über ein Top-Down-Verfahren Wärmeverbräuche auf die Landkreisebene (NUTS-3) berechnet. Über Gebäudebestandsanalysen und Untersuchungen zu industriellen Prozessen wird im Anschluss der Wärmebedarf auf die Hektarebene heruntergebrochen und kann so auf die Gemeindeebene (LAU) übertragen werden. Das Tool kann dank eines offenen Standarddatensatzes in allen EU-Mitgliedstaaten verwendet werden. Ebenfalls wichtig für die Analyse des Wärmesektors ist die Gebäudestruktur, die Haushaltsgrößenklasse, die Wohnfläche sowie die Art der Wärmeversorgung. Diese können Hinweise darauf geben, wie eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung im Gebäudesektor in Zukunft aussehen kann.

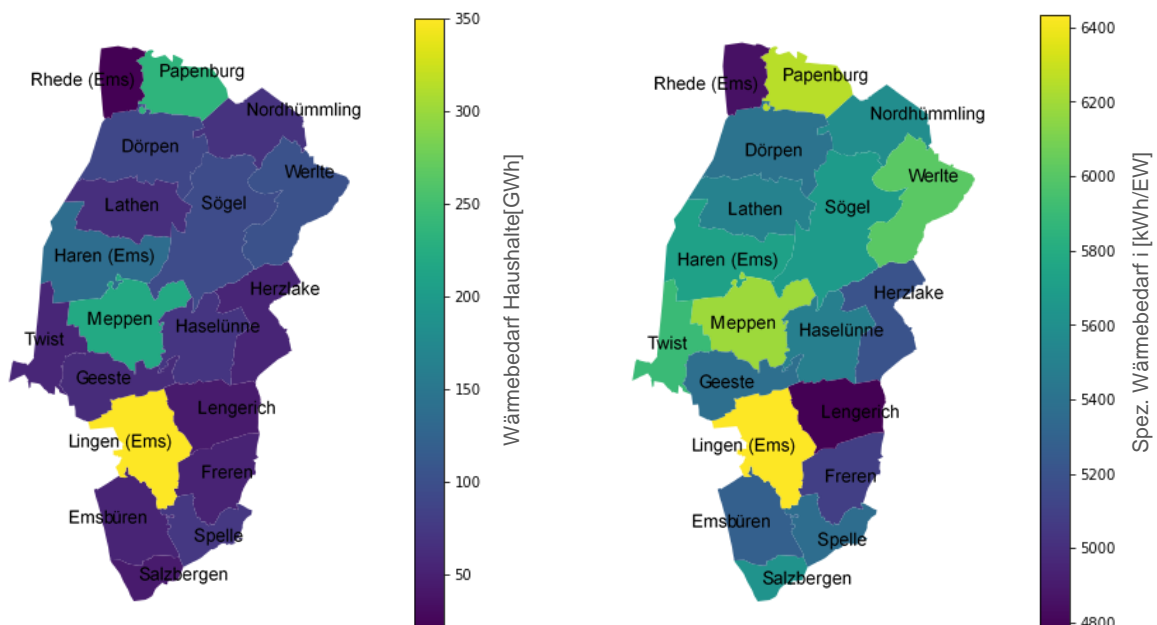


Abbildung 15: Wärmebedarf im Haushaltssektor (links) und spezifischer Wärmebedarf pro Einwohner (rechts)

In Abbildung 15 ist der Wärmebedarf des Haushaltssektors (links) und der spezifische Wärmebedarf pro Einwohner (rechts) dargestellt. Der höchste Wärmebedarf liegt in den Städten Lingen, Papenburg und Meppen und somit ein hohes Potenzial für Wärmenetze. Der höchste spezifische Wärmebedarf pro Einwohner liegt ebenfalls in den städtischen Regionen Lingen (Ems), Meppen und Papenburg. Der Wärmebedarf hängt dabei von der Wohnfläche sowie dem Baualter des Wohngebäudes ab.

