

Bericht zur Wärmeleitplanung der Stadt Kassel

Erstellung:

Universität Kassel

Institut für Thermische Energietechnik

Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik

Prof. Dr. Ulrike Jordan et al.

Kurt- Wolters-Straße 3

34109 Kassel

in Zusammenarbeit mit

Stadt Kassel

Umwelt- und Gartenamt

Dr. Anja Starick

Bosestraße 15

34121 Kassel

Inhalt

Zusammenfassung	3
1. Einleitung.....	6
2. Ergebnisse	8
2.1. Status Quo: Wärmeversorgung der Stadt Kassel.....	8
2.1.1. Energieträger	8
2.1.2. Wärmebedarfsstruktur	9
2.2. Wärmebereitstellungstechnologien und -potentiale.....	9
2.2.1. Wärmeerzeuger für die Fernwärmeversorgung.....	9
2.2.2. Saisonaler Wärmespeicher	11
2.2.3. Nahwärme und gebäudeindividuelle Wärmeerzeugung.....	13
2.2.4. Entwicklung des Wärmeverbrauchs.....	16
2.2.5. Wärmebereitstellungs-Szenario	16
2.3. Wärmenetze und Ausweisung von Wärmenetzgebieten	21
2.3.1. Vor- und Nachteile von Wärmenetzen.....	21
2.3.2. Verdichtungspotential	21
2.3.3. Methode zur Ermittlung von Trassenlängen.....	21
2.3.4. Vorläufige Ausweisung von Fernwärmegebieten.....	22
2.4. Maßnahmen.....	25
2.5. Zeitlicher Verlauf der Maßnahmen (Einordnung).....	26
2.6. Fazit.....	27
3. Nächste Schritte	29

Zusammenfassung

Zielsetzung

Der vorliegende Bericht zur Wärmeleitplanung beschreibt ein Zielszenario und dazugehörige Handlungsempfehlungen für eine zukünftige Wärmeversorgung in Kassel ohne den Einsatz der fossilen Energieträger Erdgas, Heizöl und Kohle. Von diesem Zielszenario werden Kenngrößen und Maßnahmen abgeleitet, die ergriffen werden müssen, um bis zum Jahr 2030 dieses Ziel zu erreichen.

Die entwickelten Empfehlungen basieren auf Erkenntnissen über die Wärmeversorgungsinfrastruktur, den aktuellen Wärmeverbrauch und dessen Entwicklung, auf Potenzialen für zukunftsfähige Energieträger, Wärmebereitstellungstechnologien und auf die dafür nötigen Wärmenetze. Aus dem Abgleich von Wärmeverbrauchsszenarien und der potenziellen Verfügbarkeit von Verbrennungsprozessen aus Rest- und Abfallstoffen (inkl. Klärschlamm) und Erneuerbaren Energien wird abgeleitet, aus welchen Energieträgern in Zukunft die Wärmeversorgung im Jahresverlauf bereitgestellt werden kann.

Dabei wird berücksichtigt, dass ein großer Anteil der Wärmebereitstellung durch ein zentrales Wärmenetzsystem, im weiteren Verlauf Fernwärmeversorgung genannt, erfolgt. In anderen Stadtgebieten werden kleinere Wärmenetzsysteme berücksichtigt, die hier als Nahwärmeversorgung bezeichnet werden. Der übrige Anteil der Wärmebereitstellung erfolgt gebäudeindividuell, also durch dezentrale Wärmebereitstellungstechnologien.

Es werden Potentiale für Energieeinsparungen durch Sanierungsmaßnahmen und weitere Verbrauchsminderungen in den Sektoren Privathaushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Industrie berücksichtigt. Die Gebäudesanierung und Betrachtung von Quartieren ist jedoch nicht Schwerpunkt dieses Berichts.

Status Quo Wärmeversorgung und Wärmebedarfsentwicklung

Heute basiert die Wärmeversorgung in Kassel nahezu ausschließlich auf der Verbrennung der fossilen Energieträger Erdgas, Erdöl und Kohle sowie von Rest- und Abfallstoffen. Rund 20 % des Gesamtwärmebedarfs der Stadt Kassel werden heute mit dem Fernwärmesystem Kassel bereitgestellt. Die restlichen 80 % werden gebäudeindividuell, hauptsächlich mit Erdgaskesseln, gedeckt. Der Anteil des gewerblichen/industriellen Wärmebedarfs beträgt rund ein Drittel des Gesamtwärmebedarfs. Etwa zwei Drittel des Gesamtwärmeverbrauchs werden für die Beheizung von Wohngebäuden verwendet.

