

# Software-basierte Wärmeplanung

Anregungen zum effizienten Umgang mit niederschwellig verfügbaren Software-Tools für die kommunale Wärmeplanung



Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt als Teil des Projekts „Wärmewende NordWest“ (Förderkennzeichen 03SF0624) finanziert.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt

Beitragende (in alphabetischer Ordnung):

- Baer, Svenja (swb Services GmbH)
- Gerling, Yannick Elias (Hochschule Bremen)
- Kilper, Thilo (swb Services GmbH)
- Knies, Jürgen (Hochschule Bremen)
- Krien, Uwe (Fraunhofer IFAM)
- Mitzinger, Tino (Universität Bremen)
- Poppinga, Thomas (DLR)
- Schönfeldt, Patrik (DLR)
- Schwarz, Timmy (Hochschule Bremen)
- Telle, Anne (swb Services GmbH)

Der vorliegende Text samt der zur Illustration verwendeten Grafiken steht unter der Lizenz „CC BY 4.0“. Zum Einsehen der Bestimmungen besuchen Sie bitte:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Das Copyright verwendeter Logos und Markennamen ist hiervon nicht berührt und verbleibt bei den ursprünglichen Rechteinhabenden.

## Vorwort

Das vorliegende Dokument soll Anregungen geben, wie Wärmeplanung auf der Basis niederschwellig verfügbarer Daten und Tools verbessert oder effizienter gestaltet werden kann. Es richtet sich an Personen, welche die Grundzüge der kommunalen Wärmeplanung nach aktuellem Schema kennen oder ähnliche Grundlagen mitbringen. Das können Planer:innen oder Mitarbeitende bei Kommunen sein, die Verbesserungen für die Fortschreibung der Wärmeplanung suchen, aber auch Wissenschaftler:innen, die in dem Bereich forschen.

Zunächst ist sicherlich eine Einordnung der Randbedingungen hilfreich: Das Forschungsprojekt „Wärmewende NordWest“ startete im Jahre 2021. Zu dieser Zeit stellte die Datenbeschaffung noch ein zentrales Problem der Wärmeplanung dar. Mit dem Wärmeplanungsgesetz wurden zum Jahr 2024 auf Bundesebene Grundlagen zur Datenerhebung zur kommunalen Wärmeplanung geschaffen. Zudem existiert seit 2022 das Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW), welches Kommunen in Fragen der Wärmeplanung als Austauschplattform bereitsteht und Orientierung bietet. Viele unserer ursprünglichen Schwierigkeiten sind somit zumindest für Kommunen in der Zwischenzeit deutlich weniger gravierend. Auf der anderen Seite gehen die im Rahmen des Projektes entwickelten und untersuchten Methoden über das heute übliche Vorgehen hinaus und geben einen Ausblick, wie Prozesse digitalisiert mit weniger Arbeitsaufwand zu besseren Ergebnissen kommen können.

Um einen guten Lesefluss zu gewährleisten, werden die besprochenen Themen immer nur angerissen. Für Details kann auf weiterführende Literatur zurückgegriffen werden, auf die wir im jeweiligen Abschnitt verweisen.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
Inhaltsverzeichnis.....	4
1 - Ressourcen.....	5
1.1 - Datenquellen .....	5
1.2 - Software-Werkzeuge .....	9
1.3 - Zieldefinitionen.....	11
2 – Planungsverfahren .....	13
2.1 - Technische Gebietspräferenz .....	13
2.2 - Techno-Sozio-Ökonomische Optimierung.....	14
3 - Umsetzungsoptionen.....	18
3.1 - Geschäftsmodelle .....	18
4 - Kommunikation .....	21
4.1 - Wärmewende.....	21
4.2 - Wärmenetze .....	22
4.3 - Kommunale Wärmeplanung.....	24
4.4 - Sanierung und Heizungstausch .....	25
4.5 - Smart Meter .....	25
4.6 - Stromversorgung .....	26

# 1 - Ressourcen

Die Erstellung einer Wärmeplanung kann nur auf Basis von spezifischen Daten erfolgen und es gibt Tools, diese gezielt auszuwerten. In diesem Kapitel werden die nützlichen zumeist offenen Datenquellen und Tools aufgelistet und vorgestellt:

- offene und kommunale Datenquellen für wichtige Aspekte einer Wärmeplanung, von OpenStreetMap bis zum Solarkataster
- offene Tools zur zielgerichteten Auswertung der zur Verfügung stehenden Daten
- Zieldefinitionen

Dieses Kapitel vermittelt gezielt Kenntnisse,

- sich Daten aus offenen Quellen für wichtige Aspekte einer Wärmeplanung zu beschaffen,
- die Qualität der Daten vergleichend zu beurteilen,
- nutzbare Software zu kennen, mit der eine Auswertung von Daten erfolgen kann und
- die Ziele zur Auswahl der Datengrundlage und Perspektiven in der Auswertung angemessen zu setzen.

Im sich anschließenden Kapitel 2 „Planungsverfahren“ werden Methoden zur Bewertung von Optionen der Wärmeplanung im betrachteten Gebiet vorgestellt.

## 1.1 - Datenquellen

Dieses Kapitel listet der Reihe nach Datenquellen auf, die für verschiedene Schritte der Transformationsplanung im Wärmesektor hilfreich sein können und von einzelnen Anwendungen genutzt werden. Je Datenquelle werden die **Charakteristik**, der **zentrale Mehrwert** und der konkrete, **praktische Nutzen** überblicksartig erläutert.

Einige der Datenquellen finden bereits im „Datenkompass“ der KWW Erwähnung, im Folgenden werden insbesondere allgemein zugängliche Datenquellen ergänzt.

### 3D-Gebäudemodelle (LOD1 und LOD2)

Für fast alle Gebäude in Deutschland liegt die Gebäudeform („Kubatur“) in Form von offenen Datensätzen vor (ALKIS, Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem). Diese werden jeweils von den Bundesländern bereitgestellt. Eine bundesweite Zusammenstellung setzt eine Registrierung beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie voraus. Die Daten umfassen neben der Position der Außenwände auch Gebäudehöhe, Dachform (nur LOD2) und eine ID des jeweiligen Gebäudes.

Der **zentrale Mehrwert** ist die flächendeckende Verfügbarkeit, um als Grundlage für weitere Rechnungen zu dienen. Für großflächige Planung ist die Gebäudekubatur oft ausreichend. In Kombination mit weiteren Daten, z. B. dem Gebäudealter und der Nutzungsform lässt sich zum Beispiel der Wärmebedarf des Gebäudes bereits gut abschätzen. Über die im LOD2-Datensatz vorhandenen Dachflächen lässt sich zudem das Solarpotenzial berechnen.

**Praktischer Nutzen:** Die Gebäudegröße ist zentraler Einflussfaktor auf den Energiebedarf des Gebäudes. Durch die Nutzung der Datenquelle steht ein Großteil der benötigten Gebäudeinformation bereits zur Verfügung.

## Wärmeverbrauchsdaten

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung wurde von vielen Gebäuden der jährliche Wärmeverbrauch erhoben. Dabei handelt es sich zumeist um Abrechnungswerte vom Gas- oder Fernwärmeversorger. Lokal gewonnene erneuerbare Energie (z. B. durch Solarthermie oder Wärmepumpen) oder andere Brennstoffe (Holz und Öl) sind nicht quantitativ erfasst. Sofern vorliegend, können Wärmeverbrauchsdaten ein genaueres Bild ermöglichen als rechnerische Wärmebedarfe. Da der Wärmeverbrauch jedoch immer auch das Nutzungsverhalten beinhaltet, ist eine Abschätzung von Einsparpotenzial ggf. auf Basis des Wärmebedarfs zielführender.

Als **zentraler Mehrwert** lässt sich die direkte Nutzbarkeit insbesondere zur Emissionsbilanzierung und für Projekte ohne Änderungen der Bausubstanz festhalten. Auch stecken im Wärmeverbrauch Informationen über den Gebäudezustand (z. B. überdurchschnittliche Wärmedämmung nach Sanierung).

**Praktischer Nutzen:** Der Wärmeverbrauch sollte sofern vorliegend für den Abgleich mit dem rechnerischen Wärmebedarf (z. B. aus LOD-Daten und TABULA-Gebäudetyp) genutzt werden. Auf diese Weise lässt sich die Qualität der gemachten Annahmen abschätzen.

## Solarkataster

Solarkataster-Daten bieten eine **gebäudescharfe Bewertung des solaren Potenzials** von Dachflächen (und ggf. Fassaden). Sie basieren auf hochauflösenden Laserscanning-Daten (LiDAR) und Luftbildern, aus denen Dachgeometrie, Ausrichtung, Neigung und Verschattung ermittelt werden. Daraus wird die Eignung für Solarthermie und Photovoltaik berechnet, häufig ergänzt um Wirtschaftlichkeitsabschätzungen. Viele Kommunen stellen diese Daten mittlerweile kostenfrei über Web-Portale zur Verfügung.

Der **zentrale Mehrwert** für die Wärmeplanung liegt in der Quantifizierung dezentraler, gebäudegebundener Wärmepotenziale durch Solarthermie. Die Daten zeigen auf, welche Gebäude sich für solare Wärmeerzeugung eignen und welche Erträge realistisch erzielbar sind. In Kombination mit Informationen zu Wärmebedarf und Gebäudestruktur lässt sich abschätzen, wo Solarthermie einen substantiellen Beitrag zur Wärmeversorgung leisten kann und wo netzgebundene Lösungen unverzichtbar bleiben.

**Praktischer Nutzen:** Solarkataster ermöglichen die räumliche Differenzierung von Versorgungsstrategien auf Quartiersebene. In Gebieten mit hohem solaren Potenzial und günstigem Verhältnis von Dachfläche zu Wärmebedarf (z. B. Einfamilienhausgebiete) können dezentrale Lösungen priorisiert werden. In dicht bebauten Quartieren mit ungünstiger Dach-Wärmebedarf-Relation wird die Notwendigkeit netzgebundener Versorgung deutlich. Die Daten unterstützen zudem die Beratung von Eigentümern und ermöglichen eine realistische Einschätzung der Rolle solarer Wärme im kommunalen Wärmemix.

### Weiterführende Informationen:

Schwarz, T., Gerling, Y. & Knies, J. (2025). Handlungsempfehlungen zum Solarkataster Bremen - Ergebnisse einer exemplarischen Überprüfung des Solarkatasters Bremen in Neu-Schwachhausen. DOI: [10.26092/elib/3460](https://doi.org/10.26092/elib/3460)

## OpenStreetMap

Die OpenStreetMapn (oft OSM abgekürzt) ist die größte verfügbare Quelle für offene Geodaten. Neben den namensgebenden Straßen werden auch Informationen zu Gebäudeformen und Landnutzung zusammengetragen. In Gebieten mit aktiver Community und

Gebieten, in denen freigegebene (z. B. staatliche) Datensätze eingepflegt werden können, ist die Datenqualität oft höher als bei anderen Datensätzen.

