IN4CLIMATE .RR

Typisierung von Versorgungsaufgaben – Fallstudie im Rheinischen Revier

NRW.ENERGY 4CLIMATE
Landesgesellschaft für Energie und Klimaschutz

Wuppertal Institut

IN4climate.RR | Kölner Straße 40 | 41515 Grevenbroich

IN4climate.RR ist ein vom Land Nordrhein-Westfalen unterstütztes und durch einen Beschluss des Deutschen Bundestages vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördertes Projekt. Das Projekt wird unter dem Dach der Landesgesellschaft NRW.Energy4Climate von der Initiative IN4climate.NRW und dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie durchgeführt. IN4climate.RR verfolgt das Ziel, die Industrie im Rheinischen Revier auf dem Weg zur Klimaneutralität zu unterstützen und in die Transformationsprozesse in NRW, Deutschland und Europa einzubinden.

Eine Kooperation von:

Bibliographische Angaben

Herausgeber:	IN4climate.RR
Veröffentlicht:	Dezember 2025
Autor:innen:	Maximilian Blum, Dr. Karin Arnold
Kontakt:	maximilian.blum@wupperinst.org, karin.arnold@wupperinst.org
Bitte zitieren als:	IN4climate.RR (2025): Typisierung von Versorgungsaufgaben – Fallstudie im Rheinischen Revier

Bildnachweis:
Titel: NRW.Energy4Climate

Impressum:
NRW.Energy4Climate GmbH

EUREF-Campus 1c
40472 Düsseldorf
Tel: +49 211 822 086-555

kontakt@energy4climate.nrw
https://www.energy4climate.nrw/

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (Hrsg.)
Döppersberg 19
42103 Wuppertal
Tel.: +49 202 2492-0
Fax: +49 202 2492-108
info@wupperinst.org
www.wupperinst.org

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Inhalt

Abbildungsverzeichnis 4
Tabellenverzeichnis 4
Abkürzungen 4
1 Hintergrund und Ziel 5
2 Konzept für die Typisierung 6
2.1 Herleitung der Kriterien 6
2.1.1 Industrielle Prägung des Energiebedarfs 7
2.1.2 Zentralität der Raumwärmeversorgung 8
2.1.3 Infrastrukturelle Voraussetzungen 8
2.2 Clusterbildung 9
2.3 Energiebilanz 10
2.4 Dynamisierung 12
3 Fallstudie: Rheinisches Revier 13
3.1 Datenerhebung & Clusterbildung 13
3.2 Ergebnisse im Status Quo 14
3.2.1 Clusterbildung 14
3.2.2 Energiebilanz 15
3.3 Ergebnisse der Dynamisierung 17
3.3.1 Clusterbildung 17
3.3.2 Energiebilanz 18
4 Einordnung der Ergebnisse 20
5 Ausblick und Forschungsbedarf 22
5.1 Vertiefung: Verknüpfung von Infrastrukturen und Energiebilanz 22
Literatur 25
Anhang 27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verschneidung von Datensätzen zu Kriterien für die Clusteranalyse. 10
Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Erstellung der Energiebilanz. 11
Abbildung 3: Clusterbildung im Status Quo. 14
Abbildung 4: Energiebilanz Status Quo. 15
Abbildung 5: Energiebilanz Gigawattpakt. 16
Abbildung 6: Energiebilanz Langfristperspektive. 16
Abbildung 7: Clusterbildung in der Dynamisierung. 17
Abbildung 8: Energiebilanz Dynamisierung. 18
Abbildung 9: Energiebilanz Extremszenario. 19
Abbildung 11: Heatmap Infrastrukturen für den H_2-Transport. 23
Abbildung 10: Heatmap Strom-Übertragungsnetz. 23
Abbildung 12: Vertiefung Infrastrukturen und Energiebilanz. 24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Genutzte Datensätze auf Gemeindeebene. 6
Tabelle 2: Gewichtungsfaktoren für Energie-Infrastrukturen. 9
Tabelle 3: Parameter für die Clusteranalyse in JASP. 13

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
COP	Coefficient of Performance (deutsch: Leistungszahl)
DVGW	Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GIS	Geoinformationssystem
HT	Hochtemperatur
NT	Niedertemperatur
PV	Photovoltaik

1 Hintergrund und Ziel

Das Ziel der Treibhausgasneutralität stellt Akteure verschiedener Bereiche vor gewaltige Herausforderungen. Neben den nötigen Anstrengungen zur Umsetzung umfangreicher Energieeffizienzmaßnahmen sowie der Umstellung der Energieversorgung auf Erneuerbare Energien besteht zusätzlich in vielen Fällen Unsicherheit in Bezug auf die Frage, welche Technologien oder welche Energieträger zukünftig gesetzt werden sollten. Insbesondere für industrielle Prozesse gibt es häufig eine Vielzahl möglicher Transformationspfade. So kann beispielsweise Prozesswärme grundsätzlich über Elektrizität oder Erneuerbare Energieträger wie Wasserstoff oder Biomethan bereitgestellt werden. Neben grundlegenden Abwägungen zu Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit spielen bei der Entscheidung jedoch auch lokale Gegebenheiten, wie der bestehende Energiebedarf und vorhandene Infrastrukturen eine Rolle.

Um die Frage zu beantworten, wie sich Unternehmen, Gemeinden oder ganze Regionen in Zukunft mit Energie versorgen können, ist es nötig, lokale Spezifika zu analysieren und in deren Abhängigkeit individuelle Lösungsvorschläge zu entwickeln. Da im Rahmen dieser Arbeiten eine einzelne Betrachtung aller Unternehmensstandorte nicht möglich ist, soll mit der Typisierung eine Vorgehensweise erarbeitet werden, mithilfe welcher generische Versorgungsaufgaben und Erfordernisse für die Transformation identifiziert werden können. Mithilfe dieser Informationen können Gemeinden mit jeweils vergleichbaren Herausforderungen gefunden sowie Synergien und Konflikte aufgezeigt werden, welche in der Gesamtstrategie einer Region berücksichtigt werden sollten.

Dazu wurde zunächst ein generisches Konzept zur Analyse der räumlichen Ausprägung von Energiebedarfen und bestehenden sowie geplanten Strukturen zu deren Deckung entwickelt, welches in Kapitel 2 dargestellt wird. In Kapitel 3 wird dieses Konzept konkret am Beispiel des Rheinischen Reviers angewendet. Die dazu nötigen Daten wurden im Rahmen dieser Arbeit erhoben. Damit soll ein Beitrag geleistet werden, Antworten auf zentrale Fragen der zukünftigen Energieversorgung zu finden. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf den Themenfeldern Wasserstoff sowie Energieversorgung der Industrie. Weiterhin soll die Typisierung eine Grundlage für vertiefende Analysen einzelner Teilregionen bilden und grundsätzlich auch auf andere Regionen übertragbar sein. Zunächst erfolgt eine Einordnung der Teilregionen anhand von Status-Quo-Daten. Im Anschluss werden die Eingangsdaten im Rahmen einer Dynamisierung auf das Zieljahr 2045 projiziert. Um die Verfügbarkeit von Daten auch im Falle einer Übertragung des Konzeptes auf andere Regionen zu gewährleisten und gleichzeitig einen möglichst hohen Detaillierungsgrad zu erreichen, wurde für die Betrachtungen die Gemeindeebene gewählt.

Die Typisierung erhebt dabei nicht den Anspruch, standortscharfe Empfehlungen für Unternehmen zu bieten, an denen die zukünftige Energieversorgungsstrategie ausgerichtet werden könnte. Vielmehr soll ein Überblick über die Beschaffenheit einer Region und ihre Besonderheiten geliefert werden, von der aus weitere, zielgerichtete Fragestellungen aufgeworfen und bearbeitet werden können. Die Betrachtung einzelner Unternehmensstandorte oder Industriecluster kann zu abweichenden optimalen Versorgungslösungen führen.

Vergleichbare Ansätze, in denen Regionen anhand zuvor definierter Kriterien in Cluster aufgeteilt wurden, finden sich in Arbeiten der IW Consult, des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) und der Bertelsmann Stiftung [1], [2], [3].

2 Konzept für die Typisierung

In diesem Abschnitt wird das Konzept der Typisierung zunächst theoretisch beschrieben. Für dessen praktische Durchführung ist jedoch die Erhebung von Daten erforderlich, welche spezifisch für die zu betrachtende Region sind. Die Vorgehensweise für die Datenerhebung in der hier betrachteten wird daher in Kapitel 3 konkret für das Rheinische Revier erläutert. Bei der Typisierung werden die erhobenen Daten zu übergeordneten Kriterien zusammengefasst und anhand derer wiederum eine Clusteranalyse vorgenommen. Für jede Gemeinde wird außerdem eine Energiebilanz erstellt, bei der lokal erzeugte Erneuerbare Energien dem Verbrauch gegenübergestellt werden. Neben dem Ist-Zustand werden die Daten auch für das Zieljahr 2045 erhoben bzw. projiziert und die beschriebenen Analysen erneut durchgeführt.

2.1 Herleitung der Kriterien

Der Energiebedarf sowie die Energieversorgung einer Region lassen sich anhand unterschiedlicher Eigenschaften charakterisieren. Auf der Bedarfsseite sind dies vor allem die Nachfrage nach Endenergie sowie deren Aufteilung auf die Sektoren (Haushalte, Gewerbe, Industrie und Verkehr) auf unterschiedliche Energieträger und die geographische Verteilung. Auf der Angebotsseite sind insbesondere die zur Verfügung stehenden Energieträger sowie Infrastrukturen relevant, anhand derer ein Energietransport erfolgen kann. Für die Anwendung des beschriebenen Konzeptes sind die hier aufgelisteten Datensätze jeweils auf Gemeindeebene zu erheben.

Tabelle 1: Genutzte Datensätze auf Gemeindeebene.

Datensatz	Einheit
Bevölkerung	-
Gemeindefläche	km^2
Stromverbrauch	GWh
Bedarf an Raumwärme und Warmwasser	GWh
Bedarf an Prozesswärme < 500°C	GWh
Bedarf an Prozesswärme > 500°C	GWh
Bedarf an Energieträgern für die stoffliche Nutzung	GWh
Bedarf an Energieträgern für den Verkehr	GWh
Gesamtpotential erneuerbare Stromerzeugung (inkl. IST-Erzeugung)	GWh
Gesamtpotential erneuerbare Wärmeerzeugung (inkl. IST-Erzeugung)	GWh
Anteil von Erdgas an der Raumwärmeversorgung (inkl. Warmwasser)	%
Anteil von Wärmenetzen an Raumwärmeversorgung (inkl. Warmwasser)	%
Abstand zu (geplanten) Leitungen des H_2-Kernnetzes	km

Abstand zu Wasserstraßen	km
Abstand zu Eisenbahnstrecken	km
Abstand zum Strom-Übertragungsnetz	km

Da in dieser Arbeit mögliche Wege hin zu einem klimaneutralen Energiesystem aufgezeigt werden sollen, wird die bestehende Erzeugung von Strom aus fossilen Energieträgern (z.B. in Kohlekraftwerken) auf der Angebotsseite nicht berücksichtigt. Bestehende Anschlüsse an Infrastrukturen wie beispielsweise Strom-, Erdgas- oder Fernwärmeleitungen fließen dagegen in die Analysen ein.

