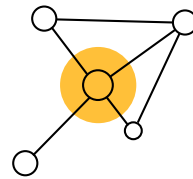
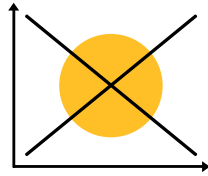
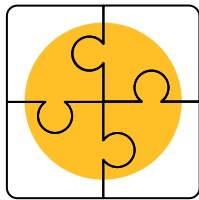
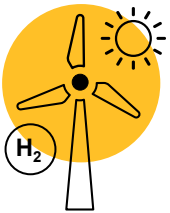


Fokusgebiete als Konzept der kommunalen Wärmeplanung

Gefördert durch:

Förderinitiative Wärmewende der Gesellschaft zur Förderung des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln e.V.



**Energiewirtschaftliches Institut an der
Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

Tel.: +49 (0)221 277 29-100

Fax: +49 (0)221 277 29-400

<https://www.ewi.uni-koeln.de>

Verfasst von:

Dr. Johanna Bocklet (Projektleitung)

Lena Pickert

Philipp Theile

Patricia Wild

Cordelia Frings

Bitte zitieren als:

EWI (2022) Fokusgebiete als Konzept der kommunalen Wärmeplanung.

Zusammenfassung

1. Regionale Wärmewende: Motivation, politische Rahmenbedingungen und Akteure
2. Energieträgerverfügbarkeiten als Herausforderung für die Wärmewende
3. Kriterienkatalog Fokusgebiete
4. Levelized Cost of Heating (LCoH)

Literaturverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

Zusammenfassung

In dieser Studie wird das Konzept der Fokusgebiete als Ansatz der kommunalen Wärmeplanung zur Erreichung der Klimaneutralität des Wärmesektors diskutiert. Auf Basis der Wärmegestehungskosten (*Levelized Cost of Heating, LCoH*) werden diverse Wärmetechnologien verglichen. Basierend auf den LCoH werden für sechs exemplarische Gebiete in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2023 Wärmeversorgungslosungen errechnet.

Fokusgebiete als Konzept der kommunalen Wärmeplanung

Um die Herausforderungen die Heterogenität der Wärmeversorgung sowie die aktuell fehlenden Koordinationsanreize zu adressieren kann die kommunale Wärmeplanung das Konzept der Fokusgebiete nutzen.

Ein **Fokusgebiet** beschreibt einen geographisch abgegrenzten Bereich, in dem eine Wärmeversorgungslosung priorisiert wird. Anhand diverser Eigenschaften eines Gebiets kann so eine möglichst effiziente strategische Wärmeplanung inklusive der benötigten Infrastruktur erfolgen.

Die Akteure der Wärmewende

Für das Erreichen einer klimaneutralen Wärmeversorgung ist eine kommunale Wärmeplanung unter Einbeziehung lokaler Akteure ein wichtiges Instrument. Relevante Akteure, die in die kommunale Wärmeplanung miteinbezogen werden müssen sind:

- Kommunen, Gemeinden und Städte,
- Eigentümer*innen,
- lokale und regionale Energieversorgungsunternehmen.

Instrumente zur Umsetzung von Fokusgebieten

Das Konzept der Fokusgebiete kann formell über Vorranggebiete oder alternativ informell über Koordinationsgebiete umgesetzt werden. Es existieren bereits diverse regulatorische Instrumente, die Kommunen helfen Fokusgebiete in die kommunale Wärmeplanung zu integrieren, z.B. der Flächennutzplan (BauGB) oder der Gestattungsvertrag.

Kriterienkatalog Fokusgebiete

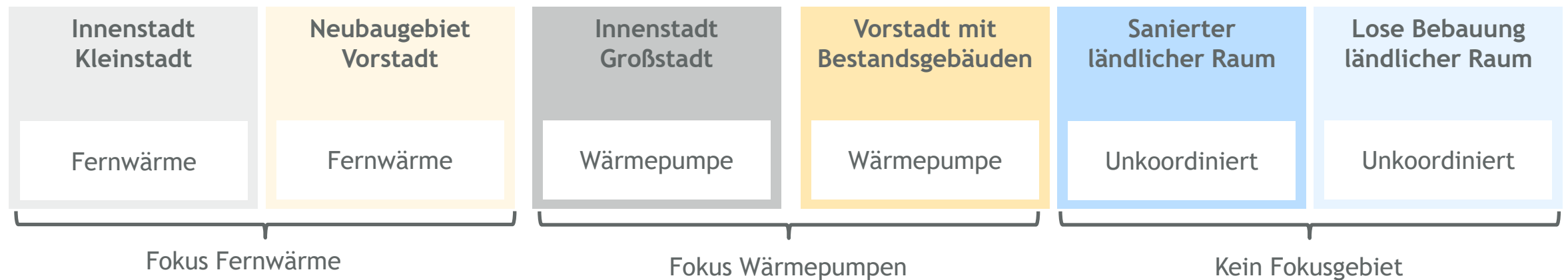
Zur Umsetzung von Fokusgebiete wurde ein Kriterienkatalog entwickelt. Dieser sieht eine umfassende Analyse der lokalen Potenziale und Bedarfe vor.

1. *Überblick der verfügbaren Erzeugungstechnologien*
 2. *Analyse der Bestandsinfrastruktur, des Wärmebedarfs und des regionalen Erzeugungspotenzials*
 3. *Wahl der spezifischen Wärmeerzeugungstechnologieoptionen*
 4. *Analyse der regionalen Transformationsleistung, Identifikation von volkswirtschaftlichen Hemmnissen, nationaler Förderung, ggf. Anpassung der verfügbaren Erzeugungstechnologien*
 5. *Berechnung der LCoH für verfügbare Erzeugungstechnologien*
- Definition eines Fokusgebietes, inkl. Vorrangtechnologien und strategischer Infrastrukturplanung

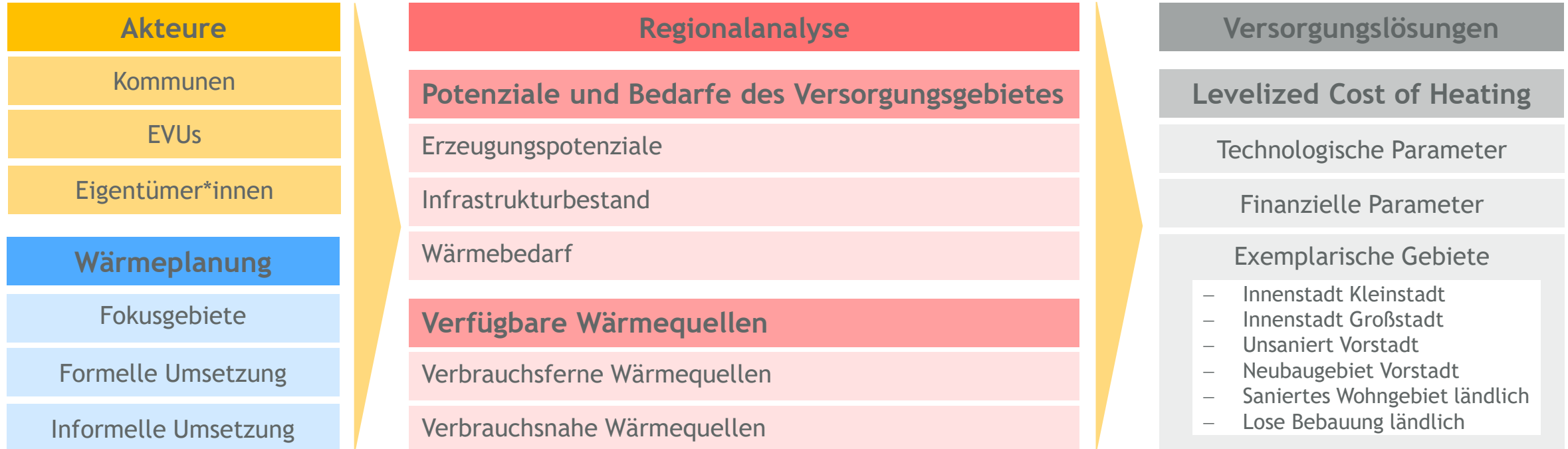
Zusammenfassung

Ergebnisse der Berechnung der Levelized Cost of Heating für Beispielregionen

- 1) Bei besonderen Möglichkeiten der Nutzung von Fernwärmepotentialen (im Beispiel realisiert durch kostengünstige Abfallverbrennung) ergeben sich besonders niedrige Kosten bei der Implementierung von Fernwärme. Gekoppelt mit erhöhten Bebauungsdichten, die die Kosten für den Fernwärmenetzausbau reduzieren, entsteht ein Fokusgebiet für Fernwärme.
- 2) Fokusgebiete Wärmepumpen ergeben sich besonders bei hohen Anteilen von Mehrfamiliengebäuden. Die spezifischen Kosten von Wärmepumpen sinken mit ihrer relativen Größe. So können sie vorteilhaft gegenüber Gas-Systemen sein.
- 3) In den Beispielgebieten im ländlichen Raum lässt sich durch die LCoH keine klare Bevorzugung von Technologien erkennen. Kurzfristig ist die Einrichtung eines Fokusgebietes hier nicht sinnvoll.



Grafisches Abstract



1. Regionale Wärmewende: Motivation, politische Rahmenbedingungen und Akteure

1.1 Motivation

1.2 Akteure der Wärmewende

1.3 Instrumente der Wärmeplanung

1.4 Herausforderungen der Wärmewende

Fokusgebiete als Konzept der Wärmewende

Um die Klimaziele im Gebäudesektor zu erreichen, sieht das Sofortprogramm Klimaschutzmaßnahmen für den Gebäudesektor u.a. ein **Gesetz für kommunale Wärmeplanung** vor (BMWK & BMWSB, 2022).

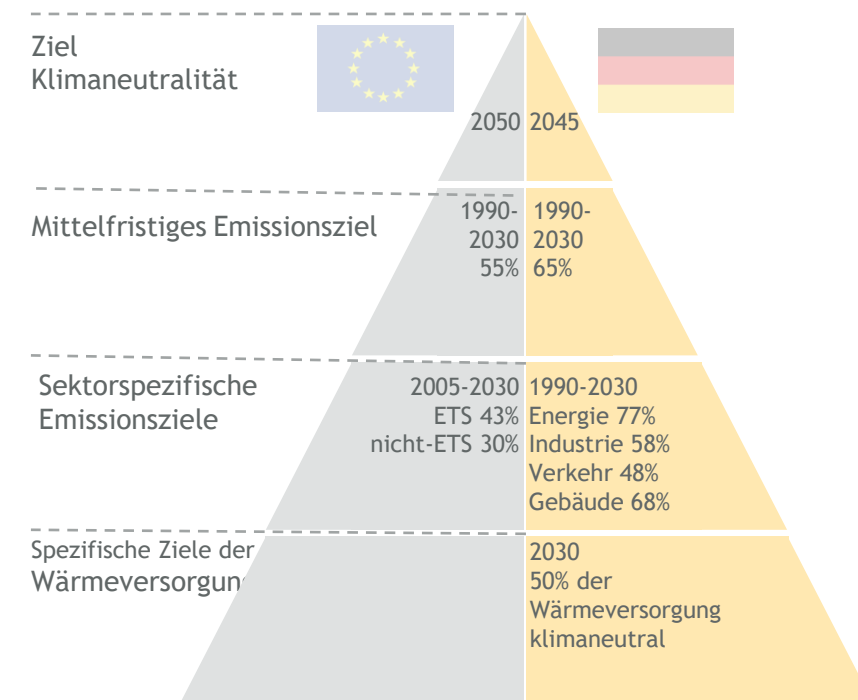
Um die Herausforderungen, die die Heterogenität der Wärmeversorgung sowie die aktuell fehlenden Koordinationsanreize zu adressieren kann die kommunale Wärmeplanung das Konzept der Fokusgebiete nutzen:

Ein Fokusgebiet beschreibt einen geographisch abgegrenzten Bereich, in dem eine Wärmeversorgungslösung priorisiert wird. Anhand diverser Eigenschaften eines Gebiets kann so eine möglichst effiziente **strategische Wärmeplanung** inklusive der Bereitstellung der benötigten Infrastruktur erfolgen.

Die Entwicklung und Umsetzung von Fokusgebieten ist ein strategischer und langfristiger Prozess, um das Ziel einer **klimaneutralen Wärmeversorgung** zu verfolgen und gleichzeitig die **Kosten der Wärmewende zu reduzieren**. Das Konzept der Fokusgebiete baut auf den **existierenden Strukturen der Wärmeversorgung**, inklusive der vorhandenen Infrastruktur sowie existierender lokaler Wärmequellen auf und erweitert diese. Dabei werden zum einen die verfügbaren klimaneutralen Wärmequellen in den Blick genommen und die vorliegenden Transformationskapazitäten berücksichtigt.

Die Wärmewende umfasst die Transformation des gesamten Wärmeverbrauchs. In diesem Projekt liegt der Fokus jedoch auf **Wohn- und Bestandsgebäuden**. Industrie spielt allerdings als Abwärmequelle eine wichtige Rolle für den Wohngebäudesektor und wird als solche berücksichtigt..