Der **zentrale Mehrwert** liegt in der großen Aktualität und der (prinzipiell) internationalen Verfügbarkeit. Bestehende Fehler lassen sich leicht direkt in der Datenbank beheben. OpenStreetMap hat sich als De-Facto-Standard für Straßendaten etabliert und ist in diesem Punkt vergleichbar mit der Wikipedia. Durch diese Position gibt es eine Vielzahl an Software, die sich leicht an diese Quelle anbinden lässt. Auch weitere Informationen – wie bestehende Energieleitungen – werden erfasst. Diese sind jedoch oft lückenhaft.

**Praktischer Nutzen:** Durch die gute Verfügbarkeit lassen sich schnell und einfach z. B. Straßen für die mögliche Verlegung von Fernwärmeleitungen extrahieren. Gerade im wissenschaftlichen Kontext sind Schnittstellen zu OpenStreetMap sehr verbreitet.

## Abwasserwärme

Abwasserwärme-Daten umfassen Informationen zur **Kanalnetzinfrastruktur** und zu **hydraulischen Kenngrößen** des kommunalen Abwassersystems. Wesentliche Parameter sind der Trockenwetterabfluss, die Durchmesser der Haltungen (Abwasserrohrleitungen) sowie die Standorte von Pumpwerken. Diese Daten liegen in der Regel bei den kommunalen Abwasserbetrieben vor und beschreiben das technische Potenzial zur Wärmegewinnung aus Abwasser, einer bislang weitgehend ungenutzten, lokalen Wärmequelle.

Der **zentrale Mehrwert** für die Wärmeplanung liegt in der Identifikation geeigneter Entnahmestellen für Abwasserwärme. Der Trockenwetterabfluss gibt Auskunft über die kontinuierlich verfügbare Abwassermenge und damit die Größenordnung des erschließbaren Wärmepotenzials. Der Haltungsdurchmesser bestimmt die technische Realisierbarkeit von Wärmetauschern im Kanal. Pumpwerke bieten sich als besonders attraktive Standorte an, da hier bereits Infrastruktur vorhanden ist und größere Abwassermengen konzentriert anfallen.

**Praktischer Nutzen:** Die systematische Auswertung dieser Daten ermöglicht die räumliche Lokalisierung von Quartieren mit Abwasserwärme-Potenzial. Haltungen mit ausreichendem Durchmesser (typischerweise ab DN 600) und hinreichendem Trockenwetterabfluss können als mögliche Wärmequellen für nahegelegene Wärmenetze identifiziert werden. Pumpwerke lassen sich als dezentrale Einspeisepunkte in die Wärmeversorgungsplanung integrieren. Diese lokal verfügbare, regenerative Wärmequelle trägt zur Diversifizierung des Wärmemix bei und reduziert die Abhängigkeit von leitungsgebundenen Energieträgern.

### Weiterführende Informationen:

Schwarz, T., Gerling, Y. E. & Paudel, A. (2025). Initiale Ermittlung der Abwasserwärmepotenziale als Beitrag zur Wärmewende in Bremen. In J. Marx Gómez, B. Rapp & A. Solsbach (Hrsg.), BUIS-Tage 2025 Smarte und Nachhaltige Infrastrukturen (S. 55-60), Shaker Verlag. DOI: [10.26092/elib/4973](https://doi.org/10.26092/elib/4973)

## TABULA

Bei TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) handelt es sich um eine international abgestimmte **Gebäudetypologie** zur energetischen Bewertung des **Wohngebäudebestands** in 13 europäischen Ländern. Die Fassung für Deutschland wird vom Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) gepflegt. Die Einteilung erfolgt nach Baualtersklasse (z. B. „von 1979 bis 1983“) und nach Bauform (Einfamilienhaus, Reihenhauses, Mehrfamilienhaus, großes Mehrfamilienhaus, Hochhaus).

Der **zentrale Mehrwert** liegt in der gut strukturierten Beschreibung der Typgebäude sowie in der breiten Adaption der Typologie. Anhand dieser Parameter lässt sich die Bauweise und somit der spezifische Wärmebedarf bereits gut abschätzen. Für die Zuordnung von Einzelgebäuden existieren Datenbanken wie ETHOS.BUILD.A.

**Praktischer Nutzen:** Die TABULA-Gebäudetypologie bildet die Grundlage für weitere Tools, die zur Abschätzung von Energiebedarfen genutzt werden können. So existiert TEASER, welches mit 3D-Gebäudemodellen arbeitet, oder demandlib (siehe unten) zur schnellen Erzeugung von Wärmelastzeitreihen.

#### Weiterführende Informationen:

Dabrock, K., Ulken, J., Pflugradt, N., Weinand, J. M., & Stolten, D. (2024). ETHOS.BUILD.A: Residential Building TABULA Archetype Dataset Germany (2.0.0) [Data set]. Zenodo. DOI: [10.5281/zenodo.13771740](https://doi.org/10.5281/zenodo.13771740)

## Zensus

Zensus-Daten bilden eine **amtliche, flächendeckende und frei verfügbare Datengrundlage** zu Gebäuden, Wohnungen und Bevölkerung. Sie umfassen Informationen zu Gebäudealter und -typ, Heizungsarten, Wohnflächen, Eigentumsverhältnissen sowie soziodemografischen Merkmalen der Bewohnerschaft. Die Daten liegen anonymisiert und aggregiert auf 100 m x 100 m Gitterzellen vor – eine räumliche Auflösung, die für Quartiersbetrachtungen gut geeignet ist. Als offiziell erhobene Vollerfassung bieten sie eine verlässliche und rechtssichere Planungsgrundlage ohne Lizenzkosten, allerdings mit nicht immer aktuellstem Stand (letzte Volkszählung 2022, Ergebnisse seit 2024 verfügbar).

Der **zentrale Mehrwert** für die Wärmeplanung liegt in der systematischen Erfassung energetisch relevanter Strukturdaten auf 100m-Raster-Ebene. Das Gebäudealter ermöglicht Rückschlüsse auf Sanierungsstand und Wärmebedarf, während Angaben zu bestehenden Heizungssystemen den Transformationsbedarf konkret beziffern. Die Kombination mit Einwohnerzahlen, Haushaltsgrößen und Eigentumsverhältnissen erlaubt eine realistische Einschätzung von Investitionspotenzialen und zeitlichen Umsetzungshorizonten. Die freie Verfügbarkeit macht sie zur idealen Grundlage für erste Quartiersanalysen.

**Praktischer Nutzen:** Zensus-Daten ermöglichen die räumliche Priorisierung von Maßnahmen nach objektiven Kriterien. Quartiere mit hohem Anteil an Gebäuden aus energetisch ungünstigen Baualtersklassen (z. B. 1950-1978) können gezielt für Sanierungsoffensiven identifiziert werden. Die Kenntnis vorherrschender Heizungssysteme erlaubt die bedarfsgerechte Planung von Wärmenetzen oder dezentralen Lösungen. Soziodemografische Daten wie Altersstruktur und Eigentümerquoten helfen, Förderprogramme und Beratungsangebote zielgerichtet zu dimensionieren und realistische Transformationspfade zu entwickeln.

## Sinus-Milieus

Sinus-Milieus bieten eine soziodemografische Datenbasis, die über klassische statistische Kennzahlen hinausgeht und Menschen nach **Wertorientierungen, Lebensstilen und Einstellungen** gruppiert. Diese soziokulturelle Segmentierung liegt kleinräumig bis zur Gebäudeebene vor und kann dadurch passend aggregiert (z. B. auf Straßenzüge, Baublöcke, Quartiere) sowie mit technischen und energetischen Daten verknüpft werden.

Der **zentrale Mehrwert** für die Wärmeplanung: Während technische Daten aufzeigen, was möglich ist, geben Sinus-Milieus Aufschluss darüber, wie verschiedene Bevölkerungsgruppen erreicht und zur Partizipation motiviert werden können. Die zehn Milieus unterscheiden sich



erheblich in Investitionsbereitschaft, Nachhaltigkeitsaffinität, Technikoffenheit und Kommunikationspräferenzen.

**Praktischer Nutzen:** Kommunikationsmaßnahmen, Beratungsangebote und Förderprogramme können milieuspezifisch ausgerichtet werden. Ein Quartier mit hohem Anteil des „Postmateriellen Milieus“ erfordert andere Anspracheformen als eines mit „Nostalgisch-Bürgerlicher“ Dominanz. Während erstere durch Klimaschutz und Innovation motiviert werden, stehen bei letzteren Sicherheit, Verlässlichkeit und finanzielle Entlastung im Vordergrund. Diese Differenzierung erhöht die Akzeptanz von Maßnahmen und die Erfolgswahrscheinlichkeit der Wärmetransformation.

#### Weiterführende Informationen:

Schwarz, T., Gerling, Y. E. & Knies, J. (2025). Bürgerschaftliche Potenziale: Akteursidentifikation und -aktivierung in der Wärmewende – Aktualisierung der Sinus-Milieus® für Bremen. In J. Marx Gómez, B. Rapp & A. Solsbach (Hrsg.), BUIS-Tage 2025 Smarte und Nachhaltige Infrastrukturen (S. 71-77), Shaker Verlag. DOI: [10.26092/elib/3795](https://doi.org/10.26092/elib/3795)

Schwarz, T., Kötterheinrich, K. & Knies, J. (2023). Das Konzept der Sinus-Milieus für eine zielgruppen-spezifische Strategieentwicklung in der kommunalen Wärmeplanung am Beispiel Bremens. DOI: [10.26092/elib/2409](https://doi.org/10.26092/elib/2409)

## 1.2 - Software-Werkzeuge

### MTRESS

MTRESS ist ein Tool zur vereinfachten Erstellung komplexer Energiesystemmodelle mittels Python-Code. Durch die Definition von oft vorkommenden Systemkomponenten und deren automatische Verknüpfung lassen sich übliche Konfigurationen schnell abbilden. Die Software MTRESS erweitert lineare Optimierungsmodelle (siehe z. B. oemof.solph unten) in zweierlei Hinsicht:

1. Die Konfiguration des Systems kann direkt mit Datenplatt-Werten der Systemkomponenten erfolgen. Eine Umformulierung zur besseren mathematischen Handhabung sowie eine sinnvolle Verknüpfung der Komponenten untereinander passiert im Hintergrund automatisch.
2. Die Formulierung berücksichtigt die Qualität der Energie (z. B. das Temperaturniveau der Wärmebereitstellung) auf dynamische Art und Weise.

**Praktischer Nutzen:** MTRESS bietet einen leichten Einstiegspunkt in die Systemoptimierung am Stand der Wissenschaft. Die zusammengesetzten Komponenten werden in ihrer veröffentlichten Form validiert und im Rahmen aktiver Forschungsarbeiten angepasst. Die Software (<https://doi.org/10.5281/zenodo.6395909>) und alle hierzu benötigten Voraussetzungen sind unter Open-Source-Lizenzen frei nutzbar.

### Demandlib

Die zum „Open Energy Modelling Framework“ (oemof) gehörende Bibliothek „demandlib“ dient zur Erzeugung von Standardlastprofilen, die in einschlägigen Normen definiert sind. Sie stellt in Python den einfachsten bekannten Weg dar, entsprechende Profile zu erzeugen.