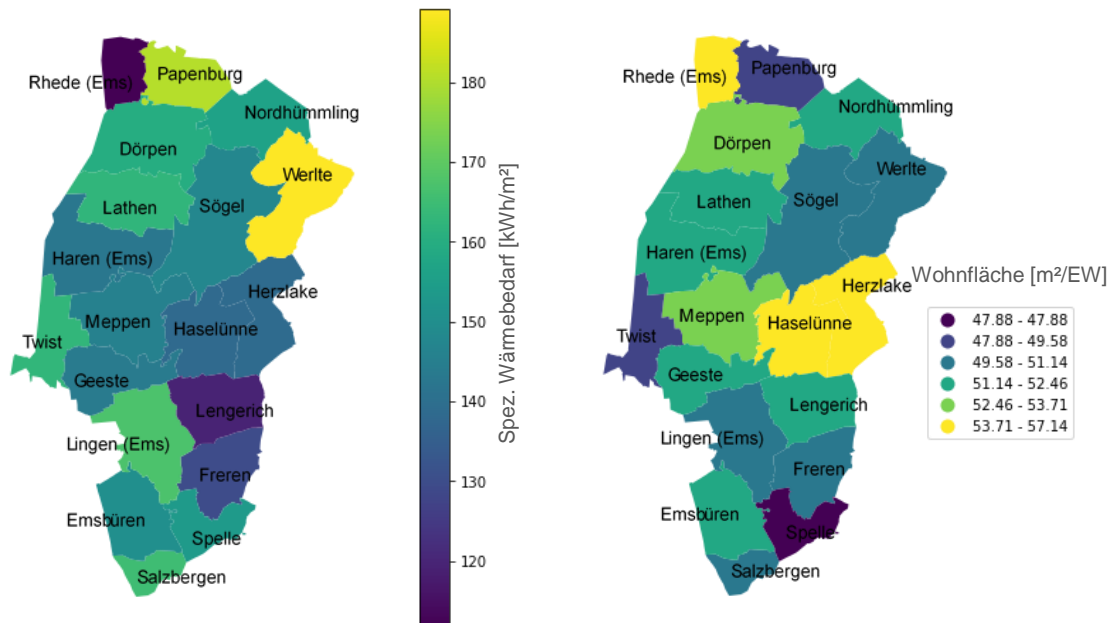


Abbildung 16 Spezifischer Wärmebedarf pro Wohnfläche (links) und Wohnfläche pro Einwohner (rechts)

In Abbildung 16 ist der spezifische Wärmebedarf pro m² Wohnfläche und die durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner dargestellt. Der durchschnittliche spez. Wärmebedarf pro Wohnfläche liegt im Bundesschnitt bei ca. 124 kWh pro m² (Destatis 2019). Abgesehen von den Gemeinden Rhede (Ems) und Lengerich übersteigen alle Gemeinden diesen Durchschnittswert. Insbesondere die Gemeinden Werlte und Papenburg haben im Wärmebedarf pro Wohnfläche Handlungsbedarf.

Ebenfalls auffällig ist die hohe spezifische Wohnfläche pro Einwohner. Im Bundesschnitt liegt die durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner bei 46,7 m² (Statistisches Bundesamt 2020). Der Vergleich zeigt, dass alle Gemeinden im Emsland eine höhere Fläche pro Einwohner haben. Dieses Thema ist im politischen Bereich kaum verbreitet. Der Trend zu kleineren Haushalten muss vor dem Hintergrund des demografischen Wandels bei Bauleitplanung berücksichtigt werden, ebenso wie Vorgaben zur Energieeffizienz sowie die Planung einer erneuerbaren Wärmeversorgung, für die überwiegend Wärmepumpen als Technologie zur Verfügung stehen sowie Wärmenetze ausgebaut werden müssen (Agora 2017).

In Abbildung 17 ist der Anteil der Fernwärmeanschlüsse an der Wärmeversorgung dargestellt. Lediglich die Samtgemeinde Lathen hat einen Anteil an Fernwärmeanschlüssen von ca. 9 % vorzuweisen. Da sich die Auswertung auf die aktuellsten Daten des Mikrozensus von 2011 beziehen, kann von einer Steigerung dieses Anteils ausgegangen werden (Landesamt für Statistik Niedersachsen).

