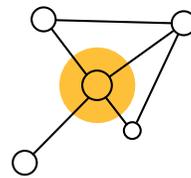
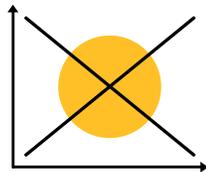
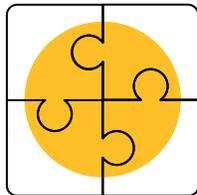
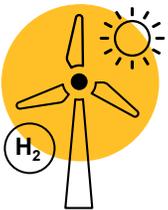


# Kosten paralleler Verteilnetzinfrastrukturen

Im Auftrag von: 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

 +49 (0)221 650 853-60

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

**Verfasst von:**

Tobias Sprenger (Projektleitung)

Maximilian Walde

Stephan Terhorst

Cordelia Frings

Bitte zitieren als:

EWI (2024) Kosten paralleler Verteilnetzinfrastrukturen

# Kosten paralleler Verteilnetzinfrastrukturen - Inhaltsverzeichnis

---

1. [Motivation und Vorgehen](#)
2. [Recherche zu Netzkosten und Siedlungstypen](#)
3. [Berechnung der Netzkostenfunktionen](#)
4. [Betrachtung ausgewählter Szenarien](#)
5. [Qualitative Einordnung der Ergebnisse](#)
6. [Diskussion der bestehenden Regulatorik](#)

# 1

## Motivation & Vorgehen

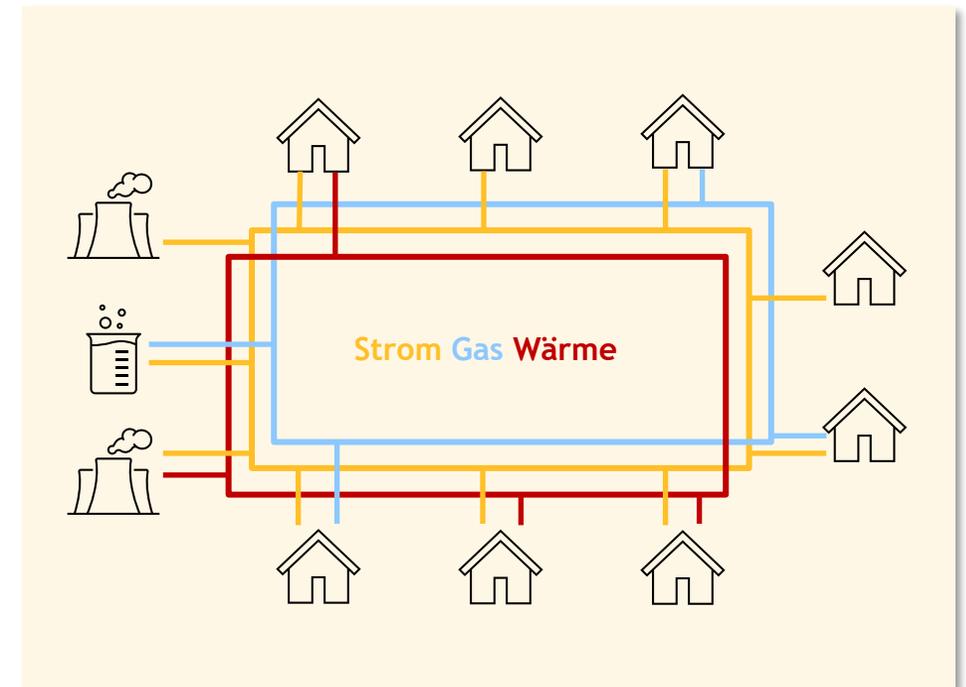
# In diesem Projekt werden die Kosten paralleler Infrastrukturen zur Wärmeversorgung bei variierender Nutzung betrachtet

## Motivation

- Nach der **Novelle des Gebäudeenergiegesetz im Jahr 2023** müssen neu eingebaute Heizungsanlagen ab spätestens 30.06.2028 mindestens 65 % der bereitgestellten Wärme mit erneuerbaren Energien oder unvermeidbarer Abwärme bereitstellen.<sup>1</sup>
- Dies führt voraussichtlich zu einer starken Änderung der Heizungsstruktur im Gebäudesektor. In 2022 wurden 55,9 % der Wohnungen mit Gas und 18,8 % der Wohnungen mit Heizöl beheizt.<sup>2</sup>
- Im Rahmen dieser Wärmewende gelten vor allem **Wärmepumpen und Fernwärmenetze als Zukunftstechnologien**, vereinzelt wird auch über eine Wasserstoffversorgung diskutiert.
- Der Wechsel der Heizungstechnologien führt zu veränderten Anforderungen an die Versorgungsinfrastruktur. Vor allem in der Übergangsphase, u. a. wenn die zentrale Wärmeplanung noch nicht abgeschlossen ist und unterschiedliche Einzelinvestitionen geschehen, kann dies zu parallelen Netzinfrastrukturen (Strom-, Gas- & Fernwärmenetz) führen, die die volkswirtschaftlichen Kosten deutlich steigern könnten.
- Insbesondere wenn nur noch eine kleine Endkundschaft eine Infrastruktur nutzt steigen die Netzentgelte und damit die Preise pro Wärmeeinheit für diese Endkundschaft stark.
- In dieser Analyse werden die **Kosten paralleler Wärmeinfrastrukturen** bei unterschiedlichen Nutzungsgrad berechnet. Dies soll als Entscheidungshilfe für Versorger bei der Planung von Versorgungsinfrastrukturen dienen.

1: [§ 71 Abs. 1 & 8, GEG \(BGBl. 2023 I Nr. 280\)](#) | 2: [Statistisches Bundesamt \(2022\)](#)

## Beispielhafte Infrastrukturen zur Wärmeversorgung



# Forschungsfrage: Welche Kosten ergeben sich durch den Bau und Betrieb paralleler Verteilnetzinfrastrukturen?

## Leitfragen zur Beantwortung der Forschungsfrage

---

- L1** Welche Parameter beeinflussen die Netzausbaukosten?

---
- L2** Welche Kosten ergeben sich bei der Erschließung unterschiedlicher Siedlungen? Wie stark variieren die Kosten durch die Rahmenbedingungen der Siedlungen?

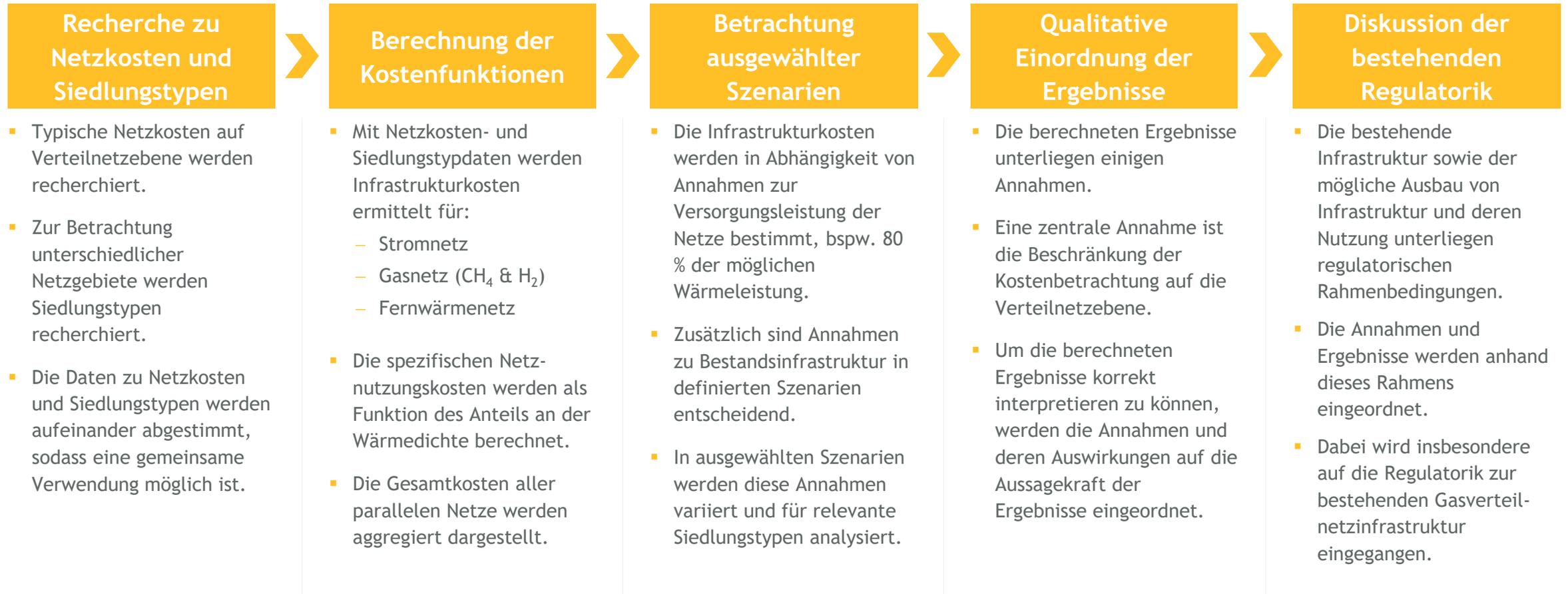
---
- L3** Wie werden die Kosten durch die Möglichkeit der Nutzung bestehender Infrastruktur beeinflusst? Wie ordnet sich hier die Umwidmung von Erdgasnetzen zu Wasserstoffnetzen ein?

---
- L4** Welche Infrastrukturkosten ergeben sich durch die Wärmebereitstellung mit mehreren Energieträgern? Welche Einsparungen lassen sich durch die frühzeitige Fokussierung auf einen Energieträger erzielen?

---
- L5** Inwieweit wird der Entscheidungsrahmen durch regulatorische und politische Eingriffe beschnitten?

Hinweis: Die Slides auf denen die Leitfragen beantwortet werden, werden mit den entsprechenden L1 - L5 gekennzeichnet.

# Die Forschungsfrage und die Leitfragen werden durch eine 5-schrittige Methodik bearbeitet und beantwortet



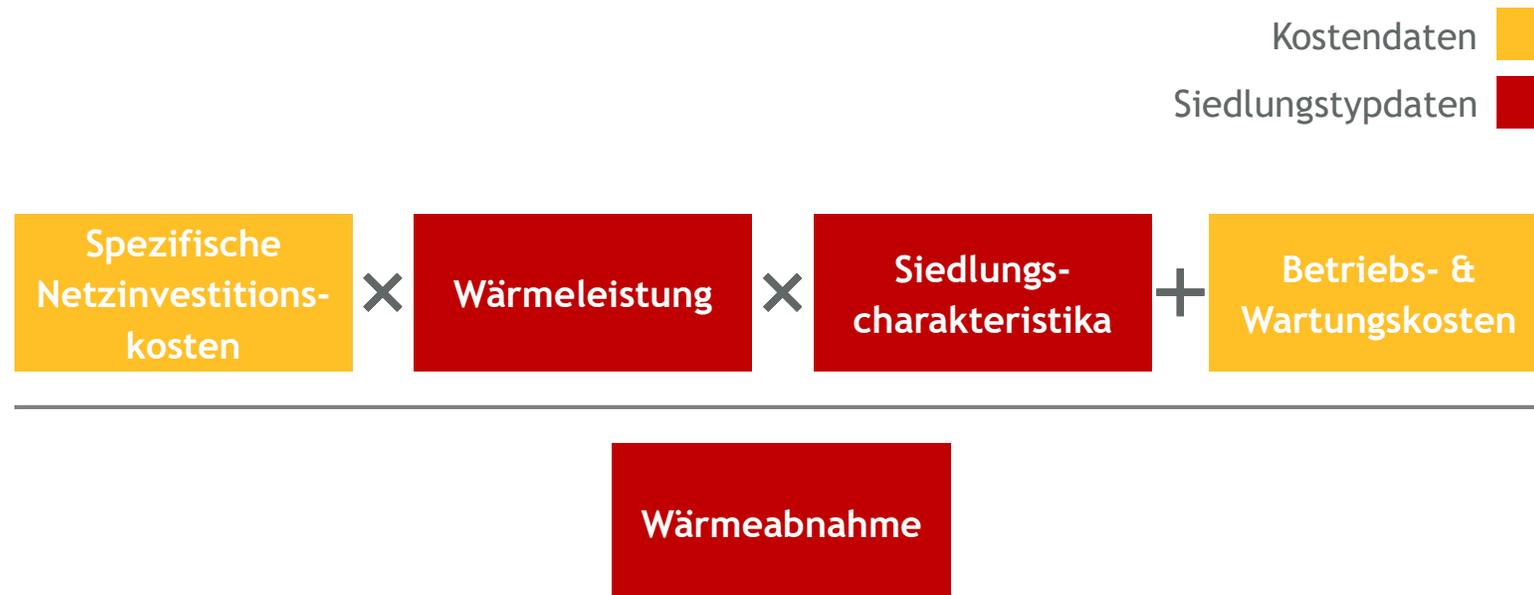
Hinweis: In dieser Analyse werden einige Begriffe mit spezieller Definition verwendet. Im Anhang findet sich ein Glossar, der diese Begriffe erklärt.

# 2

## Recherche zu Netzkosten und Siedlungstypen

# Die Netzkostenfunktionen werden aus einer Kombination von einem Kosten- und einem Siedlungstypendatensatz berechnet

## Schematische Darstellung zur Berechnung der Netzkostenfunktionen



## Kommentare

- Mit den Netzkostenfunktionen sollen die Kosten zum Neubau von Netzinfrastrukturen berechnet werden. Die Netzkosten sind dabei eine Funktion der Wärmeabnahme.
- Der Kostendatensatz umfasst dafür sowohl spezifische Investitionskosten für Leitungen und Systemkomponenten als auch die Betriebs- und Wartungskosten.
- Der Siedlungstypdatensatz umfasst die Wärmeleistungen und Wärmeabnahmen, aber auch weitere Siedlungscharakteristika wie bspw. der Häuserabstand.
- Die beiden Datensätze werden im Folgenden weiter beschrieben.

# Die Kostendaten bestehen aus mehreren Komponenten - davon haben insbesondere die Investitionskosten einen großen Einfluss

## Schematische Darstellung der benötigten Kostendaten



## Kommentare

- Die Kostendaten werden in Investitions- sowie Betriebs- und Wartungskosten unterteilt.
- Die Investitionskosten setzen sich aus den Leitungs- und Systemkosten sowie den gebäudespezifischen Anschlusskosten zusammen. Der interne Zins und die Abschreibungsdauer wird zur Diskontierung der Kosten benötigt.
- Die Betriebs- und Wartungskosten sind in einen fixen und einen variablen Teil pro kWh zzgl. Übertragungsverlusten aufgeteilt.<sup>2</sup>
- In der Datenrecherche wurden mehrere Datensätze geprüft und miteinander verglichen. Aus der Analyse wurde der Technologiedatensatz der Danish Energy Agency<sup>1</sup> als vollständigster und konsistentester Datensatz ausgewählt.
- Die Kostendaten wurden zusätzlich mit den Partnern des EWI Forschungsprogramms Wärmewende auf ihre Aktualität geprüft.

1: Für die fixen Betriebs- und Wartungskosten konnten keine Daten ermittelt werden, weshalb diese in der späteren Analyse auf null gesetzt werden. | 2: [Danish Energy Agency \(2023\)](#)

# Höhere Investitionskosten bei Fernwärmenetzen sichtbar - Aktuelle Gasinfrastruktur kann zu H<sub>2</sub>-Ready umgewidmet werden

## Kostendatenpunkte auf Basis der Danish Energy Agency<sup>1</sup>

Kostendaten		 Strom	 Wasserstoff	 Fernwärme
Verteilnetzleitung	0-50 kW   EUR/m	45 - 144	63 - 80	350 - 421
	50-250 kW   EUR/m	45 - 144	63 - 80	444 - 534
	250-1.000 kW   EUR/m	45 - 144	63 - 80	576 - 693
	1-5 MW   EUR/m	51 - 150	71 - 90	802 - 964
	>5 MW   EUR/m	110 - 212	130 - 324	1.484 - 4.647
Verteilnetzverluste	%	2,25 - 5,25	0,26	5 - 15

## Kommentare

- Die Streuweite der Daten lässt sich auf einen unterschiedlichen Verlegungsort zurückführen. Erdarbeiten in dicht besiedelten Gebieten, wie zum Beispiel bei städtischen Installationen, gehen grundsätzlich mit höheren Kosten einher.
- Für Fernwärmeleitungen müssen im Gegensatz zu Strom- oder Wasserstoffleitungen größere Teile des Straßenzugs aufgedaubt und etwas tiefere Arbeiten durchgeführt werden. Dieser Mehraufwand spiegelt den Kostenunterschied zwischen Wärme- zu Strom- und Gasleitungen wider.
- Daten zum Neubau von reinen Wasserstoffnetzen sind nur eingeschränkt verfügbar und häufig mit Unsicherheiten behaftet. Näherungsweise könnten dafür die Daten von Erdgasnetzen angenommen werden. Hierbei wird allerdings aufgrund der geringen Energiedichte von Wasserstoff die Kapazität der Wasserstoffnetze auf 80 % der Kapazität kostengleicher Erdgasnetze reduziert.<sup>2</sup>

1: [Danish Energy Agency \(2023\)](#) | 2: [Nationaler Wasserstoffrat \(2021\)](#)

# Neben den höheren Leitungskosten werden für Wärmenetze auch kostenintensive Systemkomponenten erforderlich

## Kostendatenpunkte auf Basis der Danish Energy Agency<sup>1</sup>

Kostendaten		 Strom	 Wasserstoff	 Fernwärme
Systemkomponenten	Trafostation   EUR/MW	~ 50.000	-	-
	Pumpe   EUR/MW	-	-	~ 113.000
	Wärmetauscher   EUR/MW	-	-	~ 113.000
Komponentenverluste	%	1,13	-	5,25
Gebäudeanschluss	EUR/(kW*Anschluss)	42 - 162	200	179 - 232
Fixe O&M <sup>2</sup>	EUR/(kW*Jahr)	0	0	0
Variable O&M	EUR/kWh <sub>th</sub>	0	0	2
Interner Zins	%	7	7	7
Lebensdauer	Jahre	40	40	40

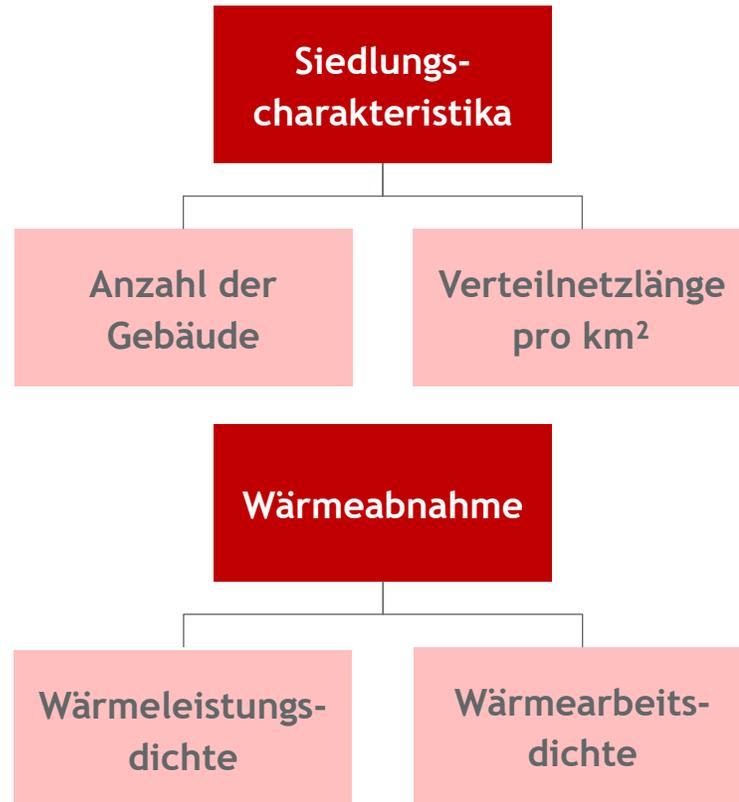
## Kommentare

- Bei Betrachtung der Verteilnetzebene fallen insbesondere für Strom- und Wärmenetze Investitionen für Systemkomponenten an. Trafostationen oder Wärmetauscher dienen hier der Übergabe zwischen Verteil- und Fernleitungsnetzen. Demgegenüber wird für die Wasserstoffinfrastruktur auf Verteilnetzebene in dieser Analyse mit der Annahme gerechnet, dass hier nur geringe bis gar keine Systemkomponenten notwendig sind.
- Gebäudeanschlusskosten bewegen sich über die betrachteten Energieträger in einem ähnlichen Kostensegment, wenn auch bei Fernwärmeanschlüssen mit tendenziell höheren Kosten gerechnet wird.

1: [Danish Energy Agency \(2023\)](#) | 2: Für die fixen Betriebs- und Wartungskosten konnten leider keine Daten gefunden werden, weshalb diese in der späteren Analyse auf null gesetzt werden.