## oemof.solph

Die Software „solph“ des „Open Energy Modelling Framework“ (oemof) beschreibt einen Formalismus zur linearen Optimierung von Energiesystemmodellen in Python. Sie zeichnet sich durch eine vergleichsweise breite Community aus, die seit über zehn Jahren gemeinschaftlich Wartung und Pflege übernimmt. Die Formulierungen in solph sind sehr abstrakt gehalten, sodass die Software sehr flexibel angewendet werden kann.

**Praktischer Nutzen:** Ohne Vorerfahrung bietet sich der Einsatz von solph vor allem mittelbar, z. B. in Form der Grafischen Oberfläche „OpenPlan“ (<https://open-plan-tool.org/>) oder über MTRESS an. Die Software wird im Consulting, an Hochschulen oder aber zur Betriebsoptimierung von realen Anlagen vielfältig direkt eingesetzt.

## PyGMO

Bei PyGMO handelt es sich um ein Python-Framework zum Einsatz von Heuristiken in Multikriterieller Optimierung. Die Software zeichnet sich insbesondere durch die Vielzahl von nutzbaren Algorithmen aus. In PyGMO werden zunächst Variablen festgelegt und definiert, wie daraus Indikatoren berechnet werden. So wird ein nicht gewichteter Lösungsraum gefunden. Wenn z. B. Leistung einer PV-Anlage und Größe eines Batteriespeichers variablen sind und Energiekosten und Eigenverbrauchsgrad die Indikatoren, wird PyGMO Lösungen finden, in denen die Komponentengrößen entsprechend der Zielvorgaben gut aufeinander abgestimmt sind.

**Praktischer Nutzen:** Im Kontext der Wärmeplanung bietet sich an, die Sichtweisen verschiedener Stakeholder in den Indikatoren zu berücksichtigen. Zur Berechnung technischer Indikatoren aus den Variablen kann ein Energiesystemmodell zu verwendet werden.

## ArcGIS-Pro-Modell: Bedarfsbedingte Ermittlung von Eignungsbereichen der Wärmeversorgung

Das ArcGIS-Pro-Modell zur Ermittlung von Eignungsbereichen für Wärmeversorgungsoptionen ermöglicht die (halb-)automatisierte Berechnung und Visualisierung von Eignungsbereichen für verschiedene Wärmeversorgungsoptionen auf Quartiersebene. Es identifiziert systematisch, welche Gebiete sich für Einzelversorgung, Nahwärme, Fernwärme oder indifferente Übergangsbereiche eignen.

Als Eingangsdaten werden vier wesentliche Komponenten benötigt: das Untersuchungsgebiet (als Polygonfläche), ein Gitter zur Datenaggregation, ein Straßennetz (als Grundlage für mögliche Wärmenetzverläufe) sowie gebäudescharfe Wärmebedarfsdaten. Das Modell berechnet daraus charakteristische Kennwerte wie Anzahl der Wärmeabnehmer, Wärmebedarf, Wärmenetzlängen und die zentrale Kenngröße Wärmelinienichte je Gitterzelle. Auf dieser Basis erfolgt eine automatisierte Zuordnung der präferierten Versorgungsoption für jede Zelle.

**Praktischer Nutzen:** Das Tool bietet insbesondere Forschenden eine unabhängige Möglichkeit, Wärmepläne kritisch zu hinterfragen und zu evaluieren. Insbesondere, wenn die kommunale Wärmeplanung extern beauftragt wird, ermöglicht dieses frei verfügbare Werkzeug eine transparente und nachvollziehbare Überprüfung der vorgeschlagenen Versorgungsoptionen. Kommunen können es zudem für eigene Voruntersuchungen nutzen oder als Vergleichsinstrument zur Qualitätssicherung beauftragter Planungen einsetzen.

**Open-Science-Ansatz:** Das Modell steht frei auf Zenodo zur Verfügung (<https://doi.org/10.5281/zenodo.10675338>) und kann von anderen Kommunen und Forschungseinrichtungen genutzt und weiterentwickelt werden. Eine ausführliche Dokumentation ist hier zu finden:

Knies, J., Heinrich, P., Steyer, N., Gerling, Y. & Schwarz, T. (2024): Ein ArcGIS-Pro-Modell zur Ermittlung von Eignungsbereichen für Wärmeversorgungsoptionen am Beispiel der Stadt Bremen, DOI: [10.26092/elib/2640](https://doi.org/10.26092/elib/2640)

## 1.3 - Zieldefinitionen

Indikatoren werden in der Regel genutzt, um Projekterfolg messbar zu machen. Sie eignen sie sich auch für numerische Optimierung, wenn folgende zwei Anforderungen erfüllt sind:

1. Sie müssen berechenbar sein.
2. Sie müssen einen hierarchischen Vergleich (besser/schlechter) zulassen.

An dieser Stelle werden die wichtigsten Punkte aus dem separaten Bericht „Indikatoren für Klimaneutrale Quartierslösungen“ ([doi:10.5281/zenodo.17876749](https://doi.org/10.5281/zenodo.17876749)) zusammengefasst.

## Treibhausgasemissionen

**Definition 1:** Durch den Betrieb in der Gegenwart verursachte oder verhinderte Emissionen

Hierbei sind zeitlich veränderliche Emissionen für Import und Export von Energie (-trägern) anzusetzen. Da eine Durchleitung keine Emissionen verhindert oder erzeugt, sind hierbei beide Richtungen gleich zu bewerten.

In der Kommunikation ist zu beachten, dass die Berücksichtigung verhinderter Emissionen potenziell zu einem Offset führt, sodass ein Wert entsprechend „null Emissionen“ nicht unbedingt Klimaneutralität bedeutet: Wird beispielsweise durch die Verbrennung von Erdgas Strom erzeugt und ins Netz eingespeist, können Emissionen gutgeschrieben werden, obwohl offensichtlich kein klimaneutrales Versorgungssystem besteht.

**Definition 2:** Durch den Betrieb bis zur Klimaneutralität verursachte Emissionen

Diesem Problem wird dadurch begegnet, dass neben den Emissionen für den Betrieb zum jetzigen Zeitpunkt auch diejenigen für den Betrieb bis zur Klimaneutralität berechnet werden. Für das Klimaneutrale Umfeld wird dabei angenommen, dass keine Biomasse für Energiegewinnung angebaut wird. Diese zwei Leitindikatoren stehen nebeneinander und werden nicht gewichtet.

## Kosten

Bei Kosten ist die Relevanz der Sichtweise besonders deutlich: Die Ersparnisse einer Seite können für andere zusätzliche Aufwände bedeuten. Geht es um gesellschaftliche Kosten, brauchen Steuern, Abgaben, Förderung oder Subventionen nicht berücksichtigt werden.

Wir definieren drei Indikatoren, die zusammen möglichst umfassend alle Sichtweisen abbilden sollen:

**Definition 1:** Kosten für Energiebeschaffung und Wartung abzüglich der Verkaufserlöse

Der Indikator „Betriebskosten“ bildet die Sicht von Mietenden ab und ist Teil der Sicht von Menschen in Wohneigentum.

**Definition 2:** Kosten der Anlagenerrichtung geteilt durch die zu erwartende Lebensdauer der jeweiligen Anlage

Die (vereinfachte) Kapital-Annuität ist Teil der Wirtschaftlichkeit insgesamt und Teil der Sicht von Menschen in Wohneigentum.

**Definition3:** Summe aller Investitions- und Errichtungskosten

Als Abschätzung für den Aufwand bei Umsetzung werden zusätzlich zur Annuität die Kosten ohne Berücksichtigung der Anlagenlebensdauern betrachtet. Hier geht es neben Ressourcen für die Umsetzung auch um den Aspekt der Finanzierbarkeit.

## Skalierbarkeit

**Definition:** Anteil der Wärmeproduktion nach vorgeschlagenem Konzept, welche die höher liegende Energiesystemebene verkraftet

Dieser Indikator setzt sich zusammen aus

- der maximalen elektrischen Residuallast im Verhältnis zur Verfügung stehenden Leitungskapazität,
- dem Anteil der maximalen Wärmelast an der Kapazität eines Wärmenetzes und
- allen weiteren Energiebezügen von außen in Relation zur jeweiligen Verfügbarkeit.

## Netzdienlichkeit

**Definition:** Für das Gebiet notwendige (oder eingesparte) Speicherkapazität auf der höheren Systemebene

Dieser Indikator (<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124607>) ist verwandt mit der Skalierbarkeit, lässt aber Anpassungen beim Versorgungssystem zu.

## 2 – Planungsverfahren

Es gibt verschiedene Ansätze für Planungsverfahren. Dieses Kapitel gibt einen Überblick an einem Beispiel in der Stadt Bremen.

- technische Gebietspräferenz
- techno-sozio-ökonomische Optimierung (gesellschaftliche Optimierung; Top-Down)
- Bottom-Up Vergleichsmodell (individuelle Entscheidungen)

Im sich anschließenden Kapitel 3 „Umsetzungsoptionen“ werden Geschäftsmodelle erläutert, die für eine wirtschaftliche Umsetzung hilfreich sein können.

### 2.1 - Technische Gebietspräferenz

In diesem Abschnitt wird eine mögliche Methode erläutert, wie eine leitungsgebundene Wärmeplanung effizient auf ein zu planendes Gebiet angewendet werden kann, indem es in diesem ersten Schritt nach wärmetechnischen Gegebenheiten und infrastrukturellen Rahmenbedingungen geclustert wird und diese Cluster anschließend mit verfügbaren Daten zur Typisierung bezüglich ihrer energetischen Optionen klassifiziert werden.

Die Einteilung in sogenannte Cluster verfolgt das Ziel, im lokalen Kontext sinnvolle Energieversorgung zuzuordnen. Die Abgrenzung der einzelnen Cluster voneinander orientiert sich nicht nur an infrastrukturellen und siedlungstypologischen Gegebenheiten, sondern auch an ähnlichen Gebäudeeigenschaften wie Baualtersklasse, Gebäudenutzung oder aktueller Wärmeversorgungstechnik. Grundlage der Clusterbildung sind neben frei verfügbaren amtlichen Geobasisdaten auch die Wärmeverbrauchsdaten inkl. Energieträger und Gebäudeeigenschaften aus dem Bremer Wärmeatlas. Zusätzlich wird die *Wärmeliniendichte* ermittelt, um unterschiedliche Potenziale leitungsgebundener Wärmeversorgungsoptionen im Siedlungsgebiet aufzuzeigen. Auf Grundlage der Cluster werden dann die einzelnen Quartiere identifiziert.