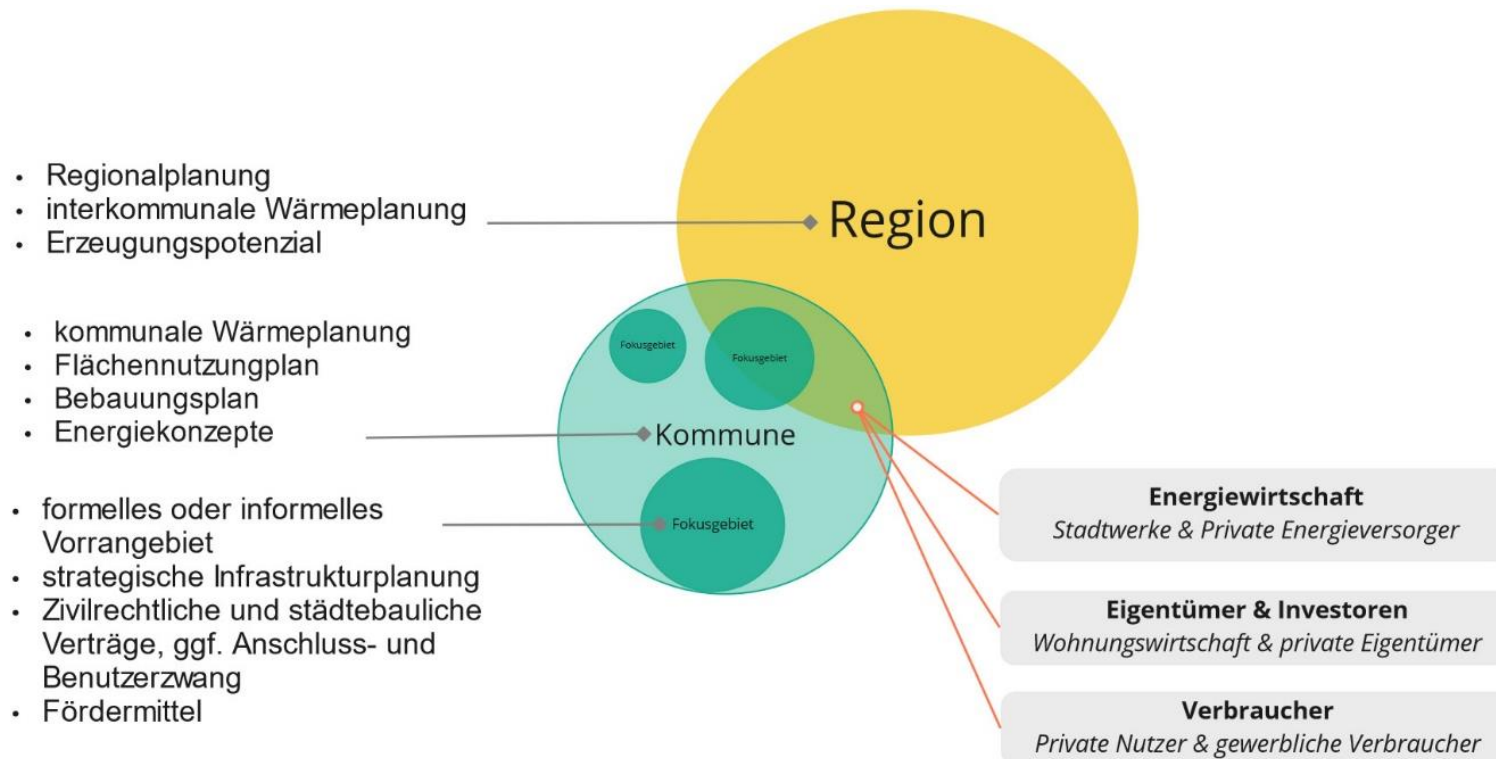
Klimaziele in der Wärmeversorgung



Quelle: Eigene Darstellung

Dimensionen der Wärmeplanung

Die kommunale Wärmeversorgung ist mit komplexen Akteurs-Strukturen konfrontiert. Diverse lokale und regionale Akteure spielen eine wichtige Rolle in der kommunalen Wärmewende. **Kommunen, Gemeinden und Städte** treten dabei als Schlüsselakteure auf. Zudem müssen weitere Akteure von der Kommune in den Prozess der Wärmeplanung integriert werden.



- **Private und städtische Unternehmen der Energieversorgung** sind bedeutende Stakeholder.
- Der Austausch mit **Eigentümer*innen und der Wohnungswirtschaft**, ebenso wie mit **privaten und gewerblichen Wärmeverbraucher*innen** ist zentral.
- Die **lokale Industrie und das Gewerbe** ist zu berücksichtigen um lokale Potenziale wie z.B. Abwärmepotenziale der Industrie sowie mögliche Hindernisse z.B. geringe Verfügbarkeit von Unternehmen des Tiefbaus frühzeitig und kontinuierlich zu erörtern.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Kommunale Energieagentur Baden-Württemberg, 2022

Die Rolle der Kommune in der kommunalen Wärmeplanung

Für das Erreichen einer klimaneutralen Wärmeversorgung ist eine kommunale Wärmeplanung unter **Einbeziehung lokaler Akteure** ein wichtiges Instrument.

Langfristige, räumlich abgestimmte Strategien unter Einbeziehung unterschiedlicher kommunaler Akteure müssen entwickelt werden, um die lokalen Potenziale zu nutzen, Koordinationsprobleme zu umgehen und Planungssicherheit zu gewährleisten.

Städte und Gemeinden sind Schlüsselakteure um diesen komplexen Veränderungsprozess aktiv, strategisch und effizient zu gestalten, da sie:

- Über Wissen zu spezifischer wie z.B. lokaler Siedlungs-, Gebäude- und Industriestrukturen, Wärmebedarf und Potenziale erneuerbarer Energien verfügen
- Vielfach Eigentümer der Wegerechte, Infrastruktureinrichtungen und großen Wohnungs- und Gebäudebeständen sind
- Kommune oft Anteilseigner von kommunalen Energieversorgungsunternehmen
- Für die räumliche Planung zuständig sind, über eine Vielzahl von Instrumenten verfügen und über geplante Sanierungsaktivitäten oder Bauarbeiten an Energie-, Ver- und Entsorgungs- sowie Verkehrsinfrastruktur informiert sind
- Durch die räumliche Nähe und den Auftrag der Daseinsvorsorge maßgeblich dazu beitragen können die Akzeptanz für einen Transformationsprozess zu erhöhen



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Ariadne, 2021

Die Rolle von EVUs in der kommunalen Wärmeplanung

Lokale und regionale Energieversorgungsunternehmen (EVUs)¹ versorgen private und gewerbliche Verbraucher*innen mit den leitungsgebundenen Energieträgern Strom, Erdgas und Fern- und Nahwärme. EVUs können in der Erzeugung, dem Handel, der Verteilung und dem Vertrieb von Energie tätig sein. Als Unternehmen der Grundversorgung werden sie von staatlicher Seite stark reguliert. Sowohl private als auch städtische EVUs (z.B. Stadtwerke mit kommunaler Mehrheitsbeteiligung) sind in der kommunalen Energieversorgung tätig. Neben einigen großen EVUs existiert eine Vielzahl kleiner und mittelgroßer Versorgungsunternehmen. Während es sich bei den großen, überregionalen EVUs in der Regel um privatwirtschaftliche Unternehmen handelt, sind öffentliche Akteure (wie Kommunen, Gemeinden, Städte) oftmals Anteilseigner bei kleineren kommunalen EVUs.

EVUs sind bedeutende Stakeholder, die in die Prozesse der kommunalen Wärmeplanung von Anfang an integriert werden müssen. Insbesondere die Fragen des **Ausbaus, Erhalts oder Rückbaus** der **netzgebundenen Wärmeversorgung** müssen eng mit den EVUs erörtert werden. EVUs verfügen über lokale Fachexpertise und Praxiswissen über die technischen Potenziale sowie die Verbrauchsstrukturen von denen kommunale Akteure profitieren können.

Aufgrund des **langfristigen Planungshorizonts und Investitionszyklen**, benötigen EVUs Transparenz in der Wärmeplanung sowie frühzeitig Planungs- und Investitionssicherheit, um Fehlinvestitionen aufgrund fehlender oder sich verändernder regulatorischer Rahmenbedingungen zu vermeiden.

Die Betreiber von Gasnetzen zählen unter anderem auch zu der Kategorie der EVUs. Diese stehen vor großen Veränderungen, und müssen entscheiden, ob ein Gasnetz perspektivisch in ein Wasserstoffnetz umgewidmet oder zurückgebaut wird. Fokusgebiete können bspw. auch bei der **strategischen Nutzung der vorhandenen Gasinfrastruktur** für Planungssicherheit sorgen.

¹ Definiert werden EVUs im §13 Nr. 18 EnWG.

Traditionelle Geschäftsfelder der EVUs



Die Rolle von EVUs in der kommunalen Wärmeplanung - Strategische Nutzung der Gasinfrastruktur


Heute versorgen rund 600 Verteilnetzbetreiber und 16 Fernnetzbetreiber mit 522.000 km Gasnetz rund 12,8 Millionen Haushalte und 1,7 Millionen Gewerbe und Industriekunden mit Gas. 2021 wurden rund 1,7 Mrd. EUR in den Erhalt und den Ausbau des Gasverteilnetzes und rund 1 Mrd. EUR in das Fernleitungsnetz investiert (Bundenetzagentur & Bundeskartellamt, 2022).

Gasnetzbetreiber müssen entscheiden ob sich die **Neuinvestitionen und die Investitionen zum Erhalt des Gasnetzes oder einer Umwidmung in ein Wasserstoffnetz** lohnen und wie diese Investitionen refinanziert werden können. Bislang werden Gasnetze i.R. über einen Zeitraum von **rund 55 Jahren** **abgeschrieben** (FBN Gas, 2022) und erhalten eine Eigenkapitalverzinsung von rund 5% (Bundenetzagentur & Bundeskartellamt, 2022).

Um das deutsche Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen, kann kaum noch Erdgas für die Wärmerversorgung genutzt werden. Synthetische Gase und Wasserstoff werden den heutigen Erdgasverbrauch nicht vollumfänglich ersetzen. Somit ist zu erwarten, dass sich die **Nutzungsdauer für viele Gasnetze deutlich verkürzt**.

Gasnetzbetreibern dürfen die Kosten für Investitionen für die erwartete Nutzungsdauer des Netzes über Netzentgelte auf die Erdgaskund*innen umgelegt (rund 4.6 Milliarden pro Jahr (Agora Energiewende, 2021)). **Je kürzer der Nutzungszeitraum der Netze ist, desto höher somit sind die Netzentgelte.** Und je weniger Gaskund*innen es gibt, desto höher sind die Netzentgelte für die verbleibenden Gaskund*innen. Dadurch ist zu erwarten, dass die Gasnachfrage weiter sinken wird oder EVUs die Kosten des Gasnetzes selber zu finanzieren haben.

Je früher eine Stilllegung von Gasnetzen im Vergleich zur bisher geplanten Nutzungsdauer erfolgt, desto höher sind die außerordentliche Abschreibung für Unternehmen. Unvorhergesehene Abschreibungen führen zu Verlusten. Des Weiteren ist die Refinanzierung der Investitionen ggf. unvollständig, falls die Investitionen nicht mehr über die Netzentgelte gedeckt werden können. Für alle Akteure ist daher (auch auf Grund einer politischen Entscheidung hierzu) unklar, welchen Wert das Gasnetz zukünftig noch haben wird. Dies führt sowohl für Gasnetzbetreiber als auch für Gaskund*innen zu großer Unsicherheit und finanziellen Risiken.

 **Kommunen können durch kommunale Wärmeplanung und insb. der Implementierung von Fokusgebieten für Planungssicherheit sorgen und Fehlinvestitionen und hohe Verluste von EVUs vermeiden. Denn in Absprache mit den Kommunen können EVUs Neuinvestitionen, Ersatzinvestitionen und vereinzelt auch die Stilllegung von Netzen frühzeitig koordinieren.**

Die Rolle der Eigentümer*innen in der kommunalen Wärmeplanung

Das Investitions- und Nutzungsverhalten von Verbraucher*innen ist für die Transformation der Wärmeversorgung von großer Bedeutung. Für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung sind neben staatlichen Anreizen auch massive private Investitionen notwendig. (Private) Investitionsentscheidungen im Wärmesektor sind allerdings äußerst komplex. Zahlreiche Entscheidungen z.B. über die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen oder den Wechsel der Wärmeversorgungstechnologie, den Umfang und Zeitpunkt der Maßnahme werden - innerhalb des gesetzlichen Rahmens - individuell von den Verbrauchenden getroffen. Diese **Investitionsentscheidungen sind sehr heterogen**.

Haushalte sind neben der Industrie die zentralen Verbraucher*innen von Wärme. Damit spielen sie eine wichtige Rolle in der Wärmewende. Dabei gibt es deutliche Unterschiede innerhalb der Akteursgruppe Haushalte, die u.a. mit den Eigentumsverhältnissen und dem Gebäudetyp zusammenhängen.