# Die Daten der Siedlungstypen werden zur Dimensionierung und Auslastung der Netzinfrastuktur genutzt

## Schematische Darstellung Siedlungstypdaten



## Kommentare

- Die erste schriftliche Definition von Siedlungstypen geht gemäß Blesl (2001)<sup>1</sup> bereits auf Quellen aus 1980 von Roth<sup>2</sup> und 1994 von Winkens<sup>3</sup> zurück. Auf dieser Definition bauen die Studien der AGFW und Blesl von 2001 auf.
- Es wurde eine Vielzahl von Studien mit Bezug zu ihrer Datenquelle untersucht. Ein Großteil der untersuchten Studien bezieht sich auf eine numerische Definition von typisierten Siedlungen der AGFW aus 2001.<sup>4</sup> Das 2001 von der AGFW gestartete Projekt verfügt über mehrere Zwischenberichte, einen Endbericht und eine Zusammenfassung, in welchen die numerische Definition der Siedlungstypen öfter aktualisiert wurde.
- Große Teile der Berichte des Projekts aus dem Jahr 2001 der AGFW sind nicht mehr öffentlich zugänglich. Es gibt allerdings eine Vielzahl von Quellen, die auf unterschiedliche Berichte dieses Projekts verweisen. Die Gegenüberstellung von mehreren Quellen zeigte, dass eine Anwendung in Erdmann von 2010<sup>5</sup> einen aktualisierten und für die gewünschte Anwendung vollständigen Datensatz enthält und dabei auf einen Bericht der AGFW aus 2004 verweist. Dieser wurde im Rahmen der vorliegenden Studie verwendet.
- Aus dem Siedlungsdatensatz werden pro Siedlungstyp vier Datenpunkte verwendet:
  - Die **Anzahl der Gebäude** und die **Netzlänge** werden für die Berechnung der Anschluss- sowie Leitungs- und Systemkosten benötigt.
  - Die **Wärmeleistung** wird ebenfalls zur Berechnung der Leitungs- und Systemkosten benötigt.
  - Die **Wärmearbeit** wird zur Berechnung der spezifischen Netzkosten pro Energieverbrauch genutzt.

1: [Blesl \(2001\)](#) | 2: Roth (1980) | 3: Winkens (1994) | 4: [AGFW \(2001\)](#) | 5: [Erdmann \(2010\)](#)

# Die ausgewählten Siedlungstypen decken eine große Spannweite von Bebauungstypen mit niedriger bis hoher Wärmeliniedichte ab

## Datenpunkte für Siedlungstypen



Bezeichnung	Streusiedlung	Einfamilienhäuser- und Doppelhäuser-siedlung	Dorfkern	Reihenhäuser	Mehrfamilienhäuser-siedlung	Zeilenbebauung großer Mehrfamilienhäuser oder Hochhäuser	Blockbebauung	Citybebauung	Historische Altstadt
Gebäudetypen	EFH, ZFH	EFH, ZFH	EFH, ZFH, MFH	RDH	MFH	Wohncluster, Hochhäuser, Schebenhäuser	MFH	Dienstleistungs- & Verwaltungsgebäude	EFH, ZFH, MFH, kleine SB
Gebäudeanzahl [1/km <sup>2</sup> ]	138	1.143	1.089	1.813	689	536	1004	1.506	3.252
Wärmeleistungsdichte [MW/km <sup>2</sup> ]	0,2	2,47	2,7	0,2	0,39	0,41	1,82	4,44	3,16
Wärmearbeitsdichte [MWh/km <sup>2</sup> ]	3.149	27.084	23.932	25.201	19.993	54.596	52.516	135.066	80.757
Gleichzeitigkeitsfaktor [-]	0,78	0,74	0,74	0,63	0,63	0,63	0,68	0,60	0,60
Verteilnetzlänge [m/km <sup>2</sup> ]	11.178	17.145	15.246	10.878	8957	6968	17.068	21.084	19.512
Wärmeliniedichte [MWh/m]	0,28	1,58	1,57	2,32	2,23	7,84	3,08	6,41	4,14

## Kommentare

- In dieser Analyse werden neun Siedlungstypen untersucht, die das Spektrum an Bebauungstypen von sporadisch bis dicht besiedelt abdecken.
- Die gewählten Siedlungstypen bilden gemittelte Wärmeliniedichten von kleiner 1 MWh/m bis größer 7 MWh/m ab. Dieser Wert vernachlässigt allerdings mögliche Extremwerte auf einzelnen Leitungen im Siedlungsgebiet.
- Da die originale Quelle<sup>1</sup> nicht den heutigen sanierten Gebäudebestand abbildet, wurde die Daten anhand von angenommenen Sanierungsmaßnahmen angepasst. Dafür wurde die Wärmearbeit anhand von der extrapolierten prozentualen Entwicklung der spezifischen Endenergieverbräuche zwischen 2004 und 2022 nach UBA<sup>2,3</sup> an Sanierungserfolge angepasst.

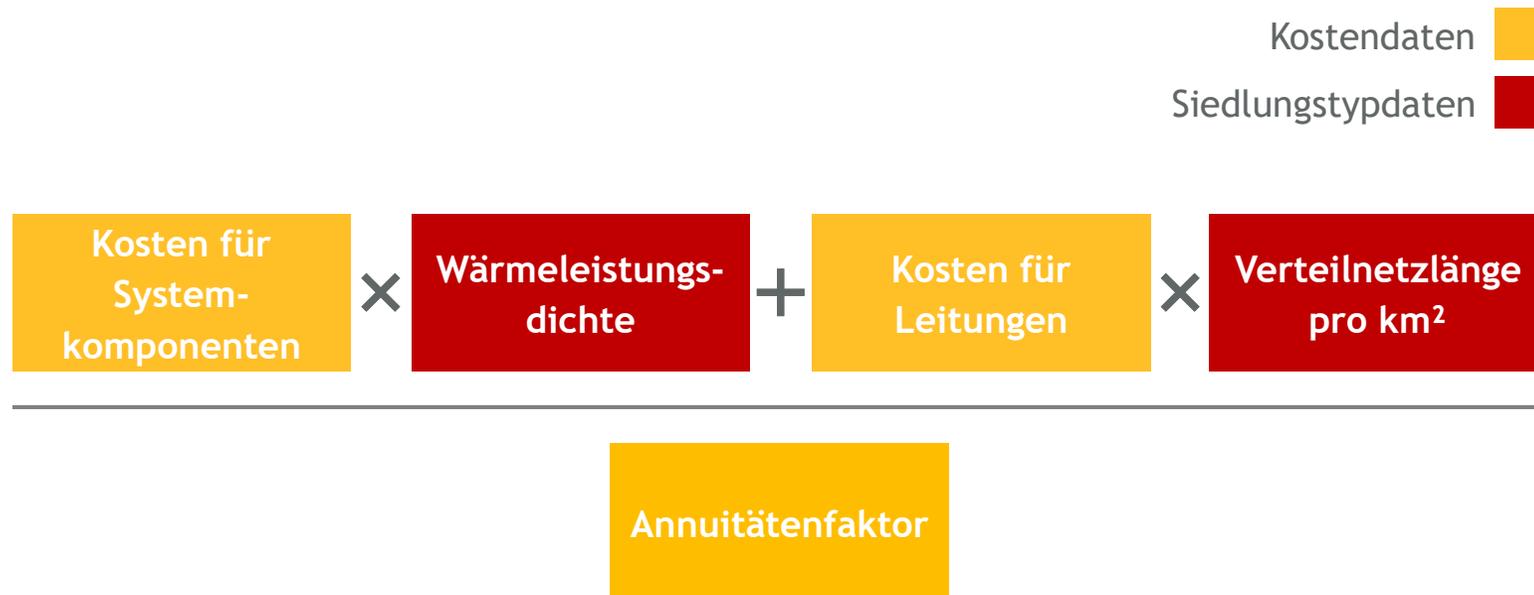
Abbildungen der Siedlungstypen aus [Blesl \(2001\)](#) | 1: [Erdmann \(2010\)](#) | 2: [UBA \(2019\)](#) | 3: [UBA \(2024\)](#) | MFH: Mehrfamilienhäuser, EFH: Einfamilienhäuser, ZFH: Zweifamilienhäuser, SB: Sonderbauten

# 3

## Berechnung der Netzkostenfunktionen

# Die Netzinvestitionskosten stellen die zentralen Infrastrukturkosten zur Erschließung des gesamten Siedlungsgebiets dar

## Schematische Darstellung der Berechnung der Netzinvestitionskosten



## Kommentare

- Der Ansatz beschreibt die Berechnung der Netzinvestitionskosten zur Erschließung eines Siedlungsgebietes, d.h. des Neubaus einer Infrastruktur.
- Dabei werden die spezifischen Kosten für die benötigten Systemkomponenten sowie die Leitungen berücksichtigt. Die Leitungskosten beinhalten die Kosten des Tiefbaus in Abhängigkeit der Siedlungsstruktur.
- Der Anteil der Infrastruktur an der Wärmeleistungsdichte bestimmt dabei die Dimensionierung der Systemkomponenten und Leitungen.
- Bei der Berechnung wird von einer kompletten räumlichen Abdeckung des Netzgebietes ausgegangen. Die Leitungsgröße wird dabei über das gesamte Netzgebiet gleich angenommen.
- Bestehende Infrastruktur oder die Möglichkeit einer Umrüstung sind hier nicht berücksichtigt.

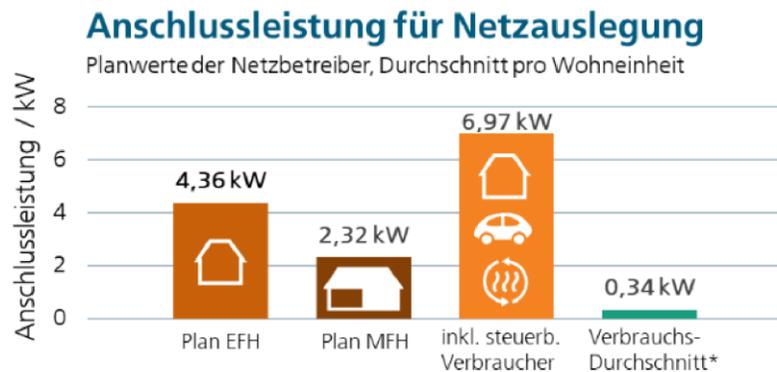
Hinweis: Für detaillierte Informationen zur Methodik siehe Methodikanhang

# Für bestehende Infrastruktur wird eine Dimensionierung angenommen, um die Grenze für einen Neubau zu identifizieren

## Annahmen zu bestehenden Fernwärmenetzen<sup>1,2</sup>

Anteil Nutz-wärmebedarf	Bundes-länder	Streu-siedlung	EFH und ZFH Siedlung	Dorf-kern	Reihen-häuser	MFH Siedlung	Zeilenbebauung großer MFH oder Hochhäuser	Block-bebauung	City-bebauung	Historische Altstadt
Gedeckt über bestehende Anschlüsse	Alte	0 %	1 %	1 %	4 %	14 %	23 %	21 %	16 %	4 %
	Neue	1 %	7 %	0 %	3 %	77 %	75 %	58 %	8 %	4 %

## Herleitung der Annahmen zu der Bestehenden Stromnetzen<sup>3</sup>



Anteil von Gebäuden mit Wärmepumpen, der über ein üblich dimensioniertes Stromverteilnetz versorgt werden kann:

$$4,36 \text{ kW} = 6,97 \text{ kW} \cdot x + (1 - x) \cdot 0,34 \text{ kW}$$

$$\Leftrightarrow x \approx 0,61$$

\*: Bei einem typischen EEH-Jahresverbrauch von 3.000 kWh

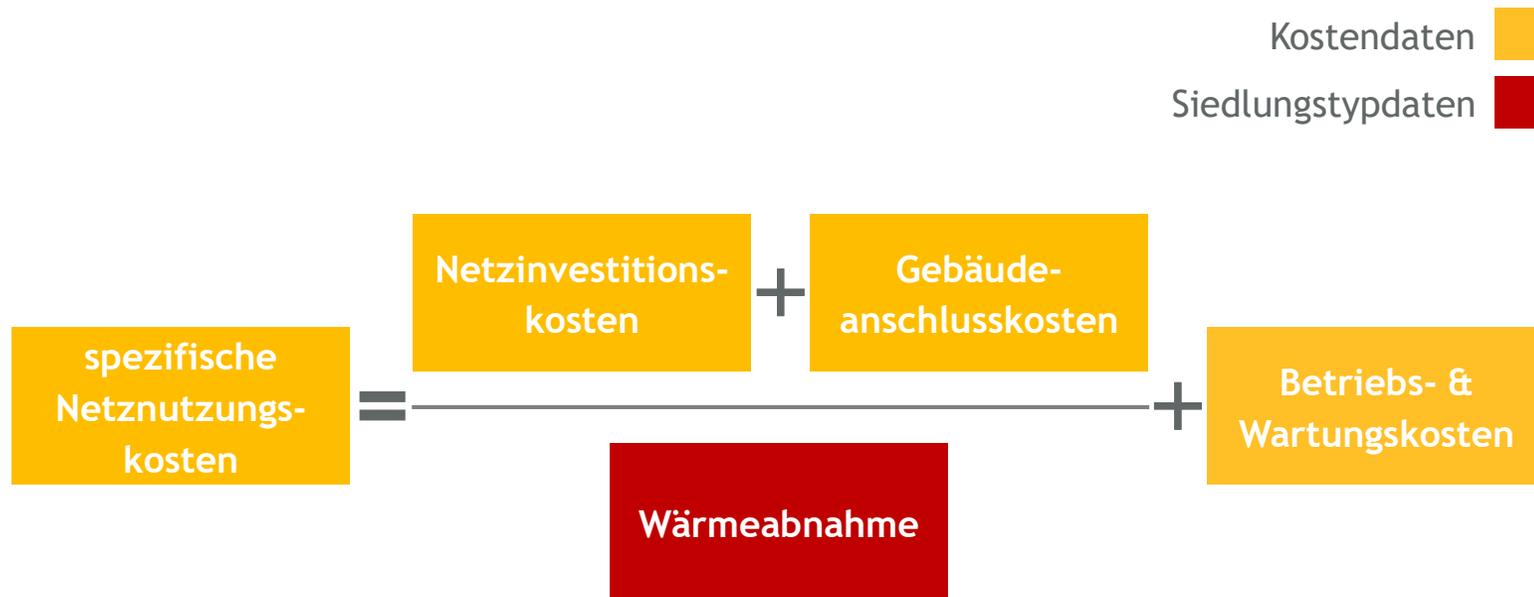
1: [UBA \(2007\)](#) | 2: [AGFW \(2005\)](#) | 3: [Fraunhofer IEE \(2022\)](#) | 4: [Nationaler Wasserstoffrat \(2021\)](#)

## Kommentare

- Bestehende Fernwärmenetze werden mit ihren aktuellen Anschlussquoten und dem Potential einer Anschlussverdichtung berücksichtigt. Das UBA gibt hierzu Potentiale an.<sup>1</sup> Es wird auf die nicht öffentlich zugängliche Zusammenfassung des AGFW-Projekts<sup>2</sup> verwiesen, aus dem auch die Siedlungstypen stammen. Besonders interessant ist, dass in den neuen Bundesländern fast kein Potential für eine Anschlussverdichtung identifiziert wurde.
- In der Studie “Flexible Wärmepumpen im Verteilnetz” gibt das Fraunhofer IEE im Jahr 2022<sup>3</sup> Anschlussleitung für die Netzauslegung an. Basierend auf diesen Angaben des Fraunhofer IEE wurde die Grenze der Deckung des Wärmebedarfs durch bestehende Stromnetze von 61 % abgeleitet.
- Für bestehende Erdgasnetze wird eine Kapazität von 100 % angenommen. Die Umwidmung zu Wasserstoff resultiert in der Kapazität von 80 %. Diese Annahme basiert auf den Angaben des nationalen Wasserstoffrates aus 2021.<sup>4</sup>

# Die Netznutzungskosten stellen die Investitions- und Betriebskosten der Wärmeabnahme gegenüber

## Schematische Darstellung der Berechnung der spezifischen Netznutzungskosten



## Kommentare

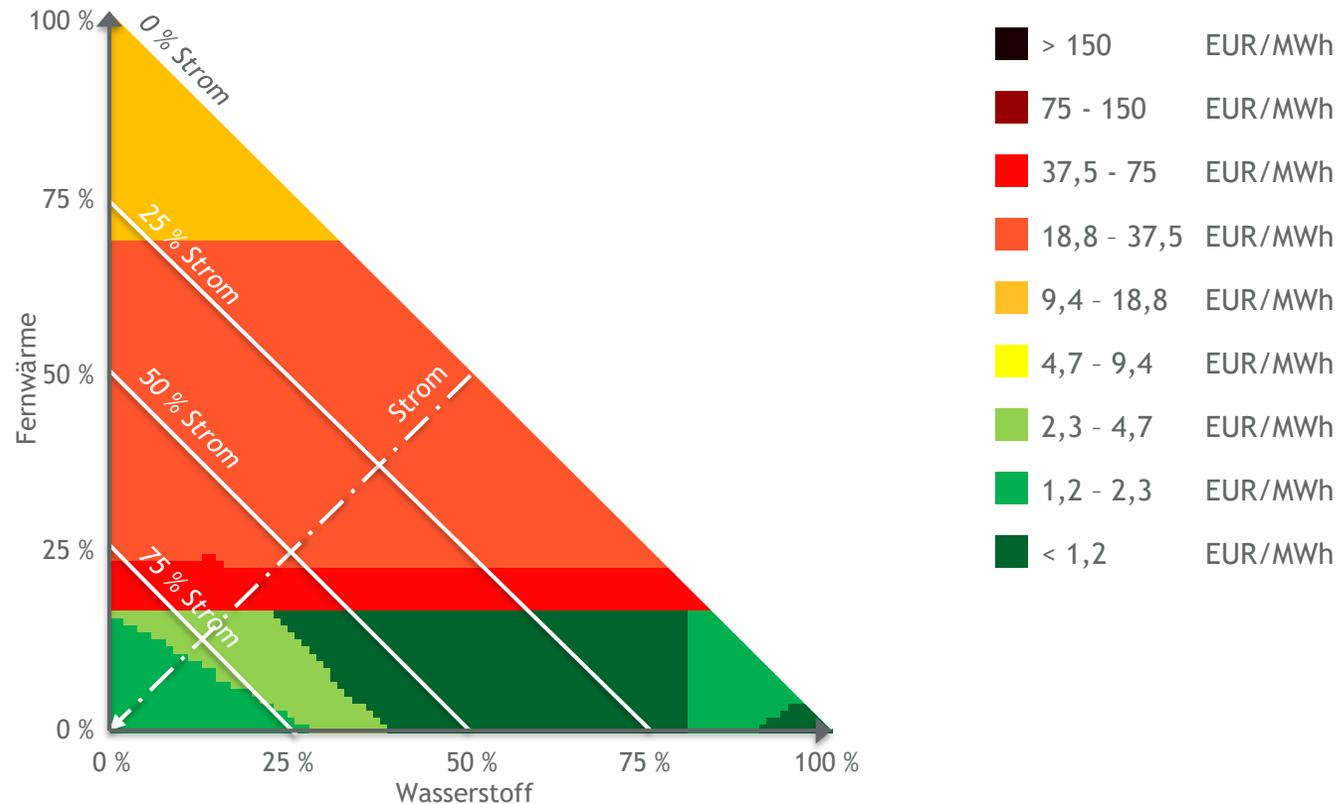
- Die spezifischen Netznutzungskosten beschreiben die Kosten bezogen auf die bereitgestellte Wärmemenge durch das Netz.
- Dazu werden die annualisierten Netzinvestitionskosten und die annualisierten Gebäudeanschlusskosten durch die Wärmeabnahme eines Siedlungstyps geteilt, um die Kosten pro bereitgestellter kWh zu berechnen.
- Die Netznutzungskosten berücksichtigen zusätzlich die Betriebs- und Wartungskosten (O&M Kosten). Im Gegensatz zu den Investitionskosten, die in Abhängigkeit des Siedlungstypen bestimmt werden, sind die Betriebs- und Wartungskosten weitgehend unabhängig von den Siedlungstypen.
- Die berechneten Netznutzungskosten beziehen sich lediglich auf das Verteilnetz auf Niederspannungs- bzw. -druckebene und sind nicht mit Netzentgelten für Strom- und Gasverteilstetze vergleichbar.

Hinweis: Für detaillierte Informationen zur Methodik siehe Methodikanhang

# Die gesamten Netznutzungskosten werden über den Versorgungsanteil von Fernwärme, Wasserstoff und Strom dargestellt

## Bespielhafte gesamte Netznutzungskosten pro Anteil von Energieträger

Beispiel: Siedlungstyp „Citybebauung“ mit Bestandsinfrastruktur



## Kommentare

- Die gesamten Netznutzungskosten sind als Heatmap anhand von drei Achsen dargestellt. So wird jeweils der Anteil von Fernwärme, Wasserstoff und Strom an der Wärmeversorgung gezeigt. Die gesamte Versorgung addiert sich für jeden Punkt auf der Heatmap zu 100 %.
- Um Unterschiede in den spezifischen Netznutzungskosten trotz großer Kostendifferenzen zu erkennen, ist die Skala in sich verdoppelnden Abschnitten dargestellt.
- Hierdurch erscheinen Abstände zwischen den Farbabstufungen im grünen Bereich näher und divergieren hin zu roten Farben.
- Die Ergebnisse im dargestellten Diagramm sind daher für die qualitative Bewertung einzelner Bereiche zu nutzen und nicht für tatsächliche quantitative Ergebnisse.