Mit ambitionierten Annahmen für die Sanierungsrate und Sanierungstiefe ergibt sich für Kassel eine Wärmebedarfsreduktion um 16 % bis 2030. Sanierungsmaßnahmen sind häufig auch Voraussetzung für einen effizienten Betrieb von Wärmepumpen.

Wärmebereitstellungsszenario

Im entwickelten Szenario wird die Fernwärme in Zukunft mit Abwärme aus der Abfallverwertung (Müll, Klärschlamm, Altholz), durch Großwärmepumpen und mit Solarthermieanlagen bereitgestellt. Wärmepumpen sind eine Schlüsseltechnologie. Für den Einsatz von Wärmepumpen

müssen jedoch Niedertemperatur-Wärmequellen erschlossen werden, zum Beispiel Wärme aus Abwasser, Flusswasser, Industrieprozessen, Kälteanlagen, dem Erdreich oder der Umgebungsluft. Für eine Großwärmepumpe in der Kasseler Kläranlage wurde ein Wärmebereitstellungspotential von ca. 6 % des Kasseler Gesamt-Wärmeverbrauchs im Jahr 2030 ermittelt. Das Potential von Flusswärmepumpen in der Fulda liegt bei ca. 13 %.

Aus dem Abgleich zwischen dem zukünftigen Wärmeverbrauch in Kassel, der im gesamten Stadtgebiet gebäudescharf betrachtet wurde, und den Wärmebereitstellungspotentialen ergibt sich bei den gewählten Annahmen ein Fernwärmeanteil von ca. 48 % des Gesamtwärmebedarfs der Stadt Kassel. Weitere 12 % könnten über Nahwärmesysteme und die übrigen 40 % des Gesamt-Wärmebedarfs mit dezentralen Wärmeversorgungsanlagen in Gebäuden versorgt werden.

Auch die dezentrale Wärmeversorgung von Wohngebäuden wird sich auf Wärmepumpensysteme stützen. Hier wird vor allem Umgebungsluft oder Erdwärme als Niedertemperatur-Wärmequelle genutzt. Die vorliegende Studie betrachtet Hemmnisse durch Schallimmissionen von Luftwärmepumpen nach aktuellen Regularien und den Platzbedarf für Erdwärmesonden.

Das Szenario zeigt auf, dass für die Nah- und Fernwärme und die gebäude-individuelle Wärmeversorgung insgesamt die Wärmeversorgung zu ca. 60 % durch Wärmepumpen bereitgestellt wird. Wasserstoff wird voraussichtlich industriellen Prozessen und der Spitzenlastabdeckung in der Fernwärmeversorgung vorbehalten sein.

Zudem sind saisonale Wärmespeicher, die als Erdbeckenspeicher ausgeführt sind, ein wichtiger Baustein, um sommerliche Überschusswärme bis in die Heizperiode zu speichern und zur Spitzenlastabdeckung beizutragen.

Ausweisung von Wärmenetzgebieten

Auf der Grundlage von Wärmeverbrauchsdaten, dem Wärmebereitstellungspotential und einigen Kriterien wie Entfernungen, Gebäudetypen, Straßentyp und Untergrund wurde eine vorläufige Ausweisung von Wärmenetzgebieten vorgenommen. Dabei wird zwischen Verdichtungsgebieten (Anschluss an bestehende Leitungen), Fernwärme-Ausbaugebieten mit verschiedenen Prioritäten und Nahwärmegebieten unterschieden.

Auf Grundlage von Kennzahlen wurde für einen Ausbau des Fernwärmenetzes auf 48 % der Wärmeversorgung eine Trassenlänge von heute 180 km auf ca. 450 km errechnet. Hinzu kommen Nahwärmenetze mit einer Trassenlänge von ca. 130 km.

Da das Kasseler Fernwärmenetz historisch gewachsen ist, sind die bestehenden Rohrleitungen jedoch nicht auf den zukünftig notwendigen Ausbau ausgelegt. Es können zwar noch weitere Verbraucher an die bestehenden Leitungen angeschlossen und das Leitungsnetz erweitert werden, diese Netzkapazitäten sind allerdings lokal unterschiedlich auf die einzelnen Netzstränge verteilt. Gleichzeitig nimmt der Wärmeverbrauch durch Einsparmaßnahmen kontinuierlich aber lokal unterschiedlich ab. Unter diesen Randbedingungen ist eine umfassende und detaillierte Wärmenetzplanung erforderlich, die im Rahmen des vorliegenden Berichts nicht geleistet wer-

den konnte. Eine verbindliche Ausweisung von Wärmenetzgebieten konnte daher nicht vorgenommen werden. Die Wärmenetzplanung muss in einem nächsten Schritt detailliert ausgearbeitet mit einem Zeitplan hinterlegt werden.