Der Austausch mit **Eigentümer*innen und der Wohnungswirtschaft**, ebenso wie mit **privaten und gewerblichen Wärmeverbraucher*innen** ist zentral, um auch ihnen frühzeitig Planungssicherheit zu geben um evtl. notwendige Investitionen zu tätigen und gemeinsam eine kosteneffiziente und sozial vertretbare Lösung zu erarbeiten. Zum einen entscheiden Eigentümer*innen, im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben, individuell über das genutzte Heizsystem, über den Gebäudezustand oder die Umsetzung von Umbau-, Sanierungs- und effizienzsteigernden Maßnahmen. Zum anderen werden bestimmte Parameter, wie z.B. der Wärmebedarf, das Verbrauchprofil, die Flexibilität der Nachfrage individuell von den Verbraucher*innen definiert.

Um Sanierungsmaßnahmen oder Heiztechnologiewechsel umzusetzen benötigen, Eigentümer*innen Planungs- und Investitionssicherheit. Die kommunale Stelle muss daher gegenüber den Eigentümer*innen besonders transparent agieren. Auch Koordination zwischen Nachbarn ist dabei sinnvoll und muss gefördert werden, um die Effizienz von zentralen Versorgungslösungen zu steigern..

Im Falle von Eigentümer*innen bzw. Verbraucher*innen ist insbesondere der sozio-ökonomische Faktor zu beachten. Die Sozialverträglichkeit von Konzepten muss bei der kommunalen Wärmeplanung fortwährend berücksichtigt werden. Auch muss hierbei das **Mieter-Vermieter Dilemma** berücksichtigt werden. Wichtig ist hier insbesondere den Verbraucher*innen Informationszugang zu gewährleisten. Kommunale Akteure sollten über Prozesse und Ergebnisse der Wärmeplanung sowie ggf. neutral über dezentrale Versorgungslösungen und Fördermöglichkeiten informiert werden.

Auf Seiten der Wohnungswirtschaft können **kommunale Wohnungsbaugesellschaften und kommunale Eigentümer** eine treibende Rolle übernehmen, da hier kommunale Entscheidungen vereinfacht umzusetzen sind.

Instrumente zur Umsetzung von Fokusgebieten



Folgende bestehende regulatorische Rahmenbedingungen und Gesetze können genutzt werden um Fokusgebiete die kommunale Wärmeplanung zu integrieren:

- **Flächennutzungsplan (BauGB)**
 - Vorgabe zur dezentralen Erzeugung von Wärme
 - Darstellung von Nullenergiegebieten
- **Bebauungsplan (BauGB)**
 - Festsetzung von Versorgungsflächen sowie Flächen für bestimmte Kraftwerkstypen (bspw. EE, KWK) zur zentralen und dezentralen Erzeugung von Wärme
 - Festsetzung von Gebieten, in denen bei der Errichtung von Gebäuden und sonstigen baulichen Anlagen bestimmte Heizungsanlagen zur Erzeugung, Nutzung oder Speicherung von Wärme aus EE oder KWK getroffen werden müssen.
 - Festsetzung des Verlaufs von Wärmenetzen
 - Festsetzung zur Ausrichtung von Neubauten um optimale Voraussetzungen zur Nutzung von bspw. Solarthermie schaffen
- **Anschluss- und Benutzungszwang (Gemeindeordnungen, LandesklimaschutzG, LandesemissionsschutzG, EEWärmeG)**
 - Kommunale Satzungen zur Festlegung eines Anschluss- u. Benutzungszwangs für bestimmte Art Wärmeversorgung mit zentraler Erzeugung
- **Kommunale Satzungen zur Wärmeversorgung (Landesbauordnung)**
 - Festlegung von Heizungs- oder Energiearten oder Brennstoffverwendungsverboten
- **Gestattungsvertrag**
 - Nutzung gemeindeeigener Grundstücke für Fernwärmeleitungen
 - Vereinbarungen über eingesetzte Energieträger bei der Fernwärmeerzeugung



Ansätze zur Umsetzung von Fokusgebieten

Fokusgebiete können mit Hilfe zweier unterschiedlicher Ansätze in die kommunale Wärmeplanung integriert werden. Zum einen ist eine **formelle Umsetzung** über Vorranggebiete mittels regulatorischer Vorgaben eines top-down Ansatzes möglich. Dieser Ansatz der formellen Umsetzung wird z.B. in Zürich genutzt indem eine Energiekarte erarbeitet wird, die der Koordinierung der leitungsgebundenen Energieversorgung dient, um der verpflichtenden Energieplanung des Kantons Zürich nachzukommen.² Alternativ ist eine Umsetzung durch **informelle Maßnahmen** und partizipativer top-down und bottom-up Verfahren als Koordinationsgebiete möglich, die rechtlich nicht bindend ist. Die Stadt Stuttgart nutzt z.B. diese informelle Umsetzung in ihrer Energieleitplanung zur Umsetzung von 56 identifizierten Fokusgebieten.³

Formelle Umsetzung über Vorranggebiete

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mit Rechtsgrundlage, bindend ▪ Gesetzliche Beteiligungsvorschriften der Stakeholder
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flächennutzungsplan und Bebauungsplan ▪ Satzungen ▪ Städtebauliche und zivilrechtliche Verträge
+	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Restriktiv, normativ und rahmensetzend ▪ Raumansprüche abwägend und Konflikte ausgleichend oder entscheidend ▪ Ergebnis durchsetzend
—	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ggf. lange Verfahrensdauer ▪ Hierarchisch-zentralistischer Ansatz ▪ Ggf. geringe Akzeptanz

Informelle Umsetzung über Koordinationsgebiete

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nicht bindend, da ohne Rechtsgrundlage ▪ Kooperative Beteiligungsprozesse der Stakeholder und konsensorientierte Prozesse
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Städtebauliche Entwicklungskonzepte ▪ Kommunales Energiemanagement und Energiekonzepte ▪ Wärme(aktions)pläne ▪ Verkehrskonzept
+	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aktiv gestaltend ▪ Akzeptanzfördernd
—	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unfähig bei Raumnutzungskonflikten Lösungen zu erzwingen

² Stadt Zürich (2019): Kommunale [Energieplanung der Stadt Zürich Überarbeitung 2019 - Planungsbericht Energieversorgung](#); Stadt Zürich (2017): [Energieplankarte der Stadt Zürich](#).

³ Görres, J (2021): [Informationsabend zu energetischen Vorhaben in Weilimdorf-Süd Landeshauptstadt Stuttgart](#).

Fokusgebiete als Teil der Lösung

Der Wärmesektor hat in 2021 die sektoralen Klimaziele abermalig verfehlt und steht vor umfassenden Herausforderungen, die rasch adressiert werden müssen:

- Die **Heterogenität der Wärmeversorgung** in Deutschland stellt eine große Herausforderung für die Wärmewende dar. Eine ganze Bandbreite unterschiedlicher Strukturen der 1) Eigentumsverhältnisse von Gebäuden, 2) des Gebäudebestands, 3) der Wärmeversorgungsstruktur und 4) des Nachfrageprofils der Endkund*innen existiert.
- Die **Entscheidung** welche Wärme- und/oder Kältequelle in ein Gebäude eingebaut wird, obliegt - gegeben des gesetzlichen Rahmens- **individuell** den Eigentümer*innen. Die aktuelle Förderlandschaft regt nicht zu Koordination und Kooperation zwischen Eigentümer*innen untereinander und mit Kommune und dem örtlichen EVU an. Zudem werden regionale Besonderheiten und Potenziale bislang nur unzureichend oder nicht berücksichtigt.
- Um die Ziele der Wärmewende kosteneffizient zu erreichen, ist die **Koordination der Wärmewende** unerlässlich, um gezielte Investitionen in Infrastrukturprojekte zu tätigen und kostspielige Fehlinvestitionen zu vermeiden. Zu diesen notwendigen Infrastrukturprojekten die dringend zu koordinieren sind zählen z.B. der Ausbau des Verteilnetzes, der Ausbau und Austausch des Wärmenetzes (Nah-, und Fernwärme) und der Ausbau, Austausch und ggf. der Rückbau des Gasnetzes. Die aktuelle nationale und regionale Gesetzes- und Förderlandschaft regt nicht zur Koordination an. Synergien werden bislang nicht ausgeschöpft.



Fokusgebiete

Fokusgebiete priorisieren in einem räumlich begrenzten Gebiet eine Wärmeversorgungslösung unter der Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten. Sie erfordern Koordination zwischen allen Akteuren und können redundante Infrastrukturen vermeiden. Sie können somit Kosten für Endkund*innen reduzieren und für Planungssicherheit für Privatpersonen, Unternehmen und EVUs sorgen. Sie sind damit ein Teil der Lösung um die gegenwärtigen Herausforderungen zu adressieren und die kommunale Wärmewende voranzutreiben.

2. Energieträgerverfügbarkeiten als Herausforderung für die Wärmewende

2.1 Endenergiebedarf des Gebäudesektors

2.2 Verfügbarkeiten fossiler Energieträger

2.3 Verfügbarkeiten erneuerbarer Energieträger

Klimaziele und die Entwicklung der Energieträgerverfügbarkeit

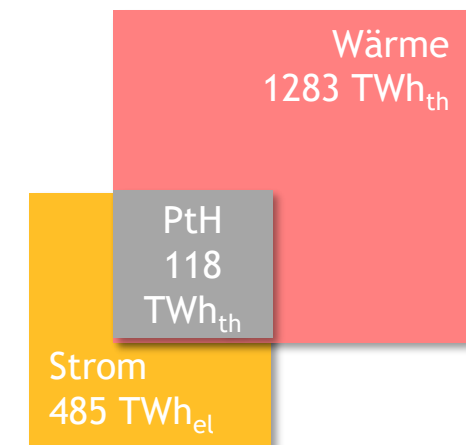
Während die Wärmewende vor zahlreichen strukturellen Herausforderungen steht, ist diese auch im Kontext der Transformation des deutschen Energiesystems zu sehen. Die **Klimaziele** sowie die Verfügbarkeit der Energieträger setzen dabei den Rahmen.

2020 machte die Bereitstellung von Wärme mehr als die Hälfte (55%) des deutschen Endenergieverbrauchs aus (AGEB, 2021). Damit ist der Erfolg der Energiesystemtransformation eng mit dem Wärmesektor verknüpft. Zur **Dekarbonisierung des Wärmesektors** müssen für den fossilen Anteil von 68,4% des gesamten Wärmeverbrauchs von 1283 TWh_{th} Substitute bereitgestellt werden. Diese Substitute können z.B. entweder eingesparte Wärmeverluste durch Sanierungen, zusätzlicher Einsatz von PtH durch den Einbau von Wärmepumpen oder der Einsatz von Wasserstoff zur Wärmeerzeugung durch die Umstellung der Heizanlagen sein.

Da der Emissionsreduktionspfad sowie der Ausstieg aus einzelnen fossilen Primärenergieträgern vorgegeben sind, ist die **Verfügbarkeit der verbleibenden erneuerbaren Energieträger** kritisch für die Aufrechterhaltung der Wärmeversorgung. Insbesondere mittelfristig wird bereits mit einem Anstieg des PtH-Bedarfs von heute 118 TWh_{th} und somit des Strombedarfs von 485 TWh_{el} gerechnet. Dabei ist sowohl das Wachstum des Stromangebots durch weiteren EE-Ausbau als auch das Angebot grünen Wasserstoffs durch das Hochfahren von Importkapazitäten mit Unsicherheiten behaftet.