#### Grobe Clusterung

Der erste Schritt der Clusterung ist eine Grobclusterung des Untersuchungsgebiets in wenige, durch Infrastrukturen getrennte Gebiete. Ausgangspunkte sind die Gebäude mit ihrem Wärmebedarf. Auf Grundlage der Gebäudemittelpunkte wird so eine *Wärmedichtekarte* erstellt. Diese Methodik wird verwendet, um den punktuellen Wärmebedarf eines Gebäudes und den räumlichen Zusammenhang zu benachbarten Gebäuden in der *Dichtekarte* abzubilden. So wird das für die Untersuchung relevante Gebiet mit den als beheizt identifizierten Gebäuden dargestellt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die gewählten Cluster Siedlungsgebiete mit fokussiertem Wärmebedarf enthalten und wenig unbebaute Flächen, Parkflächen oder Ähnliches beinhalten. Zusätzlich werden ländlich geprägte Gebiete und Stadtrandflächen mit geringer Wärme- bzw. Bebauungsdichte entlang eines *Wärmedichte-Grenzwertes* aussortiert, denn diese sind für eine Objektversorgung prädestiniert und für leitungsgebundene Versorgungskonzepte wenig relevant. Die entstandenen Flächen werden entlang zentraler Infrastrukturen aufgetrennt. Diese Infrastrukturen bilden für die leitungsgebundene Wärmeversorgung Grenzen für den Leitungsausbau. Aus diesem Grund wurden aus OpenStreetMap die Hauptverkehrsstraßen, Zug- und Straßenbahnschienen sowie Gewässer, in Bremen selektiert. Sie stellen die zentralen Grenzen zwischen den einzelnen Grobclustern dar. Den erstellten Gebieten werden über Verbindung mit den Gebäudepunkten noch räumliche Informationen wie Gebäudeanzahl und

aufsummierter Wärmebedarf zugeordnet. Abschließend werden Gebiete mit vergleichsweise sehr kleiner Fläche, einem geringen Wärmebedarf und weniger als 6 Gebäuden aussortiert.

Die Grobclusterung ist mit der Zuweisung einer eindeutigen Identifikationsnummer je Grobcluster abgeschlossen und es wird mittels Siedlungs- und Gebäudeinformationen eine *Feinclusterung* als weitere Differenzierung der Gebiete vorgenommen.

## Feine Clusterung

Im Rahmen der Feinclusterung wird die Grobclusterung als Begrenzung verwendet und die weiteren Siedlungs- und Gebäudeinformationen auf Ebene von Baublöcken aggregiert. Die Wahl der Baublöcke als Grundlage bietet eine kleinräumige, aber (im Vergleich mit Einzelgebäuden) nicht zu detaillierte Betrachtungsebene. Es wird angenommen, dass die in einem Baublock liegenden Gebäude inhaltlich sinnvoll zusammengefasst werden können. So verfügen Baublöcke in der Regel über homogene Bebauungsstrukturen, für die eine weitere Aufteilung im Rahmen einer Energieversorgungsplanung im Quartier nicht sinnvoll wäre. Da für die Stadt zur Zeit der Clustererstellung keine Baublöcke vorlagen, wurden sie unter Anwendung des GIS mit Hilfe der OSM-Straßenzüge erstellt. Es wird sichergestellt, dass nur die Straßen ausgewählt werden, die für die Baublockbildung geeignet sind. Dazu zählen bspw. keine Fußwege. Die so erstellten Baublöcke erhalten ebenfalls eine eindeutige Identifikationsnummer.

Nun sollen Siedlungs- und Gebäudeinformationen auf die Baublöcke übertragen, werden. So können dominante Attribute identifiziert und damit Gemeinsamkeiten wie auch Unterschiede im Stadtgebiet sichtbar gemacht werden. Liegen Daten (z. B. aus dem Zensus) in einem Raster vor, müssen diese zunächst auf die Baublöcke übertragen werden. Dabei werden die Informationen aus den Rastern zunächst gleichmäßig auf die im jeweiligen Raster liegenden Gebäudemittelpunkte übertragen. Anschließend werden die Informationen der Gebäudemittelpunkte entlang der Baublöcke aggregiert. Da der Anteil der Wärmebereitstellungstechnik in den einzelnen Rastern entlang des Wärmebedarfs errechnet wurde, gilt es, diesen Anteil nicht gleichmäßig auf die Gebäudepunkte zu verteilen, sondern mit der jeweiligen Gebäudegrundfläche zu gewichten. Der Hintergrund dieses Vorgehens soll an folgendem Beispiel verdeutlicht werden: In einem Raster liegen ein großes Nichtwohngebäude (NWG) mit hohem Wärmebedarf und eine Vielzahl kleiner Reihenhäuser mit einem vergleichsweise geringen Wärmebedarf. Das NWG liegt jedoch in einem anderen Baublock als die Reihenhäuser. In der Rasterabfrage dominiert die Technik des NWG. Diese dominante Technik wird aber durch den Übertrag auf die Gebäude auch auf die Reihenhäuser direkt übertragen. Mit der darauffolgenden Abfrage für die Baublöcke trägt jedes der Reihenhäuser die Technik in den Baublock ein, die dem NWG in dem anderen Baublock zugehörig ist. Dieser Effekt lässt sich aufgrund der Datengrundlage nicht verhindern, jedoch über die Gewichtung mit der Gebäudegrundfläche abschwächen. Das angebrachte Beispiel ist vornehmlich als Sonderfall in Grenzgebieten zu verstehen, da i. d. R. die Strukturen in einem Baublock homogen sind.

## 2.2 - Techno-Sozio-Ökonomische Optimierung

Diese Methode setzt auf ein Energiesystemmodell des Plangebiets, dessen Parameter (z. B. Größe und Typ von Heizanlagen) in einem automatischen Optimierungsprozess angepasst werden. Hierbei können verschiedene Zielgrößen (siehe Kapitel „Zieldefinitionen“), die miteinander in Konflikt stehen, berücksichtigt werden. Auf diese Weise lassen sich Versorgungslösungen identifizieren, die Zielkonflikte auch verschiedener Stakeholder berück-



sichtigen. Auf diese Weise wird der Möglichkeitsraum abgebildet, um eine Entscheidungsgrundlage zu bieten. Eine Abwägung kann dann auf dieser Basis informiert erfolgen und muss klar unterlegene Lösungen nicht mehr einbeziehen. Eine ausführlichere Beschreibung der hier vorgestellten Methode kann unter <https://doi.org/10.48550/arXiv.2512.07646> nachgelesen werden.

## Gebäudegruppierung

Für modellbasierte Optimierung stellt eine große Anzahl an Gebäuden eine Herausforderung dar, da die Anzahl der Variablen mit der Anzahl der zu berücksichtigenden Gebäude steigt. Im Zusammenhang mit der Wärmewende ist es außerdem notwendig, längere Zeiträume (die Lebensdauer von Systemen) mit hoher Auflösung abzubilden (insbesondere im Fall von Lastspitzen, die zu Beginn des Tages auftreten). Als Antwort auf diese Herausforderungen ist die Aggregation von Eingabedaten eine gängige Praxis. Hier betrachten wir ein zweistufiges, automatisierbares Verfahren, das einzelne Gebäude in den Fokus nimmt. Es kann statt einer Clusterung auf der Ebene von Baublöcken (siehe oben) verwendet werden, wenn entsprechende Daten vorliegen.

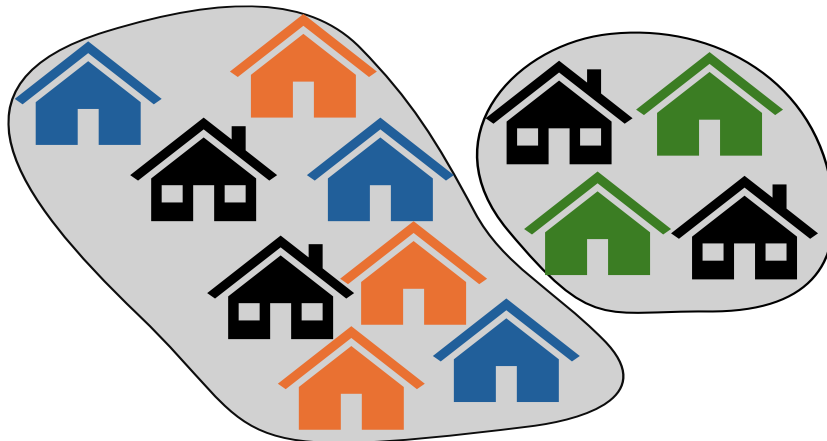


Abbildung 1: Darstellung repräsentativer Gebäude (Farben) in geografischen Gruppen (graue Flächen). Die Gruppen sind so gewählt, dass die Gebäude darin möglichst homogen sind.

In einem ersten Schritt bilden wir „repräsentative Gebäude“ auf der Grundlage von Energiewerten. Wir möchten jedes Gebäude repräsentieren, daher sollten möglichst ähnliche Gebäude identifiziert werden. Das geschieht durch die automatische Ableitung von Gebäudekategorien, die sowohl auf die Daten als auch auf den Optimierungsprozess zugeschnitten sind. Der Vorteil gegenüber der Anwendung von bestehenden Gebäudekategorien ist, dass die maßgeschneiderten Kategorien die vorliegenden Daten genauer abbilden können. Die genannten Eigenschaften werden durch K-Means erreicht.

Im zweiten Schritt werden die Gebäude (auch) unter Berücksichtigung ihrer geografischen Lage gruppiert. Diese Gruppen werden verwendet, um über die Verbindungen des Wärmenetzes zu entscheiden. Da die Gebäude keine jeweils individuellen Leitungen zu einer Heizzentrale bekommen, sondern parallel an Leitungen angeschlossen werden, ist die Kompaktheit nicht so wichtig wie bei den Gebäudekategorien. Dass z. B. eine längliche Gruppe sehr gut sein kann, bietet eine Vielzahl von Optionen für potenzielle Algorithmen. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass bei der Bildung geografischer Gruppen eine Balance zwischen der Betrachtung geografischer Nähe und der energetischen Eigenschaften hergestellt werden sollte.

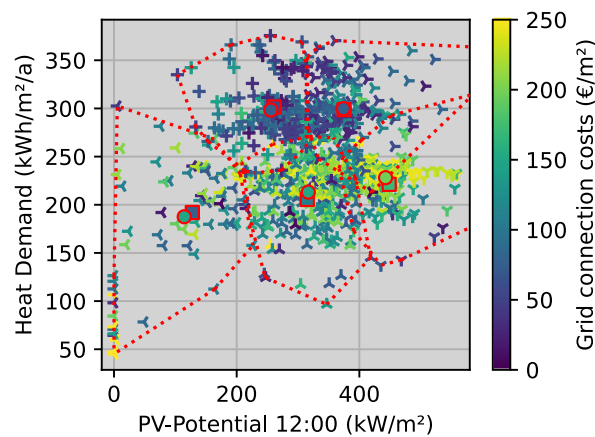


Abbildung 2: Auswahl repräsentativer Gebäude aus Energiekennwerten

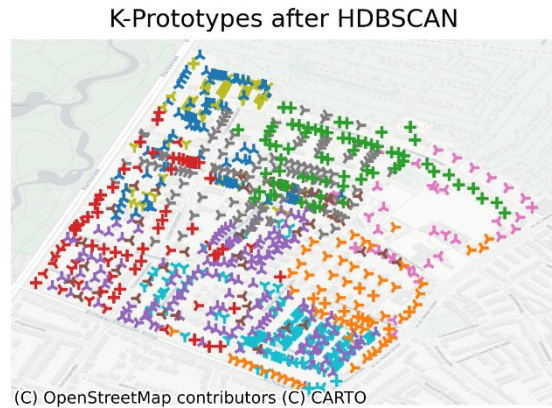


Abbildung 3: Bildung geografischer Gruppen aus Lage und erfolgter Zuordnung zu repräsentativem Gebäude

Eine beispielhafte Wahl repräsentativer Gebäude und geografischer Gruppen für den Stadtteil Neu-Schwachhausen ist in Abb. 2 und 3 gezeigt. Zur Veranschaulichung wurden (nur) fünf Gebäude gewählt, die in zehn Gebieten zusammengefasst wurden.