# Die Netznutzungskosten von Strom und Wasserstoff werden zur genaueren Analyse separat in einem Liniendiagramm dargestellt

## Beispielhafte gesamte Netznutzungskosten für Wasserstoff und Strom



## Kommentare

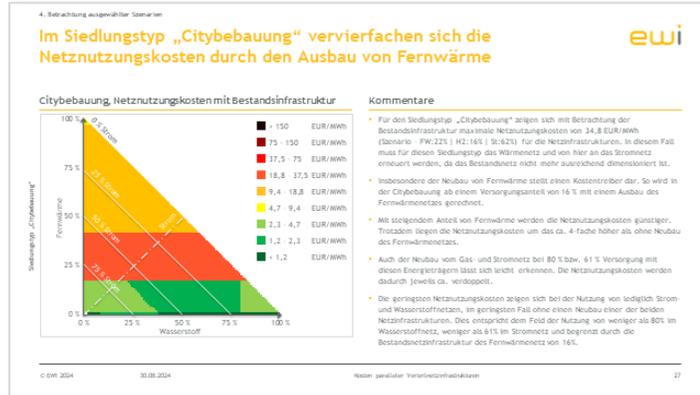
- Da die Netznutzungskosten von Fernwärme gegenüber Wasserstoff und Strom deutlich höher sind, werden die Netznutzungskosten aus Darstellungsgründen für den Fall ohne Fernwärme nochmal separat gezeigt.
- Dieses Diagramm entspricht dem untersten Segment nahe der X-Achse auf der Heatmap bei einem 0 %-Versorgungsanteil von Fernwärme.
- Im Diagramm ist von links nach rechts ein steigender Anteil von Wasserstoff an der Wärmeversorgung aufgetragen. Folglich sinkt der Anteil von Strom von links nach rechts.
- Im Diagramm ist sowohl der Fall mit als auch ohne Bestandsinfrastruktur dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Größenordnungen werden zwei Skalen verwendet. Der Fall ohne Bestandsinfrastruktur bezieht sich auf linke Skala, der Fall mit Bestand auf die rechte Skala.

# 4

## Betrachtung ausgewählter Szenarien

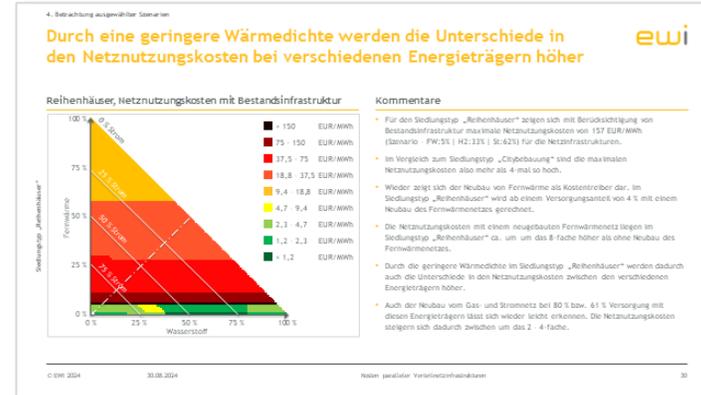
# Im Ergebnisteil werden drei Siedlungstypen<sup>1</sup> mit unterschiedlichen Wärmelinendichten und Bebauungsstrukturen analysiert

## Citybebauung



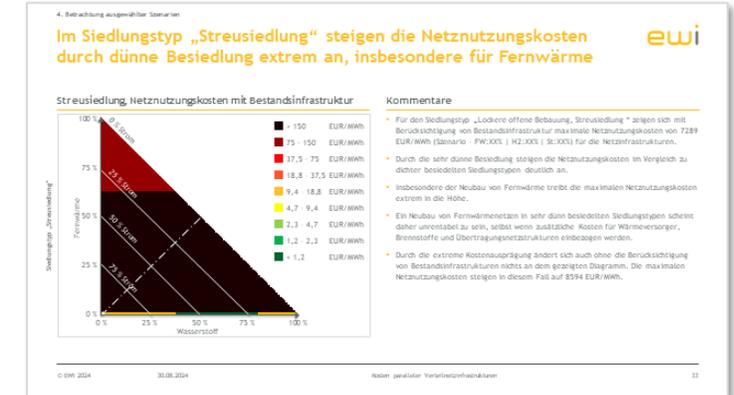
- Gebietsart: Stadt
- Bebauung: Citybebauung, meist aus der Zeit der Jahrhundertwende, mit überbauten Innenhöfen
- Wärmelinendichte: 6,41 MWh/m
- Dimensionierung der Bestandsinfrastrukturen:
  - Strom: 61 %
  - Wasserstoff: 80 %
  - Fernwärme: 16 %

## Reihenhäuser



- Gebietsart: Vorort
- Bebauung: Reihenhaussiedlung engmaschig geometrisch erschlossen
- Wärmelinendichte: 2,32 MWh/m
- Dimensionierung der Bestandsinfrastrukturen:
  - Strom: 61 %
  - Wasserstoff: 80 %
  - Fernwärme: 4 %

## Streusiedlung



- Gebietsart: Land
- Bebauung: Lockere unregelmäßige Bebauung, insb. an Stadträndern und langgezogenen Straßendörfern
- Wärmelinendichte: 0,28 MWh/m
- Dimensionierung der Bestandsinfrastrukturen:
  - Strom: 61 %
  - Wasserstoff: 80 %
  - Fernwärme: 0 %

1: In diesem Ergebnisteil werden nur 3 Siedlungstypen vorgestellt. Die Analyse der weiteren Siedlungstypen wird in einer Datenexcel zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung gestellt.

# Alle drei Siedlungstypen werden in zwei Szenarien untersucht - Die Szenarien unterscheiden den Neubau und den Ausbau

## Ausbau von Energieinfrastrukturen

---

- In dem betreffenden Siedlungsgebiet liegen bereits eine oder mehrere Energieinfrastrukturen. Es wird also **mit Bestandsinfrastruktur** angenommen. Diese ist einsatzbereit und muss nicht zeitnah ausgetauscht werden.
- Es wird für jede Infrastruktur eine Kapazität angegeben. Übersteigt die zu versorgende Last die bereits installierte Kapazität, so ist der Austausch des gesamten Verteilnetzes dieses Energieträgers notwendig. Hierbei wird dann bis zur gewünschten Kapazität ausgebaut. Der Grad des Ausbaus entspricht dabei genau dem Nutzungsgrad der Verteilnetzinfrastuktur (vgl. Kapitel 5).
- Durch die weite Verbreitung von Gas- und Stromnetzen, wird davon ausgegangen, dass bereits alle Gebäude im Siedlungsgebiet über die Anschlüsse zu einer Verteilnetzleitung verfügen und diese auch nicht ausgetauscht werden müssen.
- Für Fernwärme erfolgt eine Anschlussverdichtung. Das heißt, es bestehen nur Anschlüsse für den Anteil der Gebäude der bereits an das Bestandsnetz angeschlossen ist. Die restlichen Gebäude müssen neu angeschlossen werden.

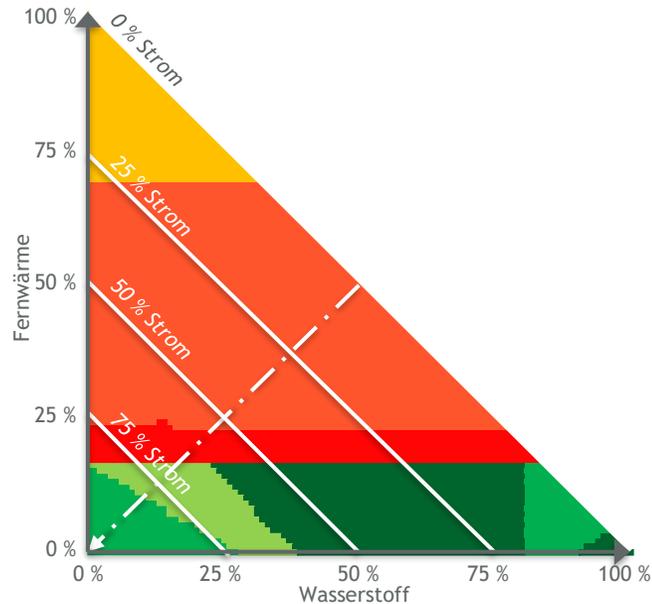
## Neubau von Energieinfrastrukturen

---

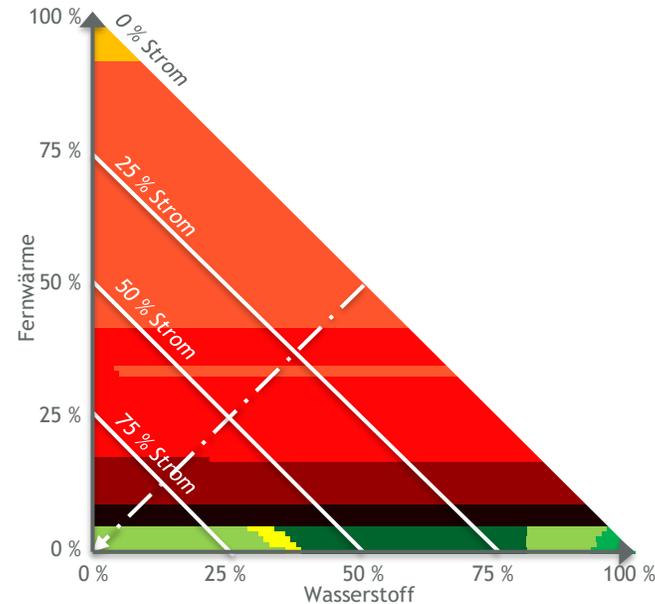
- In dem betreffenden Gebiet liegt keine Energieinfrastruktur vor, oder die bestehende Infrastruktur ist nicht länger tauglich oder so alt, dass sie ausgetauscht werden muss. Es wird also **ohne Bestandsinfrastruktur** angenommen.
- In diesem Fall wird jegliche betrachtete Infrastruktur neu gebaut. Hierzu gehören der Bau des Verteilnetzes und zugehörige Gebäudeanschlüsse. Beim Neubau wird dabei davon ausgegangen, dass der Grad des Neubaus genau dem Nutzungsgrad der Verteilnetzinfrastuktur entspricht (vgl. Kapitel 5).
- Es wird dabei von einem bestehenden Siedlungsgebiet ausgegangen, d. h. es werden keine Synergien berücksichtigt, die ggf. bei der gleichzeitigen Planung und Verlegung von zum Beispiel Glasfaserkabeln oder Telefoninfrastruktur entstehen könnten.
- Zudem sind Synergien die bei der gleichzeitigen Verlegung von mehr als einer Infrastruktur zu Energieversorgung entstehen können sehr von individuellen Rahmenbedingungen abhängig. Da diese nur sehr schwierig in einer allgemeinen Analyse abzubilden sind, werden Synergien daher nicht berücksichtigt.

# Über alle Siedlungstypen hinweg dämpft die Nutzung bestehender Verteilnetzinfrasturktur die Netznutzungskosten deutlich

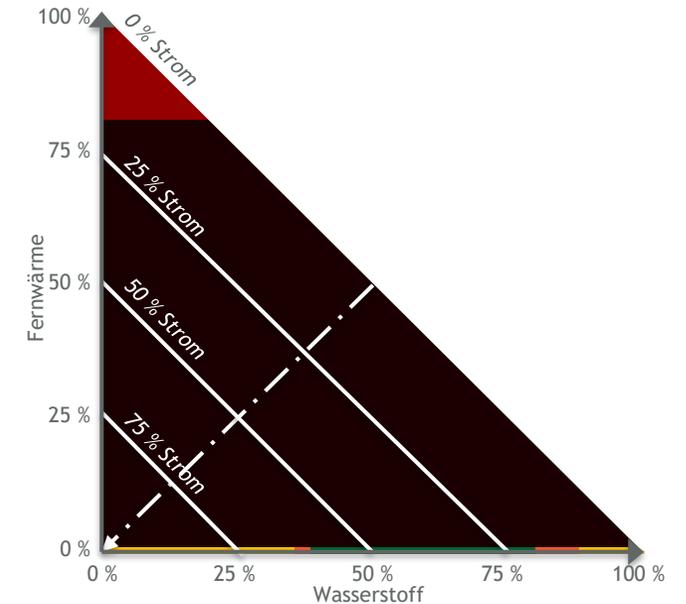
## Citybebauung



## Reihenhäuser



## Streusiedlung

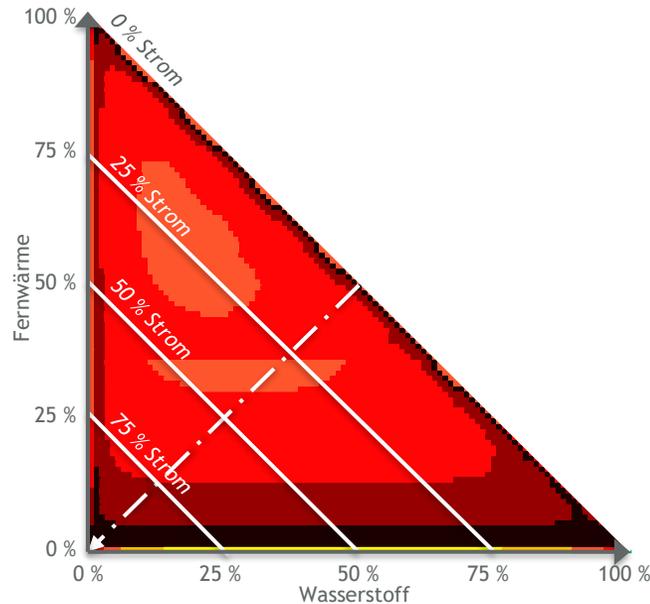


> 150 EUR/MWh
  75 - 150 EUR/MWh
  37,5 - 75 EUR/MWh
  18,8 - 37,5 EUR/MWh
  9,4 - 18,8 EUR/MWh
  4,7 - 9,4 EUR/MWh
  2,3 - 4,7 EUR/MWh
  1,2 - 2,3 EUR/MWh
  < 1,2 EUR/MWh

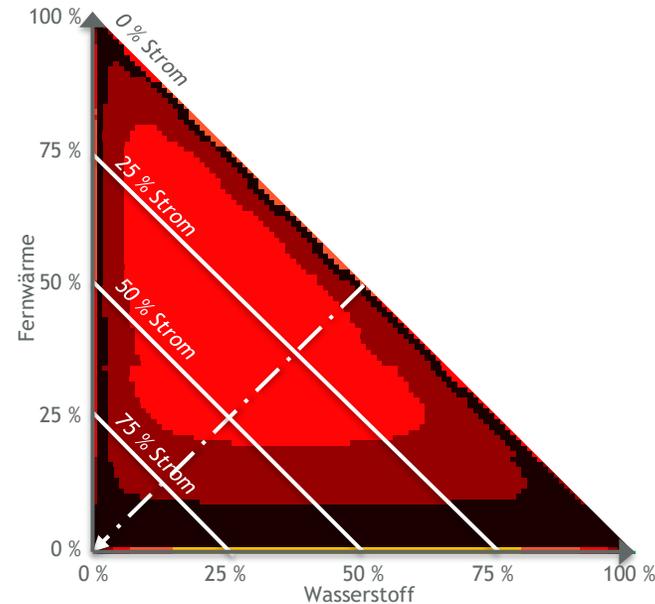
- Bei allen Siedlungstypen mit **Bestandsinfrastruktur** zeigt sich ein starker Anstieg der spezifischen Netznutzungskosten beim Erreichen eines Ausbaus des Fernwärmenetzes. Die Netznutzungskosten fallen wieder, sobald die ausgebaute Netzinfrastruktur mehr genutzt wird.
- Auch der Ausbau anderer Infrastruktur zeigt einen sprunghaften, aber weniger drastischen Anstieg der Netznutzungskosten. Diese fallen bei vermehrter Nutzung wieder.
- Die geringsten Kosten ergibt die ausschließliche Nutzung von Wasserstoff- und Strombestandsinfrastruktur und der vollständige Verzicht auf Fernwärme. Dies ist möglich, da die Nutzung des Wasserstoff- und des Stromnetzes zusammen bereits mehr als 100 % der benötigten Wärme bereitstellen kann. Dies ist jeweils auf der x-Achse abgebildet.

# Der Neubau bzw. die Erneuerung von Verteilnetzinfrasturktur ist ein maßgeblicher Treiber der Netznutzungskosten

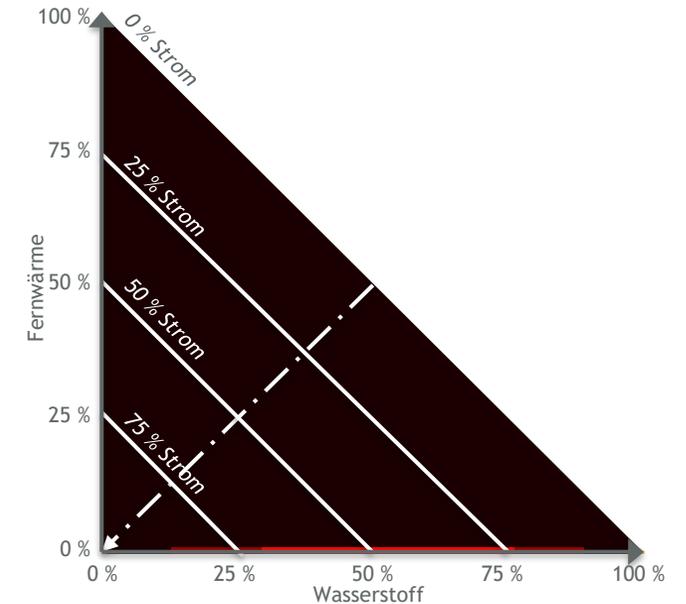
Citybebauung



Reihenhäuser



Streusiedlung

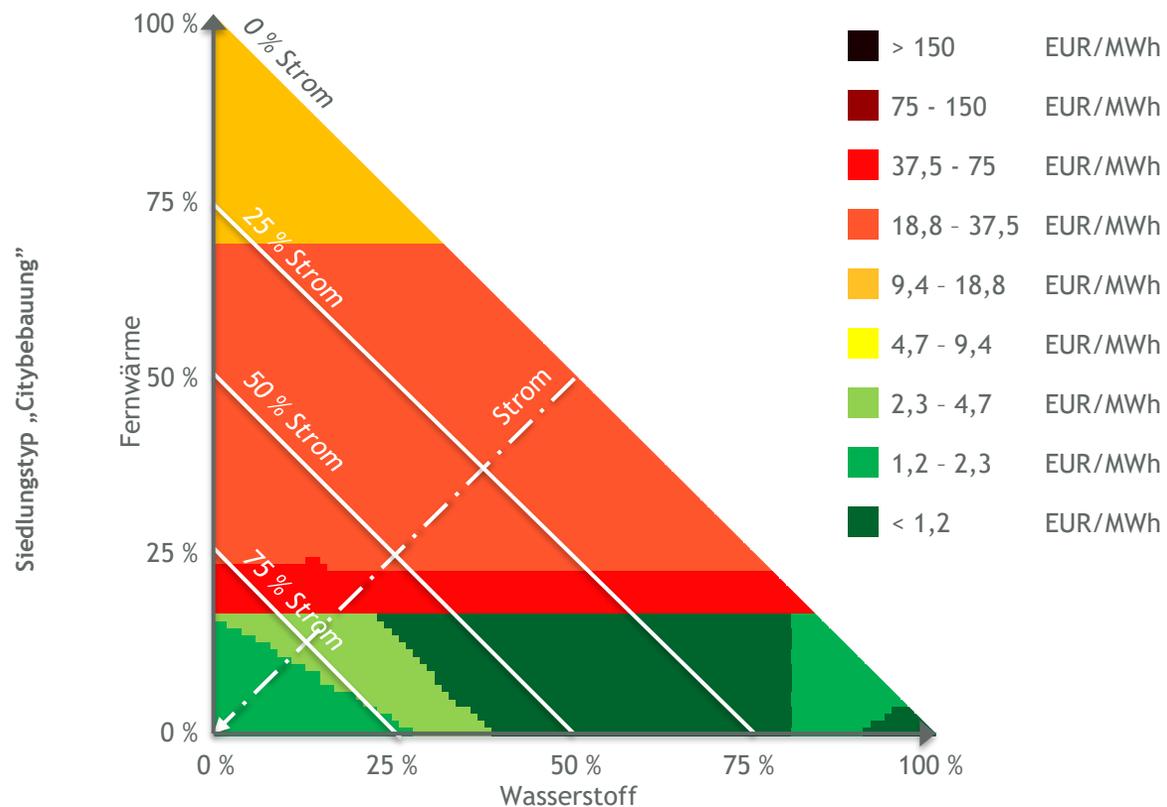


■ > 150 EUR/MWh  
 ■ 75 - 150 EUR/MWh  
 ■ 37,5 - 75 EUR/MWh  
 ■ 18,8 - 37,5 EUR/MWh  
 ■ 9,4 - 18,8 EUR/MWh  
 ■ 4,7 - 9,4 EUR/MWh  
 ■ 2,3 - 4,7 EUR/MWh  
 ■ 1,2 - 2,3 EUR/MWh  
 ■ < 1,2 EUR/MWh

- Auch bei Betrachtung der drei Siedlungstypen ohne Bestandsinfrastruktur zeigen sich fallende spezifische Netznutzungskosten mit einem Anstieg der Wärmeliniendichte.
- In allen Siedlungstypen zeigt sich ein ähnliches Bild: Wenn sämtliche Netzinfrasturktur neugebaut werden muss, ist eine Versorgung mit wenigen Netzinfrasturkten, also nur einer oder zwei, am günstigsten. Die geringsten Netznutzungskosten bestehen bei einer rein auf Strom und Wasserstoff basierenden Versorgung (siehe dazu x-Achse).
- Werden allerdings grundsätzlich alle Infrastrukturen gebaut und betrieben, ist es kostengünstiger alle Verteilnetzinfrasturkten gleichmäßig zu nutzen, anstatt eine Verteilnetzinfrasturktur auszubauen und nur sehr wenig zu nutzen.