Mithilfe der Typisierung sollen Nachfrage- und Versorgungstypen identifiziert werden, welche die zentralen Merkmale der bestehenden und zukünftigen Struktur der Energieversorgung in der betreffenden Gemeinde beschreiben. Hierzu zählen der Anteil der Industrie an der Energienachfrage, der Grad der Verdichtung von Strukturen zur Wärmeversorgung sowie bestehende Infrastrukturen. Mithilfe der zuvor dargestellten Datensätze werden daher drei Kriterien gebildet, deren Ausprägungen Aussagen über die lokale Struktur der Energieversorgung zulassen und die Grundlage für die anschließende Clusteranalyse sind:

- Industrielle Prägung des Energiebedarfs
- Zentralität der Raumwärmeversorgung
- Infrastrukturelle Voraussetzungen

Neben der Ableitung der Kriterien werden die Datensätze ebenfalls genutzt, um für jede Gemeinde im Betrachtungsraum eine Energiebilanz durchzuführen. Um unterschiedliche Ausbauszenarien der Erneuerbaren Energieerzeugung betrachten zu können, wird die Energiebilanz nicht gemeinsam mit den übrigen Kriterien in die Clusteranalyse mit einbezogen, sondern zusätzlich durchgeführt.
Die Ableitung der Kriterien sowie die Durchführung der Energiebilanz werden nachfolgend näher beschrieben.

2.1.1 Industrielle Prägung des Energiebedarfs

Um das Nachfrageprofil sowie mögliche Transformationspfade für eine Gemeinde bewerten zu können, ist es wichtig zu verstehen, wie sich die Energienachfrage anteilig auf die Sektoren Haushalte, Gewerbe, Industrie und Verkehr verteilt. Insbesondere ist hier von Interesse, welchen Anteil die Industrie am lokalen Endenergieverbrauch hat. Um das bewerten zu können, werden insgesamt vier der in Kapitel 2.1 aufgeführten Datensätze herangezogen. Zum einen wird der Anteil der Prozesswärme am gesamten Wärmebedarf im Gemeindegebiet als Quotient aus Summe der Prozesswärmebedarfe über sowie unter 500 °C und dem gesamten Wärmebedarf (Prozesswärmebedarfe + Raumwärme und Warmwasser) bestimmt, zum anderen der spezifische Stromverbrauch je Einwohner:in im Gemeindegebiet. In Bezug auf den Stromverbrauch wird angenommen, dass in den Haushalten und bei Dienstleistungen pro Kopf über alle Gemeinden hinweg in etwa gleich viel Strom verbraucht wird und ein hoher pro-Kopf-Verbrauch in erster Linie durch einen signifikanten Anteil von Industriestrom verursacht wird.

2.1.2 Zentralität der Raumwärmeversorgung

Da Erneuerbare Energien in vielen Fällen zunächst für die Erzeugung von Elektrizität nutzbar sind, sind die Herausforderungen bei der Dekarbonisierung der Wärme oftmals größer. Es braucht daher Lösungen, welche sich an lokalen Gegebenheiten ausrichten und auf vorhandenen Infrastrukturen aufbauen. Im Bereich der Raumwärme wurden dabei der Verdichtungsgrad (Wärmebedarf je Gemeindefläche) sowie der Anteil zentraler leitungsgebundener Lösungen an der Wärmeversorgung als entscheidende Kriterien für die Bewertung möglicher Dekarbonisierungsoptionen identifiziert. Anhand ihrer Ausprägung lassen sich Rückschlüsse ziehen, welche Versorgungsoptionen hier zukünftig eine Rolle spielen könnten. Konkret werden hier der spezifische Raumwärmebedarf je Quadratkilometer Gemeindefläche und der Anteil zentraler Technologien für die Gebäudewärmeversorgung herangezogen. Als „zentrale Technologien" werden dabei leitungsgebundenes Erdgas sowie Fernwärme definiert. Übrige Technologien werden als dezentrale Lösungen klassifiziert.

2.1.3 Infrastrukturelle Voraussetzungen

Auch im Falle eines Vollausbaus der Erneuerbaren Energien im Ausblick kann davon ausgegangen werden, dass es weiterhin Gemeinden gibt, welche ihren Energiebedarf nicht lokal decken können. Diese Gemeinden werden also auf einen Import an Energie aus benachbarten Gemeinden oder weiter entfernten Regionen angewiesen sein. Es bedarf daher geeigneter Infrastrukturen für den Transport von Energieträgern. Aus diesem Grund wird die Anbindung von Gemeinden an bestehende Infrastrukturen als ein wichtiges Kriterium herangezogen, um die zukünftige Versorgungssituation einordnen zu können.

Im Status Quo werden für den Import von Energieträgern in das Gemeindegebiet grundsätzlich Bundeswasserstraßen, Eisenbahnstrecken und das Strom-Übertragungsnetz betrachtet. Planungen für Wasserstoffleitungen, gemäß Wasserstoff-Kernnetz [4] und European Hydrogen Backbone [5] werden bei der Betrachtung des Zieljahres 2045 zusätzlich berücksichtigt. Um für jede Gemeinde die Anbindung an verschiedene Infrastrukturen bewerten zu können, werden mithilfe einer GIS-Analyse die minimalen Abstände der Gemeindezentren zu den jeweiligen Infrastrukturen bestimmt.

Die Gewichtung der Infrastrukturen erfolgt anhand ihrer voraussichtlichen Relevanz für das zukünftige Energiesystem. Als Maß für diese Relevanz werden die jeweiligen Bereitstellungskosten je Kilowattstunde übertragener Energie herangezogen. Für das H_2-Kernnetz, Bundeswasserstraßen sowie Eisenbahnstrecken werden Bereitstellungskosten für Wasserstoff nach [6] angenommen. Für den Stromtransport werden durchschnittliche Strombezugskosten für Gewerbekunden aus dem Monitoringbericht der Bundesnetzagentur angenommen [7]. Auch wenn als Standortfaktor hier die Nähe zum Übertragungsnetz definiert wird, werden dennoch die vollständigen Strombezugskosten angenommen, um die Vergleichbarkeit zum Wasserstoffbezug zu gewährleisten. Die jeweiligen Kosten und daraus abgeleiteten Gewichtungsfaktoren für die Clusterbildung werden für die genannten Infrastrukturen folgendermaßen angenommen:

Tabelle 2: Gewichtungsfaktoren für Energie-Infrastrukturen.

Infrastruktur	Transportmedium	Bereitstellungskosten	Abgeleiteter Gewichtungsfaktor
Wasserstoff-Kernnetz	Wasserstoff	104 EUR/MWh	1,00
Bundeswasser-straßen	Wasserstoff	162 EUR/MWh	0,64
Eisenbahn-strecken	Wasserstoff	195 EUR/MWh	0,53
Strom-Übertragungsnetz	Strom	331 EUR/MWh	0,31

2.2 Clusterbildung

Um eine Clusteranalyse durchzuführen und Gemeinden mit ähnlichen Herausforderungen in Bezug auf die klimaneutrale Transformation in Gruppen zusammenzufassen, werden die oben eingeführten drei Kriterien herangezogen: die industrielle Prägung des Energiebedarfs, die Zentralität der Raumwärmeversorgung sowie die infrastrukturellen Voraussetzungen. Diese Kriterien setzen sich jeweils wiederum aus mehreren Datensätzen zusammen, die nicht zwingend dieselbe Einheit (z.B. GWh) haben. Für die Verschneidung der Datensätze werden daher Punktzahlen von null (niedrigster Wert) – fünf (höchster Wert) an die Gemeinden vergeben. Im Anschluss werden die Punktzahlen mit einer bestimmten Gewichtung addiert und ergeben so eine Gesamtpunktzahl. Diese drückt aus, wie stark das jeweilige Kriterium in der Gemeinde ausgeprägt ist, also zum Beispiel, wie gut eine Gemeinde an bestehende Infrastrukturen angebunden ist. Das Vorgehen der Verschneidung der Datensätze mit entsprechenden Gewichtungsfaktoren wird in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

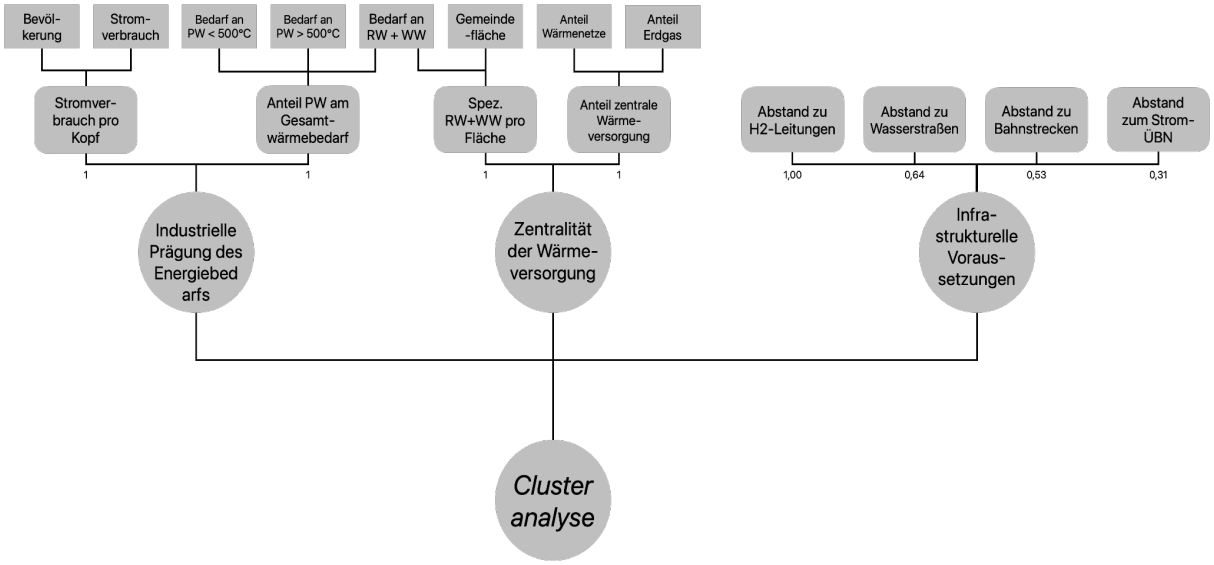

Abbildung 1: Verschneidung von Datensätzen zu Kriterien für die Clusteranalyse.

Anhand der zuvor erläuterten drei Kriterien wird im nächsten Schritt eine Clusteranalyse durchgeführt. Ziel ist es, die betrachteten Gemeinden in Gruppen zu unterteilen, die in sich möglichst homogen sind und sich möglichst stark von den anderen Gruppen unterscheiden. Die zuvor ermittelten Punktzahlen der drei Kriterien werden dazu auf Zahlen zwischen 0 und 100 normiert, sodass sie für die Analyse in gleichem Maße relevant sind. Für die Clusteranalyse sollte ein Verfahren gewählt werden, welches möglichst gut an die vorliegende Datenbasis angepasst ist [8]. Die in der Fallstudie gewählte Vorgehensweise wird in Kapitel 3.1 beschrieben.

2.3 Energiebilanz

Neben der Clusterung der Gemeinden in der betrachteten Region ist für jede Gemeinde zusätzlich eine Energiebilanz durchzuführen. Diese Bilanz auf Gemeindeebene ist nur eine theoretische Überlegung, weil sich die realen Bedarfe und Angebote aufgrund übergreifender Infrastrukturen nicht zwingend an den Gemeindegrenzen orientieren. Dennoch kann sie dabei helfen, einen Überblick zu erhalten, in welchen Regionen in einem zukünftigen, dekarbonisierten Energiesystem tendenziell eher ein Überschuss an lokalen Energieträgern vorliegt und wo ein Import an Energie nötig sein wird. Die Bilanz erfolgt dabei separat für die Bereiche Strom, Niedertemperaturwärme (< 500 °C) und Hochtemperaturwärme (> 500 °C). Hinter dieser Aufteilung steckt die vereinfachende Annahme, dass Prozesse mit Temperaturen oberhalb von 500 °C in der Regel schwieriger zu elektrifizieren sind und daher vermehrt Energieträger für die Bereitstellung von Prozesswärme zum Einsatz kommen (vgl. [9]). In der Realität werden jedoch Einzelfallprüfungen nötig sein, welche über die Betrachtung des Temperaturbereichs hinausgehen, um beurteilen zu können, welche Technologie für die Bereitstellung von Prozesswärme in Frage kommt. Die Vorgehensweise wird in der nachfolgenden Abbildung verdeutlicht.