1. Einleitung

Mit Beschluss vom 26. August 2019 hat sich die Stadt Kassel das ambitionierte Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 Klimaneutralität zu erreichen (Beschluss-Nr. [101.18.1379](#)). Die Klimaschutzstrategie des Klimaschutzrates, die dem zukünftigen Handeln der Stadt Kassel als Leitlinie zugrunde liegen soll (siehe - [101.19.694](#)-), zeigt deutlich auf: Um Klimaneutralität zu erreichen und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, ist es elementar, jetzt die Weichen für eine Umstellung des Wärmesektors auf erneuerbare Energien zu stellen. Denn bislang basiert die Wärmeversorgung in Kassel noch zum größten Teil auf importierten fossilen Energieträgern wie Kohle, Heizöl und Erdgas – und ist damit für ein Drittel der Treibhausgas-Emissionen in Kassel verantwortlich.

Der Klimaschutzrat hat der Stadt Kassel im Jahr 2020 (siehe Nr. [2020-EV-01](#)) deshalb empfohlen, eine Wärmeleitplanung zu erstellen (siehe auch - [101.19.535](#)-). Die Umsetzung dieser Empfehlung erfolgte von 2021–2023 im Rahmen eines Forschungsprojekts der Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, in enger Zusammenarbeit mit der Stadt Kassel und den Städtischen Werken. Die Wärmeleitplanung wurde zudem von der Themenwerkstatt Energieversorgung des Klimaschutzrates fachlich begleitet. Der Klimaschutzrat war durch Sachstandsberichte in die Erstellung des Abschlussberichts, der nun vorliegt, eingebunden und hat sich mit seinem Beschluss vom 26. April 2023 (Nr. 2023-KSR-03) für die Grundzüge der Wärmeleitplanung in ihrer vorliegenden Form ausgesprochen.

Die Wärmeleitplanung wurde unter der Maßgabe entwickelt, auf Grundlage von technischen Berechnungen einen ersten Fahrplan aufzuzeigen, wie die Wärmeversorgung in Kassel bis 2030 klimaneutral werden kann. Die Planung erfolgte dabei im Wesentlichen in drei Schritten:

1. Zunächst wurden Wärmeverbräuche von Gebäuden, verwendete Energieträger und Wärmeversorgungsinfrastruktur auf einem Stadtplan dargestellt und mit entsprechenden Daten hinterlegt.¹
2. Auf dieser Grundlage wurde die künftige Entwicklung der Wärmeverbräuche sowie Potenziale für Einsparungen, erneuerbare Energieträger und Wärmerversorgungstechnologien sowie die dafür nötigen Wärmenetze systematisch berechnet und geplant.
3. Darauf aufbauend wurde ein umfassendes Konzept (Wärmeleitplanung) für eine fossilfreie Wärmeversorgung erstellt, inkl. Zielszenario und Maßnahmenkatalog.

Die vorliegende Wärmeleitplanung enthält damit eine Priorisierung von Maßnahmen sowie zeitliche Zielvorgaben für Einspar- und Sanierungsmaßnahmen, die Umstellung von Energieträgern und die Errichtung von Infrastruktur (Ausbau, Verdichtung bzw. Rückbau von Fernwärme- und Gasnetzen und zentraler Wärmeerzeugungsanlagen). Sie zeigt auf, welche Stadtgebiete perspektivisch an Fern- oder Nahwärmenetze angebunden werden könnten (zentrale Wärmeversorgung) und welche Technologien und Infrastrukturen dafür jeweils nötig wären.

¹ Methodisches Herzstück der Wärmeleitplanung ist eine kasselspezifische Gebäudetypologie auf Basis der international anerkannten Tabula/Episcopo-Typologie des Instituts für Wohnen und Umwelt Darmstadt, aus der sich gebäudescharf Wärme- und Sanierungspotenziale berechnen lassen.

Sie liefert darüber hinaus auch Erkenntnisse, in welchen Gebieten dezentrale Lösungen durch gebäudeeigene Wärmeerzeugung geeigneter sind.