# Im Siedlungstyp „Citybebauung“ vervierfachen sich die Netznutzungskosten durch den Ausbau von Fernwärme

## Citybebauung, Netznutzungskosten mit Bestandsinfrastruktur

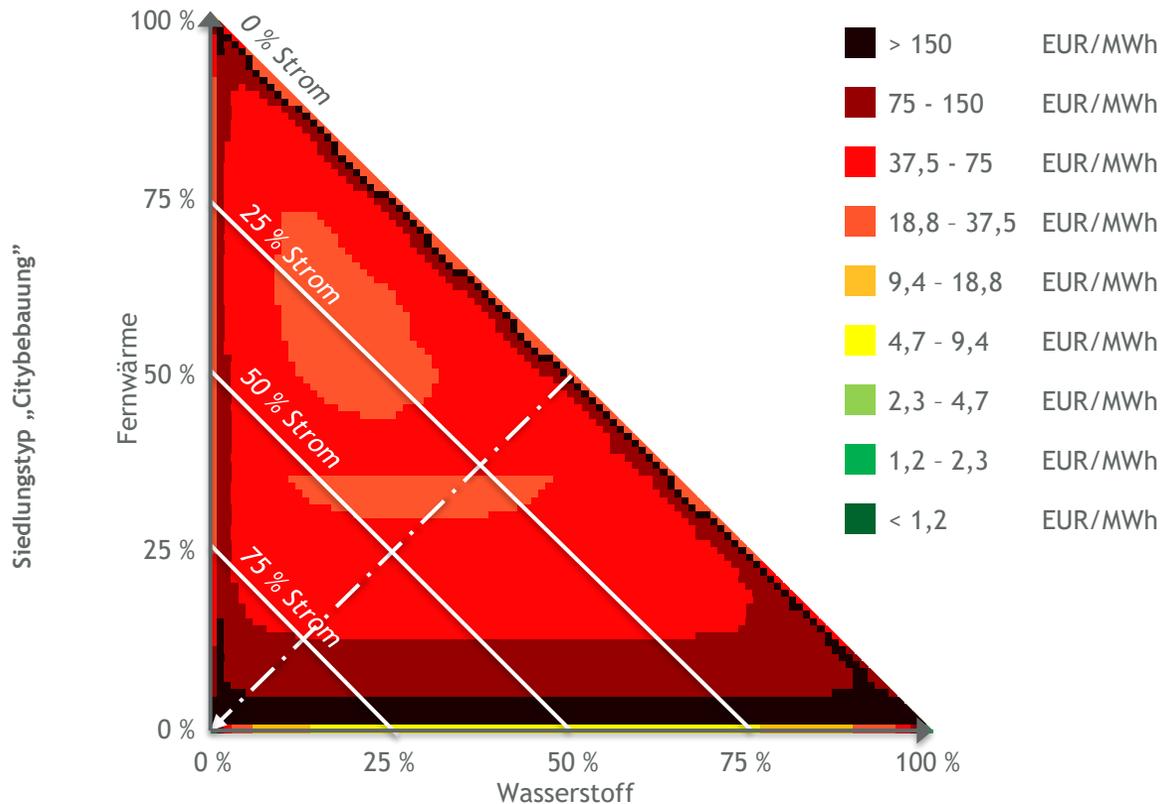


## Kommentare

- Für den Siedlungstyp „Citybebauung“ zeigen sich mit Betrachtung der Bestandsinfrastruktur maximale Netznutzungskosten von 51 EUR/MWh. In diesem Fall werden sowohl Fernwärmenetz als auch Stromnetz ausgebaut. (Ausbau - Fernwärme: 17 %, Strom: 62 %; Bestandsnetz - Wasserstoff: 21 %) .
- Wenn auch mit steigendem Anteil von Fernwärme die Netznutzungskosten günstiger werden, liegen die Kosten für einen Ausbau ab 16 % Versorgungsanteil um das mindestens 16-fache höher als in den Fällen ohne den Ausbau des Fernwärmenetzes.
- Auch der Ausbau vom Gas- und Stromnetz bei 80 % bzw. 61 % Versorgung mit diesen Energieträgern lässt sich grafisch, anhand des deutlichen Kostensprungs außerhalb dieser Grenzen, leicht erkennen. Besonders im Bereich des Diagramms mit weniger als 16 % Fernwärmenutzung ist der Effekt sichtbar. Die Netznutzungskosten werden dadurch jeweils ca. verdoppelt.
- Geringe Netznutzungskosten (<math>< 1,2</math> EUR/MWh) ergeben sich wenn ein Ausbau von Infrastruktur umgangen wird (d.h. bei weniger als 80 % Wasserstoff, weniger als 61 % Strom und weniger als 16 % Fernwärme). Auffällig ist, dass die niedrigsten Kosten auf der x-Achse des Diagramms dargestellt sind, also bei einer reinen Versorgung des Systems über Strom und Wasserstoff.

# Durch Kostensprünge bei größeren Leitungen ist, bei Verwendung paralleler Infrastrukturen, eine ergänzende Nutzung günstiger

## Citybebauung, Netznutzungskosten ohne Bestandsinfrastruktur

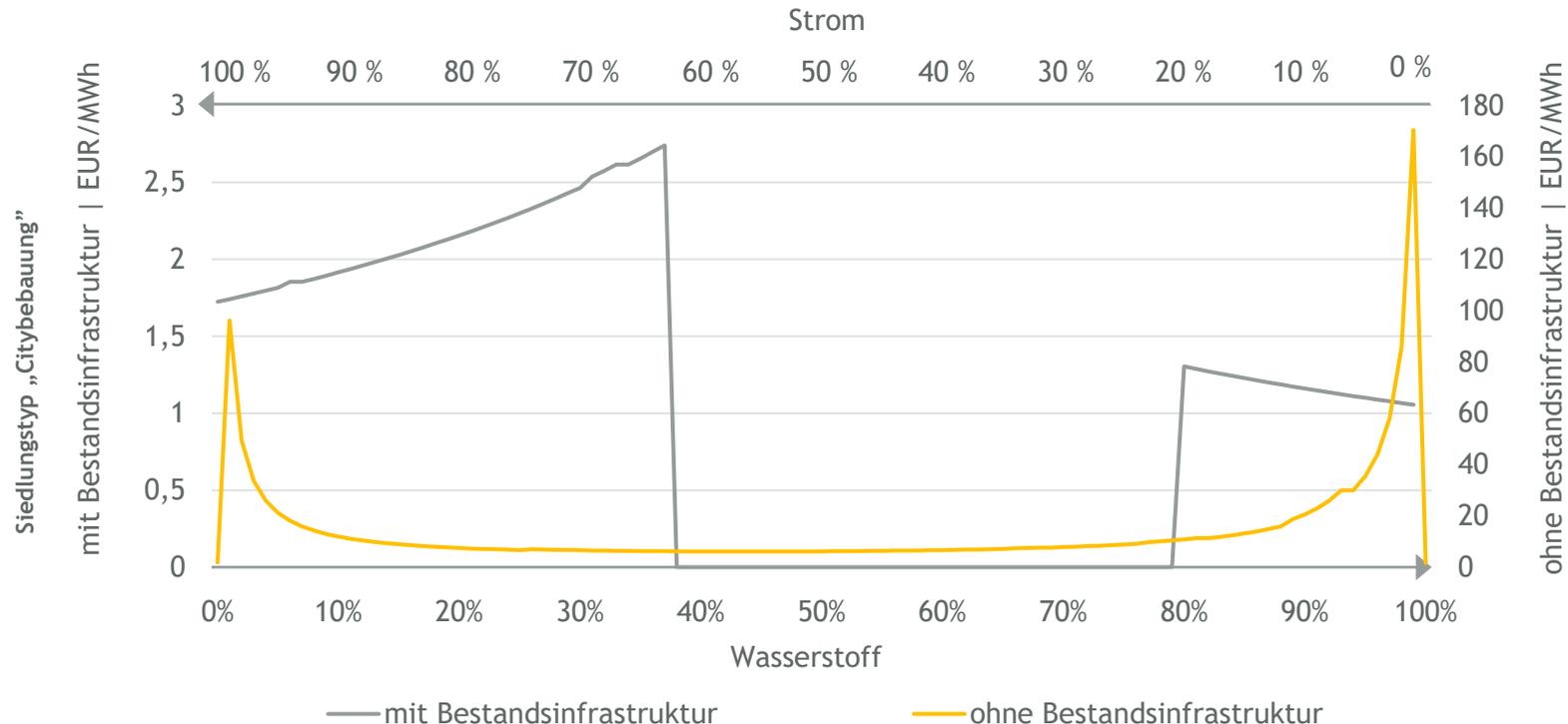


## Kommentare

- Für den Siedlungstyp „Citybebauung“ zeigen sich ohne Bestandsinfrastruktur die höchsten Netznutzungskosten bei einem nur sehr geringen Fernwärmeausbau. Die maximalen Netznutzungskosten sind 664 EUR/MWh (Neubau: Fernwärme: 1 %, Wasserstoff: 98 %, Strom: 1 %).
- Im Vergleich zu einer Nutzung von allen drei Infrastrukturen lassen sich Kostenreduktionen durch die Beschränkung auf nur zwei Systeme erzielen. Die geringsten Netznutzungskosten ergeben sich bei der ausschließlichen Nutzung von Wasserstoff und/oder Strom. Nur beim Neubau beider Netzinfrastrukturen aber sehr geringen Nutzung einer dieser, steigen die Netznutzungskosten nochmal deutlich. Sobald Fernwärme zu einem System hinzugewählt wird steigen die Netznutzungskosten auf mindestens 18,8 EUR/MWh.
- Es zeigen sich auch beim Neubau leichte Stufen bei den Netznutzungskosten. Dies liegt an Kostensprüngen durch die benötigte Nutzung größerer Leitungen. Die deutlich rundere Form der Abstufungen, entsteht dadurch, dass die stufigen Entwicklungen von drei Neubauten gekreuzt werden.
- Grundsätzlich lässt sich sagen, dass ein Marginalneubau, also ein Neubau mit sehr geringer Nutzung der Verteilnetzinfrasturkturen, immer zu höheren Netznutzungskosten führt.

# Die ausschließliche Nutzung einer Infrastruktur weist die niedrigsten Netznutzungskosten auf

## Citybebauung, gesamte Netznutzungskosten für Wasserstoff und Strom

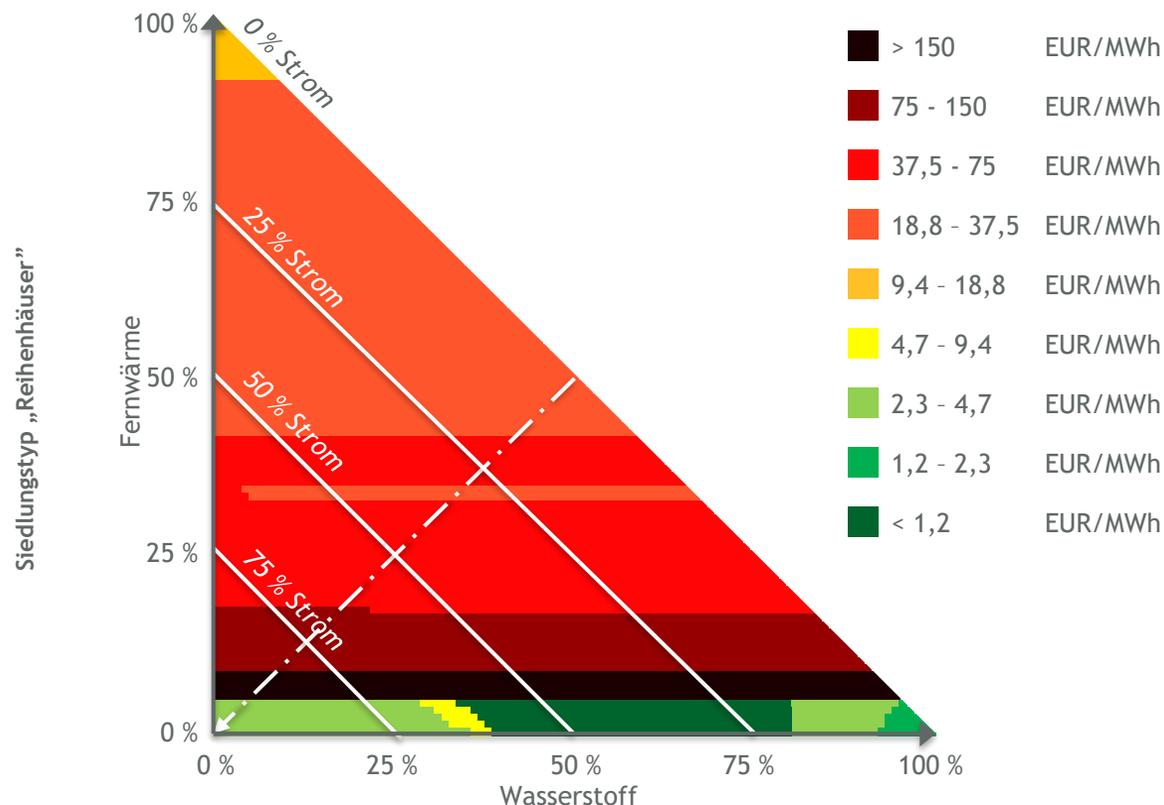


## Kommentare

- Die am wenigsten kostenintensiven Versorgungsszenarien liegen bei Ausbau und Neubau auf der x-Achse, also der alleinigen Nutzung von Wasserstoff und Strom oder einer Kombination aus beidem.
- Bei vorhandenen Bestandsinfrastrukturen fallen maximale Netznutzungskosten von bis zu 2,74 EUR/MWh an. Dieser Punkt ist erreicht, wenn das Stromnetz marginal ausgebaut wird. Bei stärkerer Nutzung des Ausbaus fallen die Kosten wieder. Grundsätzlich erscheint der Ausbau des Wasserstoffnetzes als kostengünstiger. Die Lösung mit den geringsten Kosten wäre ganz auf den Ausbau zu verzichten (Wasserstoff < 80 % & Strom < 61 %).
- Bei ergänzender Nutzung beider neugebauter Infrastrukturen bewegen sich die Netznutzungskosten bei ca. 6-10 EUR/MWh. Die Ergänzende Nutzung im Neubau wird nur durch eine alleinige Fokussierung auf Strom oder Wasserstoff unterboten. Hier liegen die Netznutzungskosten unter 1,6 EUR/MWh.

# Durch eine geringere Wärmeliniendichte werden die Unterschiede in den Netznutzungskosten zwischen den Energieträgern größer

## Reihenhäuser, Netznutzungskosten mit Bestandsinfrastruktur

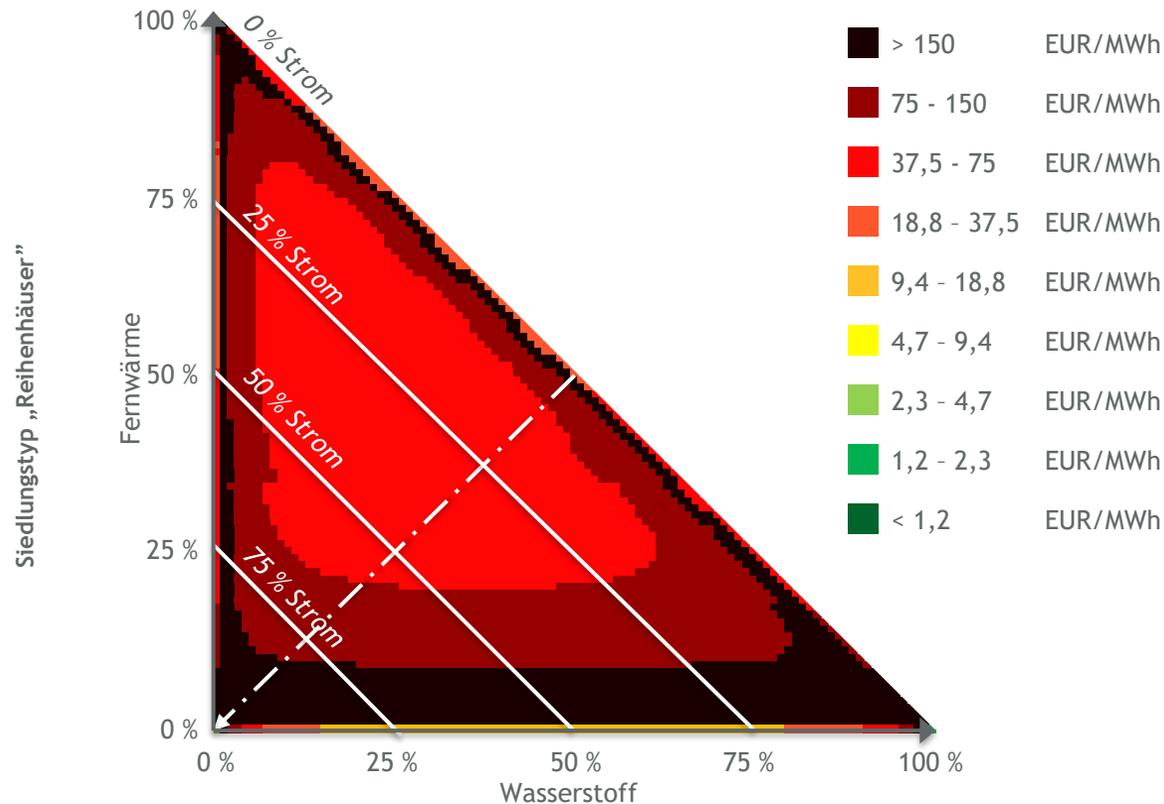


## Kommentare

- Für den Siedlungstyp „Reihenhäuser“ zeigen sich mit Berücksichtigung von Bestandsinfrastruktur maximale Netznutzungskosten von 246 EUR/MWh (Ausbau - Fernwärme: 5 %, Strom: 62 %; Bestand - Wasserstoff: 33 %). In diesem Fall werden sowohl Stromnetz als auch Fernwärme marginal ausgebaut. Die maximalen Kosten haben sich im Vergleich zum Siedlungstyp „Citybebauung“ nahezu **verfünffacht**.
- Dieser drastische Anstieg ist nicht nur aus den geringeren Bestandsausbau von 4 % zurückzuführen, sondern auch auf die geringere Wärmeliniendichte. Beide Effekte lassen sich in der Grafik verfolgen. Zunächst liegen bei 17 % Fernwärme die Netznutzungskosten schon bei mindestens 71,42 EUR/MWh und damit deutlich über den Kosten der vergleichbaren Szenarien der „Citybebauung“. Des Weiteren werden diese Kosten bei geringerem Fernwärmeausbau weiter steigen.
- In diesem Diagramm lässt sich der Anstieg der Netznutzungskosten durch den Stromnetzausbau bei bestehendem Fernwärmenetz verfolgen (Fernwärme < 4 %). Bei einem Ausbau von über 61 % steigen die Netznutzungskosten zunächst deutlich auf bis zu 9,4 EUR/MWh und sinken dann wieder auf 2,3 EUR/MWh, sobald der Ausbau mehr genutzt wird. Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich für die Erweiterung der Wasserstoffinfrastruktur von über 80%, die bei einer sehr hohen Auslastung wieder auf bis zu 1,2 EUR/MWh abfällt. Die geringsten Kosten lassen sich wieder durch die reine Fokussierung auf Strom und Wasserstoff erzielen (siehe x-Achse).