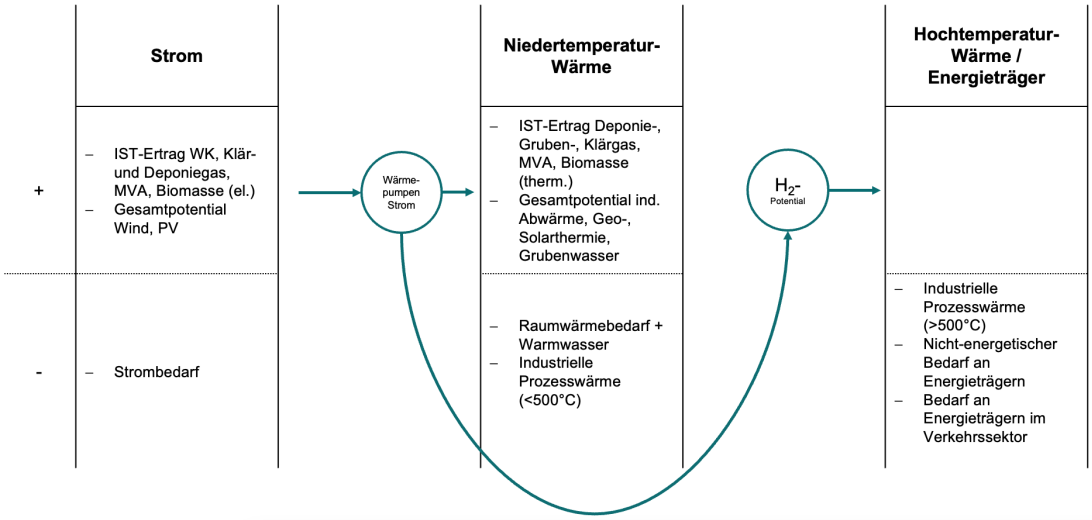

Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Erstellung der Energiebilanz.

In einem ersten Schritt werden dem Strombedarf der betreffenden Gemeinde die bestehenden Erträge sowie gegebenenfalls darüberhinausgehende Potenziale Erneuerbarer Energien gegenübergestellt. Bei der Berechnung des Status Quo kommen Ist-Werte zum Einsatz während für die Dynamisierung Szenarien zum Verbrauch sowie Potentiale genutzt werden. Für die Stromerzeugung aus Wasserkraft, Klär- und Deponiegas, Müllverbrennungsanlagen sowie Biomasse wird innerhalb von Deutschland jedoch nicht von einer wesentlichen Steigerung ausgegangen [10], daher kommen für diese Technologien auch in der langfristigen Perspektive Ist-Werte zum Einsatz. Im Bereich der Stromerzeugung aus Windkraft und Photovoltaik können dagegen signifikante Steigerungen der Erzeugungskapazität angenommen werden (vgl. [11], [12], [13]), sodass hier Gesamtpotenziale (einschließlich Ist-Erzeugung) für die Energiebilanz genutzt werden. Wird bei der Bilanzierung von Verbrauch und Erzeugung bzw. Potenzial ein Überschuss an Strom identifiziert, so wird angenommen, dass dieser über Wärmepumpen für die Bereitstellung von Niedertemperaturwärme genutzt wird.

In der Bilanz für die Niedertemperaturwärme werden Bedarfe für Raumwärme, Warmwasser sowie an Prozesswärme unterhalb von 500 °C berücksichtigt. Auf der Angebotsseite werden analog zur Strombilanz Ist-Werte zur Wärmeerzeugung aus Deponie-, Gruben- und Klärgas sowie aus Müllverbrennungsanlagen und der Biomassenutzung eingeschlossen. Darüber hinaus werden in der Dynamisierung die Gesamtpotenziale (einschließlich IST-Erzeugung) der industriellen Abwärmenutzung, der Geo- und Solarthermie sowie der Nutzung von Grubenwasser berücksichtigt. Wie zuvor erwähnt, fließen außerdem überschüssige Strommengen aus der vorgelagerten Bilanz in Form von Wärmepumpenstrom in die Berechnung ein. Für den Betrieb der Wärmepumpen wird ein COP von 3 für das Jahr 2022 und ein COP von 4,2 für das Jahr 2045 angenommen [14].

Im letzten Schritt der Energiebilanz werden der Einsatz von Hochtemperaturwärme sowie der direkte Einsatz von Energieträgern im Verkehrssektor und für nicht-energetische Bedarfe, vor allem in der chemischen Industrie, betrachtet. Auf der Angebotsseite wird ausschließlich überschüssiger Strom aus der ersten Bilanz (Strom) berücksichtigt, welcher in der zweiten Bilanz (NT-Wärme) nicht vollständig zur Deckung des Bedarfs benötigt wurde. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass Elektrolyseure mit einem Wirkungsgrad von 60,2 % (Jahr 2022) bzw. 61,4 % (Jahr 2045) [15] Wasserstoff bereitstellen, welcher direkt zur Deckung der beschriebenen Bedarfe genutzt wird.

In der Gesamtbilanz wird schließlich ein Energieüberschuss angenommen, wenn das lokale Angebot an Energie die Nachfrage um mehr als 25 % überschreitet. Unterschreitet das Angebot die Nachfrage dagegen um mehr als 25 %, wird ein Energiemangel angenommen. Zwischen diesen Bereichen wird unterstellt, dass der Bedarf in etwa lokal gedeckt werden kann.

Für die Erzeugung von Strom und Wärme aus Erneuerbaren Energien werden unterschiedliche Szenarien bzw. Zeithorizonte betrachtet. Dabei wird zum einen die aktuelle Erzeugung berücksichtigt, zum anderen das langfristige Potenzial Erneuerbarer Energien, welches bis 2045 für die Erreichung der Klimaschutzziele zu erwarten ist.

2.4 Dynamisierung

Im Rahmen einer Dynamisierung wird, zusätzlich zum Status Quo, betrachtet, wie die Datensätze, Kriterien und daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen im Jahr 2045 ausgeprägt sind. Dazu werden zunächst alle als Eingangsgrößen für die Typisierung benötigten Daten für das Zieljahr erhoben. Aufgrund von teilweise fehlenden regionalen Prognosen werden Annahmen aus übergeordneten, bundesweiten Szenarien (z.B. [16]) auf die lokale Ebene übertragen. Da über die verschiedenen Datensätze hinweg keine einheitliche Vorgehensweise möglich ist, wird diese detailliert im Anhang beschrieben.

Dieses Vorgehen bringt die Unsicherheit mit sich, dass regionale Trends nicht abgebildet werden. Im Rahmen dieser Arbeiten stellt es jedoch eine praktikable Näherung dar. Im Anschluss werden, analog zum Status Quo, die Kriterien berechnet, die Clusteranalyse durchgeführt und die Energiebilanzen erstellt.

3 Fallstudie: Rheinisches Revier

3.1 Datenerhebung & Clusterbildung

Für die Anwendung des zuvor beschrieben Konzeptes auf das Rheinische Revier war es zunächst nötig, alle in Kapitel 2 genannten Daten auf Gemeindeebene zu erheben. Im Status Quo erfolgte die Datensammlung für das Jahr 2022 und darüber hinaus als Ausblick auf die zukünftige Entwicklung für das Jahr 2045. Die geforderten Datensätze liegen nicht vollständig auf der angestrebten Betrachtungsebene vor und mussten daher teilweise aus nationalen Daten disaggregiert werden. Für den Ausblick auf das Jahr 2045 wurde teilweise auf regionale Prognosen sowie landes- bzw. bundesweite Szenarien zurückgegriffen. Im Anhang wird für jeden Datensatz detailliert beschrieben, nach welcher Methodik die Erhebung der Status-Quo-Daten erfolgt ist und wie die Projektion auf das Jahr 2045 vorgenommen wurde.

Die Clusteranalyse wurde mithilfe der Software JASP unter Verwendung des Verfahrens "Neighborhood-Based Clustering" durchgeführt. Die verwendeten Verfahren und Parameter wurden iterativ an die Datenbasis des Rheinischen Reviers angepasst. Anhand einer Reihe von verschiedenen Maßzahlen[1] lässt sich bestimmen, welche Verfahren und Parameter am besten für die Auswertung konkreter Daten geeignet sind [8]. Nachfolgend sind die verwendeten Verfahren und Parameter aufgelistet:

Tabelle 3: Parameter für die Clusteranalyse in JASP.

Verfahren	Neighborhood-Based Clustering
Center Type	Means
Algorithm	Hartigan-Wong
Distance	Euclidean
Maximum Iteration	25
Random Sets	25
Scale Features	No
Set Seed	No
Cluster determination optimized according to	Silhouette

[1] Clusteranzahl, Anzahl der Cluster mit weniger als zehn Prozent aller Objekte, Anzahl mit weniger als zwei Objekten, Dunn-Index, Calinski-Harabasz-Index, Silhouette-Koeffizient, AIC-Wert, BIC-Wert

3.2 Ergebnisse im Status Quo

3.2.1 Clusterbildung

Das Ergebnis der Clusteranalyse sind vier Cluster, welche jeweils unterschiedlich starke Ausprägungen der Kriterien “Industrielle Prägung”, “Zentralität der Raumwärmeversorgung” und “Infrastrukturelle Voraussetzungen” aufweisen. Die Ausprägung der Kriterien sowie die geographische Aufteilung der Cluster werden in Abbildung 3 dargestellt. In der Karte wird die Zugehörigkeit der Gemeinden zu den vier Clustern farblich dargestellt. Im linken Teil der Grafik wird die Ausprägung der drei verwendeten Kriterien für die Cluster in derselben Farbe dargestellt. Die Balken geben dabei den Bereich an, in welchem die Werte der den Clustern zugeordneten Gemeinden liegen. Der jeweilige Cluster-Mittelwert wird mit einem schwarzen Punkt markiert.

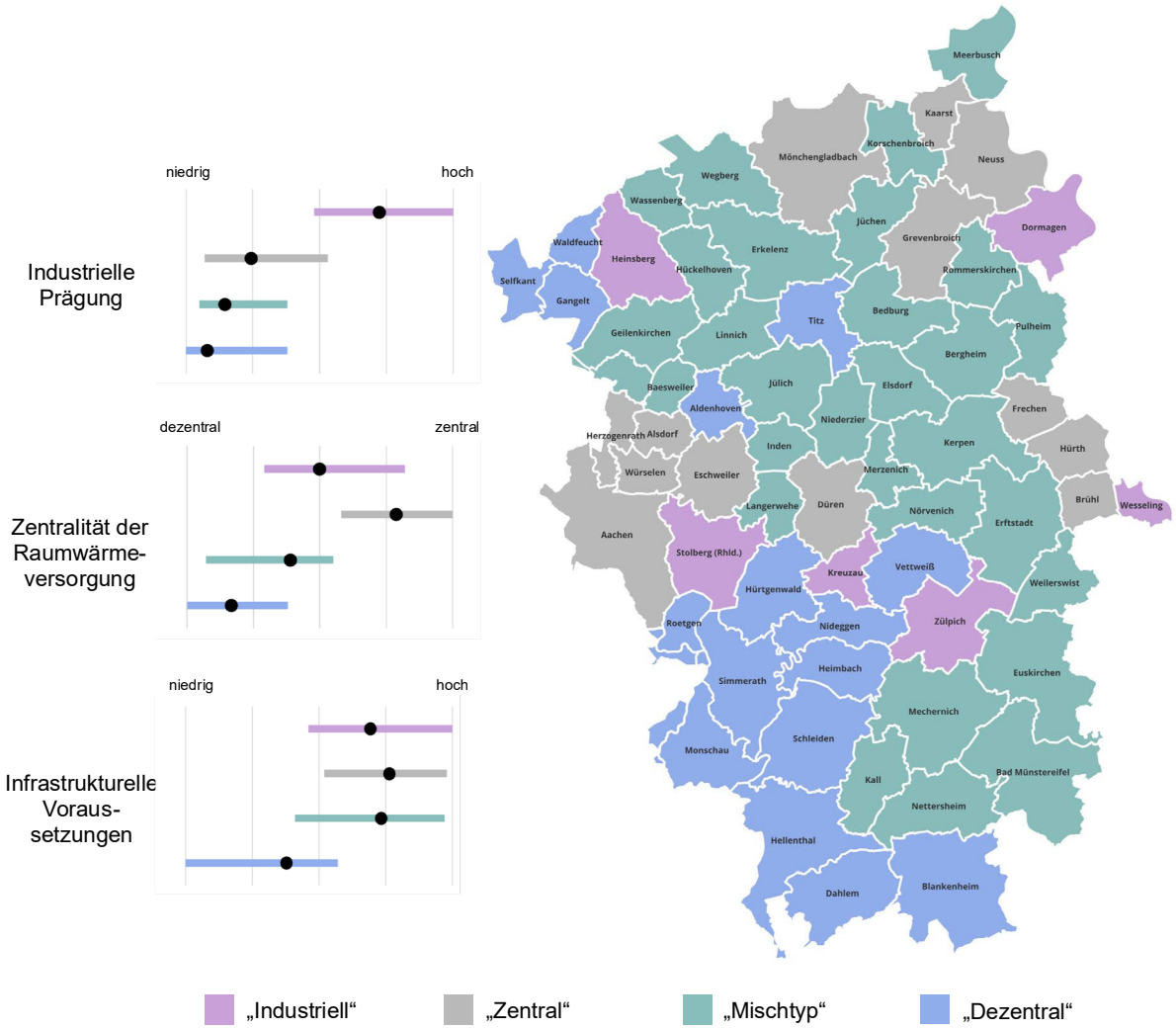

Abbildung 3: Clusterbildung im Status Quo.