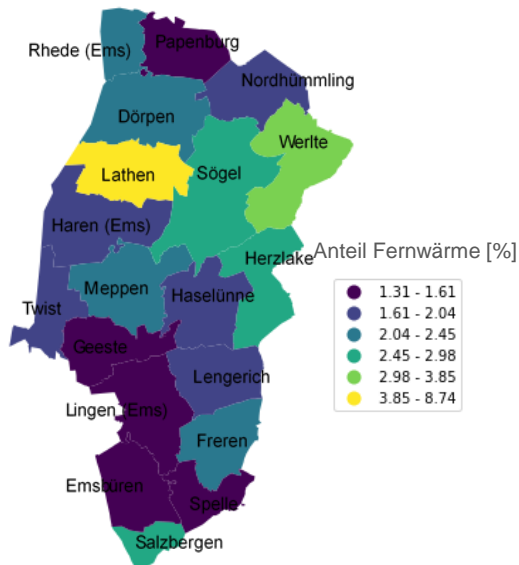


Abbildung 17: Anteil Fernwärmeanschlüsse an der Wärmeversorgung

In Abbildung 18 ist der Anteil an Mehrfamilienhäusern gegenüber Ein- und Zweifamilienhäuser dargestellt (Landesamt für Statistik Niedersachsen). Diese Auswertungen können im späteren Verlauf eine Grundlage dafür sein, welche Technologien zu Wärmeversorgung vorzugsweise zum Einsatz kommen sollten. Mögliche Anlagen im Gebäudesektor für eine Sektorenkopplung sind Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke. In Wärmenetzen kann zudem Abwärme aus verschiedensten Quellen zum Heizen genutzt werden. Auch die Nutzung von Solarthermie ist hochwirtschaftlich, wenn es sich um große Anlagen handelt. Power-to-Heat-Anlagen mit integriertem Wärmespeicher unterstützen die Flexibilisierung des Stromsektors und ermöglichen den Einsatz des Überschussstroms im Wärmesektor. Haushalte mit einem Wärmenetz und größere Gebäudekomplexe können dabei idealer

erweise über große und zentrale Anlagen, wie z.B. KWK-Anlagen oder Großwärmepumpen, versorgt werden (Hagemeier 2019). Dagegen werden in Einfamilienhäusern Wärmepumpen die bedeutende Kopplungstechnologie zur Elektrifizierung des Wärmesektors darstellen (Agora Wärmewende). Auch die Abwärme von Elektrolyseuren wird idealerweise in einem Wärmenetz eingespeist, um die Effizienz des Wasserstoff-Systems zu erhöhen.

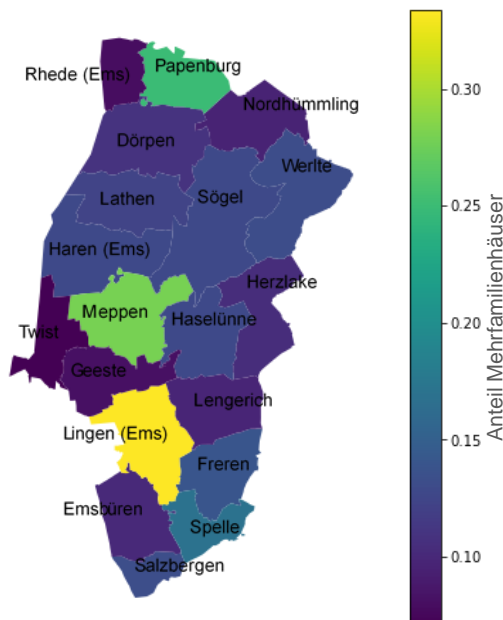


Abbildung 18: Anteil Mehrfamilienhäuser am Gebäudebestand der Haushalte

5 Mobilitätssektor

In Abbildung 19 sind die Kfz-Zulassungen für PKW (links) und der PKW-Anteil auf 100 Einwohner bezogen (rechts) in den jeweiligen Gemeinden dargestellt. Der Anteil PKW ist dabei recht gleichverteilt in allen Gemeinden in Abhängigkeit der Einwohnerzahl. Dabei besitzen die Einwohner auf 100 Bürger gerechnet zwischen 45 und 54 Autos im Landkreis.