# Ohne Betrachtung der Bestandsinfrastruktur zeigen sich bei „Reihenhäusern“ ähnliche Trends wie bei „Citybebauung“

## Reihenhäuser, Netznutzungskosten ohne Bestandsinfrastruktur

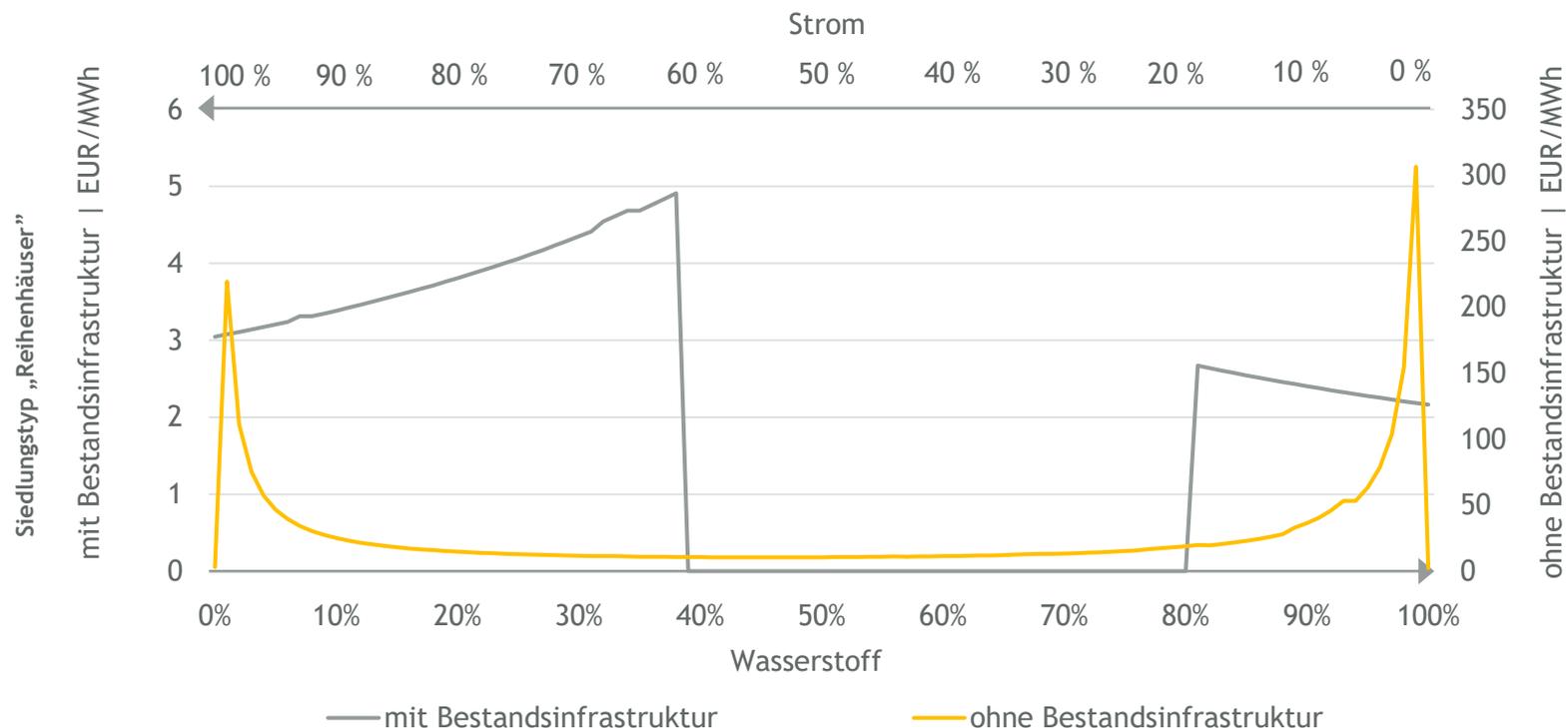


## Kommentare

- Für den Siedlungstyp „Reihenhäuser“ zeigen sich ohne Betrachtung der Bestandsinfrastruktur maximale spezifische Netznutzungskosten von 1.512 EUR/MWh (Neubau - Fernwärme: 1 %, Wasserstoff: 98 %, Strom: 1 %). Wieder ist der Ausbau der Fernwärme bei Versorgung sehr geringer Anteile des Wärmebedarfs ursächlich für die hohen Kosten. Durch die Reduktion des Wärmeliniendichte im Vergleich zur „Citybebauung“ werden sich die maximalen Kosten mehr als verdoppeln.
- Es zeigt sich ein ähnlicher Trend wie im Siedlungstyp „Citybebauung“. Wieder bringt die Nutzung von weniger als drei Netzinfrastrukturen tendenziell niedrigere Netznutzungskosten. Insbesondere die ausschließlich parallele Nutzung von Wasserstoff und Strom senkt die Kosten auf bis zu 10,5 EUR/MWh (Neubau: Strom: 21 - 85 %, Wasserstoff: 15 - 79 %).
- Bei Neubau aller Infrastrukturen ist eine ergänzende Verwendung der Netzinfrastrukturen bei einem hohen Anteil von Fernwärme am günstigsten. Dieser Fall wird durch die Nutzung 20 - 79 % eines Fernwärme-, 6 - 61 % eines Wasserstoff- und 8 - 64 % eines Stromnetzes beeinflusst.

# Auch für die Betrachtung von Wasserstoff und Strom führen sich im Siedlungstyp „Reihenhäuser“ die beobachteten Trends fort

## Reihenhäuser, gesamte Netznutzungskosten für Wasserstoff und Strom

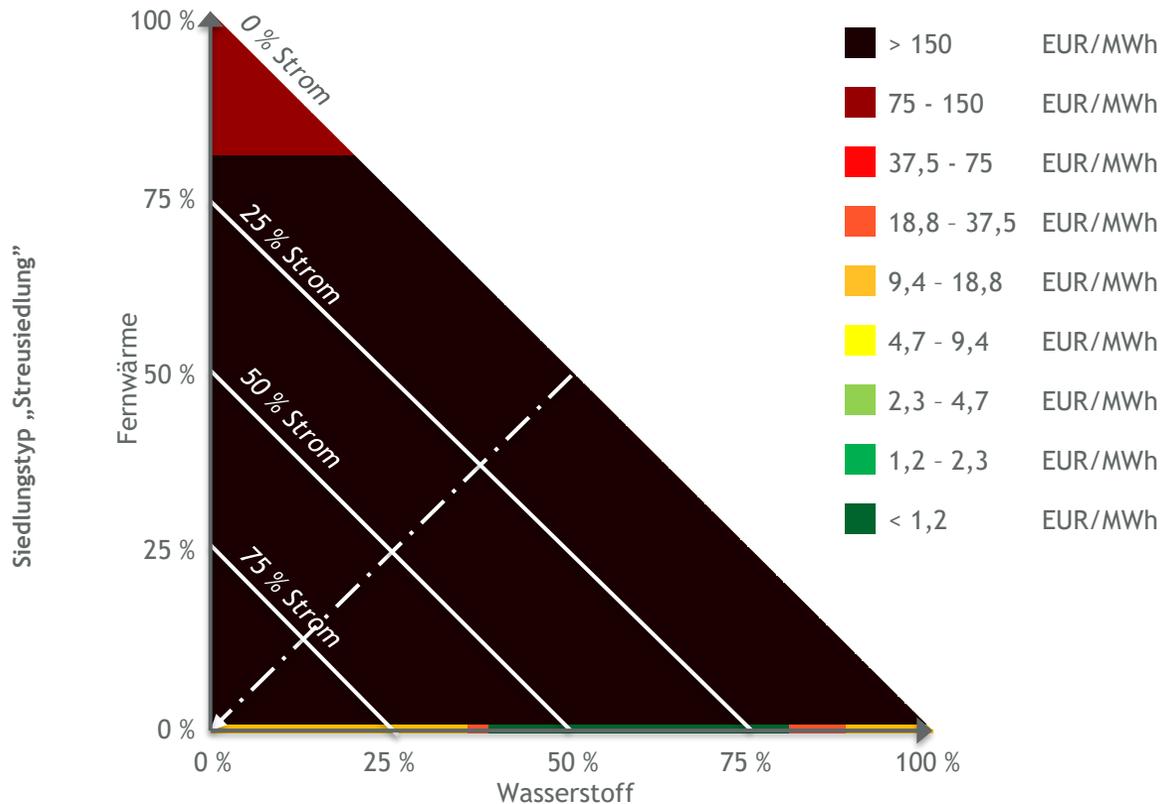


## Kommentare

- Die spezifischen Netznutzungskosten für Strom und Wasserstoff liegen im Siedlungstyp „Reihenhäuser“ ca. doppelt so hoch wie im Siedlungstyp „Citybebauung“. Die grundsätzliche Struktur der Kosten stellt sich allerdings sehr ähnlich dar.
- So fallen beim Ausbau von Bestandsinfrastrukturen maximale Netznutzungskosten von bis zu ca. 4,91 EUR/MWh an. Erneut ist dieser Punkt erreicht, wenn das Stromnetz marginal ausgebaut wird. Grundsätzlich erscheint der Ausbau des Wasserstoffnetzes als kostengünstiger als der des Stromnetzes. Die Lösung mit den geringsten Kosten wäre, ganz auf den Ausbau zu verzichten (Wasserstoff < 80 % und Strom < 61 %).
- Bei Neubau der Infrastruktur liegen die Kosten in der Spitze bei ca. 306 EUR/MWh für den Fall, dass ein Stromnetz gebaut aber nur sehr wenig genutzt wird. Bei ergänzender Nutzung beider neugebauten Infrastrukturen bewegen sich die Netznutzungskosten bei ca. 10 - 18 EUR/MWh.

# Im Siedlungstyp „Streusiedlung“ steigen die Netznutzungskosten durch dünne Besiedlung extrem an, insbesondere für Fernwärme

## Streusiedlung, Netznutzungskosten mit Bestandsinfrastruktur

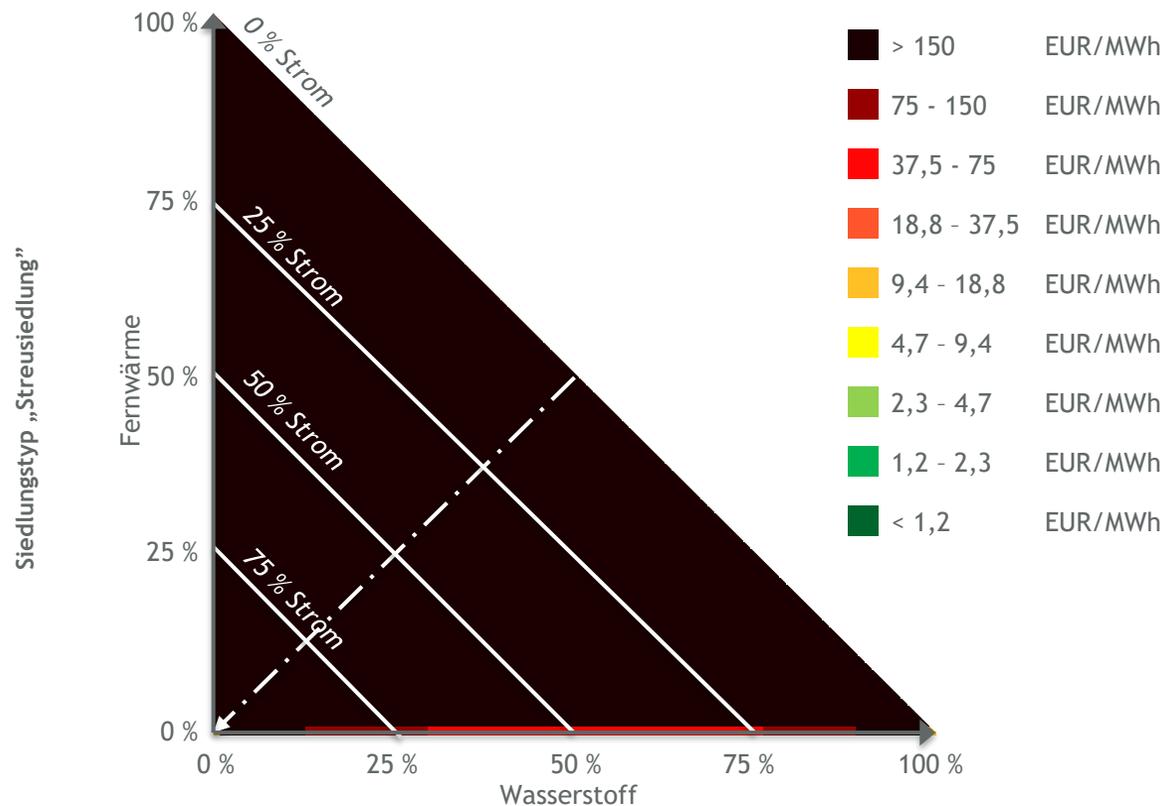


## Kommentare

- Für den Siedlungstyp „Streusiedlung“ zeigen sich mit Berücksichtigung von Bestandsinfrastruktur maximale Netznutzungskosten von 9.343 EUR/MWh (Ausbau - Fernwärme: 1 %, Wasserstoff: 81 %; Bestand - Strom: 18 %). In diesem Fall werden sowohl Stromnetz als auch Fernwärme marginal ausgebaut. Der minimale Ausbau ist der ausschlaggebende Kostentreiber. Die maximalen Kosten stellen sich im Vergleich zum Siedlungstyp „Reihenhäuser“ als mehr als 38-mal so hoch dar.
- Durch die sehr geringen Wärmeliniedichten steigen die Netznutzungskosten im Vergleich zu den anderen Siedlungstypen mit deutlich höheren Wärmeliniedichten stark an. Insbesondere der Ausbau von Fernwärme treibt die Netznutzungskosten in die Höhe.
- Ein Ausbau/Neubau von Fernwärmenetzen in Gebieten mit sehr geringer Wärmeliniedichte scheint daher unrentabel zu sein, selbst wenn zusätzliche Kosten für Wärmeversorger, Brennstoffe und Übertragungsnetzstrukturen in die Gesamtkosten mit einbezogen werden.
- Die niedrigsten Netznutzungskosten entstehen wieder auf der x-Achse des Diagramms bei einer reinen Fokussierung auf Wasserstoffnetze und Stromnetze.

# Über alle Siedlungstypen steigen mit sinkender Wärmeliniendichte die spezifischen Netznutzungskosten an

## Streusiedlung, Netznutzungskosten ohne Bestandsinfrastruktur

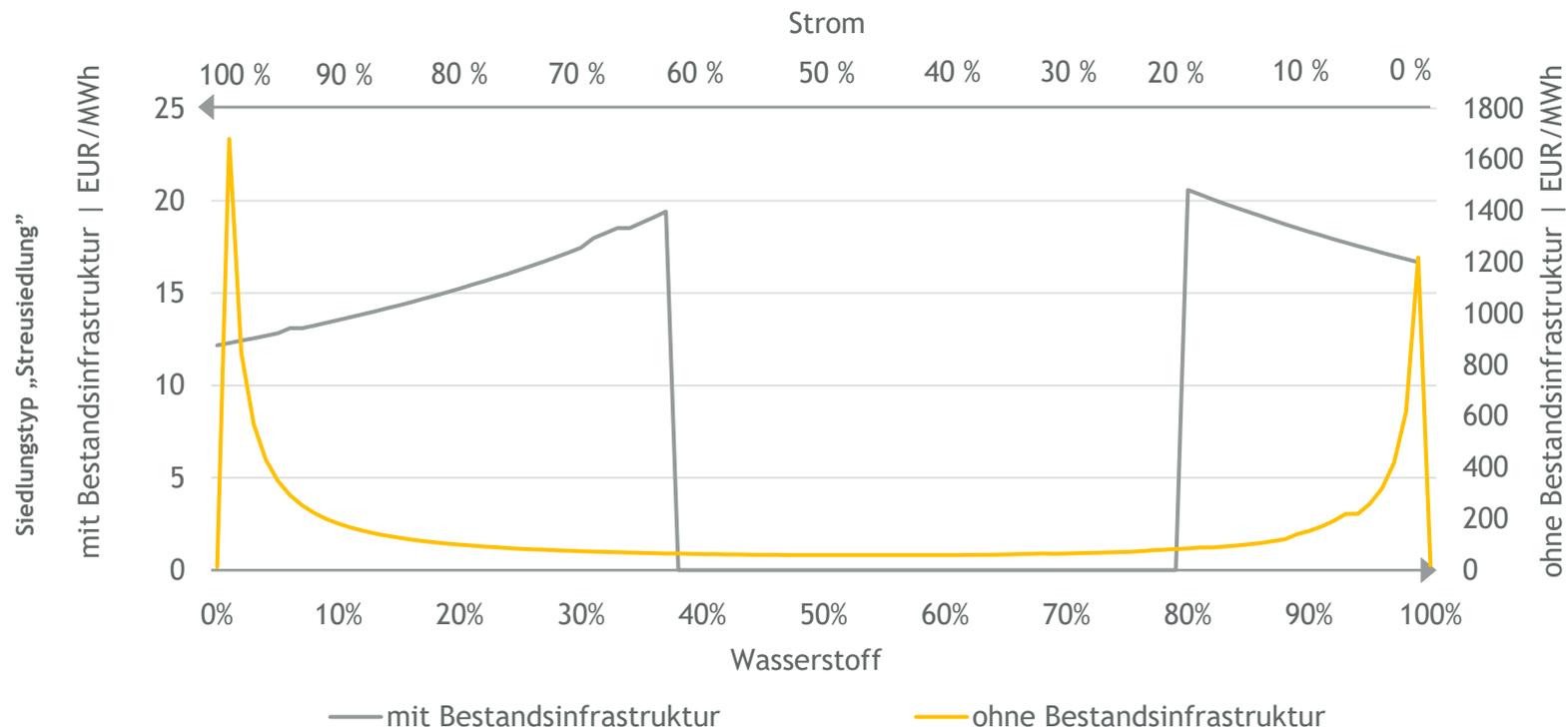


## Kommentare

- Für den Siedlungstyp „Streusiedlung“ zeigen sich ohne Betrachtung der Bestandsinfrastruktur maximale Netznutzungskosten von 11.004 EUR/MWh (Neubau - Fernwärme: 1 %, Wasserstoff: 1 %, Strom: 98 %).
- Es zeigt sich ein ähnlicher Trend wie im Siedlungstyp „Citybebauung“. Wieder bringt die Nutzung von weniger als drei Netzinfrastrukturen die tendenziell niedrigere Netznutzungskosten. Insbesondere die ausschließliche parallele Nutzung von Wasserstoff und Strom senkt die Kosten auf bis zu 58,24 EUR/MWh (Neubau: Strom: 24 - 70 %, Wasserstoff: 30 - 76 %)
- Über alle Siedlungstypen hinweg lassen sich mit sinkender Wärmeliniendichte höhere spezifische Netznutzungskosten beobachten. Bei tieferer Analyse liegt dies an der geringeren Wärmedichte in den Siedlungstypen. Die absoluten Netzinvestitionskosten sinken mit sinkender Wärmeleistungsdichte und offenerer Bebauung. Da die Wärmearbeitsdichte aber verhältnismäßig stärker sinkt als die absoluten Netzinvestitionskosten, steigen die spezifischen Netznutzungskosten an.

# Für Wasserstoff und Strom sind Kosten in „Streusiedlung“ deutlich geringer - aber immer noch 10-mal höher als für „Citybebauung“

## Streusiedlung, gesamte Netznutzungskosten für Wasserstoff und Strom



## Kommentare

- Im Vergleich zu den extremen Fernwärmekosten im Siedlungstyp „Streusiedlung“ sind die spezifischen Netznutzungskosten bei ausschließlicher Nutzung von Wasserstoff und Strom deutlich geringer.
- So fallen beim Ausbau von Bestandsinfrastrukturen maximale Netznutzungskosten von bis zu 20,59 EUR/MWh an. Dies stellt im Vergleich zur „Citybebauung“ immer noch eine Versiebenfachung und zu „Reihenhäusern“ immer noch eine Vervierfachung dar.
- Im Gegensatz zur „Citybebauung“ und „Reihenhäusern“ tritt dieses Maximum allerdings nicht bei einem marginalen Ausbau des Stromnetzes, sondern bei einem marginalen Ausbau des Wasserstoffnetzes auf, da das Verhältnis von Gas- zu Strominfrastrukturkosten im ländlichen gegenüber dem urbanen Raum höher ist.
- Bei Neubau der Infrastruktur liegen die Netznutzungskosten in der Spitze bei ca. 1.681 EUR/MWh. Dieser Punkt wird auch hier durch den marginalen Zubau des Wasserstoffnetzes erklärt.

# Aus der Betrachtung der ausgewählten Szenarien lassen sich folgende Beobachtungen ableiten...

L4



Bei der ergänzenden Nutzung bestehender Netzinfrastrukturen zeigen sich die insgesamt geringsten spezifischen Netznutzungskosten. Wird die Anzahl der betriebenen Netzinfrastrukturen verringert bspw. von drei auf zwei, sinken die Netznutzungskosten weiter. Die geringsten Kosten entstehen bei bestehenden Netzen durch die Nutzung von bestehenden Kapazitäten des Strom- und Wasserstoffnetzes.



Der Neubau einer oder mehrerer Netzinfrastrukturen erhöht die Netznutzungskosten in Abhängigkeit der Wärmeliniendichte deutlich. Insbesondere der Ausbau des Fernwärmenetzes vervielfacht die Netznutzungskosten. Im Falle eines Neubaus zeigt die Fokussierung auf Wasserstoff oder Strom die geringsten Kosten.



Werden mehrere Netzinfrastrukturen neugebaut<sup>1</sup>, bringt eine kleinere Dimensionierung und ergänzende Nutzung der neugebauten Netzinfrastrukturen die geringsten Netznutzungskosten mit sich, auch wenn eine Fokussierung auf eine Infrastruktur diese Kosten unterbietet.



Fernwärme zeigt sich bei Siedlungen mit niedriger Wärmeliniendichte als so teuer, dass es dort kaum relevant erscheint.



Der Treiber für steigende spezifische Netznutzungskosten in dünner besiedelten Siedlungstypen ist die geringere Wärmeliniendichte und nicht teurere absolute Netznutzungskosten. Die absoluten Netznutzungskosten sinken mit geringerer Wärmeliniendichte und offenerer Bebauungsstruktur. Da die Wärmearbeitsdichte aber verhältnismäßig stärker sinkt als die absoluten Netznutzungskosten steigen die spezifischen Netznutzungskosten an.