Damit setzt sie den inhaltlichen Rahmen für die gemäß Wärmeplanungsgesetz (WPG) sowie Hessisches Energiegesetz (HEG) künftig verpflichtende Kommunale Wärmeplanung und dient als Grundlage dafür, zügig konkrete Umsetzungsmaßnahmen für eine systematische Wärmewende in Kassel anzustoßen. Gleichzeitig bleibt die Wärmeleitplanung in ihrer Konkretisierung so flexibel, dass die grundsätzlichen Planungsaussagen an sich ändernde Rahmenbedingungen und Entwicklungen angepasst und konkretisiert werden können.

Im Ergebnis ist mit diesem fundierten und innovativen Konzept ein erster zentraler Meilenstein auf dem Weg zu einem klimaneutralen, versorgungssicheren und unabhängigen Wärmesektor in Kassel erreicht – und die Stadt Kassel im bundesweiten Vergleich gut aufgestellt. Lassen Sie uns diese Chance nutzen und den begonnenen Weg konsequent weitergehen!

2. Ergebnisse

2.1. Status Quo: Wärmeversorgung der Stadt Kassel

2.1.1. Energieträger

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die derzeit zur Wärmeversorgung eingesetzten Energieträger: Fast zwei Drittel aller Gebäude in Kassel werden mit dezentralen Erdgas-Heizkessel beheizt. Ölheizungen decken einen Anteil von ca. 8 % des Gesamtwärmebedarfs (Abbildung 1, links). Das Fernwärmesystem stellt rund 20 % des Gesamtwärmebedarfs bereit. Die Fernwärme wird zurzeit mit Kohle, Erdgas, Abwärme aus dem Müllheizkraftwerk, Klärschlammverbrennung und einem Anteil Biomasse (Altholz) erzeugt. Der Ausstieg aus der Kohleverbrennung ist in der Umsetzung. Ab 2026 soll die Kohleverbrennung vollständig durch die Verbrennung von Klärschlamm und Altholz ersetzt werden.

Es zeigt sich, dass die Kasseler Wärmeversorgung fast vollständig auf der Verbrennung von fossilen Energieträgern basiert.

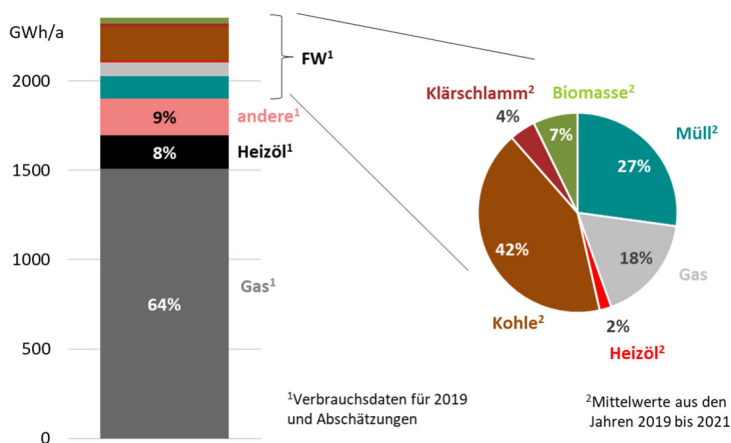


Abbildung 1: Energieträger zur Wärmeversorgung der Stadt Kassel, status quo, gesamt (Säule); Energieträger der Fernwärme (Kreisdiagramm) Datengrundlage 2019

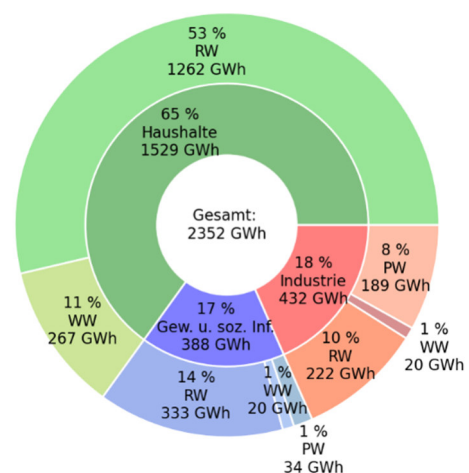


Abbildung 2: Wärmebedarf in Haushalten, Gewerbe & sozialer Infrastruktur und Industrie; WW: Warmwasser; RW: Raumwärme; PW: Prozesswärme

Die Erdgasverbrennung erweist sich als Hauptemittent im Kasseler Wärmesektor. Die Gesamtemissionen der Wärmebereitstellung belaufen sich auf rund 0,5 Mio. t CO₂-Äquivalente/Jahr mit Beachtung der Vorketten (ca. 0,425 Mio. t CO₂-Äquivalente/Jahr ohne Beachtung der Vorketten). Die Emissionen der gesamten Stadt Kassel belaufen sich auf ca. 1,5 Mio. t CO₂-Äquivalente/Jahr. Somit ist der Wärmesektor für ein Drittel der THG-Emissionen der Stadt verantwortlich.