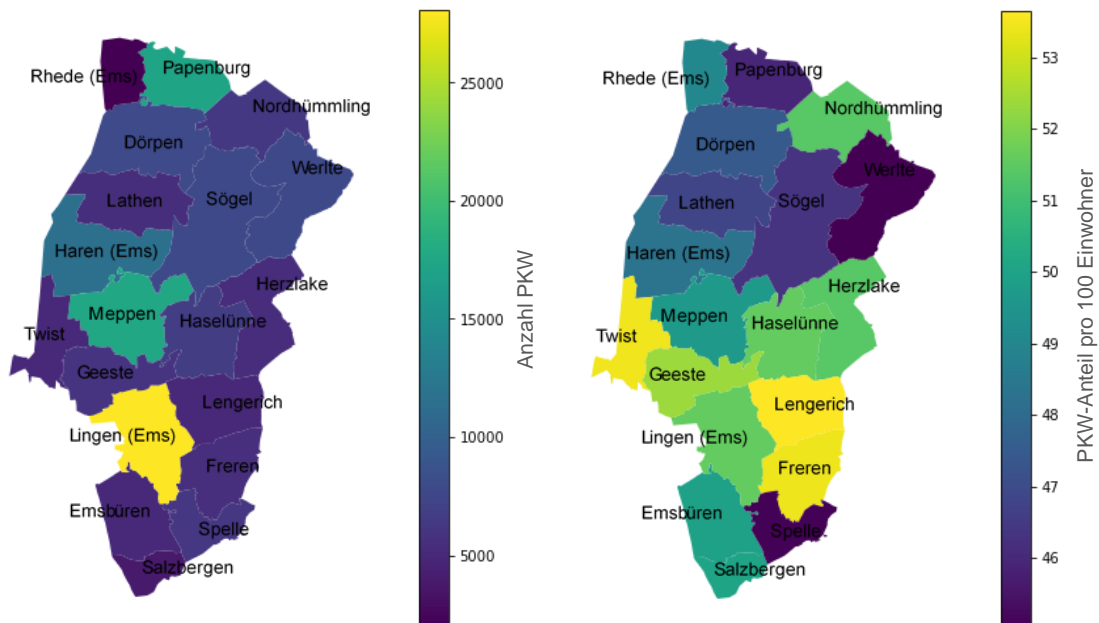


Abbildung 19: PKW-Zulassungen (links) und PKW-Anteil auf 100 Einwohner (rechts)

Damit liegt das Emsland im nationalen Vergleich trotz des ländlichen Charakters der Region leicht unter dem Durchschnitt von 54,8 PKW pro 100 Einwohner im Jahr 2015 (Rudolph et al. 2017). Die Anzahl an PKW-Zulassungen kann darüber Aufschluss geben, wo und in welchem Ausmaß E-Ladestationen installiert werden sollten, da von einer Durchdringung der E-Mobilität im Individualverkehr ausgegangen werden kann.

In Abbildung 20 sind die Zahlen der Zulassungen für LKW und Busse dargestellt. Der Bereich LKW ist in dieser Auswertung insbesondere für alternative Antriebe durch synthetische Treibstoffe interessant, welche durch die erneuerbare Stromproduktion in Zukunft großflächiger erzeugt werden könnte.