Das erste Cluster “Industriell” ist durch einen hohen Verdichtungsgrad und durch einen hohen Anteil industrieller Energienachfrage geprägt. Zudem sind die Gemeinden in Cluster 1 infrastrukturell gut angebunden, sodass ihr hoher Energiebedarf, der die lokalen Potentiale teils deutlich übersteigt, problemlos gedeckt werden kann. Das Cluster 2 “Zentral” ist durch größere Städte geprägt, welche, wie Cluster 1, einen hohen Verdichtungsgrad aufweisen und infrastrukturell gut angebunden sind, jedoch

eine deutlich geringere Prägung des Energiebedarfs durch die Industrie aufweisen. Das Cluster 3 “Mischtyp” sowie das Cluster 4 “Dezentral” enthalten eher gering verdichtete Regionen, wobei Cluster 3 tendenziell höher verdichtete Gemeinden mit guter infrastruktureller Anbindung enthält, während die Gemeinden in Cluster 4 weiter von bestehenden Infrastrukturen entfernt liegen.

Durch die Clusteranalyse ergeben sich Gruppierungen von Gemeinden, welche sich anhand der drei eingeführten Kriterien deutlich voneinander unterscheiden. Neben einem industriellen Cluster, welches die industriellen Schwerpunkte im Rheinischen Revier abbildet, sowie einem hochverdichteten Cluster, das die dicht besiedelten Regionen umfasst, fallen die dünn besiedelten Gebiete hauptsächlich in das dezentrale Cluster. Lediglich das Cluster “Mischtyp” besitzt kein eindeutiges Kriterium zur Zuordnung und beinhaltet Gemeinden, welche gute infrastrukturelle Voraussetzungen haben und deren Energiebedarf nicht von der Industrie dominiert wird.

3.2.2 Energiebilanz

Nachdem in der Clusteranalyse verschiedene Typen von Gemeinden identifiziert wurden, wird nun die Energiebilanz dargestellt. Dazu wird die in Kapitel 2.3 dargestellte Vorgehensweise für jede Gemeinde einzeln durchgeführt. Im Ergebnis gibt es in Abbildung 4 – Abbildung 6 für jede Gemeinde die Aussage, ob eine negative Energiebilanz vorliegt (rot schraffiert), die Energiebilanz ausgeglichen ist (keine Schraffur) oder die Energiebilanz positiv ausfällt (grün schraffiert).

In der Energiebilanz werden drei verschiedene Szenarien bzw. Zeithorizonte betrachtet. Zuerst wird der Status Quo mit der aktuellen Erzeugungskapazität aus erneuerbaren Quellen betrachtet. Im zweiten Schritt wird ein Ausbau der Windenergie sowie der Photovoltaik entsprechend der Vereinbarung zum “Gigawattpakt für Erneuerbare im Rheinischen Revier” angenommen. Nach diesem soll bis zum Jahr 2028 die Erzeugungsleistung aus Wind und Photovoltaik auf insgesamt 5 GW ansteigen [17]. Für die Modellierung dieses Zwischenschrittes wurde angenommen, dass die Erzeugungsleistung von Wind und PV in allen Gemeinden auf einen bestimmten Anteil des Gesamtpotentials ausgebaut wird (Wind 23,8 %; PV 8,2 %). Die dritte Energiebilanz bezieht sich auf ein vollständig auf Erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem im Zieljahr 2045. Dazu wird angenommen, dass die jeweiligen Potentiale in den Gemeinden für Windenergie zu 42,6 %[2] und die PV-Potentiale zu 16,5 %[3] ausgenutzt werden. Bei der Solarthermie wird dagegen von einer vollständigen Ausnutzung des Potentials ausgegangen[4], während die Potentiale von Geothermie und Grubenwasser zu 18,6 %[5] ausgenutzt

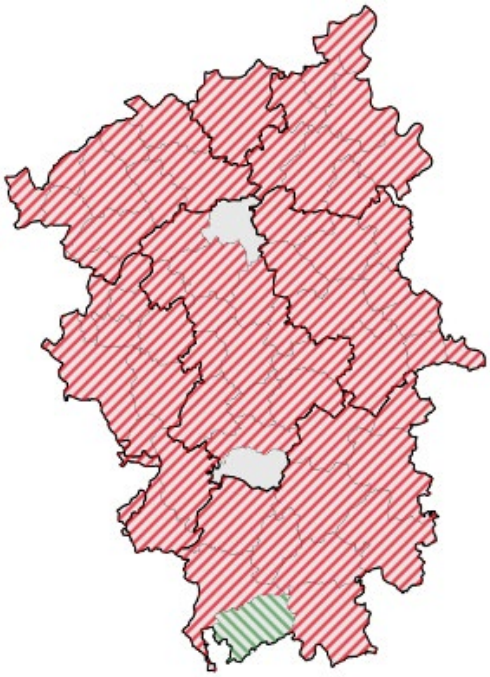

Abbildung 4: Energiebilanz Status Quo.

[2] 18 GW Ausbauziel für NRW in 2045 [12] gegenüber 42,25 GW Potential in NRW [11]
[3] 25,1 GW für Vollversorgung in NRW [13] gegenüber 151,71 GW Potential in NRW [11]
[4] Annahme aufgrund des großen Potentials, einen Beitrag zur wirtschaftlichen Dekarbonisierung von Niedertemperaturwärme und Fernwärmenetzen zu leisten
[5] 28,5 TWh/a Ausbauziel für NRW in 2045 (Mittelwert; oberflächennah, mitteltief und tief) [18] gegenüber 154 TWh/a Potential in NRW [11]

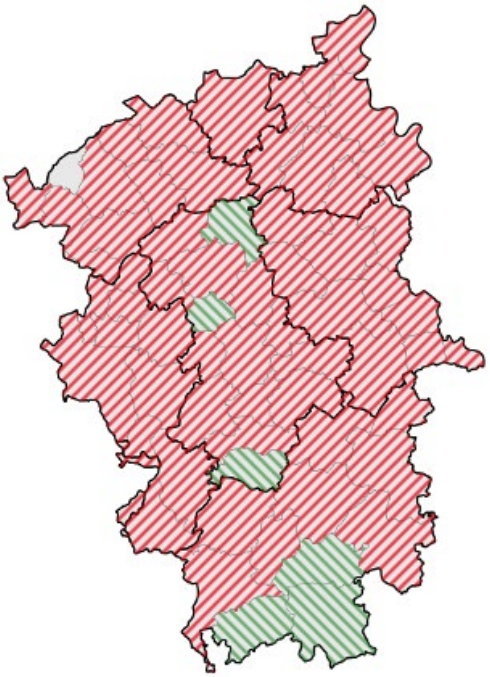

Abbildung 5: Energiebilanz Gigawattpakt.

werden. Für die übrigen betrachteten Erzeugungstechniken wird von einer konstant bleibenden Kapazität ausgegangen. Die Energienachfrage entspricht dabei zunächst in allen Szenarien dem Status Quo. Eine Berechnung der Energiebilanz mit Nachfragewerten für 2045 sowie erneuerbaren Kapazitäten im Jahr 2045 wird in Kapitel 3.2.2 vorgenommen.

Die Ergebnisse der Energiebilanzen für die Gemeinden im Rheinischen Revier sind überwiegend von einem Defizit der lokalen Energieversorgung geprägt. Im Status Quo (Abbildung 4) weist nur die Gemeinde Dahlem eine positive Energiebilanz auf, während die Gemeinden Heimbach und Titz eine ausgeglichene Energiebilanz haben. In keiner der übrigen Gemeinden kann der Energiebedarf lokal durch Erneuerbare Energieträger gedeckt werden.

Wird der Energiebilanz das Ausbauszenario des Gigawattpaktes zugrunde gelegt (Abbildung 5), können insgesamt sieben Gemeinden ihren Energiebedarf lokal aus Erneuerbaren decken. Die Gemeinde Waldfeucht weist eine ausgeglichene Bilanz auf, die Gemeinden Heimbach, Inden, Titz, Blankenheim, Dahlem und Nettersheim einen Überschuss.

In der langfristigen Perspektive (Abbildung 6) ergibt sich anhand der angenommenen Ausbauszenarien eine ausgeglichene Energiebilanz für die Gemeinden Linnich, Elsdorf und Waldfeucht sowie eine positive Energiebilanz für die Gemeinden Rommerskirchen, Aldenhoven, Heimbach, Inden, Langerwehe, Titz, Vettweiß, Blankenheim, Dahlem, Hellenthal, Nettersheim. Somit sind in der langfristigen Perspektive 14 der insgesamt 65 Gemeinden in der Lage, ihren Energiebedarf lokal und erneuerbar zu decken. Noch nicht berücksichtigt sind hier allerdings künftige Maßnahmen zur Energieeffizienz. Diese werden nachfolgend in der Dynamisierung der Ergebnisse betrachtet.

Insgesamt fällt auf, dass nur Gemeinden der Cluster “Mischtyp” und “Dezentral” ausgeglichene bzw. positive Energiebilanzen aufweisen. Die tendenziell höher verdichteten Gemeinden der Cluster “Industriell” bzw. “Zentral” sind unter den getroffenen Annahmen nicht in der Lage, ihren Energiebedarf selbst zu decken. Insbesondere in hoch verdichteten Regionen ist es deswegen erforderlich, Strategien für die zukünftige Energieversorgung zu erarbeiten. Auch insgesamt ist die Region Rheinisches Revier als Ganzes in keinem der Ausbauszenarien in der Lage, ihren aktuellen Energiebedarf durch lokale Erneuerbare Energieerzeugung zu decken.

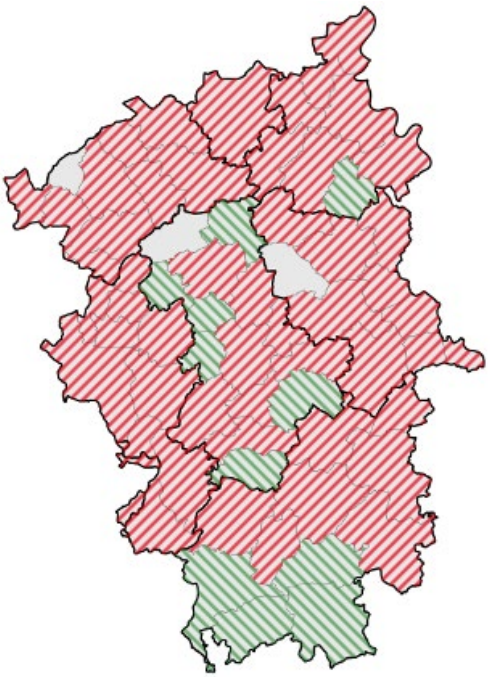

Abbildung 6: Energiebilanz Langfristperspektive.