Basierend auf der dena Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität beziffert diese Studie ein Mengengerüst verfügbarer Energieträger im Zeitverlauf. Aus diesem Mengengerüst gilt es für den Wärmesektor einen robusten Transformationspfad des Wärmeerzeugungsmix zu wählen. Es wird beispielhaft die **Entwicklung des Wärmebedarfs** laut der dena Leitstudie aus dem Jahr 2021, der **Entwicklung fossiler Endenergieträger, der Primärenergieträger der Stromerzeugung und der Wasserstoffimporte gegenübergestellt**. Die aktuelle Energiekrise als Folge des Russischen Krieges gegen die Ukraine führt dabei insbesondere kurz- und mittelfristig zu Veränderungen der Entwicklung der Energieträgerverfügbarkeit

Endenergieverbrauch Strom und Wärme 2020



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf AGEB, 2021

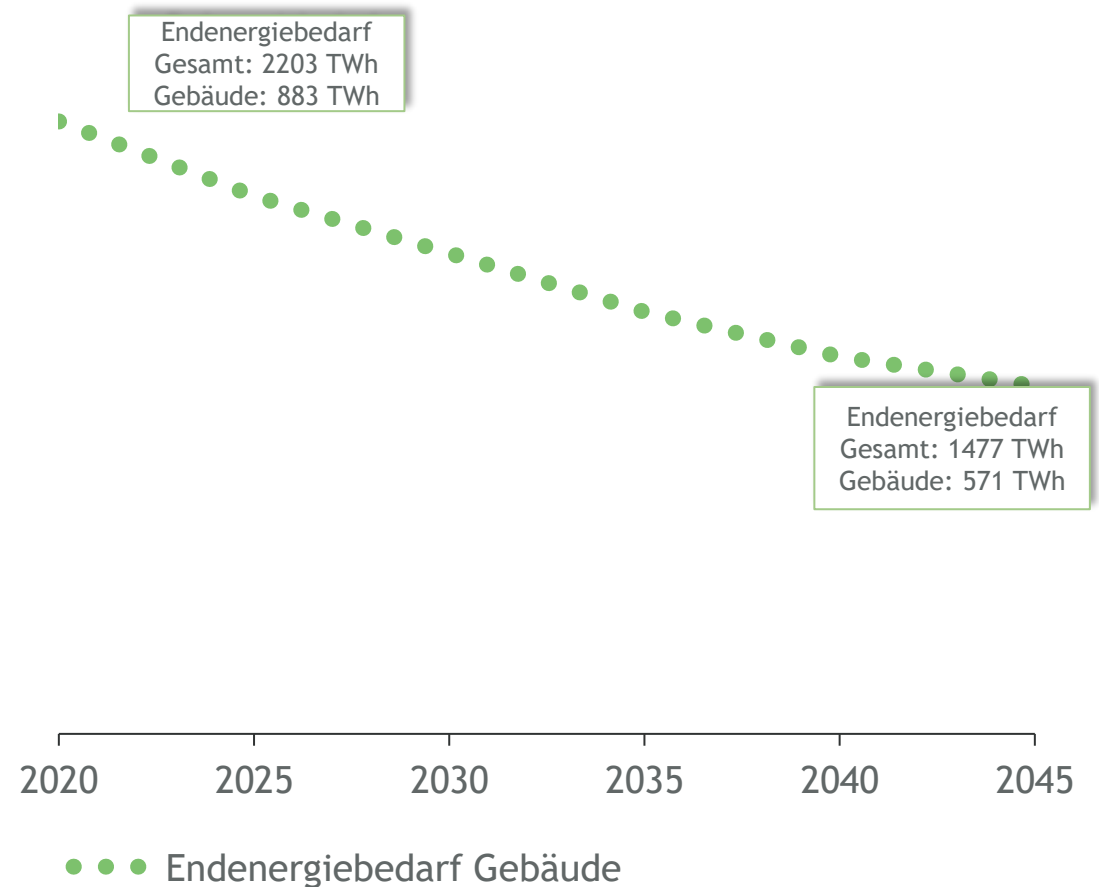
Entwicklung des Endenergiebedarfs des Gebäudesektors

Die Abbildung zeigt den **Endenergieverbrauch im deutschen Gebäudesektor** (dena, 2021). Verluste bei der Umwandlung der Primärenergieträger (z.B. Rohöl, Kohle) in die entsprechenden Sekundärenergieträger (wie Heizöl, Strom) sind dabei nicht enthalten.

2020 betrug der Endenergiebedarf des Gebäudesektors 1005 TWh (dena, 2021). Das sind 46% des gesamten Endenergiebedarfs Deutschlands. Im Zuge der Energiesystemtransformation soll dieser Bedarf sukzessive durch **Effizienzsteigerungen** gesenkt werden. Im Wärmesektor gelingt das entweder durch vermehrte **Sanierungsmaßnahmen** und somit geringere Wärmeverluste in den Gebäuden oder durch den Umstieg auf **effizientere Heizungstechnologien** zur Wärmeerzeugung (z.B. auf Wärmepumpen). In dena (2021) sinkt der Endenergiebedarf des Gebäudesektors durch diese beiden Maßnahmen um 43% auf 571 TWh in 2045. Nichtsdestotrotz verbleibt 2025 noch ein Energiebedarf des Gebäudesektors von 883 TWh.

Dieser Entwicklung zugrunde liegt ein jährlicher Anstieg der **Sanierungsrate** um 0,1%-Punkte ausgehend von einer Sanierungsrate von 0,85% in 2020. Gleichzeitig steigt die Zahl der **Wärmepumpen** von 1 Mio. auf 4,1 Mio. in 2030. Sollten die realen Entwicklungen hinter diesen Annahmen zurückbleiben, könnte der Endenergiebedarf im Gebäudesektor größer als 883 TWh bleiben. Für den Wärmesektor stellt sich die Frage, welche Energieträger zur Deckung dieses Bedarfs in Zukunft zur Verfügung stehen.

Endenergiebedarf des Gebäudesektors basierend auf dena (2021)

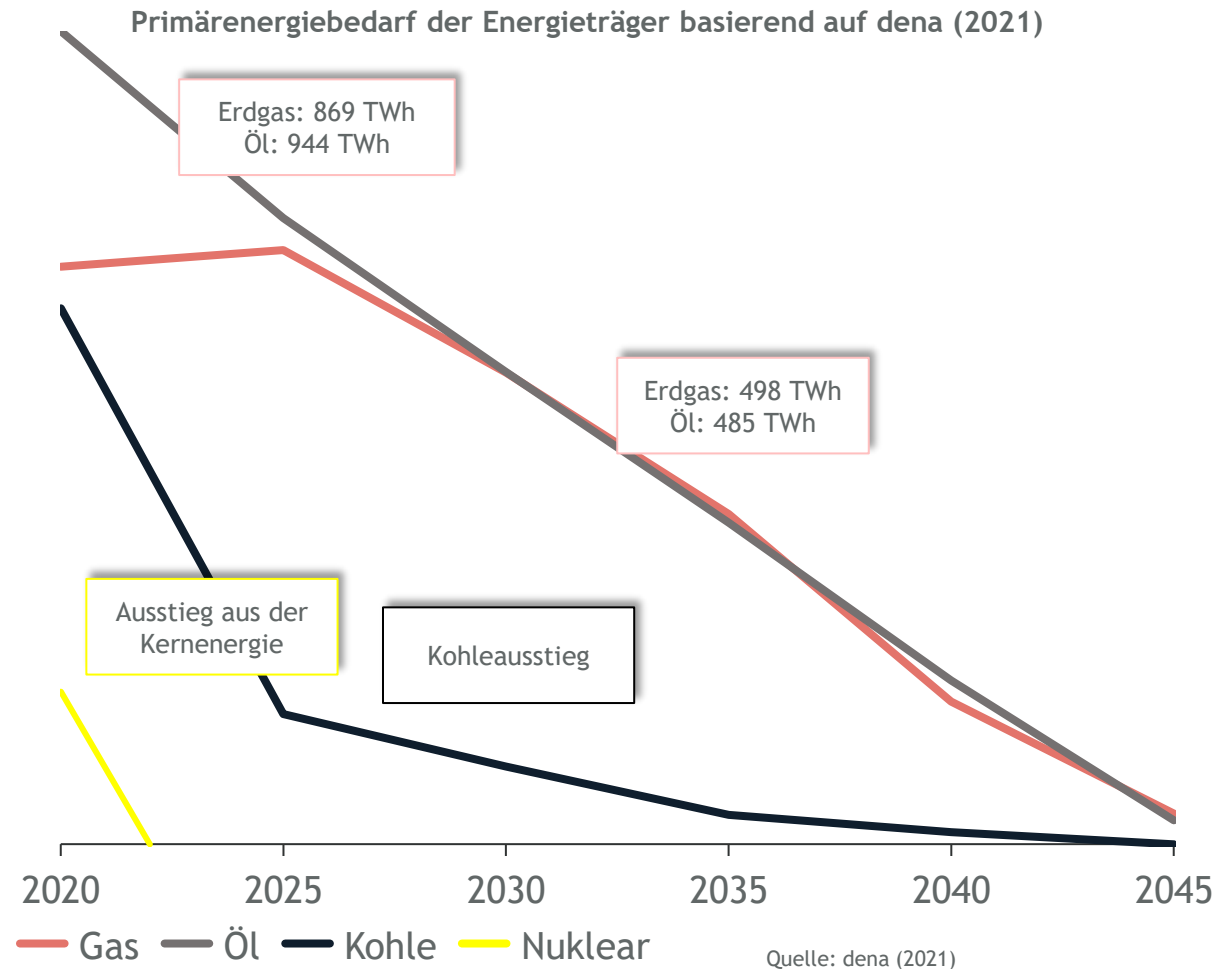


Entwicklung der Verfügbarkeiten fossiler Energieträger

Die Abbildung stellt die Entwicklung des Primärenergiebedarfs der konventionellen Energieträger Erdgas, Erdöl, Kohle und Atomenergie laut dena (2021) dar. Kennzeichnend für den Verbrauch dieser Energieträger ist ein stetiger Abfall bis zur **Klimaneutralität 2045**.

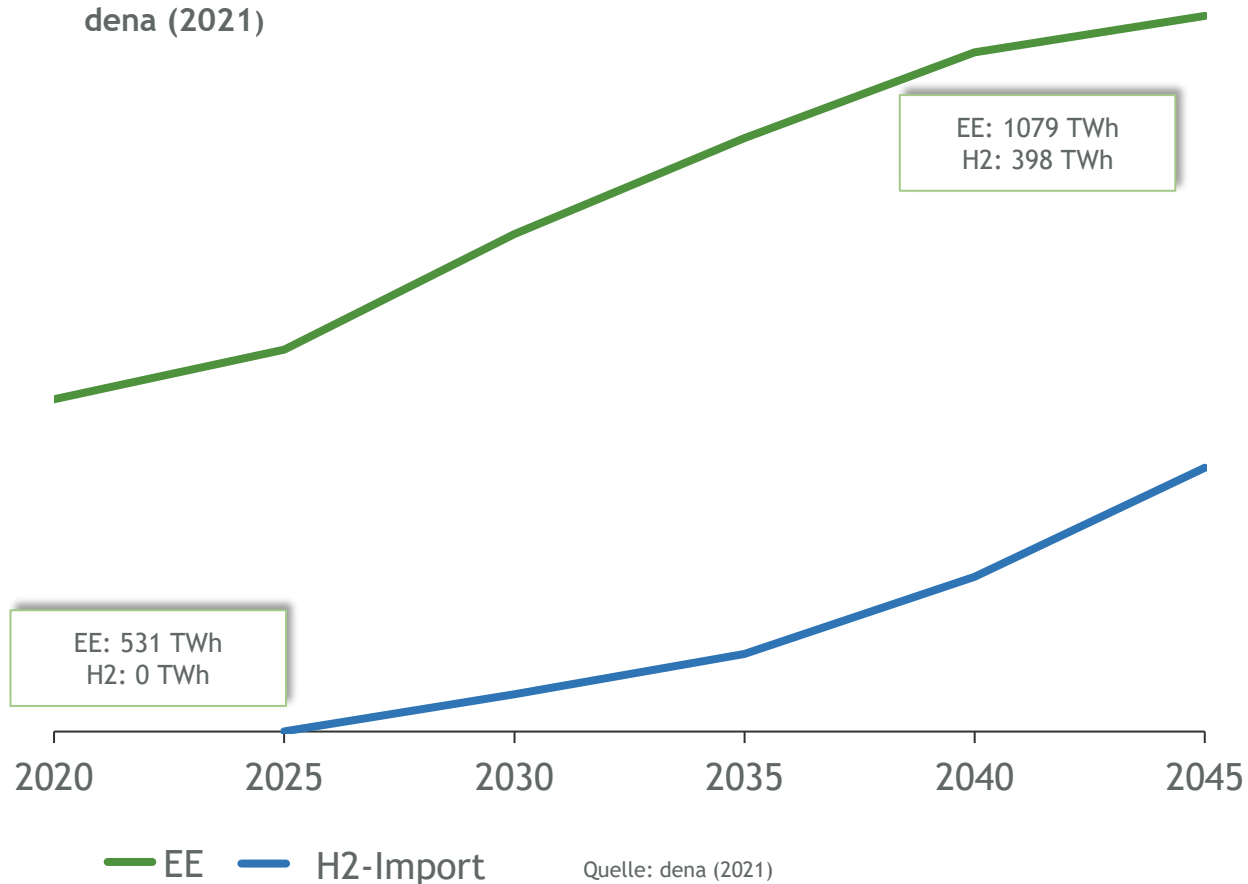
Insbesondere bei Kohle und Nuklear gibt es eine steile Reduktion bis 2030 infolge des **Atom- und Kohleausstiegs**. 2020 betrug der Primärenergiebedarf an Atomenergie noch 230 TWh und an Kohle 808 TWh. Der Ausstieg aus der Kernkraft führt dazu, dass die Energiebereitstellung aus Kernkraftwerken auf 0 TWh Mitte 2023 sinkt. Laut dena Leitstudie (2021) sinkt die Energiebereitstellung aus Kohle 2030 auf 117 TWh. Der **Primärenergieverbrauch Erdöls sinkt** etwas flacher von 1226 TWh in 2020 auf 944 TWh in 2025.

Laut dena 2021 ist Erdgas in der mittleren Frist der Stabilisator der Primärenergieträger. Bis 2025 steigt der Verbrauch leicht von 871 TWh auf 896 TWh, bevor er auf 712 TWh in 2030 sinkt und weiter konstant abfällt bis 2045. Vor dem Hintergrund der aktuellen **Gasversorgungskrise** im Zuge des Ukrainekrieges, steht Erdgas nicht mehr als stabilisierend in der mittleren Frist zur Verfügung. Damit erschwert sich die Deckung des Wärmebedarfs. Zur Kompensation müsste die Senkung des Endenergiebedarfs zügiger umgesetzt, die Bereitstellung erneuerbarer Energieträger stärker hochgefahren oder andere fossile Primärenergieträger reaktiviert werden.