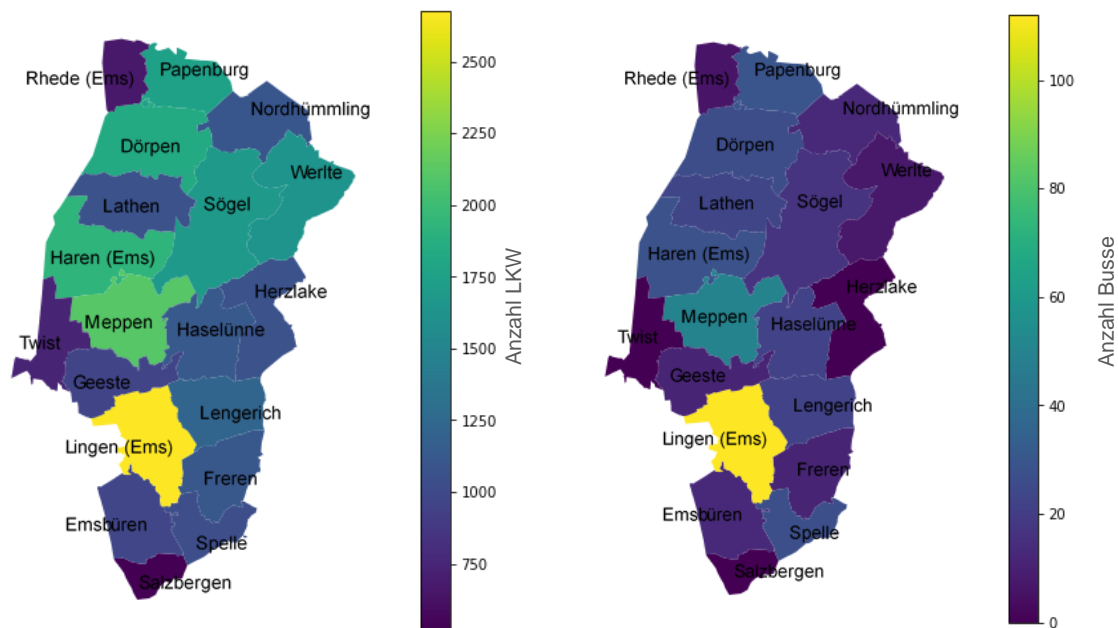


Abbildung 20: LKW-Zulassungen (links) und Busse (rechts) im Emsland

6 Fazit und Ausblick

Die Ist-Analyse der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen zeigt Auffälligkeiten in den verschiedenen Energieerzeugungs- und Verbrauchssektoren innerhalb der Gemeinden im Landkreis Emsland. Die Methodik der örtlichen Zuordnung von erneuerbarer Stromproduktion zur jeweiligen Stromlast kann somit als regionale Voraussetzung für die Sektorkopplung und Identifikation von Potenzialen zum Ausgleich regionaler Stromüberschüsse verwendet werden. Es wird deutlich, in welchen Gemeinden weiteres Potenzial für den Ausbau der erneuerbaren Energien besteht. Auf der anderen Seite können aber die Gemeinden auch aktiv werden und ihre Einwohnerinnen und Einwohner, landwirtschaftlichen Betriebe und Unternehmen mit Hilfe von gezielten Kampagnen zum sparsamen Umgang mit Energie motivieren. Als Schwerpunkt der Analyse ist der Stromsektor ausgewiesen, da in späteren Zukunftsszenarien das Bestreben einer Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Mobilität im Vordergrund steht. Es stellt sich heraus, dass in vielen Gemeinden schon heute ein lokaler Stromüberschuss aus erneuerbaren Energien vorliegt. Dagegen gibt es in den Gemeinden Meppen und dem südlichen Emsland kaum Zeiten mit negativer Residuallast. Durch den hohen Strombedarf in der Industrie hat die Samtgemeinde Dörpen sogar einen hohen Anteil positiver Residuallast und benötigt aktuell eine bilanzielle Stromübertragung aus benachbarten Gemeinden.

Mit einem weiteren Ausbau erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung wird es zunehmend zu Überspeisungen im Stromnetz kommen. Um den regionalen Schwankungen und Ungleichgewichten im Stromnetz entgegenzuwirken, können Sektorkopplungstechnologien flexibel betrieben werden. Eine Elektrifizierung des Individualverkehrs und der häuslichen Wärmeversorgung sowie eine Speicherung von Überschussstrom in Form von Wasserstoff durch Elektrolyseure stellen dabei eine Auswahl an zukünftigen Lösungsmöglichkeiten dar. Zudem wird ein erhöhter Einsatz in der Industrie in Verbindung mit der Substitution fossiler Energieträger angestrebt. Diese Möglichkeiten werden im weiteren Verlauf des Projektes „Regio PLUS“ durch Zukunftsszenarien untersucht und in generalisierte Handlungsempfehlungen übertragen werden.

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende: Sofortprogramm Windenergie an Land. Was jetzt zu tun ist, um die Blockaden zu überwinden. Impuls. Berlin 2020.