## Optimierung

Um Stakeholder-Konflikte abzubilden, bietet sich eine sogenannte Pareto-Optimierung an, bei der mehrere in Konkurrenz stehende Ziele gleichzeitig verfolgt werden. Ergebnis ist eine Auswahl von Lösungen, bei denen keine Zielgröße verbessert werden kann ohne Abstriche bei einer anderen Zielgröße zu machen. Ein klassisches Beispiel ist die Optimierung von betriebswirtschaftlichen Kosten und Treibhausgasemissionen. Lösungen, die sowohl teuer sind als auch viele Emissionen verursachen, werden so aussortiert. So kann im Nachgang zur Optimierung zwischen gesellschaftlichen (Emissionen) und individuellen (Kosten) Belastungen abgewogen werden.

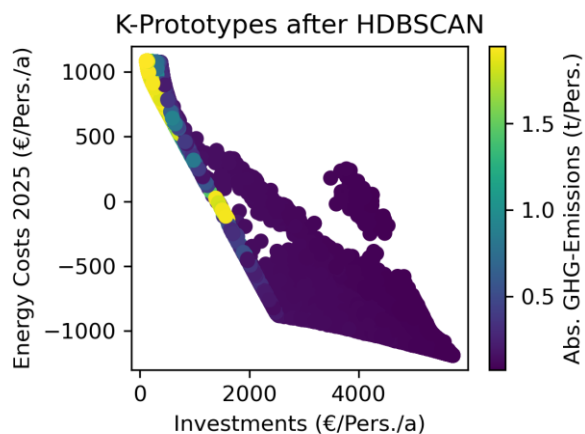


Abbildung 5: Darstellung Pareto-optimaler Zielgrößen

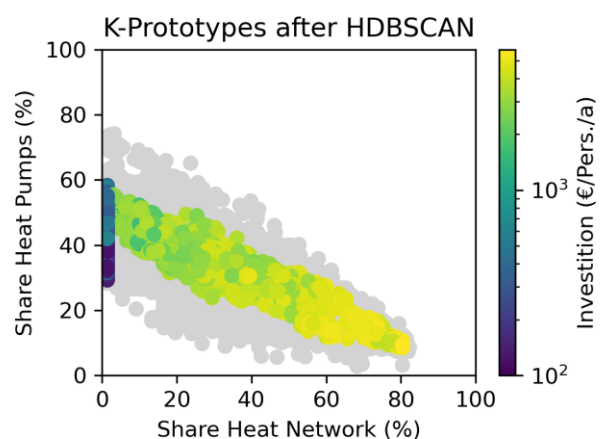


Abbildung 4: Technologieauswahl zur Wärmeversorgung und resultierende Investitionskosten

Zur Erstellung des eigentlichen Energiesystemmodells wurde im Projekt die Software MTRESS entwickelt. Nach dem hier erwähnten Konzept wird diese für die Bewertung der Versorgungslösungen herangezogen: Ein MTRESS-Modell optimiert die Betriebsführung für eine spezifische Gebäude-Konfiguration, hieraus werden dann die Indikatoren des repräsentativen Gebäudes berechnet. Für die Gesamtwertung wird mit dem Vorkommen des



Gebäudetyps gewichtet und anschließend globale Faktoren (wie Kosten für ein Wärmenetz) hinzuaddiert.

Die Lösungen dieser Optimierung beinhalten die Konfigurationen für jedes individuelle Gebäude im Plangebiet. Dabei muss beachtet werden, dass nicht jede mögliche Konfiguration untersucht und ebenso wenig jede Pareto-optimale Konfiguration gefunden werden kann. Hier hilft es, auch verworfene Lösungen aufzuzeichnen, um hieraus Schlüsse ziehen zu können. Um schlussendlich Entscheidungen zu treffen, also eine Lösung vor anderen zu bevorzugen, muss zunächst auf globalen Parametern Vergleichbarkeit hergestellt werden. Neben den zur Optimierung verwendeten Größen eignen sich hierzu abgeleitete Größen wie das Vorkommen bestimmter Versorgungslösungen.

Gleichzeitig ist zu betrachten, dass sehr ähnlich zu bewertende Konfigurationen für ein spezifisches Einzelgebäude sehr unterschiedlich aussehen können. Unsere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass es Fragestellungen gibt, die robust auf die Wahl der Aggregationsmethode reagieren. Hierzu zählt insbesondere die Detektion von Gebäuden mit besonders großer Eignung für eine Technologie.

## 3 - Umsetzungsoptionen

### 3.1 - Geschäftsmodelle

#### Ziele

In diesem Kapitel wird ein allgemein anwendbares Geschäftsmodell Quartiersversorger zum Betrieb klimaneutraler Quartierswärmeversorgungssysteme entwickelt. Ein wesentliches Merkmal soll hierbei sein, dass Möglichkeiten zur Kopplung der Sektoren Wärme, Strom und Mobilität auf Quartiersebene miteinbezogen werden. Das Geschäftsmodell Quartiersversorger wird auf ein Modellquartier angepasst werden, wobei auch Kundenperspektiven miteinfließen. Die Umsetzbarkeit innovativer Geschäftsideen für dezentrale klimaneutrale Energieversorgungssysteme mit Sektorenkopplung ist oft nicht durch technische Hürden limitiert, sondern durch die Ausgestaltung des regulatorischen Rahmens. Dies betrifft primär den Stromsektor.

Daher umfassen Vorbetrachtungen die Energietechnologien für klimaneutrale Quartiersversorgungen, die heute marktfähig zur Verfügung stehen und ebenso „Multi Use“-Ansätze, die zusätzliche Erlösmöglichkeiten für energietechnische Anlagen erschließen können (Beispiel Vermarktung als Flexibilitätsoption).

Die relevanten Teile des regulatorischen Rahmens für den Stromsektor auf Quartiersebene sowie deren Auswirkungen auf Wirtschaftlichkeit innovativer Geschäftsmodelle werden zusammengestellt. Auf Basis der Vorbetrachtungen wird anschließend ein Geschäftsmodell Quartiersversorger unter Einbeziehung des Business Model Canvas entwickelt. Abschließend werden lokale Energiegemeinschaften unter Berücksichtigung der EU-Richtlinien RED II und IEMD als eine Alternative zum entwickelten Geschäftsmodell erläutert.

#### Energietechnologien für klimaneutrale Quartiersversorgungen

Das vom Deutschen Bundestag im Jahr 2000 verabschiedete Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat zu einem Durchbruch der erneuerbaren Energien in Deutschland, Europa und weltweit beigetragen. Verschiedenen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien (EE) lassen sich hierbei auch zur klimaneutralen Versorgung von Quartieren mit Strom und Wärme einsetzen. Durch die erfolgreiche Markteinführung der EE-Technologien infolge des EEG sind diese mittlerweile technisch sehr ausgereift, Skaleneffekte und technische Verbesserungen haben zudem zu sehr starken Kostensenkungen geführt.

Die Tabelle 1 liefert einen Gesamtüberblick über marktgängige Energietechnologien, mit denen sich eine klimaneutrale Energieversorgung von Quartieren realisieren lassen.

Tabelle 1: Übersicht von Energietechnologien für eine klimaneutrale Energieversorgung von Quartieren.

#	Energietechnologie	Genutzter Energieträger	Funktion
1	Photovoltaik	Solarstrahlung	Stromerzeugung
2	Solarthermie	Solarstrahlung	Wärmeerzeugung
3	PV-Thermie	Solarstrahlung	Strom- und Wärmeerzeugung
4	Kleinwindkraftanlage	Windenergie	Stromerzeugung
5	Biomasse-Kessel	Holz (Pellets- oder Hackschnitzel)	Wärmeerzeugung
6	Kraft-Wärme-Kopplung	Grüne Gase (Biomethan, Wasserstoff)	Strom- und Wärmeerzeugung

7	Wärmepumpe	Umweltwärme oder Abwärme + Strom	Wärmeerzeugung, Sektorenkoppler Strom-Wärm
8	Geothermie	Erdwärme	Wärmeversorgung
9	Power-to-Heat	Strom	Wärmeerzeugung, Sektorenkoppler Strom-Wärme
10	Wärmespeicher	Wärme	Entkopplung Wärmeproduktion und -verbrauch (Pufferspeicher bis Saisonalspeicher) Verschiedene Speichertypen (u.a. Warmwasser, Phasenwechsel-Material und Beton)
11	Batterie	Strom	Stromspeicher (stationärer Quartierspeicher) Sektorenkoppler Strom-Mobilität (Batterie von Elektrofahrzeugen)
12	Elektrolyseur	Strom	Erzeugung von grünem Wasserstoff und dessen Nutzung als Langzeitspeicher Sektorenkoppler Strom-Gas

- Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (z. B. Blockheizkraftwerke, BHKW) wandeln Brennstoff in elektrische Energie und Wärmeenergie um. Klassischerweise wird fossiles Erdgas als Brennstoff eingesetzt. Für Klimaneutralität kann fossiles Erdgas durch Biomethan oder grünen Wasserstoff ersetzt werden. Es gibt auch KWK-Anlagen auf Basis von Stirlingmotoren oder Brennstoffzellen.

Durch den Einsatz von Ökostrom lassen sich strombasierte Technologien der Wärmeerzeugung klimaneutral betreiben. Sektorenkoppler Strom-Wärme spielen in der Transformation des Energiesystems in Richtung Klimaneutralität eine wichtige Rolle. Das mit Abstand größte Ausbaupotenzial zur Erzeugung Erneuerbarer Energie weisen Windenergie (onshore und offshore) sowie Photovoltaik auf. Der weitere Ausbau der wetterabhängigen Erzeugungstechnologien wird für mehr Stunden pro Jahr sorgen, in denen die erneuerbare Stromproduktion deutlich über dem gleichzeitigen nationalen Strombedarf liegt, was eine Flexibilisierung des elektrischen Energiesystems erfordert. Die Sektorenkopplung ist Anpassung von Erzeugung und Verbrauch, indem Stromüberschüsse zur Wärmeerzeugung, zur Herstellung von grünem Wasserstoff oder zur Ladung von Elektrofahrzeugen genutzt werden.

- Die Wärmepumpentechnologie nutzt zur Wärmebereitstellung Umweltwärme, wie Außenluft, Abwasser, Grundwasser, Flusswasser, Seewasser, Erdwärme (über Erdsonden oder Erdabsorber) oder Eisspeicher (kombiniert mit Solar-Luft-Kollektoren). Der Stromeinsatz im Wärmepumpen-Betrieb dient einem Kompressor, der entzogene Umweltwärme auf ein benötigtes Temperaturniveau anhebt. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) gibt für Wärmepumpen das Verhältnis von produzierter Jahreswärme und Jahresstrombedarf an. Hocheffiziente Wärmepumpen erreichen JAZ-Werte von fünf und mehr.
- Neben einer Nutzungsmöglichkeit durch die Oberflächengeothermie gibt es auch die Tiefengeothermie, bei der die Temperatur des geförderten Wassers oft bereits das Niveau des späteren Einsatzzweckes erreicht (z. B. eine Vorlauftemperatur von 70 °C für die Beheizung eines älteren Bestandsgebäudes).
- In „Power to Heat“-Anlagen wird elektrische Energie über die thermische Wirkung des elektrischen Widerstands nahezu 1:1 in Wärme umgewandelt, wofür z. B. Elektrokessel zur Verfügung stehen.