1: Vergleiche S. 38 - 42 für eine Einordnung des Neubaus von Verteilnetzinfrastrukturen

# 5

## Qualitative Einordnung der Ergebnisse

# Im Folgenden werden Schlussfolgerungen aus den beobachteten Ergebnissen unter Berücksichtigung von Annahmen diskutiert

## Annahmen und deren Auswirkungen

3. Qualitative Einordnung

5. Qualitative Einordnung

**Investitionsentscheidungen, die ausschließlich die Verteilnetzkosten berücksichtigen, können fehlerhaft sein**

**Fokussierung auf Verteilnetzkosten**

- In der Analyse wurden die Kosten für den Ausbau der untersten Verteilnetzebene betrachtet. Ziel war es diese Kosten genau aufzuschlüsseln, gegenüberzustellen und Treiber zu identifizieren. Die Analyse dieser Studie zeigt die geringsten Kosten für die Nutzung von bestehenden Strom- und Wasserstoffinfrastrukturen.
- Für die Entscheidungsfindung zur Investition sind neben den Verteilnetzkosten, Kosten für übergeordnete Netzebenen und Anlagen, Renditen der Netzbetreiber, Kosten für Endverbraucher und Brennstoffkosten relevant. Besonders die Bereitstellungsstellen für die Endenergeträger können im Bereich Fernwärme je nach Anwendungsfälle deutlich variieren.
- So zeigt ein Working Paper von Moritz et al (2024)<sup>1</sup>, dass unter Betrachtung von mehr Kostenparametern die Wärmeversorgung durch zentrale Großwärmepumpen für öffentliche bis städtische Siedlungsgruppen zu bevorzugt sein kann. Solche Analysen unterliegen natürlich anderen Einschränkungen. Die Parameter der Netzinfrastrukturkosten werden dort bei weitem nicht in dem Detailgrad wie in dieser Analyse wiedergegeben.
- Die Ergebnisse dieser Analyse sollten daher nicht allein für einen Kostenvergleich zur Wärmeversorgung durch verschiedene Energieträger herangezogen werden.

<sup>1</sup> [Moritz et al. 2024](#)

© EWI 2024 30.09.2024 Neben parallel Verteilnetzinfrastrukturen 38

- In die Berechnung sind einige Annahmen eingegangen. Diese werden in folgenden aufgezeigt und beschrieben.
- Neben der Beschreibung der Annahmen werden auch die Auswirkungen auf das Ergebnis beschrieben bzw. wie die Ergebnisse unter diesen Annahmen interpretiert werden können.

## Weitere Hinweise

3. Qualitative Einordnung

**Neben den Annahmen der Analyse gibt es weitere Parameter die bei der Netzauslegung in Betracht gezogen werden sollten:**

**Auswirkungen von reduziertem Wärmebedarf**

- Die spezifischen Netzauslegungskosten wurden als Quotient berechnet und stellen die gesamten Netzkosten der über das Netz bezogenen Wärmearbeit gegenüber.
- In der Analyse wird die Wärmearbeitskosten eines Siedlungsgebietes als konstant angenommen.
- Durch Energieeffizienzmaßnahmen im Siedlungsgebiet kann die benötigte Wärmearbeit in der Planungphase oder auch nach der Investition deutlich gesenkt werden und so die Netzauslegungskosten nachträglich erheblich sinken. Mögliche Energieeffizienzmaßnahmen sind z.B.:
  - Sanierungen der Gebäudehülle oder
  - Wirkungsgraderhöhungen durch Heizgerätemodernisierung.
- Auch wäre eine Verhaltensänderung der Netznutzer nicht auszuschließen.

**Spezifika von Siedlungsgebieten**

- Die Analyse macht den Versuch die möglichen anfallenden Kosten bei Infrastruktur Ausbau oder Neubau zu beleuchten. Dabei wird von typischen Siedlungsgebieten ausgegangen.
- Realistisch hat allerdings jedes Siedlungsgebiet eigene Parameter, die die Kosten von den berechneten abweichen lassen können oder dem Aus- und Neubau Grenzen auferlegen können.
- Die Beschaffenheit von Boden und weiteren Strukturen können ggf. Tiefbauarbeiten in bestimmten Bereichen unmöglich machen.
- Die Bereitstellungsstellen von Endenergeträgern können sich regional unterscheiden. So können Siedlungsgebiete zum Beispiel einfach nicht über eine geeignete Fernwärmequelle versorgt werden oder die Kosten für die Bereitstellung von Wasserstoff kann stark variieren.
- Städtische Bauauflagen können die Installation bestimmter Heizungssysteme begünstigen, vorschreiben oder untersagen und so die Nutzer in der Energieträgerwahl beeinflussen.
- Auch ist es denkbar, dass das übergeordnete Netz (z.B. Stromnetz) bereits an seine Grenzen stößt und ein weiterer Ausbau nicht zulässig ist.

© EWI 2024 30.09.2024 Neben parallel Verteilnetzinfrastrukturen 40

- Wenn die in dieser Analyse gezeigten Ergebnisse für konkrete Planungen herangezogen werden sollen, sollten weitere Parameter betrachtet werden.
- Diese umfassen sowohl ökonomische, technische als auch politische Einflussfaktoren.

## Schlussfolgerungen aus der Diskussion

4. Betrachtung ausgewählter Szenarien

3. Qualitative Einordnung der Ergebnisse

**Durch die getroffenen Annahmen bewegen sich die Ergebnisse pro Energieträger tendenziell in verschiedene Richtungen**

- Durch die Annahmen sind die ermittelten Netzauslegungskosten für Stromnetze voraussichtlich eher zu hoch, da hier besonders mit Synergie zu rechnen ist. In den Ergebnissen weist die Wärmeversorgung über Stromnetze oft niedrige bzw. manchmal auch die niedrigsten Netzauslegungskosten auf. Die Wärmeversorgung über Stromnetze könnte daher noch eher zu einer Lösung mit geringen bzw. den geringsten Netzauslegungskosten werden.
- Durch die unsichereren Umrißkosten sind die für Wasserstoffnetze errechneten Netzauslegungskosten als eine untere Grenze zu betrachten. Der vollständige Ausbau und Neubau des Wasserstoffnetzes erscheint in den Ergebnissen meist als Lösung mit den geringsten Netzauslegungskosten. Je nachdem wie deutlich die individuellen Umrißkosten von Erdgasnetzen von den getroffenen Annahmen abweichen, kann es sein, dass die Netzauslegungskosten von Wasserstoff gegenüber einem vollständigen Aus- bzw. Neubau des Stromnetzes teurer werden.
- In der Analyse zeigt sich ein Ausbau bzw. Neubau des Fernwärmeverteilnetzes als kostenintensiv. Sollte sich eine sehr kostengünstige Wärmequelle oder andere Vorteile durch weitere Kostenparameter ergeben, könnte in einer Vollkostenbetrachtung Fernwärme eine deutlich vorteilhaftere Position als dies in dieser Analyse scheint.

© EWI 2024 30.09.2024 Neben parallel Verteilnetzinfrastrukturen 40

- Schließlich werden die beobachteten Ergebnisse auf Basis der Annahmen interpretiert, um qualitative Aussagen zu ziehen.
- Diese Schlussfolgerungen werden zusammengefasst und stellen das Hauptergebnis dieser Analyse dar.

# Investitionsentscheidungen, die ausschließlich die Verteilnetzkosten berücksichtigen, können fehlgeleitet sein

## Fokussierung auf Verteilnetzkosten

- In der Analyse wurden die Kosten für den Ausbau der untersten Verteilnetzebene betrachtet. Ziel war es diese Kosten genau aufzuschlüsseln, gegenüberzustellen und Treiber zu identifizieren. Die Analyse dieser Studie zeigt die geringsten Kosten für die Nutzung von bestehenden Strom- und Wasserstoffinfrastrukturen.
- Für die Entscheidungsfindung zur Investition sind neben den Verteilnetzkosten, Kosten für übergeordnete Netzebenen und Anlagen, Renditen der Netzbetreiber, Kosten für Endverbrauchergeräte und Brennstoffkosten relevant. Besonders die Bereitstellungskosten für die Endenergieträger können im Bereich Fernwärme je nach Anwendungsfall deutlich variieren.
- So zeigt ein Working Paper von Moritz et al (2024)<sup>1</sup>, dass unter Berücksichtigung der Unsicherheit verschiedener Kostenparameter in der Zukunft und der Heterogenität von Gebäuden und Siedlungstypen die Wärmeversorgung durch zentrale Großwärmepumpen für dörfliche bis städtische Siedlungstypen vorteilhaft gegenüber dezentraler Wärmeversorgung sein kann. Die Entscheidung zwischen dezentralen und zentralen Wärmepumpen muss von Fall zu Fall getroffen werden.
- Die Ergebnisse dieser Analyse sollten daher nur im Kontext weiterer Studien für einen Kostenvergleich verschiedener Energieträger herangezogen werden.

1: [Moritz et al. \(2024\)](#)

## Synergien bei parallelem Ausbau oder Neubau

- Es wird angenommen, dass keinerlei Synergien zwischen einem parallelen Aus- oder Neubau von Verteilnetzinfrastruktur besteht. Diese Annahme ist notwendig, um das breite Spektrum an Aus- und Neubauszenarien abbilden zu können, ohne zu spezifische Anwendungsfälle zu schaffen, die so nicht übertragbar wären.
- Es ist vorstellbar und empfehlenswert, dass in der Praxis Leitungen koordiniert gebaut werden, um so Tiefbaukosten zu vermeiden, die einen Großteil der Leitungskosten ausmachen.
- Wie realistisch solche Koordinierungen sind, ist nicht klar, da der Ausbau unterschiedlichen Verantwortlichkeiten, Richtlinien und Rahmenbedingungen unterliegen kann.
- Neubaugebiete, in denen sämtliche Infrastruktur neugebaut wird, werden explizit nicht betrachtet. Es ist davon auszugehen, dass diesen Gebieten die Kosten für die Erschließung deutlich geringer sind, da sämtlicher Leitungsbau (Wasserversorgung, Telefon, Internet, Energieversorgung, usw.) in einem Prozess mit dem Straßenbau durchgeführt werden kann.
- Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse dieser Studie eher als obere Grenze der Kosten zu betrachten falls ein koordinierter Bau von Infrastruktur erfolgen könnte.

# Unsicherheiten in den Kostenannahmen und Planungsprämissen können zu Abweichungen der Kosten führen

## Umrüstung von Erdgasverteilnetzen

- Ob Erdgasverteilnetze auf Wasserstoff umgerüstet werden können, hängt von vielen Faktoren ab, bspw. Alter und Material der Leitungen. Die Maßnahmen, die zur Umrüstung getroffen werden, sind so individuell, dass das BMWK<sup>1</sup> auf Fernleitungsebene bspw. eine Einzelfallprüfung für jede Leitung des Wasserstoffkernnetzes vorsieht. Die Umrüstung von Erdgas auf Wasserstoff wurde bisher nur in wenigen Projekten<sup>2</sup> durchgeführt.
- Aufgrund einer fehlenden großflächigen Umrüstung ist über diese genauen Maßnahmen und auch den damit verbundenen Kosten wenig bekannt. So konnten bei der Recherche keine für diese Analyse anwendbaren und standardisierten Kostendaten ermittelt werden.
- Aufgrund der Unsicherheit und der fehlenden Datenbasis wurden in dieser Analyse keine Kosten für die Umrüstung angenommen. Die Analyse ist mit Bezug auf Wasserstoff also eher optimistisch zu verstehen.

## Vollständige Ausdehnung von Netzinfrastrukturen

- In einem Siedlungsgebiet ist es möglich, dass die Gebäude, die über die gleichen Endenergieanschlüsse verfügen nicht alle nebeneinander liegen, sondern eher im gesamten Gebiet verstreut sind. Daher wird angenommen, dass alle Netzinfrastrukturen im gesamten Siedlungsgebiet liegen bzw. gebaut werden müssen, unabhängig von der tatsächlichen Anschlussquote. Ferner wird angenommen, dass die Leitungsgröße überall im Netz gleich ist. Diese Annahmen lassen sich auf die Standardisierung der Siedlungstypen zurückführen.
- Es ist allerdings möglich, dass bspw. nur einzelne vielversprechende Straßenzüge ausgebaut werden, oder nur Anteile des Siedlungsgebietes für einen Ausbau/Neubau zur Verfügung stehen. In diesen Fällen wären Netznutzungskosten für die Verteilnetzinfrastruktur in der Realität niedriger als sie in dieser Studie ausgewiesen sind. Zusätzlich würden die Kostensprünge durch größere Leistungsklassen geringer ausfallen.
- Verhältnismäßig würden die Kosten von Fernwärme im Besonderen überschätzt, da die Leitungskosten für Fernwärme aufgrund breiterer Leitungen höher sind und die Leitungskosten einen Großteil der Kosten ausmachen.
- Der Überschätzung der Netznutzungskosten könnte entgegen gewirkt werden, indem das betrachtete Siedlungsgebiet in kleinere Siedlungsgebiete unterteilt und mit unterschiedlichen Ausbau-szenarien gearbeitet wird. Dann können Kosten gewichtet verrechnet werden.

1: [BMWK \(2024a\)](#) | 2: z. B. [DVGW \(2024\)](#)

# Neben den Annahmen der Analyse gibt es weitere Parameter, die bei der Netzauslegung in Betracht gezogen werden sollten

## Auswirkungen von reduziertem Wärmebedarf

- Die spezifischen Netznutzungskosten werden als Quotient berechnet und stellen die gesamten Netzkosten der über das Netz bezogenen Wärmearbeit gegenüber. Die bezogene Wärmearbeit hat dabei noch vor den Netzkosten den größten Einfluss auf die spezifischen Netznutzungskosten. In der Analyse wird die Wärmearbeitsdichte eines Siedlungsgebietes jedoch als konstant angenommen.
- Durch Energieeffizienzmaßnahmen im Siedlungsgebiet kann die bereitzustellende Wärmearbeit in der Planungsphase oder auch nach der Investition deutlich gesenkt werden und so die Netznutzungskosten nachträglich erheblich steigern. Mögliche Energieeffizienzmaßnahmen sind z.B.:
  - Sanierungen der Gebäudehülle oder
  - Wirkungsgradsteigerungen durch Heizgerätemodernisierung.
  - Auch wäre eine Verhaltensänderung der Netznutzer nicht auszuschließen.

## Spezifika von Siedlungsgebieten

- Die Analyse beleuchtet die möglich anfallenden Kosten bei Infrastrukturausbau oder -neubau. Dabei wird von typischen Siedlungsgebieten ausgegangen.
- Realistisch hat jedes Siedlungsgebiet eigene Voraussetzungen, die die Kosten von den berechneten abweichen lassen oder dem Aus- und Neubau Grenzen auferlegen können. Beispiele hierfür können u.a. folgende Punkte sein:
  - Geografie und Bebauung: Die Beschaffenheit von Boden und weiteren Strukturen können ggf. Tiefbauarbeiten in bestimmten Bereichen unmöglich machen.
  - Wärmequellen: Die Bereitstellungskosten von Endenergieträgern können sich regional unterscheiden. So können Siedlungsgebiete zum Beispiel nicht über geeignete Fernwärmequellen verfügen oder die Kosten für die Bereitstellung von Wasserstoff kann stark variieren.
  - Baurecht: Städtische Bauauflagen können die Installation bestimmter Heizungssysteme begünstigen, vorschreiben oder untersagen und so die Nutzer in der Energieträgerwahl beeinflussen.
  - Einbettung ins Gesamtsystem: Das übergeordnete Netz (z. B. Stromnetz) kann an seine Grenzen stoßen, sodass ein weiterer Ausbau nicht zulässig ist.

# Planungen sind mit Unsicherheiten verbunden, die zu Unterschieden in den realen und theoretischen Kosten führen

## Nicht-optimale Planung

---

- In der vorliegenden Analyse wird angenommen, dass der Neu- und Ausbau von Infrastruktur stets passgenau erfolgt, sodass der Wärmebedarf exakt gedeckt wird und die ausgebaute oder neugebaute Infrastruktur zu 100 % ausgelastet wird. Zudem ist der angenommene Wärmebedarf konstant und wird nicht als zeitlich variabel angenommen. Wechsel zwischen Infrastrukturen oder nicht der Annahme entsprechenden Investitionen der Gebäudeeigentümer können dazu führen, dass sich der tatsächliche Wärmebedarf von einer Infrastruktur zu der anderen verschiebt. Ferner können Sanierungen oder weitere Gebäude den Wärmebedarf verändern und schaffen so eine weitere Ebene der Unsicherheit der Investition in Infrastruktur.
- In der Planung einer Netzinfrastruktur wird diese vorab dimensioniert. Hierbei wird eine Annahme über den Verbrauch getroffen. Die wirkliche Auslastung zeigt sich allerdings erst im Nachhinein. Diese Unsicherheit in der Planung kann zur Überdimensionierung von Verteilnetzinfrastrukturen führen, die die Netznutzungskosten tendenziell in die Höhe treiben. Eine Unterdimensionierung hätte keine Auswirkungen auf die Netznutzungskosten eines Energieträgers.

## Unklarer Treiber des Stromnetzausbaus

---

- Im Gegensatz zu Wasserstoff und Fernwärme werden Stromverteilnetze nicht überwiegend bzw. ausschließlich für die Wärmeversorgung gebaut und betrieben.
- Für diese Analyse wurde die Wärmeversorgung als einziger Treiber für den Ausbau des Stromverteilnetzes angenommen. In der Praxis können neben elektrischen Wärmepumpen auch Wallboxen, Photovoltaik-Anlagen oder verändertes Nutzendenverhalten Treiber des Ausbaus des Stromverteilnetzes sein.
- Falls eine andere Technologie den Ausbau des Stromverteilnetzes treibt, würden die Kosten als „Sowieso-Kosten“ für die Wärmeversorgung keine zusätzlichen Kosten darstellen; beziehungsweise die Kosten würden über die beiden Anwendungen aufgeteilt werden.
- In diesem Fall rückt die in der Analyse eher positive Position von Stromnetzen weiter in den Vordergrund. Allerdings kann gleichzeitig auch bei zu viel Bedarf das übergeordnete Stromnetz an seine Grenzen gelangen und so ein Limit für die Nutzung im Wärmebereich setzen.

# Die Wärmewende bringt unterschiedliche Investoren zusammen, die jeweils eigene Anreize und Möglichkeiten mitbringen

## Umverteilungseffekte und Burden-Sharing

---

- Wie bereits erläutert, sind neben den Netzkosten auch weitere Kostenparameter zu berücksichtigen, wie Heiztechnologiekosten oder auch Endenergieträgerpreise.
- Die unterschiedlichen Aufwände führen bei der komplexen Gestaltung der Wärmewende unterschiedliche investierende Parteien zusammen. Während Heiztechnologieinvestitionen zunächst von den Gebäudeeigentumsparteien getragen werden, bezahlen Verbrauchende in der Regel die Endenergiepreise und der Versorger übernimmt in erster Linie die Kosten, die durch den Aus- und Neubau von Infrastruktur entstehen.
- So kommen drei Parteien zusammen, die unterschiedliche Anreize in ihrer Investition haben, oder durch die Entscheidung anderer beeinflusst werden. Hier ist auch zu berücksichtigen, dass es besonders im privaten Bereich Grenzen von Liquidität geben kann, die auch die Entscheidung über das Heizgerät beeinflussen und so auch die Situation im Verteilnetz (Typ der Endenergie, Wirkungsgrad und damit Wärmeverbrauch) beeinflussen. So kann ein teurerer Netzausbau notwendig werden.
- Das bedeutet auch, dass die Kosten für die Wärmewende zwischen Gebäudeeigentumsparteien, Endkundschaft und Netzbetreiber aufgeteilt werden. Entlastungen an einer Stelle können zu Belastungen einer anderen Partei führen.

## Planerische Unsicherheit

---

- Neben den belasteten Kostenträgern sind Unsicherheiten in der Gesamtkostenbetrachtung relevant für die finale Beurteilung von Investitionen.
- Besonders der im großskaligen Bereich neue Energieträger Wasserstoff ist mit einer Vielzahl von Unsicherheiten behaftet. Zum jetzigen Zeitpunkt ist unklar, wann, wo und zu welchem Preis Wasserstoff verfügbar sein wird. Dies stellt in der Praxis eine erhöhte planerische Unsicherheit für die Umrüstung von Erdgasverteilnetzen dar.
- Grundsätzlich können sich die Preise für die Endkundschaft drastisch und schnell verändern, wie sich zuletzt in der Energiekrise deutlich wahrnehmen ließ. Solche Effekte können auch die Etablierung einer neuen Infrastruktur erschweren, da Endkunden ggf. die Unsicherheit einschätzen und so Neuinvestitionen eher skeptisch gegenüber stehen.

# Durch die getroffenen Annahmen bewegen sich die Netznutzungskosten pro Energieträger tendenziell in verschiedene Richtungen



Durch die Annahmen sind die ermittelten spezifischen Netznutzungskosten für Stromnetze voraussichtlich eher zu hoch, da hier besonders mit Synergien zu rechnen ist. In den Ergebnissen weist die Wärmeversorgung über Stromnetze oft niedrige bzw. manchmal auch die niedrigsten Netznutzungskosten auf. Die Wärmeversorgung über Stromnetze könnte daher noch eher zu einer Lösung mit geringen bzw. den geringsten Netznutzungskosten werden.



Durch die unsichereren Umrüstkosten sind die für Wasserstoffnetze errechneten spezifischen Netznutzungskosten als Untergrenze zu verstehen. Der vollständige Ausbau und Neubau des Wasserstoffnetzes erscheint in den Ergebnissen meist als Lösung mit den geringsten Netznutzungskosten. Je nachdem wie deutlich die individuellen Umrüstkosten von Erdgasnetzen von den getroffenen Annahmen abweichen, kann es sein, dass die Netznutzungskosten von Wasserstoff gegenüber einem vollständigen Aus- bzw. Neubau des Stromnetzes teurer werden.