Agora Energiewende: Wärmewende 2030 Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Berlin 2017.

Badelt, Ole; Niepelt, Raphael; Wiehe, Julia; Matthies, Sarah; Gewohn, Timo; Stratmann, Manuel; Brendel, Rolf; von Haaren, Nina: Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft (INSIDE). Studie im Auftrag vom Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz. Hannover 2020.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BLE): Richtlinie zur Förderung der Energieeffizienz und CO₂-Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau Teil A –Landwirtschaftliche Erzeugung, Wissenstransfer. Bonn 2020.

Bundesministerium für Umwelt (BMU): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050, Oktober 2019

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Stärkung des Ausbaus der Windenergie an Land. Aufgabenliste zur Schaffung von Akzeptanz und Rechtssicherheit für die Windenergie an Land. Berlin, den 7. Oktober 2019.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD). Projektnummer 17/02. Karlsruhe, Berlin, Nürnberg, Leipzig, München 2004.

Bundesnetzagentur: Marktstammdatenregister 2021 – Erweiterte Einheitenübersicht. Online abrufbar unter <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/Erweiterte-OeffentlicheEinheitenuebersicht> (02.02.2021)

Enkhardt, Sandra: Mehr als nur Kür. Baupflicht: Tübingen und Waiblingen machen vor, wie sich der Photovoltaikausbau und die Energiewende beschleunigen lassen. Das taugt durchaus als Vorbild für das ganze Land. Panorama. pv magazine. September 2018. Online abrufbar unter https://solarcluster-bw.de/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/pvmagazinedeutschland_03_2018_PV-Pflicht_2_.pdf (17.12.2020)

Bundesministerium für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BMWi): EEG 2021. Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und weiterer energierechtlicher Vorschriften. Berlin 2020.

Fachagentur Windenergie an Land (FA Wind) Hrsg. – Endell, Marike; Elxnat, Marc; Groß, René; Quentin, Jürgen; Weigt, Jürgen: Beteiligung der Standortgemeinde an einer Bürgerenergiegesellschaft mit Zuschlag für Windenergieanlagen im Rahmen der Ausschreibung. Berlin, Juli 2018.

Fraunhofer ISE: 100 % Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland. Online abrufbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/studie-100-erneuerbare-energien-fuer-strom-und-waerme-in-deutschland.pdf> (12.01.2021)

Fraunhofer IWES: Windmonitor - Volllaststunden. Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Online abrufbar

unter http://windmonitor.iese.fraunhofer.de/windmonitor_de/3_Onshore/5_betriebsergebnisse/1_volllaststunden/ (11.11.2020)

H₂-Region Emsland: Initiative und Netzwerk der regionalen Wasserstoffakteure im Emsland. Online abrufbar unter <https://h2-region-emsland.de/> (17.12.2020)

Hagemeier: Energieausgleich durch Sektorenkopplung – Kopplung von Strom- und Wärme-sektor. In Fachzeitschrift Energie, Markt, Wettbewerb (EMW). Heft 06/2019

Koch, Hermann, Flachsbarth, Tambke: Erstellung generischer EE-Strom-Einspeisezeitreihen mit unterschiedlichem Grad an fluktuierendem Stromangebot. Ergebnisse von Arbeitspaket 3 im Projekt „Einbindung des Wärme- und Kältesektors in das Strommarktmodell PowerFlex zur Analyse sektorübergreifender Effekte auf Klimaschutzziele und EE-Integration“. Freiburg 2016.

Klimaschutzkonzept Gottenheim: Kampagne für Energieeinsparung bei der Nutzung von Elektrogeräten. Badenova 2015. Online abrufbar unter https://www.gottenheim.de/Umwelt/Klimaschutzkonzept/2015_Massnahme13_EnergieeinsparungElektrogeraete.pdf (17.12.2020)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Ressourcenschonender Einsatz von Energie und Produktionsmitteln in der Landwirtschaft. Projekt Agrar++Effizienz. Oldenburg 2010. Online abrufbar unter <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/203/article/15718.html> (17.12.2020)

Landesamt für Statistik Niedersachsen: Statistische Erhebung – Bevölkerung nach Geschlecht, Katasterflächen nach Nutzungsart (ALKIS), Sozialversicherungspflichtige Beschäftigte nach Wirtschaftsbereich, Landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung und Viehbestand, Gebäudebestand. Online abrufbar unter <https://www1.nls.niedersachsen.de/statistik/html/default.asp> (17.11.2020)

Kaiser, Oliver; Seitz, Heike: Ressourceneffizienz von Windenergieanlagen. VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 9. VDI Zentrum Ressourceneffizienz. Berlin 2016.