Bei der Planung von strombasierten Wärmeversorgungssystemen bietet sich oft die Kombination von Wärmepumpe und PtH-Anlage an. Wärmepumpen weisen relativ hohe Investitionskosten auf, die Betriebsstromkosten sind jedoch insbesondere bei guten JAZ-Werten und moderaten Strompreisen gering. Dadurch eignen sich Wärmepumpen gut zur Abdeckung von Grund- und Mittellast. PtH-Anlagen weisen hingegen deutlich geringere spezifische Investitionskosten als Wärmepumpen auf, bei deutlich höheren Betriebsstromkosten. PtH-Anlagen bieten sich zur Spitzenlast-Abdeckung und als Backup-Anlagen an.

Zur Entkopplung von Produktion und Verbrauch sind in Wärmeversorgungssystemen stets auch Wärmespeicher - insbesondere sog. Pufferspeicher - integriert. Dieser deckt eine Zeitskala von mehreren Stunden ab, z. B. zur Vorhaltung von Warmwasser. Um bei großen solarthermischen Anlagen Solarwärme-Überschüsse auch in den Wintermonaten nutzbar zu machen, bedarf es jedoch sehr viel größerer Wärmespeicher, sog. Saisonalspeicher.

Neben der nutzbaren Wärmespeicherkapazität unterscheiden sich unterschiedliche Wärmespeichertypen auch durch den Einsatz des Mediums, das zur Wärmespeicherung eingesetzt wird. Zumeist kommt bei Wärmespeichern Warmwasser als Speichermedium zum Einsatz. Entwickelt und angeboten werden aber auch weitere Wärmespeichertypen auf Basis von Phasenwechsel-Materialien (Latent zur Zwischenspeicherung von im Quartier erzeugtem Ökostrom stehen Batteriespeicher zur Verfügung). Sog. zentrale stationäre Quartierspeicher weisen hierbei Leistungen auf, die im mehrere hundert kW- bis MW-Bereich liegen können. Das Aufladen von Batterien von Elektrofahrzeugen über Ladesäulen entspricht einer Sektorenkopplung Strom-Mobilität. Der sich abzeichnende Trend zur vermehrten bidirektionalen Betriebsmöglichkeit bei Elektrofahrzeugen (neben Batterieladen auch Netzzurückspeisung möglich) wird die Anwendungsmöglichkeiten für diesen Sektorenkopplungstyp weiter erhöhen. Wirtschaftlich darstellbar ist die Stromspeicherung durch Batterien i. d. R. für den Kurzzeitbereich bis zur Größenordnung Stunden und Tage. Für die saisonale Langzeitspeicherung von Strom sind hingegen Technologien wie die Erzeugung von grünem Wasserstoff über Elektrolyseure geeigneter, bei denen überschüssiger Ökostrom zum Einsatz kommt. Bei der Nutzung als Saisonalspeicher kann dadurch auch in den Wintermonaten Solarstrom in den benötigten Mengen verfügbar gemacht werden (bei Rückverstromung des grünen Wasserstoffs durch z. B. Brennstoffzellen, bei der die entstehende Abwärme ebenfalls genutzt werden kann). Über den Elektrolyseur-Einsatz ergibt sich die Möglichkeit zur Sektorenkopplung Strom-Gas.

## 4 - Kommunikation

Dieser Abschnitt umfasst in der öffentlichen Kommunikation des Projekts häufig gestellte Fragen und gibt die dazugehörigen Antworten.

### 4.1 - Wärmewende

#### Warum können wir nicht weitermachen wie bisher?

Die Wärmewende ist kein Projekt, das aus dem nichts kommt. Sie ist notwendig, um die Folgen des menschengemachten Klimawandels in einem Ausmaß zu halten, das die Gesellschaft noch tragen kann. Dadurch gibt es bei der Suche nach Alternativen bestimmte Vorgaben. So kann z. B. eine Gasheizung weiter betrieben werden, allerdings muss das Gas dann zukünftig klimaneutral sein. Menschen fällt es oft schwer Gewohnheiten zu ändern, dabei sollte aber bedacht werden, dass die Folgen des Klimawandels unsere Gewohnheiten deutlich mehr durcheinander wirbeln werden als z. B. ein Wechsel von einer Gasheizung auf eine Wärmepumpe oder Fernwärme.

#### Was bedeutet Technologieoffenheit?

Wenn der Kauf einer Heizung ansteht, dann sollten die verschiedenen Technologien betrachtet und bewertet werden, um sich dann für die beste Heizung zu entscheiden. Niemand würde sich mehrere Heizungen anschaffen, um technologieoffen zu sein. Das wäre viel zu teuer.

Genauso arbeitet die Wissenschaft auch. Zu Beginn einer Untersuchung werden alle möglichen Optionen bedacht. Im Laufe der Analysen fallen dann einige dieser Optionen weg, sodass am Ende nur sinnvolle Varianten übrigbleiben. Auch hier wäre es zu teuer, immer wieder alle Optionen zu betrachten, nur um wieder und wieder festzustellen, dass bestimmte Technologien deutlich schlechter abschneiden als andere. Ab einem bestimmten Punkt sollte man sich auf die vielversprechenden Technologien konzentrieren, um dort tiefere Erkenntnisse zu erlangen.

Der Begriff Technologieoffenheit sollte daher nicht dafür missbraucht werden, aus guten Gründen verworfene Technologien immer wieder ins Gespräch zu bringen und damit zu verunsichern und den Prozess zu bremsen und teurer zu machen.

#### Warum kann Deutschland nicht einfach eigene Regeln machen oder bereits beschlossene Gesetze rückgängig machen?

- Die EU gibt verbindliche Richtlinien und Verordnungen vor, an die sich alle Mitgliedstaaten halten müssen (z. B. bei Emissionszielen, Energieeffizienzrichtlinien).
- Deutschland kann zwar eigene Gesetze beschließen, diese dürfen jedoch nicht gegen EU-Recht verstoßen. Zudem setzt die EU oft langfristige Rahmenbedingungen, sodass nationale Regelungen sich dem angleichen müssen und nicht beliebig zurückgenommen werden können.
- Welche Wärmeversorgung sinnvoll ist, lässt sich nicht durch Gesetze festlegen. Naturgesetze lassen sich nicht ändern und auch internationale Märkte (z. B. für Erzeugungsanlagen oder Energie) lassen sich durch nationale Gesetzgebung kaum beeinflussen.

## 4.2 - Wärmenetze

### Was ist Fernwärme

In einem Fernwärmesystem werden mehrere Gebäude durch eine oder mehrere zentrale Wärmeerzeugungsanlagen versorgt. Anstelle eines Kessels oder Wärmepumpe werden so genannte Wärmeübertrager in den einzelnen Gebäuden installiert. Über die Rohrleitungen des Wärmenetzes wird erhitztes Wasser oder Dampf zu den Gebäuden transportiert und über die Wärmeübertrager dem Heizsystem des Gebäudes zugeführt.

### Welche Arten von Wärmenetzen gibt es?

Wärmenetze sind in erster Linie Wärmeverteilungssysteme und sagen nichts darüber aus, ob die Wärmequelle klimaneutral ist oder nicht. Wasser unterschiedlicher Temperatur wird über Rohrleitungen zu den Gebäuden transportiert. Es wird zwischen Fernwärme, Niedertemperaturnetzen und sog. Anergie-Netzen, auch Kalte Nahwärme genannt, unterschieden. Fernwärmenetze weisen in der Regel hohe Temperaturen auf ( $> 70\text{ °C}$ ). Bei Niedertemperaturnetzen wird davon ausgegangen, dass die Vorlauftemperatur (mind.  $50\text{ °C}$ , eher  $65/70\text{ °C}$ ) für die Wärme- und Warmwasserversorgung der Gebäude ausreichend ist. Allerdings werden damit ältere und größere Gebäudekomplexe ggf. ausgeschlossen, bei denen auf Grund der vorhandenen Haustechnik die Vorlauftemperatur höher liegen müsste. Bei der Kalten Nahwärme bewegen sich die Vorlauftemperaturen unter  $30\text{ °C}$ . In den Gebäuden sorgen Wasser-Wasser-Wärmepumpen für das jeweils individuell erforderliche Temperaturniveau (bis zu  $70\text{ °C}$ ). Die Kalte Nahwärme stellt somit in technischer Hinsicht eine Mischung aus zentraler und dezentraler Wärmeversorgung dar.

### Welche Vorteile/Nachteile hat Fernwärme?

Eine große zentrale Wärmeerzeugungsanlage kann effizienter ausgelegt werden als viele kleine dezentrale. Einige umweltfreundliche Wärmequellen können sogar nur im Zuge eines Fernwärmesystems erschlossen werden (z. B. Flusswasser, Industrieabwärme, tiefe Geothermie). Viele Gebäudebesitzer schätzen zudem die Übernahme von Wartung und Instandhaltung der Anlagen und Rohrleitungen durch den Netzbetreiber, da für sie somit weniger Aufwand entsteht. Demgegenüber stehen höhere Verluste, die durch den Wärmetransport in den Rohrleitungen entstehen. Des Weiteren werden die oft zur Anwendung kommenden Preisgleitformeln (siehe weiter unten) als zu komplex und oftmals intransparent empfunden.

### Welche Vorteile/Nachteile haben Niedertemperaturnetze und Kalte Nahwärme?

Da die Temperaturen im kalten Nahwärmenetz geringer als bei der Fernwärme sind, können erneuerbare Wärmequellen wie Geothermie, Abwärme etc. einfacher genutzt bzw. integriert werden. Die Übertragungsverluste fallen auf Grund der geringeren Temperatur ebenfalls kleiner aus. Allerdings sind in den Gebäuden ggf. weitere Anpassungen vorzunehmen (Niedertemperaturheizkörper, Warmwasseraufbereitung etc.). Hinweis: In Bestandsgebäuden müssen nicht zwangsläufig Fußbodenheizungen eingebaut werden.

Ein großer Vorteil von kalter Nahwärme ist, dass für jedes angeschlossenes Gebäude eine passende Wärmepumpe je nach Gebäudeeigenschaften eingebaut werden kann. Somit

können sehr unterschiedliche Gebäude mit einem unterschiedlichen energetischen Sanierungsstand angeschlossen werden.

## Wie teuer ist ein Wärmenetzanschluss?

Der Wärmepreis gliedert sich in zwei Hauptkomponenten:

- Der Grundpreis ist ein monatlicher Fixpreis, durch den der Wärmenetzbetreiber seine Fixkosten wie Investitionen und Instandhaltungen deckt. Der Grundpreis richtet sich dabei meist nach der Größe der vertraglich vereinbarten Abnahmeleistung.
- Der Arbeits- oder Verbrauchspreis deckt die laufenden Betriebskosten des Wärmenetzbetreibers, also z. B. Brennstoff- oder Stromkosten und Lohnkosten. Dementsprechend wird dieser pro abgenommener kWh Wärme berechnet.

Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) bietet auf seiner Website ([waermepreise.info](http://waermepreise.info)) eine Übersicht der aktuellen Mischpreise in deutschen Wärmenetzen. Diese stellen für typische Verbraucher (Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Industrie) einen durchschnittlichen Preis pro kWh dar, in den sowohl Arbeitspreis als auch Grundpreis einfließen. Diese Preise hängen stark vom zum Einsatz kommenden Energieträger ab. Da die CO<sub>2</sub>-neutrale Wärmeerzeugung je nach Region unterschiedlich teuer ist, wird auch in Zukunft die Preisgestaltung der Fernwärme vom jeweiligen Standort abhängen.

## Für was gibt es Preisgleitformeln?

Wie in vielen Bereichen können auch Wärmenetzbetreiber die während der Vertragslaufzeit anfallenden Kosten nicht bis auf den letzten Cent bestimmen. Vor allem die aktuelle Wirtschaftslage, Brennstoff- und Stromkosten und die Lohnkosten haben darauf einen hohen Einfluss. Um Wärmekunden und Wärmenetzbetreibern dennoch verlässliche Preisangaben zu ermöglichen, wird oft ein Teil des Wärmepreises variabel gestaltet und an verschiedene Indizes geknüpft. Diese spiegeln die oben benannten Einflüsse wider und ermöglichen bei der entsprechenden Wirtschaftslage evtl. auch ein Sinken des Wärmepreises.

## Warum haben Wärmeverträge so lange Vertragslaufzeiten?

Wärmenetze bedingen hohe Anfangsinvestitionen für Wärmenetzbetreiber. Bevor Wärme geliefert werden kann, müssen bereits hohe Investitionen in die Netzinfrastruktur und die zentralen Erzeugungsanlagen getätigt werden. Um sichergehen zu können, dass diese Investitionen in Zukunft durch ausreichend Wärmeabnehmer gedeckt werden können, sind Wärmenetzbetreiber daher auf verlässliche langjährige Vertragslaufzeiten angewiesen.

Gerade bei Niedertemperaturnetzen und Kalter Nahwärme werden auch andere Betreibermodelle wie Genossenschaften gewählt, um die späteren Kund:innen direkt an der Finanzierung zu beteiligen.

## Ist Fernwärme umweltfreundlich?

Das Konzept der Fernwärme beschreibt vor allem die zentrale Bereitstellung und anschließende Verteilung der Wärme. Wie die Wärme erzeugt wird, sagt die Bezeichnung Fernwärme an sich nicht. Dementsprechend kann sie besonders umweltfreundlich sein, wenn

sie die in einer Flusswasserwärmepumpe erzeugte Wärme verteilt oder mit CO<sub>2</sub>-Emissionen behaftet sein, wenn fossile Erzeuger im System vorhanden sind. Durch die Vorgaben des Wärmeplanungsgesetzes sind jedoch alle Wärmenetzbetreiber verpflichtet bis 2030 bzw. 2040 mindestens 30 bzw. 80 % Erneuerbare Energien in ihren Netzen zu erreichen und bis 2045 die Transformation zur Treibhausgasneutralität zu realisieren. Gebiete mit einem bestehenden Fernwärmenetz können grundsätzlich schneller und flächendeckender dekarbonisiert werden, da „nur“ einmal die Wärmequelle auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden muss.

### Kann jedes Haus an Fernwärme/ein Wärmenetz angeschlossen werden?

Grundsätzlich kann jedes Haus an ein Fernwärmenetz angeschlossen werden. Dabei müssen allerdings die eventuell unterschiedlichen Vorlauftemperaturen im Haus und im Netz berücksichtigt werden. Benötigt das Haus eine geringere Vorlauftemperatur als die des Netzes, muss der Fernwärme-Übertrager so ausgelegt werden, dass das Heizungswasser des Hauses nur bis zur gewünschten Temperatur erhitzt wird. Benötigt das Haus dagegen eine höhere Vorlauftemperatur, muss eine Wärmepumpe installiert werden, die das Temperaturniveau entsprechend anhebt.

### Wieso kommt die Fernwärme nicht zu uns?

Die Verlegung von Fernwärmeleitungen ist mit hohen Investitionen verbunden und gestaltet sich nur wirtschaftlich, wenn dadurch eine hohe Wärmeabnahme erfolgen kann. Daher werden oft Industriegebiete oder dicht besiedelte Wohngebiete mit hohem Wärmebedarf an die Fernwärme angeschlossen. Wärmenetzbetreiber werten dafür sogenannte Wärmelinien-dichten aus. Diese sind in Siedlungsstrukturen mit vielen (voneinander entfernt liegenden) Einfamilienhäusern oftmals nicht hoch genug. Fernwärme würde hier so teuer werden, dass sie sich im Vergleich zu dezentralen Lösungen nicht lohnt. Niedertemperaturnetze bzw. Kalte Nahwärme allerdings kann auch Bereiche erschließen, in denen die klassische Fernwärme unwirtschaftlich ist. Gerade in kleineren Quartieren kann hier ein Netz auch durch Initiativen der Grundbesitzenden entstehen.

## 4.3 - Kommunale Wärmeplanung

### Warum wird eine kommunale Wärmeplanung durchgeführt?

Rechtsgrundlage der kommunalen Wärmeplanung ist das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (WPG). Hierbei handelt es sich um ein Bundesgesetz, das zum 1. Januar 2024 in Kraft getreten ist. Danach ist für Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern spätestens bis zum 30. Juni 2026 eine kommunale Wärmeplanung durchzuführen, kleinere Kommunen haben bis zum 30. Juni 2028 Zeit.

### Was bedeutet die kommunale Wärmeplanung für Gebäudeeigentümer:innen?

Die kommunale Wärmeplanung soll Aufschluss darüber geben, welche Formen der klimafreundlichen Wärmeversorgung für die einzelnen Gebiete einer Kommune geeignet sind. Die Planung dient als Orientierungshilfe für die Eigentümerinnen und Eigentümer, die in den kommenden Jahren ihre Heizungsanlagen austauschen wollen oder aufgrund eines Defektes müssen.



## Schreibt mir die Stadt oder die Kommune mit der kommunalen Wärmeplanung vor, wie ich mein Haus/meine Wohnung beheizen soll?

Nein, der kommunale Wärmeplan formuliert keine Vorgaben – er ist ein strategisches Planungsinstrument, das Orientierung geben soll, für kommunale Akteur:innen, Investor:innen, Energieversorger und Privatpersonen. Die kommunale Wärmeplanung soll dabei unterstützen, die künftige Wärmeversorgung klimaneutral zu gestalten. Den Übergang und die rechtlichen Vorgaben zu einer klimafreundlichen Wärmeversorgung im Gebäudebereich regelt das Gebäudeenergiegesetz (GEG) – auch „Heizungsgesetz“ genannt.

## Was bedeutet die kommunale Wärmeplanung für mich persönlich?

Als Hauseigentümer:in kann ich im kommunalen Wärmeplan später bspw. sehen, ob sich mein Haus in einem Gebiet befindet, das sich eher für Fern- oder Nahwärme, oder eher für eine individuelle Wärmeversorgung (z. B. Wärmepumpe) eignet. Ist der Anschluss an ein Wärmenetz eine Option, kann ich mich beim örtlichen Wärmeversorger erkundigen, ob dieser dort tatsächlich plant, das Fernwärmenetz auszubauen. Der Wärmeplan ist weder für mich als Gebäudeeigentümer noch für die Energieversorger bindend – die Entscheidung, in welchen Quartieren Wärmenetze ausgebaut werden, liegt bei den Versorgern. Über den Anschluss an das Wärmenetz entscheidet der Gebäudeeigentümer selbst. Mit der Information des Energieversorgers kann ich als Hauseigentümer:in so eine informierte Entscheidung treffen, welche Heizungstechnik künftig für mein Haus infrage kommen kann.

## (Wann) Muss ich meine Öl- oder Gasheizung austauschen?

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) sieht keine Austauschpflicht für bereits installierte Gas- oder Ölheizungen vor. Solange bestehende Heizungen noch weiter betrieben und kaputte Heizungen repariert werden können, muss kein Austausch erfolgen. Erst wenn eine defekte Heizung ersetzt werden muss, greifen die Regelungen des GEG für den Einbau neuer Heizungen. Spätestens 2045 wird kein fossiles Öl oder Erdgas mehr verkauft, sodass bis dahin alle Heizungen auf erneuerbare Energien umgestellt sein müssen.

## 4.4 - Sanierung und Heizungstausch

### Muss ich mein Haus sanieren, um auf eine Wärmepumpe umzusteigen?

Nein. Unabhängig von der eingesetzten Heizung kann eine Sanierung helfen, Heizkosten zu sparen. Wärmepumpen profitieren zusätzlich: Durch die Sanierung steigt auch die Effizienz der Wärmepumpe, ebenso wie durch Kombination mit einer Fußbodenheizung. Ist eine Sanierung keine Option, rechnet sich eine Wärmepumpe heutzutage in der Regel auch ohne diese zusätzliche Effizienzsteigerung.

## 4.5 - Smart Meter

### Was ist ein Smart Meter?

Ein Smart Meter ist die Kombination eines digitalen Stromzählers (moderne Messeinrichtung mME) und einer Kommunikationseinheit (Smart Meter Gateway). Mithilfe einer modernen Messeinrichtung kann man im Gegensatz zu einem herkömmlichen „Ferraris-Zähler“ (mit

Drehscheibe) neben dem aktuellen Zählerstand auch den tatsächlichen Stromverbrauch und Nutzungszeit erkennen. Das dazugehörige Smart-Meter-Gateway bildet eine gesicherte Schnittstelle für die Kommunikation zwischen stromverbrauchenden und -erzeugenden Geräten mit den Betreibern der Stromnetze und Energielieferanten.

### Wann brauche ich einen Smart Meter, wofür brauche ich den?

Ab 2025 soll allen Haushalten mit einem Stromverbrauch ab 6.000 kWh/Jahr ein Smart Meter eingebaut werden. Gleiches gilt für Betreiber:innen von Erzeugungsanlagen ab 7 kW installierter Leistung. Es gibt Übergangsfristen, erst 2032 sollen Smart Meter flächendeckend in Haushalten und Unternehmen zum Einsatz kommen. Mithilfe eines Smart Meters soll eine Steuerbarkeit der Stromnetze gewährleistet werden, um gegen Netzschwankungen exakte Bedarfe und Erzeugungen verzeichnet zu haben. Netzbetreiber erlangen mithilfe der Smart Meter bessere Informationen über ihre Netze und können Bedarfe besser steuern.

### Wer bezahlt den Smart Meter, was kostet das?

Die Kosten für den Einbau muss der Messstellenbetreiber zahlen. Für normale Haushaltskunden werden die Kosten für den Betrieb eines solchen Smart Meters auf 20 € gedeckelt.

Im Zuge des Smart Meter Rollouts ist jeder Stromversorger seit 2025 verpflichtet, dynamische Tarife anzubieten. Dadurch können Verbraucher:innen den Stromverbrauch in kostengünstigere Zeiten verschieben und ihr Verbrauchsverhalten analysieren, was zu einem großen Kosteneinsparungspotenzial führen kann.