3.3 Ergebnisse der Dynamisierung

3.3.1 Clusterbildung

Durch die Dynamisierung und die Projektion der Eingangsgrößen auf das Jahr 2045 haben sich die Kriterien für die Clusteranalyse teils maßgeblich verändert. Bei der industriellen Prägung liegen die Annahmen zugrunde, dass Haushalte zukünftig sowohl Strom als auch Wärme einsparen, während der Wärmebedarf in der Industrie weniger stark zurückgeht und der Strombedarf steigt. Das führt zu einer Verstärkung der industriellen Prägung in Gemeinden, welche ohnehin bereits stark industriell geprägt waren, und somit zu einer stärkeren Ausprägung der Polarisierung dieses Kriteriums. Im Vergleich zum Status Quo erhöht sich dadurch die Anzahl der Gemeinden, welche industriell geprägten Clustern angehören. Die Zentralität der Raumwärmeversorgung wird im Zeitverlauf bestimmt von einem Ausbau von Wärmenetzen in dicht besiedelten Gemeinden und einem Zubau von Wärmepumpen in dünn besiedelten Gemeinden. Diese Annahme beruht auf steigenden Anteilen von Fernwärmenetzen und Wärmepumpen, welche dem O45-Strom Szenario der Langfristszenarien des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) [16] entsprechen. Bis auf wenige Ballungszentren dominiert entsprechend dieser Annahme im Betrachtungsraum klar der Ausbau von Wärmepumpen, was zu einer geringeren Zentralität der Raumwärmeversorgung und einem Zuwachs im Cluster “Dezentral” führt und eine Aufteilung des industriellen Clusters bewirkt.

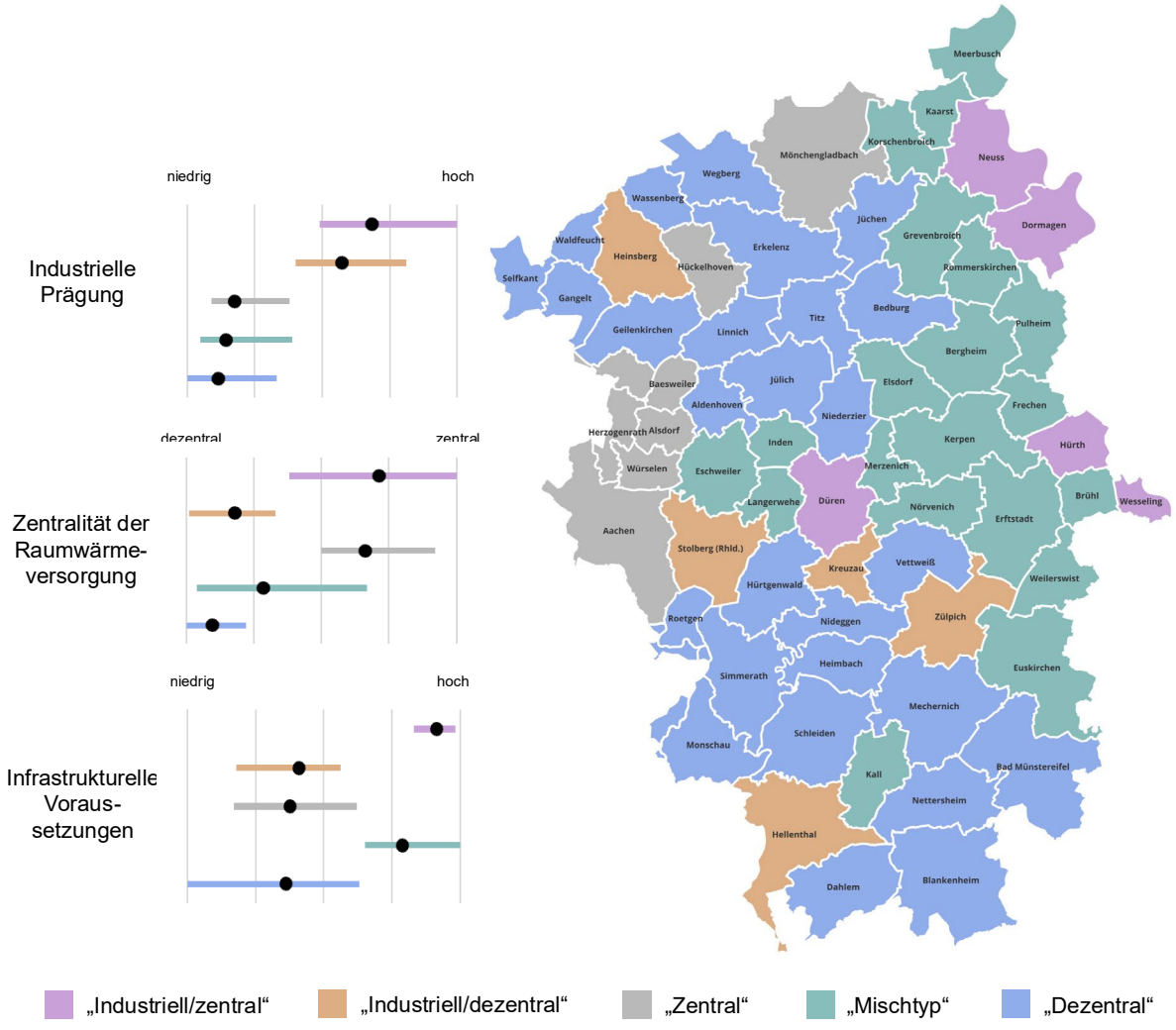

Abbildung 7: Clusterbildung in der Dynamisierung.

Die infrastrukturellen Voraussetzungen ändern sich durch den Ausbau des H_2-Kernnetzes erheblich und führen zu einer grundlegenden Neubewertung des Kriteriums. Hier gehen insbesondere die Cluster "Industriell/zentral" und "Mischtyp" als Profiteure hervor.

In der Dynamisierung ergibt die Clusteranalyse insgesamt fünf Cluster, im Vergleich zum Status Quo ist also ein neues Cluster dazugekommen. Wie zuvor gibt es ein Cluster von stark verdichteten Gemeinden (das Cluster "Industriell/zentral"), deren Energiebedarf durch die Industrie dominiert wird und welche gut an die Infrastrukturen angebunden sind. Das zweite Cluster "Industriell/dezentral" ist ebenfalls von hohen industriellen Energiebedarfen geprägt, weist in der Raumwärmebereitstellung jedoch weitgehend dezentrale Strukturen auf und ist weiter entfernt von Infrastrukturen für die Energieversorgung. Das dritte Cluster "Zentral" war in ähnlicher Form bereits im Status Quo enthalten und ist durch eine geringe industrielle Prägung und eine hoch verdichtete Struktur der Raumwärmeversorgung gekennzeichnet. Im Vergleich zum Status Quo fällt auf, dass die Bewertung der infrastrukturellen Voraussetzungen in diesem Cluster stark abgenommen hat. Auch die Cluster "Mischtyp" und "Dezentral" sind in ähnlicher Form auch in der Dynamisierung der Ergebnisse vertreten, wobei das Erstere tendenziell stärker verdichtete und infrastrukturell besser angebundene Gemeinden beinhaltet. Die Eigenschaften der beiden Cluster sind im Zeitverlauf weitgehend gleichgeblieben, allerdings sind einige Gemeinden, welche im Status Quo dem Cluster "Mischtyp" zugeordnet wurden, nun im Cluster "Dezentral" enthalten.

3.3.2 Energiebilanz

Die Energiebilanz anhand der Energieverbrauchsdaten für den Status Quo wurde bereits mit verschiedenen Annahmen zur Potenzialausschöpfung Erneuerbarer Energieerzeugung durchgeführt. Um nun ein Ergebnis zu erhalten, welches sich sowohl bei der Energiebereitstellung als auch beim Energiebedarf auf das Jahr 2045 bezieht, wurden die Verbrauchsdaten anhand der in Kapitel 2.4 beschriebenen Vorgehensweise auf das Jahr 2045 projiziert. Wie zuvor mit Blick auf den Status Quo wird für jede Gemeinde die Aussage getroffen, ob eine negative Energiebilanz vorliegt (rot schraffiert), die Energiebilanz ausgeglichen ist (keine Schraffur) oder die Energiebilanz positiv ausfällt (grün schraffiert). Das Ergebnis wird in Abbildung 8 dargestellt.

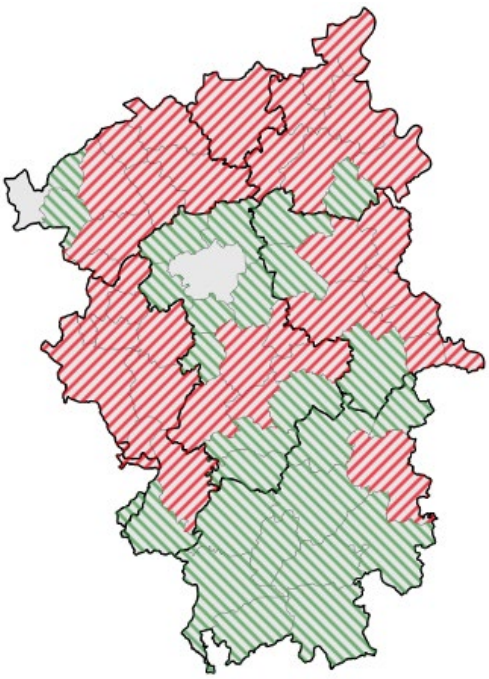

Abbildung 8: Energiebilanz Dynamisierung.

Es ist deutlich zu sehen, dass die bis zum Jahr 2045 angenommenen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und Elektrifizierung zu einer deutlichen Verbesserung des Gesamtbildes führen. Im hier betrachteten Szenario sind 28 der insgesamt 65 Gemeinden im Rheinischen Revier in der Lage, ihren Energiebedarf vollständig lokal und erneuerbar zu decken. Davon verzeichnen 26 Gemeinden perspektivisch sogar einen Energieüberschuss. Das Rheinische Revier als Ganzes ist jedoch auch in diesem Szenariorahmen nicht in der Lage, sich autark zu versorgen und wird auf Energieimporte angewiesen sein.

Im Rahmen einer Sensitivität wurde zudem berücksichtigt, wie sich ein geringeres Ambitionsniveau beim Klimaschutz auf die Ergebnisse auswirkt. Dazu wurden

geringere Ambitionen in Bezug auf Energieeffizienzmaßnahmen und Elektrifizierung angenommen, wodurch sich insgesamt ein höherer Bedarf an Elektrizität und Energieträgern ergibt. Auf die Clusteranalyse hatte diese Betrachtung keinen Einfluss, sodass auf eine Darstellung verzichtet wird. Die Energiebilanz fällt mit nur 8 Gemeinden mit ausgeglichener und 17 Gemeinden mit positiver Energiebilanz jedoch deutlich negativer aus als im Referenzszenario.