Niggemeier, Linkenheil, Brinkhaus, Huneke: Erneuerbar in allen Sektoren - Sektoren koppeln mit Power-to-Gas. Energie Brainpool. Studie für Greenpeace Energy e.V. Berlin, September 2019.

Netzentwicklungsplan ÜNB: Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2035, Version 2021 – Entwurf der ÜNB. 50 Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH. 2020.

Pezzutto, Zambotti, Croce, Zambelli, Garegnani, Scaramuzzino, Pascuas, Haas, Exner, Lucchi, Della Valle, Zubaryeva (EURAC), Müller (e-think), Hartner (TUW), Fleiter, Klingler, Kühnbach, Manz, Marwitz, Rehfeldt, Steinbach, Popovski (Fraunhofer ISI): Hotmaps - D2.3 WP2 Report –Open Data Set for the EU28. Wien 2019.

Prognos: Eigenversorgung aus Solaranlagen - Das Potenzial für Photovoltaik-Speicher-Systeme in Ein- und Zweifamilienhäusern, Landwirtschaft sowie im Lebensmittelhandel. Analyse im Auftrag von Agora Energiewende. Berlin 2016.

Rudolph, Koska, Schneider: Verkehrswende für Deutschland - Der Weg zu CO₂-freier Mobilität bis 2035. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH. Erstellt im Auftrag von Greenpeace e.V. Wuppertal 2017

Schlomann, Kleeberger, Hardi, Geiger, Pich: Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013. Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Anschlussauftrag des Forschungsvorhabens 53/09. Karlsruhe, München, Nürnberg, Februar 2015

Schorbacher Modell: Schnorbacher Energiesparrichtlinie – Detaillierte Projektbeschreibung. Online abrufbar unter https://www.kreis-sim.de/media/custom/2554_971_1.PDF?1516290918 (17.12.2020)

Statistisches Bundesamt (Destatis): Umweltnutzung und Wirtschaft. Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Teil 2: Energie. Berichtszeitraum 2000-2017. Rechenstand 2019.

Statistisches Bundesamt: Wohnungsbestand im Zeitvergleich. Stand 2020. Online abrufbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Tabellen/liste-wohnungsbestand.html;jsessionid=40E3051F7C4F3816F4E05D8292FEB528.internet8712> (02.12.2020)

Stieß, Immanuel; Fischer, Corinna; Kresse, Sarah: Power efficiency classes for households – monitoring long-term effects of a power saving intervention. ECEEE 2017 Summer Study – Consumption, Efficiency & Limits. Frankfurt 2017.

Tennet TSO GmbH und Amprion GmbH: EEG-Anlagenstammdaten zur Jahresabrechnung 2018. Netztransparenz – Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber

Umwelt Bundesamt (UBA): Integration erneuerbarer Energien durch Sektorkopplung: Analyse zu technischen Sektorkopplungsoptionen. Abschlussbericht. Climate Change 03/2019. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Deßau-Roslau 2019.

Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW): Umsetzung der analytischen Lastprofilverfahren – Step-by-Step. Frankfurt am Main 2000.

Wietschel, Martin; Plötz, Patrick; Pfluger, Benjamin; Klobasa, Marian; Eßer, Anke; Haendler, Michael; Müller-Kirchenbauer, Martin; Kochems, Johannes; Hermann, Lisa; Grosse, Benjamin; Nacken, Lukas; Küster, Michael; Pacem, Johannes; Naumann, David; Kost, Christoph; Kohrs, Robert; Fahl, Ulrich; Schäfer-Stradowsky, Simon; Timmermann, Daniel; Albert, Denise: Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen. Working Paper Sustainability and InnovationNo. S 01/2018. Fraunhofer ISI. Karlsruhe 2018.