## 4.6 - Stromversorgung

### Überlastet der Umstieg auf Wärmepumpen das Stromnetz?

Eine Wärmepumpe braucht ähnlich viel Strom wie ein Elektroherd und ein Gebäude wird nicht sofort kalt, wenn nicht geheizt wird. Da Wärmepumpen sich gut steuern lassen, steigt die Spitzenlast pro Gebäude bei einem Umstieg auf Wärmepumpen nicht zwangsweise. Der Umstieg auf Wärmepumpen über die nächsten 20 Jahre muss aber natürlich durch den Zubau von Stromerzeugungskapazitäten begleitet werden.

### Was ist eine Dunkelflaute?

Das Wort Dunkelflaute setzt sich aus den Worten Dunkelheit und Windflaute zusammen. Hiermit wird eine Wetterlage beschrieben, die häufig im Winter auftritt. Während dieser Wetterlage ist es wolkig und/oder neblig und es herrscht wenig Wind, so dass in dieser Zeit wenig Strom aus Wind- und Solarkraftwerken gewonnen werden kann. Gleichzeitig besteht bei einer „kalten Dunkelflaute“ saisonal bedingt ein hoher Bedarf an Strom.

## Ist eine Dunkelflaute (nach der Energiewende) gefährlich für die Stromversorgung?

Heutzutage können erneuerbare Energien noch nicht die Stromversorgung alleine stemmen. Eine Dunkelflaute betrifft jedoch nur Wind- und Solarkraft. Andere Erneuerbaren wie auch Biomasse-, Wasserstoff-, Laufwasser-, Pumpspeicherkraftwerke usw. sind nicht betroffen. Neben diesem Mix helfen weitere Strategien, mit einer Dunkelflaute umzugehen:

- die Verwendung von Batteriespeichern
- das Angebot von variablen Tarifen (teurer Strom, bei hoher Stromnachfrage; günstiger Strom, bei niedriger Stromnachfrage)
- internationaler Netzausbau (nicht überall herrscht gleichzeitig Dunkelflaute)

Insgesamt werden lokale Ereignisse, wie eine Dunkelflaute, keine Gefahr für die zukünftige Stromversorgung darstellen.

## Wann kommt der Blackout?

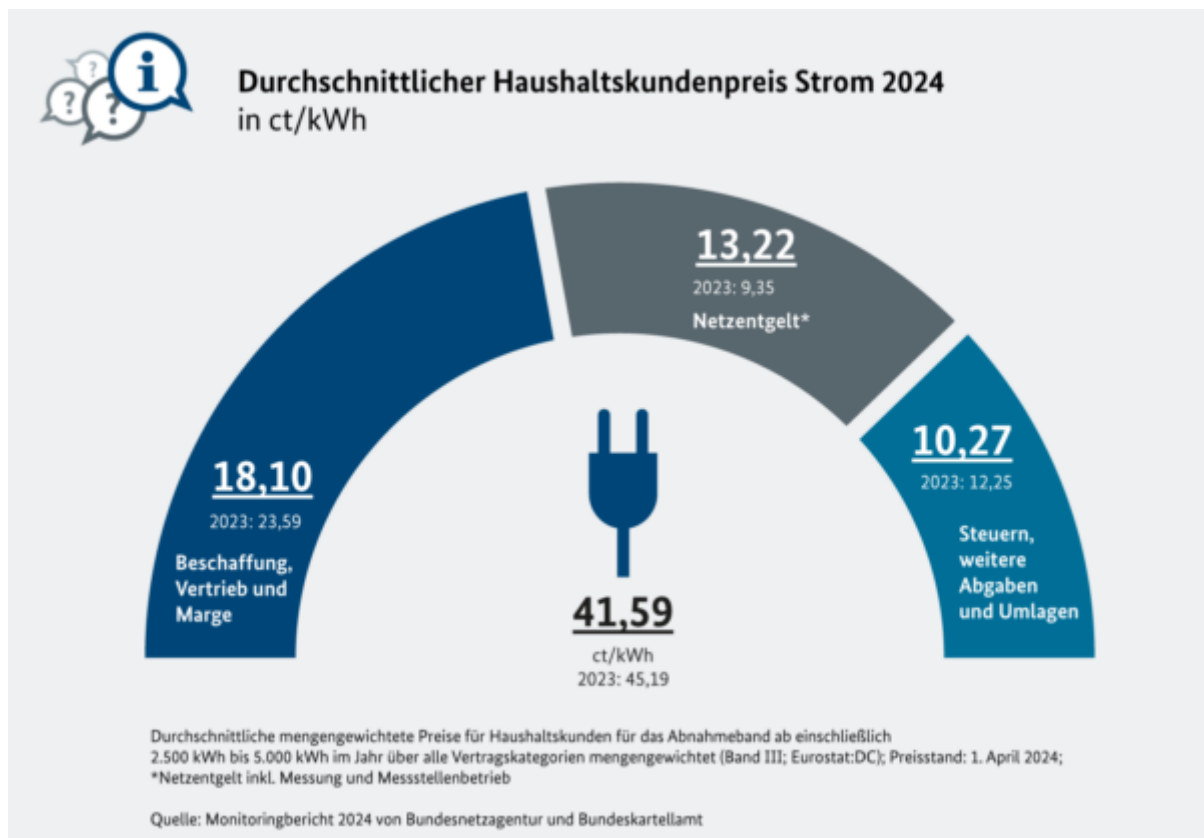
Deutschlands Stromnetz gehört zu den sichersten und stabilsten weltweit. 2023 mussten Haushalte in Deutschland im Schnitt knapp 13 Minuten ohne Strom auskommen. Dies entspricht dem Schnitt der vergangenen zehn Jahre. Negativbeispiel unter den Industriestaaten sind hier die USA mit 90 bis über 120 Minuten Stromausfall pro Jahr.

Ein im Winter 2022/23 angesetzter Stromversorgungs-Stresstest resultierte ebenfalls nicht in längere und krisenhafte Stromausfälle in Deutschland. Ein längerer Blackout in Deutschland ist somit sehr unwahrscheinlich, auch zukünftig. Eine Erhöhung der regenerativen Stromerzeugung im Netz bedingt keine Erhöhung der Blackout-Wahrscheinlichkeit. In Gänze ausgeschlossen werden kann, z. B. durch Beschädigungen an Oberleitungen, ein solches Szenario allerdings nie.

## Warum hat Deutschland den teuersten Strom?

Deutschland hat für Privatkunden einen der teuersten Strompreise in Europa. Das ist der Fall, obwohl im Großhandel der durchschnittliche Strompreis an der Strombörse seit Jahren im europäischen Mittelfeld liegt. Das liegt an unterschiedlichen Steuern und Abgaben. In Deutschland wird der Ausbau der Strom-Infrastruktur (Leitungen und Subventionen für Kraftwerke) zum Teil auf die Stromrechnungen umgelegt (ca. ein Drittel über private Haushalte), in anderen europäischen Ländern geschieht dies über den Staatshaushalt (Steuermittel und Schulden).

## Wie setzt sich der deutsche Strompreis zusammen?



## Wieso setzt Deutschland nicht auf Atomkraft?

Weil Atomkraft zu teuer ist. Der Neubau eines Atomkraftwerkes ist mit großen Kosten verbunden, so hohe Kosten, dass kein Energieversorger hierzulande dafür aufkommen möchte. International werden Kernkraftwerke aufgrund staatlicher Interessen unter Einsatz von Steuermitteln gebaut und betrieben. Die Kraftwerke in Frankreich, das in Europa am stärksten auf Kernenergie setzt, werden beispielsweise vom hoch verschuldeten, staatlichen Stromkonzern EDF betrieben. Zuletzt rügte der französische Rechnungshof die dortige Regierung aufgrund der Verschwendung von Steuergeldern für Kernenergie.

Risiken und auch zukünftige Kosten für die nukleare Sicherheit des Atommülls sind dabei noch nicht berücksichtigt. So gibt es bisher kein Endlager in Deutschland, das den Atommüll für die erforderlichen 1 Millionen Jahre sicher beherbergen kann.

## Woher stammt der Strom?

In Deutschland wurden im Jahr 2022 rund 510 Milliarden Kilowattstunden Strom aus inländischer Produktion in das Stromnetz eingespeist. Im Jahr 2022 ergab sich daraus ein Anteil an erneuerbaren Energien von 46,3 %. Der Anteil erneuerbarer Energien im deutschen Strommix steigt und lag bereits im 3. Quartal 2024 bei einem Anteil von 63,4 %, welches den Höchststand für ein 3. Quartal darstellte. Der Vorjahreswert des 3. Quartals 2023 lag bei 60,6 %.

Neben den erneuerbaren Energieträgern Windkraft, Photovoltaik und Biogas, werden als konventionelle Energieträger in Deutschland Kohle, Erdgas und Erdöl eingesetzt. Diese werden überwiegend importiert.

## Warum bauen wir keine Kohlekraftwerke, obwohl China das macht?

China ist der weltweit größte CO<sub>2</sub>-Emittent und zugleich das Land mit dem größten Energiebedarf. Im Gegenzug dazu baut China ebenfalls vermehrt erneuerbare Energien aus, ist sogar der weltweit größte Investor in erneuerbare Energien. China genehmigt so viele Kohlekraftwerke, um eine Absicherung zu haben, bis der Energiebedarf komplett aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann. Da der Energiebedarf Chinas stetig steigt, benötigt das Land Energiesicherheit. Hierzu genehmigt die chinesische Regierung Kohlekraftwerke, sodass die Option besteht mehr Kohle abzubauen. Diese Genehmigungen heißen jedoch nicht, dass die Kohle genutzt wird. Der unbedingte Wille der Klimaneutralität und der schnelle Austritt aus der Kohle ist das formulierte Ziel Chinas bis 2060. Bis dahin möchte sich China den teuren Kohlestrom als Absicherung des Energiehungerers offenhalten. In Deutschland ist der Bedarf besser abschätzbar, sodass der Zuwachs der erneuerbaren Energien keinen neuen Bedarf an Kohlekraftwerken bis zum Erreichen der Klimaneutralität gibt.

## Wird mir der Strom abgeschaltet?

Seit dem 01.01.2024 müssen sich steuerbare Verbrauchseinrichtungen dimmen lassen. Der Strombezug dieser Geräte darf vom Netzbetreiber temporär auf 4,2 kWh gedrosselt werden. Diese Maßnahme kann notwendig sein, um eine Überlastung des lokalen Stromnetzes abzuwenden. Die Mindestleistung von 4,2 kWh pro steuerbarer Verbrauchseinrichtung muss immer zur Verfügung stehen. Solche steuerbaren Verbraucher sind unter anderem Wärmepumpen, Stromspeicher oder Ladesäulen für E-Autos. Alle anderen Stromverbraucher im Haushalt sind von einer Reduzierung des Strombezugs ausgeschlossen. Der Strom wird also nicht abgeschaltet, sondern reicht im Gegenteil sogar noch für den Betrieb einer üblichen Wärmepumpe im Einfamilienhaus. Im Gegenzug für die mögliche Reduzierung wird darüber hinaus das Netzentgelt (und dadurch der Strompreis) gesenkt.