Entwicklung der Verfügbarkeiten erneuerbarer Energieträger

Primärenergiebedarf der erneuerbaren Energieträger basierend auf dena (2021)



Die Abbildung stellt den Primärenergieverbrauch der erneuerbaren Energieträger und der Wasserstoff-Importe in dena (2021) dar. Die Entwicklung beider Größen ist durch einen **steten Anstieg** charakterisiert. So liegt der Primärenergiebedarf erneuerbarer Energien 2020 bei 531 TWh und **verdoppelt sich bis 2045 auf 1079 TWh**. Der **Import grünen Wasserstoffs** beginnt 2025 und steigt auf 398 TWh in 2045.

Für den Wärmesektor kommen sowohl erneuerbarer Energien, insbesondere Stromerzeugung aus PV- und Windkraftanlagen, für die steigende Elektrifizierung des Gebäudesektors, als auch grüner Wasserstoff als gasförmiger Energieträger in Frage. **Die kurz- und mittelfristige Verfügbarkeit der grünen Energieträger reicht nicht aus um den Wärmebedarf ohne fossile Energieträger vollständig decken zu können.**

Sollte der EE-Ausbau sowie der Infrastrukturausbau beim Wasserstoff-Importen nicht wie in dem dena-Szenario angenommen erfolgen, würde dies dazu führen, dass die Klimaziele nicht eingehalten werden können oder es zu einer Lücke in der Wärmeversorgung kommen würde.

Die Verfügbarkeit der erneuerbaren Energieträger ist Voraussetzung für die Umsetzbarkeit von Dekarbonisierungsmaßnahmen, auch im Gebäudesektor. Die regionale und zeitliche Verfügbarkeit der Energieträger ist allerdings mit Unsicherheiten verbunden. Diese Unsicherheiten stellen ein inhärentes Risiko dar welches bei der (regionalen) Wärmeplanung berücksichtigt werden muss.

3. Kriterienkatalog Fokusgebiete

3.1 Einführung

3.2 Wärmequellen

3.3 Regionale Potentiale und Bedarfe

Entwicklung eines Kriterienkatalogs Fokusgebiete



Katalog zur Umsetzung von Fokusgebieten

1. Überblick der verfügbaren Erzeugungstechnologien
2. Analyse der Bestandsinfrastruktur (z.B. Erzeugung, Netze, Topographie, Gemeindestruktur)
3. Analyse des Wärmebedarfs
4. Analyse des regionalen Erzeugungspotenzials
5. Wahl der spezifischen Wärmeerzeugungstechnologieoptionen
6. Analyse der regionalen Transformationsleistung, Identifikation von volkswirtschaftlichen Hemmnissen, nationaler Förderung, ggf. Anpassung der verfügbaren Erzeugungstechnologien
7. Berechnung der LCOH für verfügbare Erzeugungstechnologien für ein Gebiet
8. Definition eines Fokusgebietes, inkl. Vorrangtechnologien und strategischer Infrastrukturplanung

Das Konzept der Fokusgebiete sieht eine Priorisierung spezifischer Wärmeversorgungs-lösungen in Versorgungsgebieten vor. Fokusgebiete streben dabei an, die **regionalen Potenziale und Bedarfe des Versorgungsgebietes mit den optimal passenden Wärmequellen zu verbinden**, um Wärmeversorgungs-lösungen zu identifizieren und damit eine effiziente Wärmewende zu gewährleisten. Dazu müssen zahlreiche spezifische lokale Faktoren berücksichtigt werden.

Zur Umsetzung von Fokusgebiete wurde ein **Kriterienkatalog** entwickelt. Dieser sieht eine umfassende Analyse der **lokalen Potenziale und Bedarfe** vor. Dazu werden zunächst die Bedarfsinfrastruktur, der Wärmebedarf sowie die regionalen Erzeugungspotenziale und damit Energieträgerverfügbarkeit des Versorgungsgebietes untersucht. Im folgenden Schritt auf dem Weg zur Umsetzung von Fokusgebieten werden die **spezifischen Wärmeversorgungs-technologien** ausgewählt, die theoretisch geeignet sind, um Gebäude in dem Gebiet klimaneutral mit Wärme zu versorgen. Die tatsächlichen Optionen und ihre Umsetzbarkeit werden allerdings von der **regionalen Transformationsleistung** definiert. Daher sind die volkswirtschaftlichen Hemmnisse, der regionale Handlungsbedarf sowie existierende Förderungen zu analysieren. Darauf basierend ist die Auswahl der verfügbaren Erzeugungstechnologien anzupassen. Anschließend werden Wärmegestehungskosten, in Form der **Levelized Cost of Heating (LCoH)** für die ausgewählten Erzeugungslösungen für das betrachtete Versorgungsgebiet errechnet und basierend auf den Ergebnissen ein Fokusgebiet, einschließlich von Vorrangtechnologien und der strategischen Infrastrukturplanung definiert.

Regionalanalyse

Zur Entwicklung einer regionalen Wärmeversorgungslösung muss zunächst das Versorgungsgebiet analysiert werden. Regionale Spezifika, wie **Potenziale und Bedarfe**, sowie die **verfügbaren Wärmequellen** sind entscheidend für die Auswahl der zu priorisierenden Wärmeversorgungslösung.

Basierend auf den lokalen Potenzialen und Bedarfen sowie dem regionalen Erzeugungspotenzial für Wärme kann eine **Auswahl von geeignete Versorgungslösungen erstellt werden.**

1 Verbrauchsfertige Wärmequellen

Wärmepumpe	KWK
Solarthermie	Abwärmenutzung
Tiefengeothermie	Power-to-Heat

1 Verbrauchsnah Wärmequellen

H2-Brennwertkessel	Elektrische Solewärmepumpe	Gaswärmepumpe
Hybridwärmepumpe	Elektrische Luftwärmepumpe	Elektrische Erdwärmepumpe
BHKW	Brennstoffzelle	Biomasseheizung
Solarthermie	Durchlauferhitzer	Heizstab

2 Infrastrukturbestand

Stromnetz	Gasnetz
Wärmenetz	H2-Netz
Abwasser	Verbrauchsfertige Wärmequellen
Verbrauchsnah Wärmequellen	

3 Wärmebedarf

Gebäudegröße	Gebäudenutzung
Gebäudezustand	Bebauungsdichte
Gebäudezahl	

4 Erzeugungspotenziale

Windenergie	Geothermie
Abwärme	Biomasse
Solarstrahlung	Abfall

Regionalanalyse Schritt 1-4:

1. Überblick Wärmequellen
2. Analyse der Bestandsinfrastruktur
3. Analyse des Wärmebedarfs
2. Analyse des Erzeugungspotenzials

Wärmequellen

1 Verbrauchsferne Wärmequellen

Wärmepumpe

KWK

Solarthermie

Abwärmenutzung

Tiefengeothermie

Power-to-Heat

Es existieren zahlreiche **verschiedene Wärmeerzeugungstechnologien**. Diese Wärmequellen lassen sich in verbrauchsferne und Verbrauchsnahе Wärmequellen unterteilen. Es existiert eine Reihe verschiedener klimaneutraler verbrauchsferner Wärmetechnologien. Welche Wärmequelle regional erschlossen werden kann wird durch die regionalen Erzeugungspotenziale eingeschränkt.

- Kohle- und Erdgas-KWK werden aktuell noch zur verbrauchsfernen Wärmeversorgung eingesetzt. Diese fossilen Technologien müssen im Zuge der Transformation des Wärmesektors jedoch durch klimaneutrale Versorgungslösungen ersetzt werden.
- Es existieren verschiedene Arten der **KWK**, die klimaneutral Wärme erzeugen. Dazu zählen die **Abfall-KWK, Wasserstoff-KWK, Biomasse- und Biogas-KWK-Anlage**. Sie könnten Fossile-KWKs ersetzen und zur zentralen Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Das Erzeugungspotenzial von Abfall-, Biomasse- und Biogas-KWKs wird dabei durch die regionalen Erzeugungspotenziale, wie z.B. das lokale Abfallaufkommen, bedingt.
- Neben KWKs können **Tiefengeothermie** und sowie **zentrale Wärmepumpe** als verbrauchsferne Wärmequellen eingesetzt werden. Insbesondere die Tiefengeothermie ist dabei besonders von der regionalen Potenzialen abhängig.
- Weitere klimaneutrale Technologien der verbrauchsfernen Wärmeerzeugung sind die Nutzung von Abwärme, der Einsatz von **Solarthermie** oder zentrale **Power-to-Heat Anlagen**.

Verbrauchsferne Wärmequellen erfordern ein Wärmenetz, das die zentral erzeugte Wärme zu den Verbrauchenden transportiert.

Wärmequellen

Neben den verbrauchsfernen Wärmequellen steht eine Bandbreite an **verbrauchsnahe Wärmequellen** zur Verfügung. Diese nutzen kein Wärmenetz, dafür haben diese Technologien allerdings andere Infrastrukturanforderungen. Die heute noch weit verbreiteten fossilen Technologien Gas- und Öl-Brennwertkessel müssen durch klimaneutrale Wärmequellen ersetzt werden.

- Es existieren diverse Arten von **Wärmepumpen** (z.B. elektrische Erdwärme- und Luftwärmepumpe), die zur verbrauchsnahe Wärmeerzeugung genutzt werden können.
- Wasserstoff kann mittels einer **Brennstoffzelle** oder eines **Blockheizkraftwerks** (BHKW) zur dezentralen Wärmeerzeugung genutzt werden.
- **Biomasseheizanlagen** wie z.B. Einzelfeuerstätte können Wärme verbrauchsnahe aus biologischen Brennstoffen erzeugen.
- Ferner existieren diverse Technologien von **Elektroheizungen** wie z.B. Durchlauferhitzer oder Heizstab die als erneuerbare Wärmetechnologien eingesetzt werden können.
- Eine **Solarthermie-Anlage** kann für die Erzeugung von Warmwasser genutzt werden und zumindest einen Teil des Wärmebedarfs decken.

1

Verbrauchsnahe Wärmequellen

H2-Brennwertkessel

Elektrische
Solewärmepumpe

Gaswärmepumpe

Hybridwärmepumpe

Elektrische
LuftwärmepumpeElektrische
Erdwärmepumpe

BHKW

Brennstoffzelle

Biomasseheizung

Solarthermie

Durchlauferhitzer

Heizstab

Analyse der regionalen Potenziale und Bedarfe - Infrastrukturbestand

2

Infrastrukturbestand

Stromnetz

Gasnetz

Wärmenetz

H2-Netz

Abwasser

Verbrauchsferne
WärmequellenVerbrauchsnahe
Wärmequellen

Neben den regionalen Wärmeerzeugungspotenzialen ist die vorhandenen **Infrastruktur** wichtiges Kriterium der regionalen Potenzialanalyse. Damit die Wärmewende effizient gestaltet wird muss vorhandene Infrastruktur strategisch genutzt werden. Der Infrastrukturbedarf unterscheidet sich für verbrauchsnahe und verbrauchsferne Wärmequellen (zentrale Wärmeerzeugung). Im Zuge der Umsetzung von Fokusgebiete wird zunächst die vorhandene Infrastruktur erfasst und die Kapazitäts- und Ausbaupotenziale bewertet.

- Auch wenn im Falle der **Verbrauchsnahe Wärmequellen** (dezentralen Wärmeerzeugung, wie bsp. Wärmepumpen) nicht die Wärme selbst zum Verbrauchenden transportiert wird, existieren Infrastrukturbedarfe, insb. mit Blick auf die vorhandene **Verteilnetzinfrastuktur**, die analysiert werden müssen. Abhängig von der spezifischen Verbrauchsnahe Wärmequelle bedarf es z.B. **Strom, Gas oder Wasserstoffinfrastruktur**.
- Für **verbrauchsferne Wärmeerzeugung** (zentrale Wärmeerzeugung) müssen **Wärmenetze** (Nah- und Fernwärmenetze) berücksichtigt werden.
- Zur Wärmeerzeugung kann **vorhandenen Infrastruktur**, z.B. Abwasserkanäle zur Abwasserwärmenutzung, genutzt werden.
- Für den gesamten Infrastrukturbestand ist notwendig zu bewerten, inwiefern freie Kapazitäten (**Auslastung der Infrastruktur**) vorhanden sind oder Engpässe auftreten können. Es gilt zu analysieren ob bspw. weitere Gebäude an das Wärmenetz angeschlossen werden können oder ob ein Ausbau des Stromnetzes notwendig ist, um den Anschluss von Wärmepumpen zu ermöglichen. Zudem muss hier auch die Lebensdauer der Infrastruktur und Umwidmungspotenzial in die Bestandsbewertung miteinbezogen werden.

Analyse der regionalen Potenziale und Bedarfe

3

Wärmebedarf

Gebäudegröße

Gebäudenutzung

Gebäudezustand

Bebauungsdichte

Gebäudezahl

Für die regionale Wärmeplanung ist der **spezifische Wärmebedarf** relevant. Der Wärmebedarf ist sowohl für die Frage der Wärmeerzeugungstechnologie als auch für den Infrastrukturbedarf entscheidend.