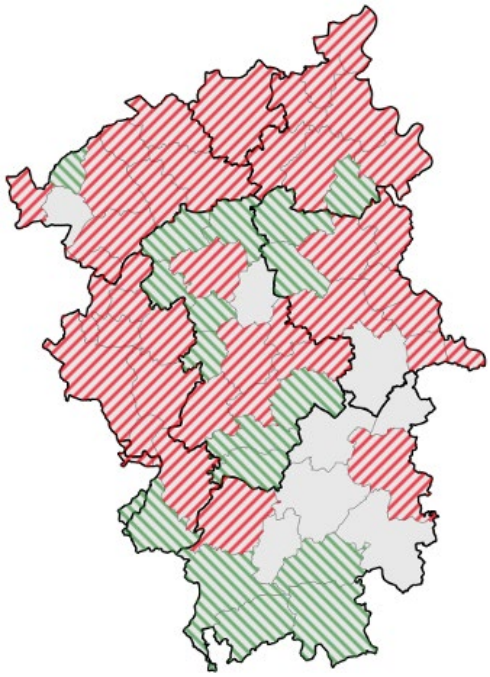

Abbildung 9: Energiebilanz Extremszenario.

4 Einordnung der Ergebnisse

Im Zuge der Arbeiten, die in dieser Veröffentlichung beschrieben werden, wurde ein Konzept entwickelt, um Gemeinden anhand bestimmter regionaler Daten zu Energiebedarfen und Infrastrukturen zu clustern. Dazu wurden aus einzelnen Datensätzen Kriterien entwickelt, welche die jeweilige Versorgungsaufgabe aus Sicht der Forschenden möglichst prägnant beschreiben. Anhand dieser Kriterien wurde eine Clusteranalyse durchgeführt, deren Ergebnis eine Aufteilung des Betrachtungsraums in Gruppen von Gemeinden liefert, die jeweils ähnliche Eigenschaften besitzen. Zudem wurde ein Konzept für eine Energiebilanz auf Gemeindeebene entwickelt, um eine Aussage darüber treffen zu können, an welchen Stellen Infrastrukturbedarf besteht, um zukünftig die gesamte Region mit Erneuerbarer Energie und Wasserstoff versorgen zu können. Das Konzept wurde auf die Gemeinden im Rheinischen Revier angewendet, ist grundsätzlich jedoch übertragbar auf verschiedene Regionen und Verwaltungsebenen.

Aufgrund der Betrachtungsebene ergibt sich naturgemäß ein pauschales Bild für das jeweilige Gemeindegebiet, welches bestimmte Schwerpunkte oder geographische Verteilungen der Energienachfrage und -versorgung innerhalb des Gemeindegebietes nicht berücksichtigt. Entsprechend dienen die Ergebnisse als erste Orientierung und Einordnung der Gemeinde in den regionalen Kontext. Es können Hinweise abgeleitet werden, welche spezifischen Herausforderungen in den Gemeinden vorliegen und welche Schwerpunkte bei der Transformation gesetzt werden sollten. Auch bei der Suche von Standorten mit bestimmten Kriterien (z.B. Unternehmensstandorte oder Standorte zur Produktion von Wasserstoff) kann die Typisierung einen ersten Überblick bieten, wo geeignete Standorte mit einer höheren Wahrscheinlichkeit zu finden sind. Darüber hinaus können den Gemeinden innerhalb einer Region bestimmte Rollen wie industrielle Verbrauchszentren oder Schwerpunkte Erneuerbarer Energieproduktion zugeschrieben werden. Gemeinden des industriell-zentralen Clusters, wie beispielsweise Wesseling, haben demnach geringen Spielraum, um sich selbst mit lokalen Erneuerbaren Energien zu versorgen und sollten stattdessen auf eine gute infrastrukturelle Anbindung sowie eine ausreichende Versorgung mit Wasserstoff setzen. Gemeinden wie Inden oder Langerwehe dagegen, die über einen lokalen Energieüberschuss und eine gute infrastrukturelle Anbindung verfügen, könnten perspektivisch Energie für benachbarte Gemeinden zur Verfügung stellen.

Die Analysen lassen jedoch nur bedingt Empfehlungen für spezifische Standorte von Unternehmen zu, sodass sie eine lokale Detailplanung nicht ersetzen können. Bei der Datenerhebung bestehen zentrale Ungenauigkeiten im Bereich des Strombedarfs, bei den Temperaturniveaus von industriellen Prozessen sowie dem Bedarf an Energieträgern für den Verkehr und die nicht-energetische Nutzung von z.B. Wasserstoff. Hierzu stehen keine Datenquellen auf Gemeindeebene zur Verfügung, sodass Daten von übergeordneten Verwaltungsebenen anhand bestimmter Kriterien disaggregiert werden müssen. Dieses Vorgehen stellt zwar eine gute Lösung dar, um fehlende Daten zu ersetzen, kleinräumige Besonderheiten (z.B. in Produktionsprozessen der Industrie) können dadurch jedoch nicht abgebildet werden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte weiterhin berücksichtigt werden, dass es sich bei der Clusteranalyse um einen Vergleich auf rein regionaler Ebene handelt. Würde man weitere Regionen in die Analyse einbeziehen, hätte das einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse. Würde man das Rheinische Revier beispielsweise gemeinsam mit einer sehr ländlich geprägten Region analysieren, hätte das einen Einfluss auf die Spanne der Kriterien und die Gemeinden im Rheinischen Revier würden im Vergleich eine höhere industrielle Prägung und Zentralität der Raumwärmeversorgung aufweisen. Es lassen sich daher keine absoluten Aussagen für die betrachteten Regionen ableiten.

Eine weitere Einschränkung besteht in der Aufteilung der Region in Gemeinden. Auch wenn statistische Daten üblicherweise in Verwaltungseinheiten erhoben werden, stellen Gemeindegrenzen keine realen Grenzen für den Austausch von Energieträgern dar. In der Praxis ist das Energiesystem über diverse Infrastrukturen unabhängig von Gemeindegrenzen vernetzt, sodass sich keine Gemeinde autark versorgen muss oder Engpässe zu fürchten hat, sollten die lokalen Potentiale nicht ausreichen. Die Energiebilanz auf Gemeindeebene stellt daher lediglich ein theoretisches Konzept dar, welches regionale Zusammenhänge von Energiegewinnung und -verbrauch darstellen kann. Für politische Prozesse und Strategieentwicklung auf lokaler Ebene kann diese Betrachtungsebene dennoch einen nützlichen Baustein liefern.

Das Ergebnis der Clusteranalyse im Rheinischen Revier ist eine Einteilung der Gemeinden in vier (Status Quo) bzw. fünf Cluster (Dynamisierung für das Jahr 2045), die sich in den drei Kriterien jeweils eindeutig von den übrigen Clustern unterscheiden. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Status Quo und der Dynamisierung ist der Übergang einiger Gemeinden von als vorwiegend zentral klassifizierten Clustern hin zu weniger zentralen Clustern. Das liegt vor allem an einem verstärkten Zubau von dezentralen Technologien wie Wärmepumpen, welcher im zugrunde liegenden Szenario für die Erreichung der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 angenommen wurde.

Die Ergebnisse können somit einen Überblick bieten, welche Pfade zur Dekarbonisierung der Energieversorgung in den Gemeinden jeweils maßgeblich sein können. In dezentralen Gemeinden (Cluster „Industriell/dezentral“, „Dezentral“ sowie teilweise auch „Mischtyp“) wird Raumwärme zukünftig hauptsächlich über Wärmepumpen bereitgestellt, während im Bereich Wasserstoff dezentrale Lösungen zur Produktion und Eigenversorgung bzw. Versorgung benachbarter Gemeinden eine Rolle spielen könnten. In hoch verdichteten Gebieten (Cluster „Zentral“) und insbesondere in der Nähe industrieller Zentren (Cluster „Industriell/zentral“) können Wärmenetze dagegen einen größeren Anteil an der Wärmeversorgung einnehmen. Hier ist auch eine zentrale, großskalige Produktion von Wasserstoff wahrscheinlicher, da große Verbraucher und Infrastrukturen vorhanden sind. Die Nähe zu großskaligen Verbrauchern, Erzeugern oder Infrastrukturen für Wasserstoff kann außerdem einen Einsatz von Wasserstoff in der Raumwärme begünstigen, was an abgelegeneren Orten und in großer Entfernung zur Industrie zunehmend unwahrscheinlich wird. Neben der Clusteranalyse gibt die Energiebilanz zudem einen Überblick über das Verhältnis von Energiebedarf und lokalen Potentialen.

Neben Auswirkungen auf die lokale Planung auf Gemeindeebene können aus den erhobenen Daten und durchgeführten Analysen auch Implikationen für die regionale Ebene abgeleitet werden. Aus den Ergebnissen der Energiebilanz können Verbrauchs- und Erzeugungsschwerpunkte von Regionen identifiziert werden. Daraus wiederum können Erfordernisse für den Ausbau von Infrastrukturen für den Energietransport abgeleitet werden. Anhand der Ergebnisse kann so beispielsweise eine Bewertung der bestehenden Planung für das H_2-Kernnetz aus Sicht der regionalen Verbraucher vorgenommen werden. Diese Planung erfasst die wesentlichen Verbrauchsschwerpunkte und industriellen Zentren, lässt einige energieintensive Gemeinden im Norden des Untersuchungsgebietes jedoch außen vor, sodass für diese Akteure andere Lösungen gefunden werden müssen. Sind die entsprechend benötigten Infrastrukturen nicht vorhanden oder in Planung, sollten lokale Akteure ein besonderes Augenmerk darauflegen und den Ausbau vorantreiben.

5 Ausblick und Forschungsbedarf

Die für die Typisierung genutzten Datensätze stehen nicht flächendeckend auf Gemeindeebene zur Verfügung. Insbesondere Daten zu Potentialen für Erneuerbare Energien und Energieverbrauchsdaten stehen teilweise nur auf Kreisebene oder Bundesebene zur Verfügung. Beispiele dafür sind der Stromverbrauch oder die Temperaturniveaus in Prozessen der Industrie. Für die Erarbeitung regionaler Pläne zur Transformation ist eine Kenntnis über diese Daten jedoch unabdingbar. Es sollte daher eine Verbesserung der Datenbasis auf niedrigeren Verwaltungsebenen angestrebt werden. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass grundsätzlich Konflikte mit dem Datenschutz bestehen können, wenn Rückschlüsse auf den Energieverbrauch einzelner Institutionen oder Unternehmen möglich sind.

Das Konzept der Typisierung könnte darüber hinaus auf niedrigere Betrachtungsebenen als die Gemeindeebene angewendet werden, um eine genauere lokale Auflösung zu erreichen. Dadurch könnten etwa lokale Synergien zwischen verfügbaren Wärmequellen und dem Bedarf von Wohn- oder Industriegebieten identifiziert werden. Zudem ließe sich zwischen dicht besiedelten Stadtzentren und dünn besiedelten Außenbezirken unterscheiden. Hierbei gibt es allerdings erhebliche Herausforderungen in Bezug auf die Datenbeschaffung.

Wie bereits in Kapitel 4 angedeutet, könnte auch die Einbeziehung von weiteren Regionen helfen, ein objektives Bild vom Rheinischen Revier zu zeichnen. Es könnten beispielsweise ganz Nordrhein-Westfalen oder alternativ andere Braunkohlereviere im Osten Deutschlands einbezogen werden, um darzustellen, wie das Rheinische Revier in Bezug auf Energiebedarf oder Infrastrukturen im Vergleich aufgestellt ist. Eine weiterführende Arbeit könnte sich zudem tiefgreifender damit beschäftigen, welche spezifischen Transformationspfade den in der Clusteranalyse identifizierten Typen zugeordnet werden können. Die Rolle von Wasserstoff, der Ausbau von Wärmenetzen und Implikationen auf weitere Energieinfrastrukturen könnten mögliche zu untersuchende Fragestellungen sein.