In der vorliegenden Analyse zeigt sich ein Ausbau bzw. Neubau des Fernwärmeverteilnetzes als sehr kostenintensiv. Unter diesen Bedingungen erscheint eine Investition in Fernwärmeverteilnetze ungünstig. Eine vorteilhaftere Position als in dieser Analyse lässt sich nur durch kostengünstige Wärmequellen oder andere Vorteile durch weitere Kostenparameter in einer Vollkostenbetrachtung von Fernwärme erzeugen.

## Aus der vorliegenden Analyse lassen sich unter Berücksichtigung der getätigten Annahmen folgende generelle Aussagen ziehen



Durch alle Siedlungstypen und Bestandsstrukturen hinweg sind die Netznutzungskosten am geringsten wenn nur Strom- und Wasserstoffnetze zur Wärmeversorgung genutzt werden. Bei bestehender Infrastruktur ist es am günstigsten wenn diese ergänzend betrieben wird, sodass kein Ausbau stattfindet. Bei Neubau der Verteilnetzinfrasturktur weist die alleinige Nutzung einer Verteilnetzinfrasturktur die geringsten Netznutzungskosten auf.



In dieser Analyse wurden keine Umrüstkosten für das Erdgasnetzes auf Wasserstoff berücksichtigt. Sollte bei der Umrüstung hohe Kosten anfallen, kann ein vollständiger Aus- bzw. Neubau des Stromnetzes und dessen ausschließliche die geringsten Netznutzungskosten aufweisen.



Der Neubau einer neuen Verteilnetzinfrasturktur führt zu stark steigenden Netznutzungskosten. Dieser Neubau sollte daher kritisch geprüft werden. Aus Netznutzungskostensicht erscheint dies nur sinnvoll, wenn dafür langfristig eine andere Verteilnetzinfrasturktur stillgelegt werden kann.



Aus Sicht der Netznutzungskosten könnte es sinnvoll sein bestehende umrüstbare Erdgasverteilnetzinfrasturkturen bis zum Ende ihrer Lebenszeit zu nutzen. Besonders mit Blick auf die Wärmewende könnte eine Umrüstung für einen möglichen Transformationspfad in Erwägung gezogen werden. Allerdings sollte hier eine Einzelfall-Prüfung erfolgen.



Der Aus- und Neubau eines Fernwärmenetzes ist mit erheblichen Kosten verbunden. In Siedlungstypen mit niedriger Wärmeliniendichte steigen die Kosten teilweise extrem an. Dies erlaubt aus wirtschaftlicher Perspektive keine Investitionen in zersiedelten Gebieten. Ein Aus- und Neubau in Gebieten und Straßenzügen mit hoher Wärmeliniendichte kann sinnvoll sein, ist aber mit hohen Kapitalbedarfen verbunden.

# 6

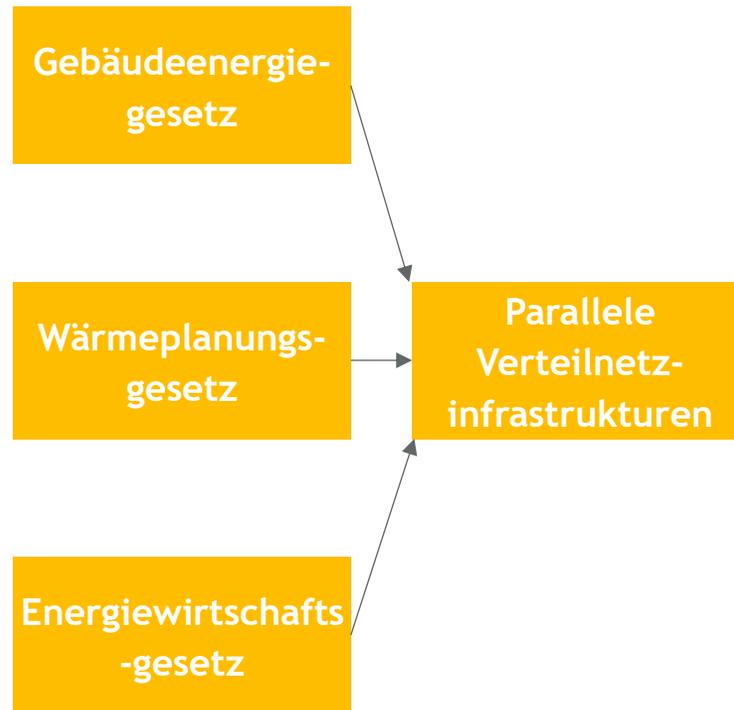
## Diskussion der bestehenden Regulatorik

# Die bisherige Regulatorik könnte zu mehr parallelen Verteilnetzinfrastrukturen und dadurch höheren Netznutzungskosten führen

L5

## Relevante Regulatorik<sup>1</sup>

- Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) reguliert die Aufstellung von Heizungen. Dort ist geregelt welche Heizungen zu welchem Zeitpunkt unter welchen Bedingungen aufgestellt werden darf. Konkret wird eine Quote von 65 % erneuerbarer Energie für neu aufgestellte Heizungssysteme festgelegt.
- Das Wärmeplanungsgesetz (WPG) regelt die kommunale Wärmeplanung. In dieser werden Gebiete für eine Wärmeversorgungsart ausgewiesen. Die Planung soll bis spätestens 30.06.28 vorliegen. Die festgelegten Gebiete sind aber weder für Nutzende noch Netzbetreiber verpflichtend.
- Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) regelt den Betrieb von Energieversorgungsnetzen. Bisher sind Betreiber von Niederspannungs- und Niederdrucknetzen verpflichtet, Letztverbraucher anzuschließen und zu versorgen. Dies verhindert eine Stilllegung von Verteilnetzen.



## Relevanz für parallele Infrastrukturen

- Das GEG begünstigt eine fortführende Nutzung von Erdgasverteilnetzen durch die mögliche Nutzung von Biomethan und eine enge Regulierung für die Umrüstung auf Wasserstoff. Dadurch wird der parallele Betrieb von Verteilnetzinfrastrukturen mit geringer Auslastung und damit höhere Kosten begünstigt.
- Das WPG begünstigt durch die Ausweisung von Gebieten einer Wärmeversorgungsart den Fokus auf einen Energieträger. Können andere Verteilnetzinfrastrukturen stillgelegt werden, sollten die Netznutzungskosten langfristig sinken. Die fehlende Verpflichtung führt aber zu Unsicherheiten.
- Durch das fehlende Anschlussverweigerungs- und Kündigungsrecht der Netzbetreiber ist eine geplante Stilllegung von Verteilnetzen bisher rechtlich nicht möglich. Dies könnte dazu führen, dass Verteilnetze für wenige Nutzende weiter betrieben werden müssen und so die Netznutzungskosten stark steigen.

1: Details zu der genauen Regulatorik in den Gesetzen findet sich auf den folgenden Slides.

# Durch Regulierung zur Umstellung auf Wasserstoff, könnte der Weiterbetrieb von Erdgasverteilnetzen hohe Kosten verursachen

## Regularien aus dem Gebäudeenergiegesetz (GEG)

- Das GEG regelt, dass eine neu aufgestellte Heizungsanlage mindestens 65 % der bereitgestellten Wärme mit erneuerbarer Energie oder unvermeidbarer Abwärme bereitstellen muss.<sup>1</sup>
- Als erneuerbar werden u. a. folgende Heizungsanlagen<sup>2</sup> definiert:
  - Hausübergabestationen zum Anschluss an ein Wärmenetz
  - elektrisch angetriebene Wärmepumpen
  - Heizungsanlage zur Nutzung von Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff. Biomasse schließt dabei auch Biomethan ein.
- Bis zur Vorlage eines Wärmeplans für das Gebiet oder spätestens ab dem 30.06.2028 können noch eingeschränkt Gasheizungen aufgestellt werden.<sup>3</sup>
- Bis zum Anschluss an ein Wasserstoffnetz kann eine Heizungsanlage, die auf 100 % Wasserstoff umrüstbar ist, aufgestellt und mit Erdgas betrieben werden. Voraussetzung dafür ist die Ausweisung des Gebiets als Wasserstoffnetzausbaugebiet und einer Vorlage eines verbindlichen und detaillierten Umstellungsplans der Erdgasnetzinfrastruktur auf Wasserstoff bis 31.12.2044.<sup>4</sup>
- Bis zum Anschluss an ein Wärmenetz kann eine Heizungsanlage aufgestellt werden, wenn ein Vertrag zur Lieferung von mindestens 65 % erneuerbarer Wärme vorliegt und der Wärmenetzbetreiber die Umsetzung innerhalb von 10 Jahren zusichert.<sup>5</sup>

## Relevanz für parallele Infrastrukturen

- Die Möglichkeit auch Heizungen einzubauen, die mit z. B. Biomethan laufen und beliefert werden, kann dazu führen, dass noch einige Heizungen eingebaut werden, die auf den Anschluss an ein Methanverteilnetz angewiesen sind. Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von mindestens 20 Jahren kann dies dazu führen, dass noch lange eine signifikante Nachfrage nach Methan besteht. Aus Sicht der Netzbetreiber kann dies die Stilllegung oder die Umrüstung des Erdgasnetzes auf Wasserstoff erschweren. Dies kann den parallelen Betrieb von Verteilnetzinfrastrukturen begünstigen.
- Auf der anderen Seite kann die benötigte Vorlage eines detaillierten Umstellungsplans des Erdgasnetzes auf Wasserstoff dazu führen, dass die Bedingungen für die Aufstellung einer 100 % wasserstofffähigen Erdgasheizung nicht möglich ist. Die Kombination beider Effekte kann dazu führen, dass das Erdgasverteilnetz für die Endkundschaft mit bestehenden Erdgasheizungen weiter betrieben wird. Durch eine nicht erfolgende Umrüstung auf Wasserstoff ab 2028 aber nur noch wenige weitere mit Biomethan betriebene Erdgasheizungen hinzu kommen, sodass das Erdgasverteilnetz perspektivisch für einen sehr geringen Anteil an der Wärmeversorgung betrieben werden muss. Dies könnte zu deutlich höheren Netznutzungskosten führen, wie in [Kapitel 4](#) gezeigt wurde.

1: [§ 71 Abs. 1, GEG](#) | 2: [§ 71 Abs. 3, GEG](#) | 3: [§ 71 Abs. 9, GEG](#) | 4: [§ 71k Abs. 1, GEG](#) | 5: [§ 71j Abs. 1, GEG](#)

# Energieträgergebiete in Wärmeplänen reduzieren parallele Infrastrukturen - Fehlende Verpflichtung verursacht Unsicherheit

## Relevante Regularien aus dem Wärmeplanungsgesetz (WPG)

- Kommunen sind verpflichtet, kommunale Wärmepläne aufzustellen. Kommunen mit mehr als 100.000 Einwohner bis zum 30.06.2026, Kommunen mit weniger Einwohnern bis zum 30.06.2028.<sup>1</sup>
- Im Wärmeplan soll das beplante Gebiet in Wärmeversorgungsgebiete eingeteilt werden. Hierzu soll auf Basis von Wirtschaftlichkeitsvergleichen für die Jahre 2030, 2035 und 2040 für alle Teilgebiete festgelegt werden, welche Wärmeversorgungsart besonders geeignet ist.<sup>2</sup>
- Im Wärmeplan können dabei Gebiete für den Neu- oder Ausbau von Wärmenetzen oder für den Wasserstoffnetzausbau ausgewiesen werden.<sup>3</sup>
- Die Entscheidung zur Ausweisung der Gebiete verpflichtet weder dazu eine bestimmte Wärmeversorgungsart zu nutzen oder eine bestimmte Wärmeversorgungsinfrastruktur zu errichten, auszubauen oder zu betreiben.<sup>4</sup>
- Bestehende Wärmenetze müssen bis zum 01.01.2030 eine Nettowärmeerzeugung aus erneuerbarer Energie von mindestens 30 % und bis zum 01.01.2040 von mindestens 80 % aufweisen.<sup>5</sup>
- Neue Wärmenetze müssen ab dem 01.03.2025 mindestens einen Anteil von 65 % Nettowärmeerzeugung aus erneuerbarer Energie aufweisen.<sup>6</sup>

## Relevanz für parallele Infrastrukturen

- Eine Einteilung eines Wärmeversorgungsgebiets in Neu- oder Ausbaugebiete für Wärmenetze oder für Wasserstoffnetze kann helfen die Nutzungsrate dieses Energieträgers zu erhöhen. Dies kann zu dem Fall führen, dass der Anteil eines Energieträgers, bspw. Fernwärme, so stark steigt, dass der restliche Anteil absehbar über das bereits vorhandene Stromnetz oder dezentrale Wärmeversorgungsarten gedeckt werden kann. Kann eine Verteilnetzinfrastuktur, bspw. das Erdgasverteilnetz, in diesem Fall stillgelegt werden, sollten die gesamten Netznutzungskosten langfristig sinken.
- Durch die fehlende Verpflichtung in ausgewiesenen Gebieten eine Wärmeversorgungsart zu nutzen oder auch zu betreiben, herrscht auch nach der Erstellung der Wärmepläne weiterhin Unsicherheit über tatsächlich in Zukunft vorhandene Verteilnetzinfrastrukturen. Dies kann zu Investitionen in unterschiedliche Heizungstechnologien führen. Durch einen dann vorhandenen Kundenstamm, kann es für Netzbetreiber schwer sein, sich von einer Verteilnetzinfrastuktur zu trennen. Im Ergebnis begünstigt dies die parallele Existenz und den Betrieb mehrerer Infrastrukturen. Dies kann zu höheren Netznutzungskosten als beim Betrieb von nur zwei Verteilnetzinfrastrukturen zur Wärmeversorgung führen.

1: [§ 4 Abs. 1 & 2, WPG](#) | 2: [§ 18 Abs. 1 & 3, WPG](#) | 3: [§ 26 Abs. 1, WPG](#) | 4: [§ 27 Abs. 2, WPG](#) | 5: [§ 29 Abs. 1, WPG](#) | 6: [§ 30 Abs. 1, WPG](#)

# Regulatorisch müssen Letztverbraucher an Verteilnetze angeschlossen werden, sodass diese nicht stillgelegt werden können

## Regularien aus dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

- Im EnWG gilt eine Anschlusspflicht von Verteilnetzbetreibern im Niederspannungs- bzw. Niederdruckbereich für Letztverbraucher.
- Wörtlich steht in § 18: „Abweichend von § 17 haben Betreiber von Energieversorgungsnetzen für Gemeindegebiete, in denen sie Energieversorgungsnetze der allgemeinen Versorgung von Letztverbrauchern betreiben, [...] jedermann an ihr Energieversorgungsnetz anzuschließen und die Nutzung des Anschlusses zur Entnahme von Energie zu gestatten.“<sup>1</sup>
- Eine Verweigerung des Netzanschlusses ist nur möglich, wenn der Netzanschluss dem Netzbetreiber aus wirtschaftlichen Gründen nicht zumutbar ist.<sup>1</sup>
- Es gibt daher bisher keine klaren Regelungen für die Betreiber von Verteilernetzen zur Anschlussverweigerung oder -kündigung unter Angabe eines Grundes, bspw. mit Verweis auf die deutschen Klimaziele oder die kommunalen Wärmepläne.<sup>2</sup> Dies steht auch der Umrüstung von Gasverteilnetzen auf die Nutzung mit Wasserstoff entgegen.<sup>2</sup>
- Im Dezember 2023 verabschiedeten EU-Gas-/Wasserstoff-Binnenmarktpaket werden diese Punkte adressiert. So ist das Recht der Betreiber von Verteilernetzen zur Anschlussverweigerung und -kündigung unter Wahrung der Verbraucherinteressen vorgesehen.<sup>3</sup> Die Umsetzung in nationales Recht steht aus.

## Relevanz für parallele Infrastrukturen

Durch die aktuelle Regulierung zur Verpflichtung zu Netzanschlüssen sind die Netzbetreiber verpflichtet, Letztverbraucher anzuschließen und zu versorgen. Plant ein Netzbetreiber eine Verteilnetzinfrastuktur stillzulegen, ist dies nach der bisherigen Regulierung nicht möglich, da er Letztverbraucher nicht den Anschluss kündigen kann. Dies führt in der Praxis dazu, dass tendenziell eher mehr parallele Verteilnetzinfrastrukturen nebeneinander existieren, selbst wenn diese nur noch von wenigen Letztverbrauchern genutzt werden.

1: [§ 18 Abs. 1, EnWG](#) | 2: [BMWK \(2024b\)](#) | 3: [EU \(2023\)](#)

Energiewirtschaftliches Institut an der  
Universität zu Köln gGmbH (EWI)

Alte Wagenfabrik  
Vogelsanger Straße 321a  
50827 Köln

 +49 (0)221 650 853-60

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

 @ewi\_koeln

 **EWI - Energiewirtschaftliches  
Institut an der Universität zu Köln**

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 etwa 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, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE).

Begriff	Erläuterung
Ausbau	Der Ausbau von Netzinfrastruktur beschreibt, dass eine bestehende Infrastruktur kapazitiv für die Versorgung der geplanten Wärmemenge nicht mehr ausreicht. Um weiteren Verbrauch über das Netz versorgen zu können, wird ein neues größeres Netz als Ersatz für das bestehende errichtet.
Ergänzende Nutzung	Die ergänzende Nutzung beschreibt, dass zwei Netzinfrastrukturen parallel genutzt werden. Hier geht es insbesondere darum, dass keins der Netze nur einen sehr kleinen Teil der geforderten Wärmearbeit versorgt und vom anderen Netz übermäßig dominiert wird (Mischnutzung: 20-80 % jeweils).
Gebietsart	Die Danish Energy Agency unterscheidet in bestimmten Kostenparametern nach der Besiedlungsdichte des betrachteten Gebiets. Die Unterteilung ist rein über die Wärmearbeitsdichte definiert und wurde entsprechend zugeordnet.
Gleichzeitigkeitsfaktor	Der Gleichzeitigkeitsfaktor gibt an inwieweit die individuellen Lastspitzen der Verbraucher zeitlich zusammen fallen. Mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor lässt sich aus den individuellen Lastspitzen der Auslegungswert für die Infrastruktur berechnen.
Neubau	Ein Neubau von Infrastruktur wird dann fällig, wenn entweder keine Infrastruktur existiert oder die bestehende Infrastruktur nicht mehr nutzbar ist.
Netzinvestitionskosten	Die Netzinvestitionskosten beziehen sämtliche Infrastrukturkosten, die im Verteilnetz anfallen, d.h. Leitungskosten und Systemkomponentenkosten. Gebäudeanschlusskosten, sowie Betriebs- und Wartungskosten sind nicht inkludiert. Einheit ist EUR/km <sup>2</sup> .
(spezifische) Netznutzungskosten	Die spezifischen Netznutzungskosten stellen die Netzinvestitionskosten, Gebäudeanschlusskosten und Betriebs- und Wartungskosten der Wärmeabnahme gegenüber. Die erzielte Einheit ist dabei EUR/MWh.
Siedlungstypen	Die Siedlungstypen beschreiben die Struktur typischer Siedlungsgebiete. Die numerische Definition ist daher eher als ein Mittelwert über das betrachtete Gebiet zu verstehen, als die spezifische Definition eines Wärmestranges.
Ohne Bestandsinfrastruktur	Der Terminus „ohne Bestandsinfrastruktur“ beschreibt in dieser Analyse den Fall, dass entweder überhaupt keine Verteilnetzinfrastruktur vorliegt oder die bestehende Verteilnetzinfrastruktur nicht länger tauglich oder so alt ist, dass sie ausgetauscht werden muss. Es wird davon ausgegangen, dass Straßeninfrastruktur besteht, die die Tiefbaukosten entsprechend analog zum Szenario mit Bestandsinfrastruktur in die Höhe treibt.

Begriff	Erläuterung
Systemkomponenten	Systemkomponenten werden in der Netzinfrastruktur verwendet, um die Transportfähigkeit aufrechtzuhalten (z.B. Pumpen- oder Verdichterstationen) oder als Übergabepunkte um sie mit einem anderen Netz zu verbinden (z.B. Trafostationen oder Wärmetauscher).
Wärmearbeitsdichte	Die Wärmearbeitsdichte gibt an wie groß die abgenommene Wärmearbeit in einem Siedlungsgebiet ist, und bezieht diesen Wert auf die Fläche des Gebiets. Die Einheit ist dabei MWh/km <sup>2</sup> .
Wärmeleistungsdichte	Die Wärmeleistungsdichte gibt an wie groß die abgenommene Wärmeleistung in einem Siedlungsgebiet ist, und bezieht diesen Wert auf die Fläche des Gebiets. Die Einheit ist dabei MW/km <sup>2</sup> .
Wärmelinienlänge	Die Wärmelinienlänge bezieht die Wärmearbeitsdichte auf die Verteilnetzlänge pro km <sup>2</sup> in einem Siedlungsgebiet. Sie wird als repräsentativer Wert für die Höhe der Nutzung eines Wärmestrangs genutzt. Die Einheit ist dabei MWh/m.