- Der **individuelle Wärmebedarf eines Gebäudes** ergibt sich aus der Gebäudegröße, Gebäudenutzung (Haushalt, Gewerbliche Nutzung z.B. Supermarkt, Bürogebäude) und dem Gebäudezustand. Die Gebäudegröße und die Gebäudenutzung beeinflussen den Wärmebedarf und das -bedarfsprofil. Im Zuge der Analyse des Wärmebedarfs ist daher die Nachfragemenge, das Nachfrageprofil und Flexibilitätspotenziale zu analysieren. Der Gebäudezustand beeinflusst ebenfalls den Wärmebedarf, dabei sind das Gebäudealter und der Sanierungszustand, ggf. Sanierungspotenziale, entscheidende Kennzahlen.
- Die **Bebauungsdichte und die Gebäudezahl** sind relevant, um die regionalen Bedarfe eines Versorgungsgebietes bewerten zu können.

Analyse der regionalen Potenziale und Bedarfe - EE Erzeugungspotenzial

4

Erzeugungspotenziale

Windenergie

Solarstrahlung

Abwärme

Abfall

Biomasse

Geothermie

Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung der Zukunft müssen **erneuerbare Erzeugungspotenziale** effizient genutzt werden. . Unsicherheiten hinsichtlich der Entwicklung der Energieträgerverfügbarkeit (EE-Strom und Wasserstoffimporte) stellen ein inhärentes Risiko dar. Um eine sichere Wärmeversorgung und effiziente Wärmewende zu gewährleisten müssen regionale Erzeugungspotenziale gehoben werden. Die Identifikation und Bewertung regionalen Erzeugungspotenziale sind daher zentraler Schritt der Umsetzung von Fokusgebieten.

- Regionale Erzeugungspotenziale umfassen zum **lokale PV- und Windenergie**. Dabei ist sowohl die bereits installierte Leistung zu berücksichtigen als auch die EE-Ausbaupotenziale einer Region.
- Neben Windenergie und Solarstrahlung existieren meist weitere regionale erneuerbare Erzeugungspotenziale, deren Nutzbarkeit zur Wärmeversorgung zu prüfen ist. Sowohl **Abwärme**, z.B. der lokalen Industrie, von Elektrolyseuren, Rechenzentren oder des Abwassersystems, oder das **Abfallaufkommen** können zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden.
- Wärme kann auch aus **Biomasse** erzeugt werden. Dazu ist in Betracht zu ziehen welche Biomassepotentiale in einer Region zur Nutzung der Wärmeversorgung zur Verfügung stehen.
- Das **Geothermiepotenzial** basiert auf dem Wärmehalt des Untergrundes, und variiert regional. Bei der Analyse des Geothermiepotenzials müssen auch seismologische und geologische Gegebenheiten einer Region hierfür analysiert werden um zu entscheiden ob und in welchem Umfang Geothermie in einer Region genutzt werden kann.

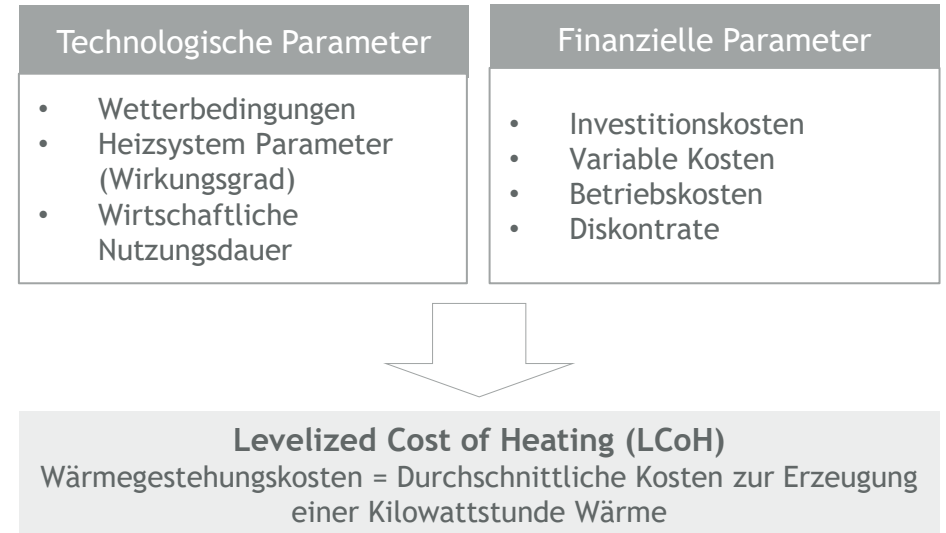
4. Levelized Cost of Heating (LCoH)

- 1.1 Methodik und Vorgehen
- 1.2 LCoH exemplarischer Gebiete
- 1.3 Versorgungslösungen

Methodik zur Errechnung der Wärmegestehungskosten

Das Konzept der Levelized Cost of Energy ist ein Ansatz um die Kosten verschiedener Technologien zur Energieversorgung zu vergleichen. Das Konzept berücksichtigt die gesamten Lebenszeitkostenkomponenten für die Energiebereitstellung der gewählten Technologien. Alle Kostenkomponenten werden über die Lebensdauer der Technologie erzeugten Energiemenge zugeordnet und auf den Gegenwartswert abgezinst.

Dieser Ansatz wird hier verwendet, um die Wärmegestehungskosten (*Levelized Cost of Heating*) verschiedener Wärmetechnologien zu vergleichen. Die Analyse wird mit dem EWI LOCH Tool (EWI, forthcoming) durchgeführt, welches folgenden Heiztechnologien berücksichtigt: Gas-Brennwertkessel, Erdwärmepumpe, Luftwärmepumpe, Pelletheizung, Gas-Solarthermie Hybrid, Pellet-Solarthermie Hybrid. Verschiedene technologische Parameter wie Wetterbedingungen, der Wirkungsgrad der Anlage und die wirtschaftliche Nutzungsdauer werden neben diversen finanziellen Parameter z.B. den Investitions- und Betriebskosten berücksichtigt. Diese Parameter variieren je nach Technologie.



$$LCoH_{i,b,y} = \sum_t \frac{IC_{i,b,y} + \frac{MC_{i,b,t,y}}{CF_{i,b,y}} + \frac{FC_{i,b,t}}{CE_i}}{(1+r)^t} / \sum_t \frac{H_{b,t}}{(1+r)^t}$$

$IC_{i,b,y}$	Investitionskosten [EUR/kW _{th}]	r - Diskontfaktor
$MC_{i,b,t,y}$	Wartungskosten [EUR/kW _{th}]	i - Technologie
$FC_{i,b,t}$	Brennstoffpreise [EUR/kWh]	b - Gebäudetyp & Standort
$H_{b,t}$	Produzierte Energie pro Jahr [kWh _{th} /a]	t - Lebensdauer der Technologie
$CF_{i,b,y}$	Kapazitätsfaktor [h]	y - Investitionsjahr
CE_i	Wirkungsgrad der Umwandlung	

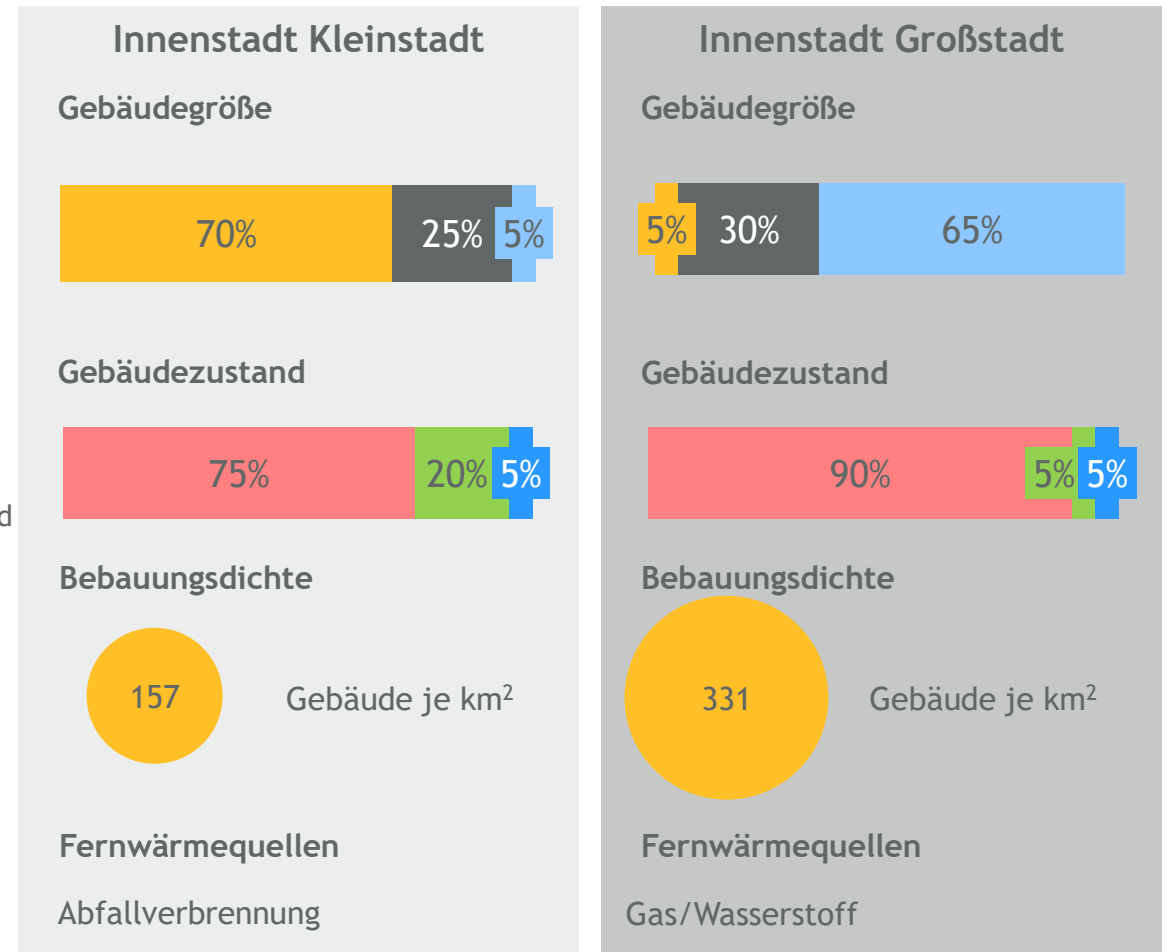
Typregionen und Versorgungsszenarien

Um die LCoH zu vergleichen werden Typregionen und Versorgungsszenarien betrachtet. Dazu werden die LCoH für sechs exemplarische Gebiete in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2023 berechnet.