5.1 Vertiefung: Verknüpfung von Infrastrukturen und Energiebilanz

Um das vorgestellte Konzept der Typisierung auf das Rheinische Revier anwenden zu können, wurde eine große Bandbreite verschiedener Daten zu der Region erhoben. Aus diesen Daten lassen sich zahlreiche weitere Erkenntnisse ableiten, welche in vertiefenden Analysen oder zukünftiger Strategieentwicklung Anwendung finden können. Ein Beispiel für eine solche Vertiefung ist die die Verschneidung der Ergebnisse aus der Energiebilanz mit Daten zu Infrastrukturen. Daraus kann beispielsweise die Erkenntnis generiert werden, welches Narrativ (z.B. weitgehende Autarkie oder starke Abhängigkeit von Energieträgern aus der Region) für die zukünftige Versorgung in einer Gemeinde vorherrscht. Damit geht der Versuch einher, einen Beitrag zur Beantwortung der Frage zu leisten, wie sich eine Gemeinde in Zukunft mit Energie versorgen kann. Diese Ergebnisse können eine Orientierung bieten, auch wenn Versorgungsaufgaben in der Realität nicht an Gemeindegrenzen enden.

In Abbildung 10 und Abbildung 11 wird in Form einer Heatmap zunächst exemplarisch dargestellt, inwiefern in den Gemeinden im Rheinischen Revier eine Anbindung an Infrastrukturen für die Strom- und Wasserstoffversorgung besteht bzw. zukünftig damit zu rechnen ist. Hier bietet sich bereits ein Überblick, in welchen Regionen voraussichtlich eine ausreichende Anbindung an Infrastrukturen vorliegt und wo weiße Flecken der Infrastrukturplanung liegen.

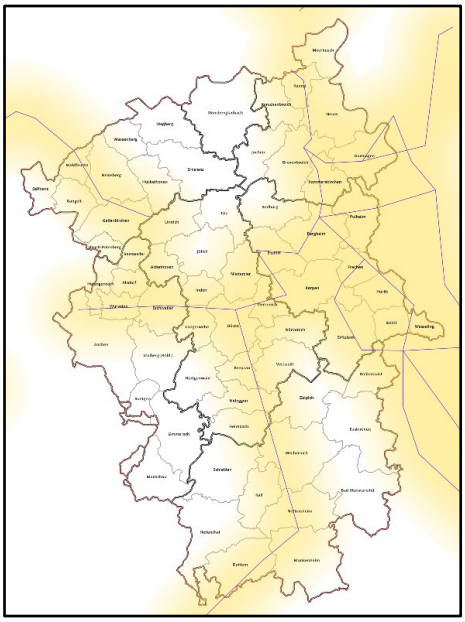

Abbildung 11: Heatmap Strom-Übertragungs-netz.

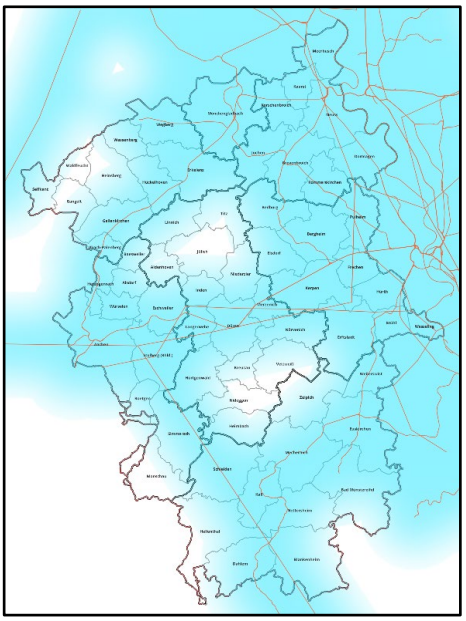

Abbildung 10: Heatmap Infrastrukturen für den H_2-Transport.

Im Folgenden werden diese Informationen zur Anbindung der Gemeinden an Energieinfrastrukturen mit den Ergebnissen der Energiebilanz für das Jahr 2045 (siehe Abbildung 8) verschnitten. Sowohl eine gute Anbindung an Infrastrukturen als auch eine positive Energiebilanz erhöhen die lokale Verfügbarkeit von Energieträgern. Bei Vorliegen einer positiven Energiebilanz in Kombination mit einer guten infrastrukturellen Anbindung kann darüber hinaus auch der Export von Energieträgern eine Option sein. Der Begriff Export versteht sich in diesem Zusammenhang lediglich als Transport von Energieträgern über die Gemeindegrenzen hinaus und ist nicht als Transport in andere Regionen oder Länder zu verstehen.

Die Gemeinden wurden auf dieser Basis in verschiedene Kategorien eingeteilt. Der Grundgedanke dieser Kategorisierung ist die Vorstellung, dass eine Gemeinde, welche gute infrastrukturelle Voraussetzungen besitzt, überschüssige Energie in Form von Strom oder Wasserstoff (je nach verfügbaren Infrastrukturen) in andere Gemeinden exportieren bzw. ein Defizit über den Import aus anderen Gemeinden decken kann. Im Fall einer unzureichenden Anbindung an Energieinfrastrukturen kann überschüssige Energie nicht exportiert werden bzw. ein Defizit nicht durch Importe ausgeglichen werden, sodass die zukünftige Energieversorgung hier vor besonderen Herausforderungen stehen könnte. Abbildung 12 zeigt das Ergebnis dieser Auswertung.

Insgesamt ergeben sich acht unterschiedliche Ausprägungen. Darunter befinden sich drei Typen von Gemeinden, welche aufgrund ihrer positiven Energiebilanz, überschüssige Energie - je nach verfügbaren Infrastrukturen in Form von Strom oder Wasserstoff - über ihre Gemeindegrenzen hinaus exportieren könnten. Einige Gemeinden haben sogar Zugang zu beiden Infrastrukturen, sodass ein Export sowohl in Form von Strom als auch Wasserstoff denkbar wäre. Der vierte in der Abbildung eingeführte Gemeindetyp besitzt zwar eine positive Energiebilanz, jedoch keine ausreichenden Infrastrukturen, sodass eine mehr oder weniger isolierte Eigenversorgung wahrscheinlich ist. Die übrigen vier

Gemeindetypen in Abbildung 12 haben eine negative Energiebilanz, sodass hier je nach verfügbaren Infrastrukturen ein Import von Strom bzw. Wasserstoff aus benachbarten Gemeinden wahrscheinlich ist. Im achten Gemeindetyp, welcher in der Legende ganz unten dargestellt ist (rot schraffiert) ist zusätzlich zum lokalen Energiedefizit eine unterdurchschnittliche Anbindung an Energieinfrastrukturen vorhanden, sodass die zukünftige Versorgung hier vor besonderen Herausforderungen steht.

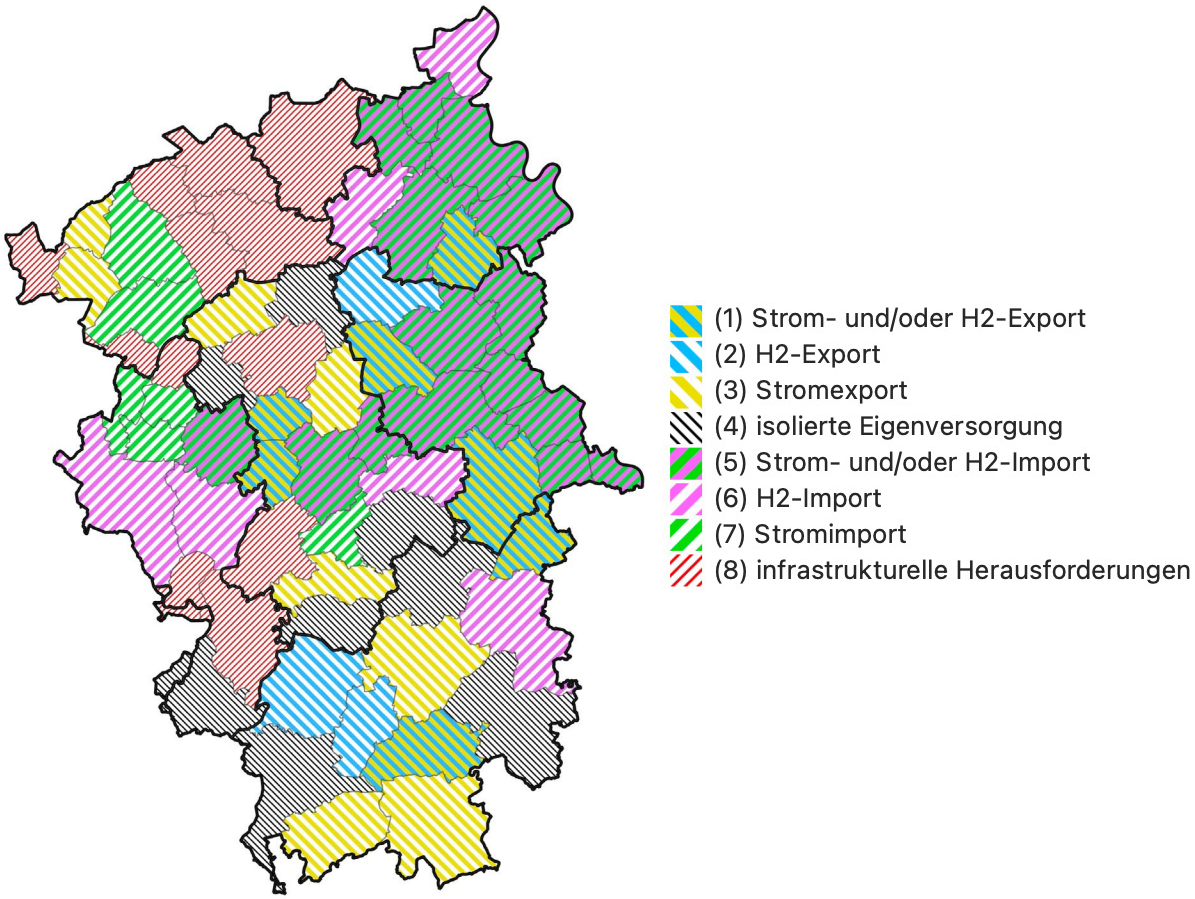

Abbildung 12: Vertiefung Infrastrukturen und Energiebilanz.

Insgesamt ergibt sich aus dieser Auswertung somit ein erster Überblick, welche Herausforderungen oder Chancen in Bezug auf die Beschaffung von Energieträgern bzw. neue Geschäftsmodelle die Transformation für die Gemeinden mit sich bringt. Im Bereich Wasserstoff können daraus beispielsweise konkrete Implikationen für die Standorte von Elektrolyseuren abgeleitet werden. Unter der Annahme, dass die Anlagen aus Sicht des Energiesystems vor allem dort sinnvoll sind, wo abseits von H_2-Infrastrukturen ein Bedarf an Wasserstoff besteht oder wo große Mengen erneuerbaren Stroms in Kombination mit H_2-Transportinfrastrukturen vorliegen, wären Standorte in den Kategorien (1), (2) und (7) zu bevorzugen.

Gerade in der Übergangs- bzw. Hochlaufphase kann auch ein Transport von Wasserstoff in Trailern via LKW einen relevanten Beitrag zur Versorgung leisten. Für größere Mengen wird diese Transportoption jedoch zunehmend unwirtschaftlich, sodass diese Option hier nicht berücksichtigt wurde.