AGFW, 2001: Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft, AGFW Hauptstudie, Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisiertem Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien (<https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/1587>), August 2001

AGFW, 2005: Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft, Perspektiven der Fernwärme und Kraft-Wärme-Kopplung. Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der AGFW-Studie „Pluralistische Wärmeversorgung“. Zusammengefasst von Werner Lutsch und Franz-Georg Witterhold. Frankfurt am Main, Januar 2005

Blesl, 2001: M. Blesl, Forschungsbericht: Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs (<https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/1586>), 09. Juli 2001

BMWK, 2024a: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, FAQ zum Wasserstoffkernnetz (<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/FAQ/Wassertstoff-Kernnetz/faq-wasserstoff-kernnetz.html>), abgerufen am 14.08.2024

BMWK, 2024b: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Green Paper - Transformation Gas-/Wasserstoff-Verteilernetze ([https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/G/green-paper-transformation-gas-wasserstoff-verteilernetze.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/G/green-paper-transformation-gas-wasserstoff-verteilernetze.pdf?__blob=publicationFile&v=4)), 2024

Danish Energy Agency, 2023: Technology Data for Transport of Energy ([https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/energy\\_transport\\_datasheet.xlsx](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/energy_transport_datasheet.xlsx)), September 2023, letzter Zugriff 09. April 2024

DVGW, 2024: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., DVGW-Forschung für den Wasserstoffhochlauf (<https://www.dvgw.de/themen/energiewende/wasserstoff-und-energiewende/wasserstoff-forschung>), abgerufen am 14.08.2024

Erdmann, 2010: G. Erdmann und L. Dittmar, Technischer Bericht: Technologische und energiepolitische Bewertung der Perspektiven von Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland ([https://www.researchgate.net/publication/335524276\\_Technologische\\_und\\_energiepolitische\\_Bewertung\\_der\\_Perspektiven\\_von\\_Kraft-Waerme-Kopplung\\_in\\_Deutschland](https://www.researchgate.net/publication/335524276_Technologische_und_energiepolitische_Bewertung_der_Perspektiven_von_Kraft-Waerme-Kopplung_in_Deutschland)), März 2010

EU, 2023: Council of the European Union, Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the internal markets for renewable and natural gases and for hydrogen (<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16522-2023-INIT/en/pdf>), 15. Dezember 2023

Fraunhofer IEE, 2022: Flexible Wärmepumpen im Verteilnetz - Studie zum Einfluss von kurzfristig umsetzbaren Flexibilitäten elektrischer Wärmepumpensysteme auf zukünftige Netzüberlastungen in einer Beispielregion ([https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user\\_upload/Kurzstudie\\_FlexWP.pdf](https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/Kurzstudie_FlexWP.pdf)), August 2022

Roth, 1980: Roth, U. et al.: Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen; Schriftreihe „Raumordnung“ des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau 06.044, Bonn 1980

Moritz et al., 2024: Michael Moritz, Berit Hanna Czock, Oliver Ruhnau, A heated debate - The future cost-efficiency of climate-neutral heating options under consideration of heterogeneity and uncertainty (<https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/a-heated-debate-the-future-cost-efficiency-of-climateneutral-heating-options-under-consideration-of-heterogeneity-and-uncertainty/>), Juni 2024

Nationaler Wasserstoffrat, 2021: Nationaler Wasserstoffrat, Wasserstofftransport ([https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02\\_NWR-Grundlagenpapier\\_Wasserstofftransport.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02_NWR-Grundlagenpapier_Wasserstofftransport.pdf)), 2 Juli 2021

Statistisches Bundesamt, 2022: Statistisches Bundesamt, Ergebnisse des Zensus ([https://www.zensus2022.de/DE/Ergebnisse-des-Zensus/\\_inhalt.html](https://www.zensus2022.de/DE/Ergebnisse-des-Zensus/_inhalt.html)), 15. Mai 2022

UBA, 2007: Ermittlung der Potenziale für die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung und der erzielbaren Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen einschließlich Bewertung der Kosten (Verstärkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung) (<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-potenziale-fuer-anwendung-kraft-waerme>), Juli 2007

UBA, 2019: Umweltbundesamt, Fachbroschüre: Wohnen und Sanieren - Empirische Wohngebäudedaten seit 2002 ([https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-03-barrierefrei-broschuere\\_wohnenundsanieren.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-03-barrierefrei-broschuere_wohnenundsanieren.pdf)), Januar 2019

UBA, 2024: Umweltbundesamt, Artikel: Energieverbrauch privater Haushalte (<https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#endenergieverbrauch-der-privaten-haushalte>), 19. März 2024, letzter Zugriff 09. April 2024

Winkens, 1994: Winkens, H.-P: Fernwärmespeicherung, -transport und -verteilung, IKARUS Teilprojekt 4, Jülich, 1994

# Die Netzinvestitionskosten werden aus einer Kombination von Kosten- und Siedlungstypendatensatz berechnet

## Berechnungsformel für Netzinvestitionskosten

$$y_i > x_{exist,i,k,b}: NK_{i,k} = \left[ y_i \frac{LD_k}{\eta_i} \frac{SK_i}{(1 - \varepsilon_i)} GF_i + LK_{i,k}(LD_k, y_i, GF_i, \eta_i, \psi_i) \cdot l_k \right] \cdot \frac{1}{AF_i}$$

$$y_i \leq x_{exist,i,k,b}: NK_{i,k} = 0$$

### Zielgröße

- NK [EUR/km<sup>2</sup>]: Gesamte Netzinvestitionskosten

### Variable

- y [-]: Anteilige Deckung des Bedarfs im Siedlungsgebiet über den Energieträger i
- x<sub>exist</sub> [-]: Vorhandene Bestandsinfrastruktur eines Energieträgers i im Siedlungsgebiet k

### Netzkostendaten auf Basis der DEA

- LK [EUR/m]: Leitungskosten spezifisch nach Leistung
- SK [EUR/MW]: Systemkomponentenkosten
- ε [-]: Systemkomponentenverluste
- ψ [-]: Leitungsverluste

### Spezifische Siedlungstypdefinition nach AGFW

- l [m/km<sup>2</sup>]: Verteilnetzlänge
- LD [MW/km<sup>2</sup>]: Wärmeleistungsdichte
- GF [-]: Gleichzeitigkeitsfaktor

### Weitere Annahmen

- AF [-]: Annuitätenfaktor
- η [-]: Wirkungsgrad der Endkudentechnologie<sup>1,2,3</sup>

### Indizes

- i: Energieträger (Strom, Fernwärme, Wasserstoff)
- k: Siedlungstyp
- b: Ausbau- oder Neubauszenario

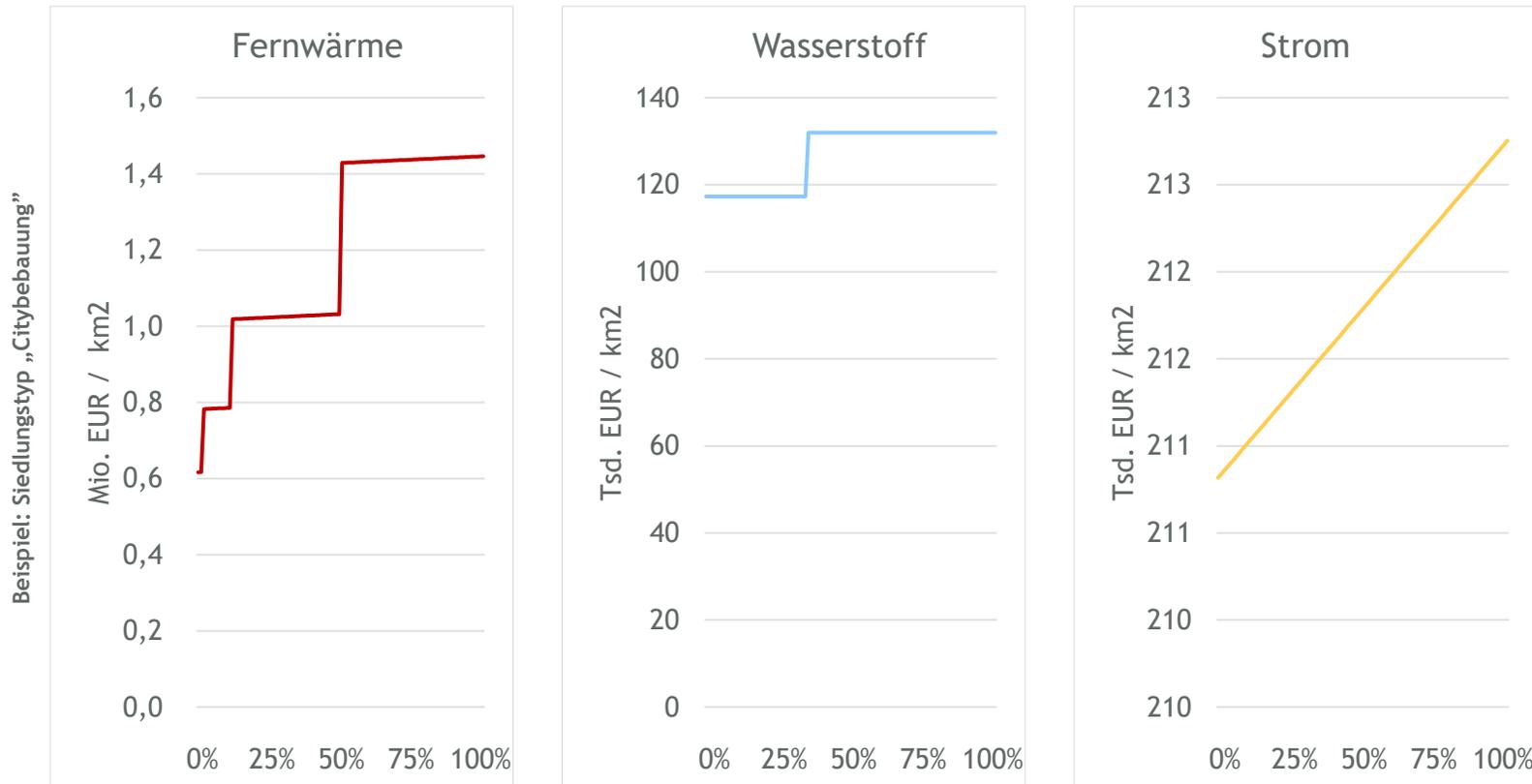
## Kommentare

- Die Netzinvestitionskosten beinhalten die reinen Verteilnetzinvestitionskosten für die Erschließung des Netzgebietes eines Siedlungstyps mit einem bestimmten Energieträger.
- Hierbei wird unterschieden ob ein Stromnetz, ein Fernwärmenetz oder auch ein Erdgas- bzw. Wasserstoffnetz verlegt wird.
- Die Dimensionierung der Komponenten ist dabei abhängig von der anteiligen Erschließung des Siedlungsgebiets, die in einem späteren Analyseschritt definiert wird.
- Die spezifischen Leitungskosten sind in Stufen definiert, die abhängig von der Leistungsdichte, dem Gleichzeitigkeitsfaktor, dem Wirkungsgrad und der anteiligen Erschließung sind.
- Die Netzinvestitionskosten beinhalten nicht die Gebäudeanschlusskosten, da diese maßgeblich von der Anschlussquote abhängen. Diese Kosten werden daher in einem späteren Analyseschritt eingebunden.

1: Annahme Wärmeübergabestation (Fernwärme) = 100% | 2: Annahme Gastherme (Wasserstoff) = 95% | 3: Annahme Wärmepumpe (Strom) = 350%

# Exemplarische Ergebnisse: Netzinvestitionskosten variieren deutlich nach Energieträgern und Siedlungstyp

## Beispielhafte Netzinvestitionskostenfunktionen nach Auslegung am Leistungsbedarf



## Kommentare

- Die Netzinvestitionskosten steigen für alle Energieträger und Siedlungstypen sprunghaft an, da die Leitungskosten als Stufenfunktion definiert sind. Sobald die maximale in den Daten verfügbare Leitungsdimensionierung erreicht ist, wurden die Daten weiter linear fortgeschrieben.
- Neben den Sprüngen in den Kosten zeigen sich für Fernwärme und Strom auch kontinuierlich ansteigende Kosten, die mit den linear ansteigenden Systemkomponentenkosten zu begründen sind.
- Bei Wasserstoff zeigt sich außerhalb der Sprünge keine kontinuierliche Erhöhung, da in auf Verteilnetzebene keine Systemkomponenten zum Einsatz kommen.<sup>1</sup>
- Die Kosten unterscheiden sich in den einzelnen Siedlungstypen teilweise deutlich, da sich sowohl die Wärmeleistungsdichte als auch die Verteilnetzlänge stark unterscheidet.

1: Im Rahmen der Recherche konnten keine Daten bzw. keine Hinweise auf Verwendung von Systemkomponenten in Gas- bzw. Wasserstoffverteilnetzen gefunden werden.

# Spezifische Netznutzungskosten sind abhängig von bestehender Infrastruktur, angestrebter Nutzung und Siedlungstyp

## Berechnung der spezifischen Netznutzungskosten

$$y_i > x_{exist,i,k,b}: NNK_{i,k,b} = \frac{NK_{i,k}(y_i) + (y_i - x_{exist,i,k,b}) \cdot \frac{GAK_{i,k}}{AF_i} \cdot n_k \cdot f_{i,b}}{AD_k} + y_i \cdot OMK_i$$

$$y_i \leq x_{exist,i,k,b}: NNK_{i,k,b} = y_i \cdot OMK_i$$

### Zielgröße

- **NNK [EUR/kWh]:** spezifische Netznutzungskosten

### Variablen

- **NK [EUR/km<sup>2</sup>]:** Netzinvestitionskosten
- **y [-]:** Anteilige Deckung des Bedarfs im Siedlungsgebiet über den Energieträger i
- **x<sub>exist</sub> [-]:** Vorhandene Bestandsinfrastruktur eines Energieträgers i im Siedlungsgebiet k
- **f [-]:** Binärvariable, ob bei Energieträger Gebäudeanschlusskosten anfallen oder nicht

### Weitere Annahmen

- **AF [-]:** Annuitätenfaktor

### Netzkostendaten auf Basis der DEA

- **OMK [EUR/kWh]:** Variable Betriebs- und Wartungskosten
- **GAK [EUR/Gebäude]:** Gebäudeanschlusskosten

### Spezifische Siedlungstypdefinition nach AGFW

- **n [1/km<sup>2</sup>]:** Gebäudedichte
- **AD [MWh/km<sup>2</sup>]:** Wärmearbeitsdichte

### Indizes

- **i:** Energieträger (Strom, Fernwärme, Wasserstoff)
- **k:** Siedlungstyp
- **b:** Ausbau- oder Neubauszenario

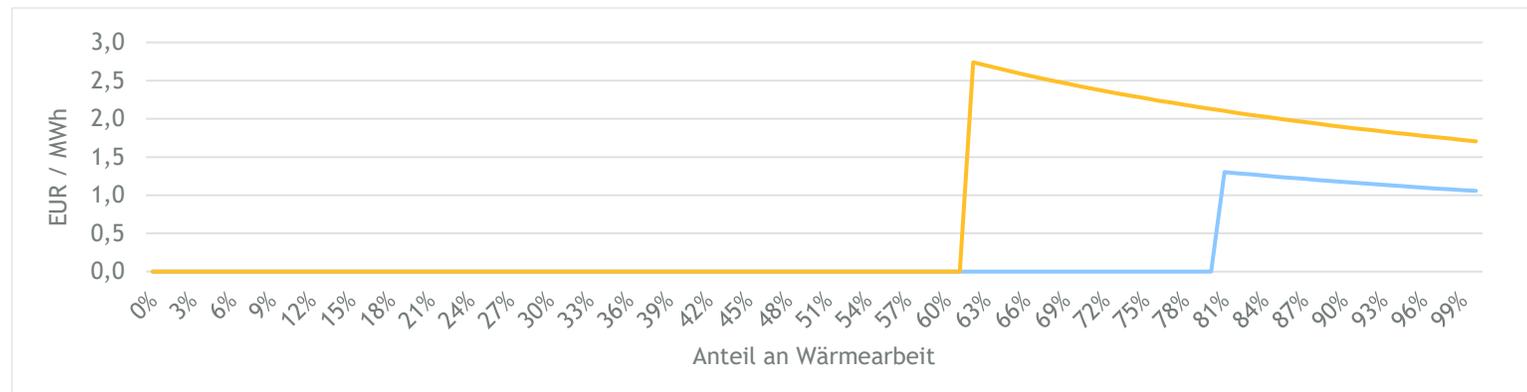
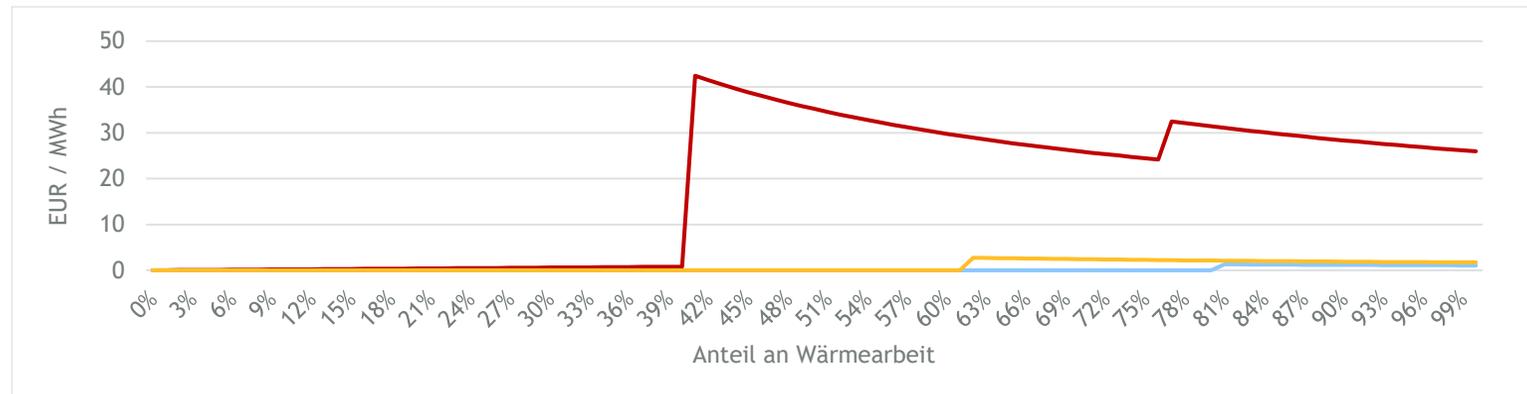
## Kommentare

- Die Netznutzungskosten beschreiben die spezifischen Kosten für die Investition sowie den Betrieb und die Wartung. Investitionskosten von Bestandsnetzen gelten als *sunk* und werden nicht inkludiert. Den bereits durch Bestandsinfrastruktur erschlossenen Teil des Siedlungsgebietes beschreibt die Größe  $x_{exist,i,k,b}$ .
- Wird die Kapazität der Bestandsinfrastruktur durch die gewünschte Nutzung überschritten, wird der notwendige Ausbau vorgenommen und diese Kosten berücksichtigt.
- Die Kosten für die Gebäudeanschlüsse sind nicht in den Investitionskosten für das Verteilnetz inkludiert und werden auf Basis der tatsächlichen Nutzung hinzugezogen. Eine Annualisierung dieser Kosten erfolgt ebenfalls.
- Die Betriebs- und Wartungskosten sind bereits auf die Wärmeabnahme bezogen und müssen so nicht erneut der bereitgestellten Wärmemenge gegenübergestellt werden.

# Mit bestehender Infrastruktur sind Netznutzungskosten nahe null, steigen aber bei Überschreitung der Kapazitäten sprunghaft an

## Beispielhafte spezifische Netznutzungskosten nach Anteil an der Wärmearbeit

Beispiel: Siedlungstyp „Citybebauung“ mit Bestandsinfrastruktur



■ Fernwärme ■ Wasserstoff ■ Strom

## Kommentare

- Bei Nutzung bestehender Netzinfrastruktur entstehen geringe Netznutzungskosten. Das heißt von dem Wärmebedarf können bei Fernwärme je nach Siedlungstyp 0-75 %, bei Strom 61 % und bei Wasserstoff 80 % ohne zusätzliche Installationskosten gedeckt werden.
- Sobald ein Ausbau der bestehenden Infrastruktur notwendig ist, steigen die Kosten sprunghaft auf den Kostenwert der dort hinterlegten Wärmearbeit an. Diese sinken wieder je stärker der Ausbau genutzt werden kann.
- Wie schon bei den Netzinvestitionskostenfunktionen beschrieben, sind die Leitungskosten auch als Stufenfunktion definiert. Ist die nächstgrößere Leitungsgröße erreicht, zeigt sich dadurch ein weiterer Sprung in den spezifischen Netznutzungskosten.

# Für die vollständige Wärmeversorgung eines Siedlungsgebietes kann die Nutzung paralleler Verteilnetzinfrastrukturen vorliegen

## Berechnung der gesamten Netznutzungskosten

$$GNNK_{k,b} = \sum_i [NNK_{i,k,b}]; s. t. \sum_i y_i = 1$$

### Zielgröße

- **GNNK** [EUR/kWh]: gesamte spezifische Netznutzungskosten

### Variable

- **NNK** [EUR/kWh]: spezifische Netznutzungskosten
- **y** [-]: Anteilige Deckung des Bedarfs im Siedlungsgebiet über den Energieträger i

### Indizes

- **i**: Energieträger (Strom, Fernwärme, Wasserstoff)
- **k**: Siedlungstyp
- **b**: Ausbau- oder Neubauszenario

## Kommentare

- Die gesamten spezifischen Netznutzungskosten beschreiben die Gesamtkosten, die bei der vollständigen Wärmeversorgung des Siedlungsgebietes anfallen.
- Hierbei kann die Energiebereitstellung auf mehrere Energieträger und damit unterschiedliche Netze verteilt werden.
- Jeder Nutzungszustand und jede Variation der bestehenden Infrastruktur wird zu einem anderen Ergebnis führen.