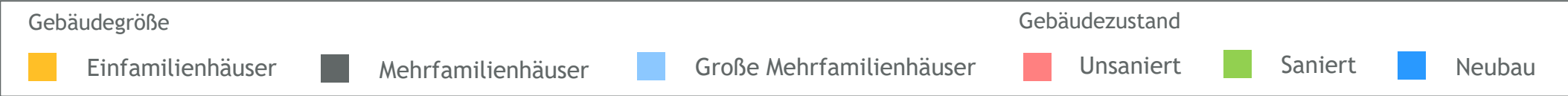
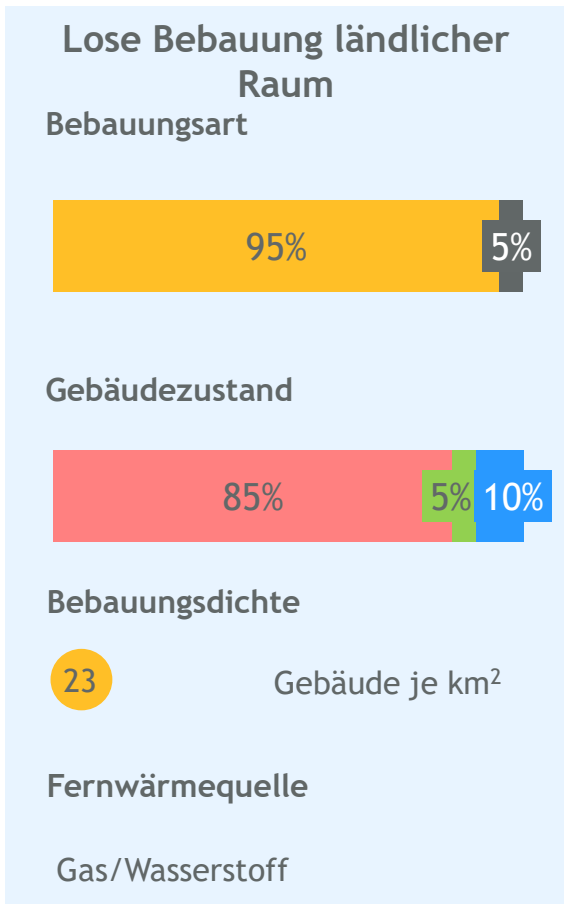
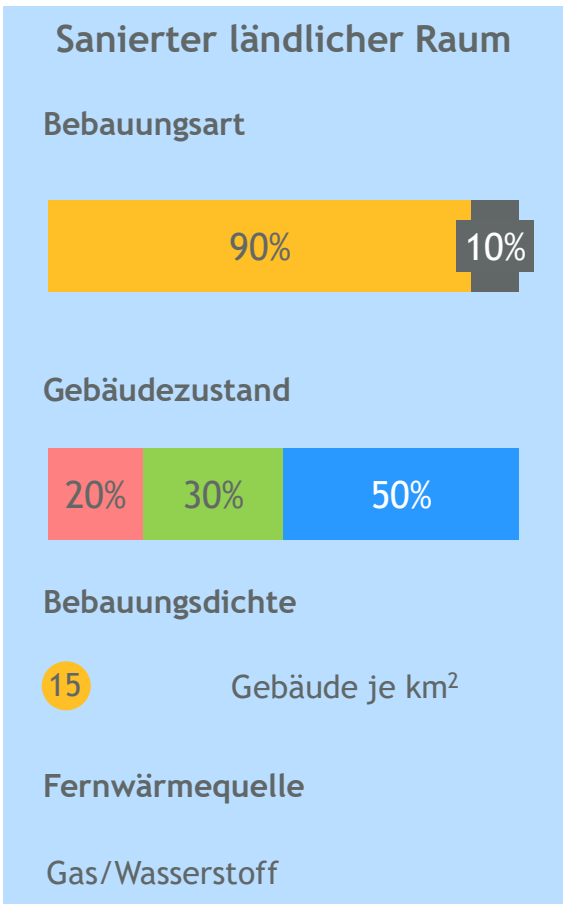
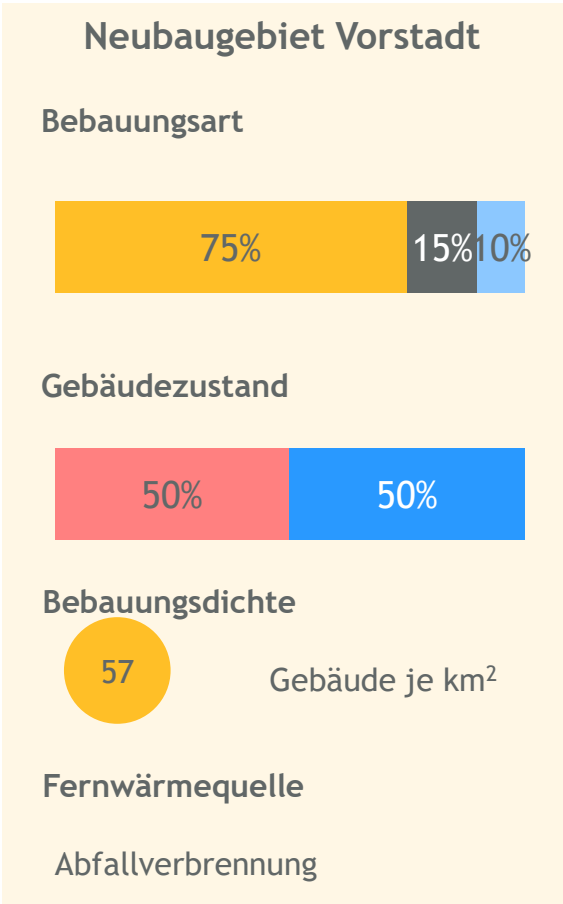
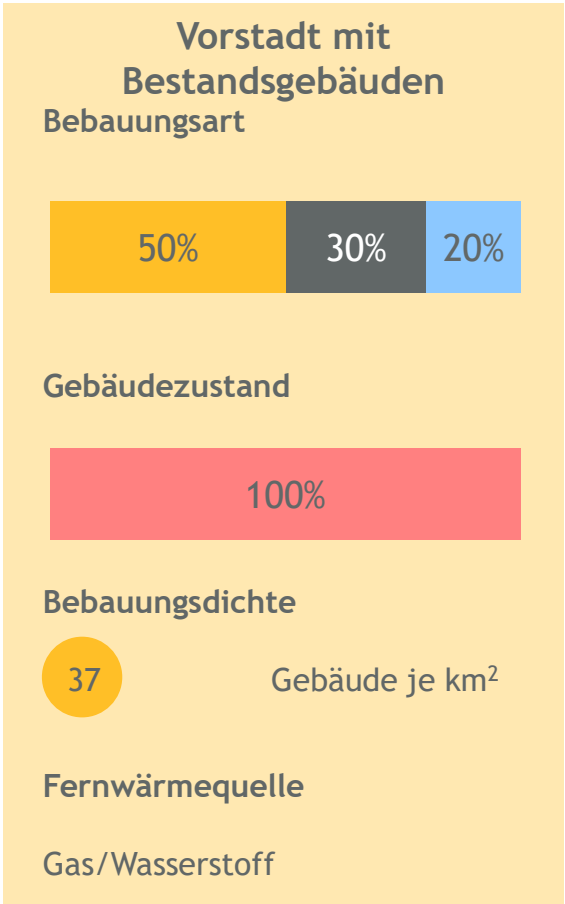
Um die Diversität des Gebäudesektors und der unterschiedlichen Gegebenheiten in Deutschland aufzuzeigen werden sowohl städtische als auch ländliche Gebiete berücksichtigt: Innenstadt einer Großstadt, Innenstadt einer Kleinstadt, Vorstadt mit Bestandsgebäuden, Neugebiet in Vorstadt, saniertes Wohngebiet im ländlichen Raum und lose Bebauung im ländlichen Raum.

Die exemplarischen Gebiete unterscheiden sich hinsichtlich der Annahmen zur Bebauungsart (Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH), großes Mehrfamilienhaus mit mehr als sechs Wohnungen (gMFH), der Bebauungsdichte (Gebäude je km²), dem Gebäudezustand (unsaniert, saniert oder neu) und dem Wärmequellenpotenzial. Damit wird eine möglichst große Bandbreite abgedeckt. Im Folgenden werden die Annahmen der exemplarischen Gebiete aufgelistet.

Gebäudegröße	Gebäudezustand
■ Einfamilienhäuser	■ Unsaniert
■ Mehrfamilienhäuser	■ Saniert
■ Große Mehrfamilienhäuser	■ Neubau



Typregionen und Versorgungsszenarien



Technologieoptionen für Fokusgebiete

Die LCoH variieren je nach gewählter Versorgungslösung. Auch wenn die genutzten Tools weitere Technologieoptionen zulässt. Fokussiert die vorliegende Analyse basierend auf den technologischen Möglichkeiten und der Typologie der Beispielregionen folgende drei Optionen:

- **Fokusgebiert Fernwärme:** Versorgung des Bedarfs über Fernwärme, entweder in Verbindung einer Abfallverbrennung oder einer Gas/H₂ KWK je nach verfügbarem Potential. In diesem Fall wird die Errichtung eines Fernwärmenetzes in den Kosten inkludiert. Die Kosten des Netzes richten sich dabei insbesondere nach der Bebauungsdichte und Gebäudeanzahl, welche angeschlossen wird.
- **Fokusgebiet Wärmepumpe:** Dezentrale Versorgung der Gebäude über elektrische Solewärmepumpen. Es ist keine Investition in ein Fernwärmenetz oder den Umbau des Gasnetzes notwendig. Das Stromverteilnetz muss perspektivisch entsprechend ausgebaut werden.
- **Unkoordinierte Lösung:** Es ist kein Fokusgebiet erkennbar. Dezentrale Versorgung der Gebäude über Brennwertkessel. Kurzfristig ist es nicht sinnvoll in einem Gebiet eine bestimmte Technologie zu priorisieren.

Mögliche Fernwärmequellen für Fokusgebiete

Wärmepumpe

Gas/H₂ KWK

Biomasse KWK

Abfallverbrennung

Mögliche verbrauchsnahe Wärmequellen des EWI LCOH Tool (EWI, forthcoming)

Brennwertkessel

Elektrische
Luftwärmepumpe

Biomasseheizung

Brennwertkessel mit
Solarthermie

Elektrische
Solewärmepumpe

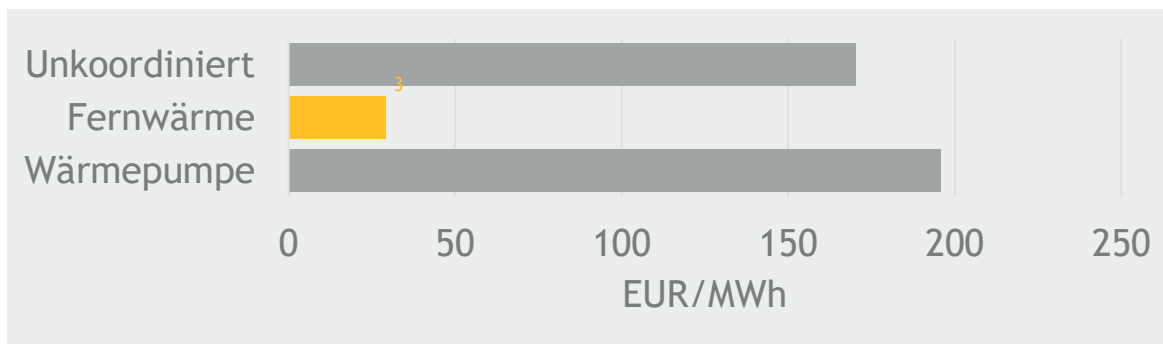
Biomasseheizung mit
Solarthermie

LCoH der Innenstadt

Innenstadt Kleinstadt

Die Innenstadt einer Kleinstadt kennzeichnen überwiegend kleinere Gebäude wie Einfamilienhäuser und kleinere Mehrfamilienhäuser. Der Gebäudezustand ist gemischt, der Großteil der Gebäude ist jedoch unsaniert. Insgesamt liegt eine dichte Bebauung mit 157 Gebäuden je km² vor. Als besondere verbrauchsferne Wärmequelle steht der exemplarischen Kleinstadt eine Abfallverbrennung zur Verfügung.

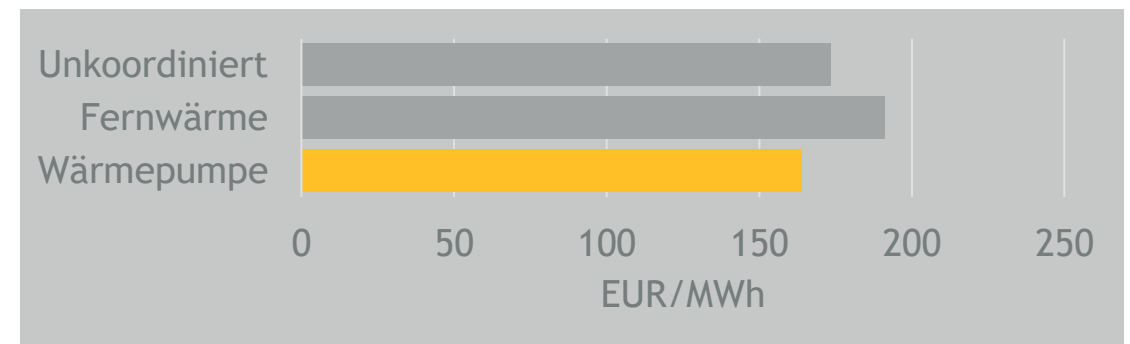
In den Gestehungskosten zeigt sich, dass die Fernwärme vorteilhaft gegenüber einem Mischgebiet sowie einem reinen Wärmepumpengebiet ist. Die Fernwärme Gestehungskosten betragen 29 EUR/MWh, während eine Ausrüstung mit Wärmepumpen mit Gestehungskosten von 196 EUR/MWh einhergeht. Treiber ist die durch den Zugang zur Abfallverbrennung günstige Wärmequelle sowie die hohe Bebauungsdichte und somit eine konzentrierte Wärmenachfrage.



Innenstadt Großstadt

In der Innenstadt der Großstadt sind knapp zwei Drittel der Gebäude große Mehrfamilienhäuser. Der Großteil der Gebäude ist unsaniert, jeweils 5% sind sanierte Gebäude und Neubauten. Die Bebauungsdichte ist besonders hoch. Als Fernwärmequelle kann eine H₂-ready KWK-Anlage genutzt werden.

Durch den hohen Anteil an Mehrfamilienhäusern sind die Gestehungskosten der Wärmepumpenversorgung im Vergleich am niedrigsten. Sie betragen 164 EUR/MWh. Aufgrund einer fehlenden günstigen KWK-Wärmequelle liegen die Gestehungskosten der Fernwärmeanlage mit 191 EUR/MWh höher.



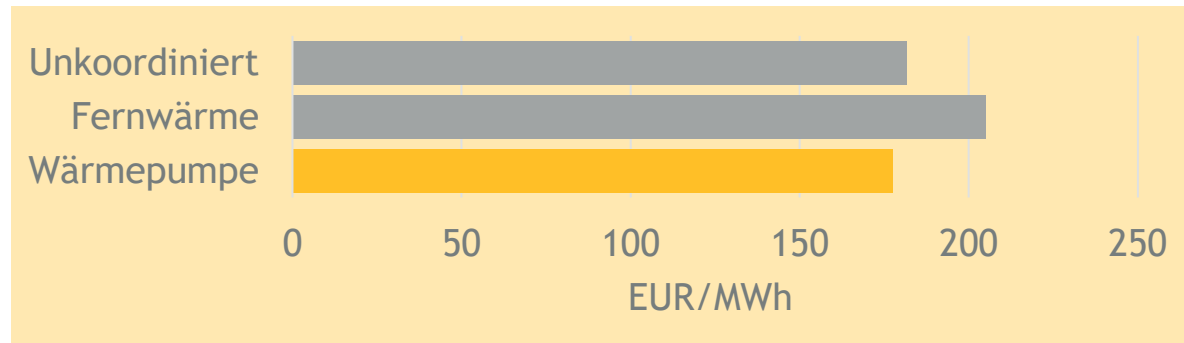
³ Der gelbe Balken steht im Nachfolgenden immer für die günstigste Versorgungsvariante in dem betrachteten Gebiet.