Literatur

[1] Dr. Karl Lichtblau, Johannes Ewald, Dr. Thorsten Lang, Prof. Wolfgang Schroeder, und Prof. Dr. Daniel Buhr, „Transformationsstrategien für besonders betroffene Regionen: Identifizierung und Bewertung“, IW Consult GmbH, 2022. Zugegriffen: 21. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://issuu.com/bdi-berlin/docs/20221221_studie_endbericht_transformationsnetzwerk

[2] Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek, Prof. Dr.-Ing. Hartmut Krause, Dr.-Ing. Rolf Albus, und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert Moser, „Potenzialstudie von Power-to-GasAnlagen in deutschen Verteilungsnetzen (Kurzfassung)“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Jan. 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g201617-ptg-potenziale-verteilnetze-kurzfassung.pdf

[3] Bertelsmann Stiftung, „Typisierung - Wegweiser Kommune“. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wegweiser-kommune.de/demografietypen

[4] FNB Gas, „Wasserstoff-Kernnetz“. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/

[5] H2 Inframap, „H2 Infrastructure Map Europe“. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.h2inframap.eu/

[6] Dr. Thorsten Spillmann, Dr. Christoph Nolden, Prof. Dr. Mario Ragwitz, Natalia Pieton, Philipp Sander, und Liane Rublack, „Wasserstoff-Verteiloptionen 2035 - Versorgungsmöglichkeiten von Verbrauchsstandorten in Deutschland mit importiertem Wasserstoff“, Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG, Jan. 2024. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/6146ed5e-d744-4eeb-a358-81403eaa9caa/content

[7] „Monitoringbericht 2023“, Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Nov. 2023. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/MonitoringberichtEnergie2023.pdf

[8] Johann Bacher, Andreas Pöge, und Knut Wenzig, *Clusteranalyse: Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren*. Linz, Bielefeld, Bamberg: Oldenbourg, 2010. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/234112250_Clusteranalyse_Anwendungsorientierte_Einfuhrung_in_Klassifikationsverfahren#fullTextFileContent

[9] „BEE-Wärmeszenario 2045 - Bilanzielle Darstellung der Umstellung der Wärmeversorgung auf 100 % Erneuerbare Energien“, Bundesverband Erneuerbare Energie e.V, Nov. 2022. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bee-ev.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Meldungen/Positionspapiere/2022/20221117_BEE-Waermeszenario-2045_Final.pdf

[10] Larissa Doré *u. a.*, „Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2045 Ein Szenario aus dem Projekt SCI4climate.NRW“, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH & Institut der deutschen Wirtschaft, Wuppertal, März 2023. Zugegriffen: 26. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://sci4climate.nrw/wp-content/uploads/2023/12/Dore-et-al_2023_Treibhausgasneutralitaet-in-Deutschland-bis-2045-SCI4climate.NRW_.pdf

[11] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, „Energieatlas NRW“. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.energieatlas.nrw.de/site

[12] Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, „Fortschreibung der Energieversorgungsstrategie Nordrhein-Westfalen“, Dez. 2021. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/documents/2021-12-16_fortschreibung_evs_nrw_veroeffentlichung.pdf

[13] DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V., „DIW Wochenbericht“, Berlin, 29+30/2021, Juli 2021. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.821870.de/21-29-1.pdf

[14] Peter Mellwig, Julia Lempik, Sebastian Blömer, und Martin Pehnt, „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 - Treibhausgasneutrale Hauptszenarien Modul Gebäude“, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI & Consentec GmbH, Okt. 2021. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS-Gebaeude.pdf

[15] Sven Kreidelmeyer, Hans Dambeck, Dr. Almut Kirchner, und Marco Wünsch, „Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger“, Prognos AG, Mai 2020. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/transformationspfade-fuer-strombasierte-energietraeger.pdf?__blob=publicationFile

[16] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, „Langfristszenarien“. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/

[17] Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie und des Landes Nordrhein-Westfalen, „Land und 50 Kommunen, Energie-Unternehmen und Projektträger schließen Gigawattpakt für Erneuerbare im Rheinischen Revier“. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wirtschaft.nrw/pressemitteilung/gigawattpakt-rheinisches-revier

[18] Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, „Masterplan Geothermie“, Düsseldorf, Apr. 2024. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wirtschaft.nrw/system/files/media/document/file/masterplan_geothermie_langfassung.pdf

[19] Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen - Statistisches Landesamt -, „Landesdatenbank Nordrhein-Westfalen“. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.landesdatenbank.nrw.de/ldbnrw/online

[20] Johannes Emmermann, „Masterarbeit: Cluster aus regionalen Energiebedarfsstrukturen ableiten – eine konzeptionelle Grundlage für die zukünftige Energieinfrastrukturplanung“. Mai 2024.

[21] Deutsche Bahn AG, „DB Open Data Infos“. Zugegriffen: 11. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://subdomain.deutschebahn.com/opendata

[22] Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, „GDWS - Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen“. Zugegriffen: 11. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/service/karten/03_VerkNet-BWaStr/VerkNet-BWaStr_node.html

[23] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, „Raumordnungsprognose 2045“. Zugegriffen: 27. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/fachbeitraege/raumentwicklung/raumordnungsprognose/rop/01-start.html

Anhang

Datenbeschaffung im Status Quo

Bevölkerungszahlen

Die Bevölkerungszahlen der Gemeinden werden der Landesdatenbank NRW für den Stichtag 31.12.2022 entnommen [19].

Raumwärmebedarf + Warmwasser

Die Bedarfe für Raumwärme und Warmwasser werden dem Energieatlas NRW [11] entnommen.

Prozesswärmebedarf <500 °C & >500 °C

Der Gesamtbedarf an Prozesswärme je Gemeinde kann dem Energieatlas NRW [11] entnommen werden. Da hier nicht zwischen verschiedenen Temperaturniveaus unterschieden wird, wurde im Rahmen einer Masterarbeit am Wuppertal Institut das Deutschland-weite Verhältnis zwischen Hoch- und Niedertemperaturwärme herangezogen, um die benötigte Wärme oberhalb bzw. unterhalb von 500 °C zu bestimmen [20].

Strombedarf

Zur Ermittlung des Strombedarfs wurden die Bedarfe für die Sektoren Industrie, Haushalte, GHD und Verkehr gesondert betrachtet. Strombedarfe der Industrie wurden im Rahmen einer Masterarbeit am Wuppertal Institut anhand von Daten zu Beschäftigungszahlen der verschiedenen Wirtschaftszweige in Deutschland und in den entsprechenden Gemeinden sowie bundesweiten Daten zu Strombedarfen der Wirtschaftszweige disaggregiert. Der Strombedarf der Haushalte wurde dagegen aus Daten zu Anzahl und Größe von Haushalten in den Gemeinden sowie aus bundesweiten Daten zum Stromverbrauch der Haushalte bestimmt. Die Bedarfe für die Bereiche GHD und Verkehr wurden als proportional zum Verbrauch der Haushalte angenommen und aus bundesweiten Zahlen für die einzelnen Gemeinden abgeleitet [20].

Nicht-energetischer Bedarf

Der nicht-energetische Bedarf an Energieträgern wurde im Rahmen einer Masterarbeit am Wuppertal Institut analog zum Stromverbrauch der Industrie anhand von Daten zu Beschäftigungszahlen der chemischen Industrie (Wirtschaftszweig 20) in Deutschland und in den entsprechenden Gemeinden sowie bundesweiten Daten zum Bedarf des Wirtschaftszweigs an Energieträgern für die stoffliche Nutzung disaggregiert [20].

Bedarf von Energieträgern im Verkehr

Der Bedarf an Energieträgern, welche im Verkehrssektor eingesetzt werden, wurde im Rahmen einer Masterarbeit am Wuppertal Institut anhand von bundesweiten sowie regionalen Daten zu vorhandenen Tankstellen sowie bundesweiten Daten zum Kraftstoffabsatz auf die einzelnen Gemeinden disaggregiert [20].

Anteile Energieträger zur Raumwärmebereitstellung

Die Anteile verschiedener Energieträger (Gas, Öl, Strom, Fernwärme, erneuerbare Wärme) an der Bereitstellung für Raumwärme und Warmwasser werden dem Energieatlas NRW [11] entnommen.

Infrastrukturen

Die Entfernung der Gemeinden von den verschiedenen Infrastrukturen wurde im Rahmen dieser Studie anhand von GIS-Layern zu den jeweiligen Infrastrukturen berechnet. Für die Eisenbahnstrecken [21][6] sowie die Bundeswasserstraßen [22] wurden öffentlich zugängliche Daten verwendet. Informationen zum geographischen Verlauf von Strom-Übertragungsnetzen und dem Wasserstoff-Kernnetz stammen aus internen Daten bzw. wurden öffentlich bekannten Planungen zum Wasserstoff-Kernnetz und European Hydrogen Backbone entnommen [4], [5].

IST-Erzeugung und Potentiale lokaler, Erneuerbarer Energien

Die IST-Erzeugung sowie das Potential lokaler, Erneuerbarer Energiequellen in den einzelnen Gemeinden werden dem Energieatlas NRW [11] entnommen.

Datenbeschaffung in der Dynamisierung

Die nachfolgenden Faktoren wurden für 2045 recherchiert oder anhand verschiedener Szenarien berechnet

Bevölkerungszahlen

Die Bevölkerungsentwicklung auf Landkreisebene wird der Raumordnungsprognose 2045 [23] entnommen und die durchschnittliche Entwicklung auf die jeweiligen Gemeinden der Landkreise im Betrachtungsraum angewandt.

[6] Der Zugriff und Download der Daten erfolgten am 11.01.2024; mittlerweile wurden die Daten umgezogen

Raumwärmebedarf + Warmwasser

Die Bedarfe für Raumwärme und Warmwasser werden dem Energieatlas NRW [11] entnommen (Szenario C).

Prozesswärmebedarf <500 °C & >500 °C

Der Gesamtbedarf an Prozesswärme je Gemeinde kann dem Energieatlas NRW [11] entnommen werden. Da hier nicht zwischen verschiedenen Temperaturniveaus unterschieden wird, wird vereinfachend angenommen, dass das zuvor bestimmte Verhältnis aus Hoch- und Niedertemperaturwärme bis ins Jahr 2045 bestehen bleibt. Die Prozesswärmebedarfe über sowie unter 500 °C werden entsprechend als Anteile an dem vom LANUV angegebenen Prozesswärmebedarf berechnet.

Strombedarf

Für die Dynamisierung des Strombedarfs wurden jeweils Annahmen für die Entwicklung in den Sektoren Industrie, Haushalte, GHD und Verkehr getroffen. Diese basieren auf dem O45-Strom Szenario der BMWK Langfristszenarien [16]. Die gesamte Annahme für das Jahr 2045 ergibt sich somit als Summe aus den Projektionen der einzelnen Sektoren.

Nicht-energetischer Bedarf

Die Veränderung des nicht-energetischen Bedarfs an Energieträgern in der Industrie wird ebenfalls anhand des O45-Strom Szenarios der BMWK Langfristszenarien [16] modelliert. Es ergibt sich somit, ausgehend von den jeweiligen Bedarfen der Gemeinden im Status Quo, eine Absenkung um etwa 17 %.

Bedarf von Energieträgern im Verkehr

Der Bedarf an Energieträgern für den Verkehrsbereich im Jahr 2045 wird ebenfalls mithilfe des O45-Strom Szenarios der BMWK Langfristszenarien [16] berechnet, was zu einer Absenkung der Bedarfe um 75 % führt.

Anteile Energieträger zur Raumwärmebereitstellung

Die Anteile, die die jeweiligen Energieträger an der gesamten Raumwärmebereitstellung einnehmen, hängen stark von den lokalen Gegebenheiten ab. Hier spielt beispielsweise eine Rolle, ob bereits Wärmenetze zum Einsatz kommen und wie verdichtet ein Gebiet ist. Für das Jahr 2045 werden die Anteile für jede Gemeinde einzeln modelliert. Für den Fall, dass Wärmenetze bereits bestehen und eine Gemeinde dicht besiedelt ist, wird verstärkt auf Wärmenetze gesetzt, in weniger dicht besiedelten Gemeinden verstärkt auf Wärmepumpen. Über das betrachtete Gebiet hinweg werden so im Mittel Anteile erreicht, welche dem O45-Strom Szenario der BMWK Langfristszenarien [16] entsprechen. Es erfolgt hier keine Wärmebereitstellung mehr über fossile Energieträger. 24 % der Wärme werden durch Strom bereitgestellt, 17 % über Wärmenetze und 59% aus Erneuerbaren Energien und Umgebungswärme.

Infrastrukturen

Im Bereich der Infrastruktur werden die Planungen für das Wasserstoff-Kernnetz [4] sowie für das European Hydrogen Backbone [5] berücksichtigt. Zukünftige Entwicklungen der Eisenbahnstrecken, Bundeswasserstraßen und der Ausbau der Stromnetze werden im Rahmen der Typisierung nicht betrachtet.