LCoH einer Vorstadt

Vorstadt mit Bestandsgebäuden

Die Vorstadt mit Bestandsgebäuden besteht zu 50% aus Einfamilienhäusern und zur anderen Hälfte aus Mehrfamilienhäusern. Alle Häuser sind unsaniert und weisen einen entsprechend hohen spezifischen Energiebedarf auf. Mit 37 Gebäuden je km² liegt eine mittlere Bebauungsdichte vor. Für die Fernwärme steht keine besondere Wärmequelle zur Verfügung, sodass zunächst eine H₂-ready Gas-KWK-Anlage in das Wärmenetz einspeist.

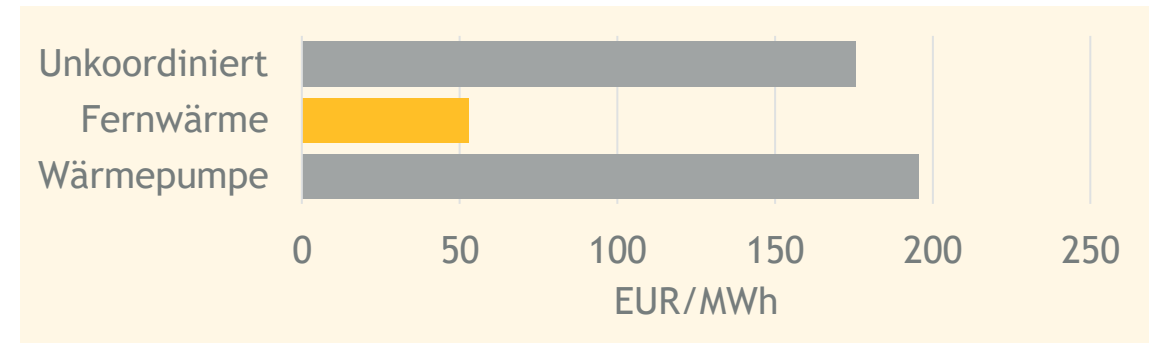
Die Gestehungskosten der Vorstadt mit Bestandsgebäuden sind für die Wärmepumpenversorgung am niedrigsten. Hier betragen die Gestehungskosten 178 EUR/MWh. Eine Versorgung mit höherem Anteilen an Gas, sei es über eine KWK-Anlage oder in einem unkoordinierten Mischgebiet, resultiert in leicht höheren Gestehungskosten.



Neubaugebiet in einer Vorstadt

In dem Neubaugebiet der Vorstadt sind drei Viertel der Gebäude Einfamilienhäuser. Insgesamt sind die Hälfte der Gebäude Neubauten, die andere Hälfte sind unsanierte Gebäude. Mit 57 Gebäuden je km² ist die Bebauungsdichte eher hoch. Es steht eine Abfallverbrennung als Wärmequelle für ein Fernwärmenetz zur Verfügung.

Durch den günstigen Zugang zur Abfallverbrennung als Wärmequelle und dem durch die dichte Bebauung günstigen Wärmenetz, weist die Fernwärme geringe Gestehungskosten auf (53 EUR/MWh). Die Gestehungskosten einer unkoordinierten Versorgung bzw. einer Wärmepumpenversorgung fallen dagegen höher aus.

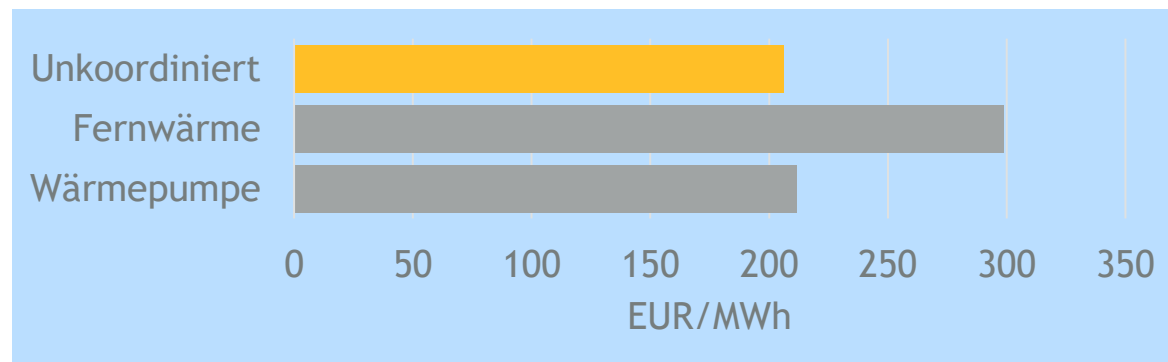


LCoH im ländlichen Raum

Sanierte ländlicher Raum

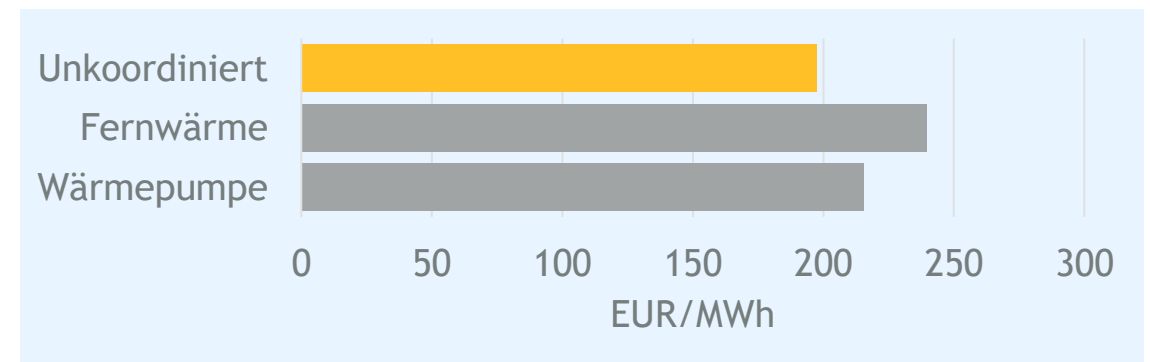
Den sanierten ländlichen Raum kennzeichnet ein hoher Anteil an Einfamilienhäusern zusammen mit ein paar kleineren Mehrfamilienhäusern. Mit 50% liegt hier ein besonders hoher Anteil an Neubauten vor, beispielsweise zu finden in neu erschlossenen Wohngebieten. Die Bebauung ist vergleichsweise lose mit 15 Gebäuden je km². Es steht keine verbrauchsferne Wärmequelle zur Verfügung.

Weder eine Versorgung über ein Fernwärmenetz noch eine Ausstattung der Gebäude mit Wärmepumpen weisen niedrigerer Gestehungskosten auf als ein unkoordiniertes Gebiet. Aufgrund der losen Bebauung verteilt sich der Betrieb des Wärmenetzes auf einen insgesamt zu geringen Wärmeverbrauch, sodass der Weiterbetrieb der Gasheizungen für viele Haushalte die günstigste Option darstellt. Somit bietet sich kurzfristig nicht an, in den Beispielregionen ein Fokusgebiet einzurichten. Langfristig kann geprüft werden, ob hier beispielsweise die Verwendung von grünem Wasserstoff für die Wärmebereitstellung eine kostenoptimale Lösung darstellt.



Lose Bebauung im ländlichen Raum

Der lose bebaute ländliche Raum besteht zu 95% aus Einfamilienhäusern. Der Großteil der Gebäude ist dabei unsaniert. Die Bebauungsdichte ist mit 23 Gebäude je km² niedrig. Es steht keine günstige Wärmequelle für das Fernwärmenetz zur Verfügung.



Übersicht

In den exemplarischen Gebieten zeigt sich, dass die Gestehungskosten der Wärmetechnologien auf Grund der spezifischen Potenzialen und Charakteristiken der Versorgungsgebiete variieren. So sind Wärmepumpen in der beispielhaften Innenstadt der Großstadt und in der abgebildeten Vorstadt vorteilhaft. Die Versorgung mit Fernwärme hat niedrige Gestehungskosten in der Innenstadt der Kleinstadt und dem Neubaugebiet in der Vorstadt. Ein unkoordinierte Lösung mit dem temporären Weiterbetrieb von Gasheizungen und vereinzelt Wärmepumpen zeigt sich zunächst vorteilhaft im ländlichen Raum sowohl bei sanierten wie auch Gebieten mit Bestandsgebäuden. In diesen Regionen erscheint es zumindest kurzfristig nicht sinnvoll ein Fokusgebiet mit der Priorisierung einer spezifischen Wärmeversorgungstechnologie einzurichten.

Fernwärme hat insbesondere dann niedrige Gestehungskosten, wenn eine günstige Wärmequelle zur Verfügung steht und die Bebauungsdichte hoch ist. In dem Fall sind die Wärmenetzkosten und die variablen Kosten der Wärmeerzeugung gering. Die Gestehungskosten der Wärmepumpe sind geringer für Mehrfamilienhäuser mit hohem Wärmebedarf. Hier sinkt der Anteil der Investitionskosten (CAPEX) an den Gestehungskosten und der Anteil der Betriebskosten (OPEX) steigt. Gleichzeitig sind die Größenvorteile bei Wärmepumpen exponentiell, sodass größere Wärmepumpen deutlich preiswerter je erzeugte kWh sind als kleinere. Dies bedingt, dass insbesondere Gebiete mit unsanierten Gebäuden und Mehrfamilienhäusern geringe Gestehungskosten für Wärmepumpen aufweisen.

Die Versorgungslösungen mit den niedrigsten Gestehungskosten sind für die exemplarischen Gebiete nachfolgend zusammengefasst:

Innenstadt Kleinstadt	Innenstadt Großstadt	Vorstadt mit Bestandsgebäuden	Neubaugebiet Vorstadt	Sanierter ländlicher Raum	Lose Bebauung ländlicher Raum
Fernwärme	Wärmepumpe	Wärmepumpe	Fernwärme	kein Fokusgebiet	kein Fokusgebiet

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende (2021): [Worüber keiner reden will: Der bevorstehende Abschied vom Gasnetz.](#)

Ariadne (2021): [Ariadne-Analyse: Strategische kommunale Wärmeplanung.](#)

Bundesnetzagentur & Bundeskartellamt (2022): [Monitoringbericht 2021.](#)

BMWK & BMWSB (2022): [Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. 1 KSG für den Sektor Gebäude.](#)

Dena (2021): [dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität.](#)

FNB Gas (2022): [Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032. Zwischenstand.](#)

FBN Gas (2020): [Netzentwicklungsplan Gas 2020-2030.](#)

EWI (forthcoming): [Wärmegestehungskosten - Tool.](#)

Görres, J (2021): [Informationsabend zu energetischen Vorhaben in Weilimdorf-Süd Landeshauptstadt Stuttgart.](#)

KEA Klimaschutz und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (2019): [Kommunaler Klimaschutz - Alles auf einen Blick.](#)

Stadt Zürich (2019): [Kommunale Energieplanung der Stadt Zürich Überarbeitung 2019 - Planungsbericht Energieversorgung.](#)

Stadt Zürich (2017): [Energieplankarte der Stadt Zürich.](#)

Abkürzungsverzeichnis

AVBFernwärmeV	Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme	KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle	LCoH	Levelized Cost of Heating
BauGB	Baugesetzbuch	MFH	Mehrfamilienhaus
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude	PV	Photovoltaik
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze	ZFH	Zweifamilienhaus
EE	Erneuerbare Energien		
EFH	Einfamilienhaus		
ETS	Emission Trading System		
EVUs	Energieversorgungsunternehmen		
EWärmeG BW	Erneuerbare-Wärme-Gesetz in Baden-Württemberg		
GEG	Gebäudeenergiegesetz		
gMFH	großes Mehrfamilienhaus		
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung		

**Energiewirtschaftliches Institut an der
Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

Tel.: +49 (0)221 277 29-100

Fax: +49 (0)221 277 29-400

<https://www.ewi.uni-koeln.de>

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist eine gemeinnützige GmbH, die sich der anwendungsnahen Forschung in der Energieökonomik und Energie-Wirtschaftsinformatik widmet und Beratungsprojekte für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft durchführt. Annette Becker und Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge bilden die Institutsleitung und führen ein Team von mehr als 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das EWI ist eine Forschungseinrichtung der Kölner Universitätsstiftung. Neben den Einnahmen aus Forschungsprojekten, Analysen und Gutachten für öffentliche und private Auftraggeber wird der wissenschaftliche Betrieb finanziert durch eine institutionelle Förderung des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE). Die Haftung für Folgeschäden, insbesondere für entgangenen Gewinn oder den Ersatz von Schäden Dritter, ist ausgeschlossen.