2.1.2. Wärmebedarfsstruktur

Rund zwei Drittel der Wärme wird in Haushalten bzw. in Wohngebäuden für Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) verbraucht (siehe Abbildung 2). 18 % der Wärme der Stadt nutzt die Industrie insbesondere für Raumwärme (RW) und Prozesswärme (PW). Die restlichen 17 % gehen auf den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), wie z.B. öffentliche Gebäude, Kliniken, Supermärkte oder Restaurants, zurück. Diese Aufteilung zeigt, dass 77 % des Wärmebedarfs durch Raumwärme verursacht ist. Das verdeutlicht die Wichtigkeit von energetischer Gebäudesanierung, um den Wärmebedarf der Stadt zu senken.

2.2. Wärmebereitstellungstechnologien und -potentiale

2.2.1. Wärmeerzeuger für die Fernwärmeversorgung

a) Verbrennungstechnologien

In Kassel wird zurzeit geplant, die Abfall-, Klärschlamm- und Altholzverbrennung auszubauen. Mit den geplanten Mengen lässt sich ein Anteil von ca. 27 % des Wärmeverbrauchs im Jahr 2030 decken, wenn der Wärmebedarf, wie in Abschnitt 2.4 beschrieben, reduziert und gleichzeitig das Fernwärmenetz entsprechend erweitert wird.

- **Abfall:** Im Kasseler Müllheizkraftwerk (MHKW) werden seit 1968 Abfälle verbrannt. Die Städtischen Werke planen in den nächsten Jahren eine Erweiterung der Verbrennungskapazitäten der derzeitigen Anlage um ca. 20 %.
- **Klärschlamm:** Seit 2005 darf Klärschlamm nicht mehr deponiert werden. Da Klärschlämme eine Vielzahl von Schadstoffen enthalten, dürfen sie in größeren Kläranlagen in Zukunft (ab 2029 bzw. 2031) auch nicht mehr bodenbezogen, also zum Beispiel als Dünger, verwertet werden. Klärschlamm wird daher zunehmend verbrannt.

Nach Plänen der Städtischen Werke Kassel wird seit einigen Jahren bis Ende 2025 die Kohleverbrennung schrittweise durch Klärschlammverbrennung ersetzt. Der Klärschlamm stammt aus Kassel und Umgebung. Er wird zum Teil mechanisch entwässert angeliefert und am Kraftwerk durch einen Bandrockner getrocknet und zum Teil bereits extern thermisch getrocknet angeliefert. Die Heizwärme des Klärschlammes hängt maßgeblich von der Vortrocknung ab, die möglichst mit regenerativen Energien oder nicht-nutzbarer Abwärme erfolgen sollte.

Aufgrund des relativ hohen Feuchtegehalts der im Szenario berücksichtigten Substrate, wird angenommen, dass 10 % der zur Verfügung stehenden Altholzmenge kontinuierlich mit dem Klärschlamm mitverbrannt wird. Langfristig dürfen wegen der vorgeschriebenen Phosphor-Rückgewinnung keine anderen Bestandteile beigemischt werden (Monoverbrennung), so dass sich die Klärschlammverbrennung in dieser Form nur um eine Übergangslösung handeln kann.

- **Altholz (Industrierest- und Gebrauchtholz):** Zudem planen die Städtischen Werke in Kassel in Zukunft, große Mengen Altholz aus der Region, das bisher an andere Standorte außerhalb Kassels geliefert wurde, im Fernwärmekraftwerk an der Dennhäuser Straße zu verbrennen.

Müll- und Abfallverbrennung nur als Übergangslösung

Das Abfallaufkommen muss durch Vermeidung von Abfall deutlich reduziert werden, um Energie und Ressourcen einzusparen und Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren. Der verbliebene Abfallanteil muss so weit wie möglich wiederverwertet werden. Um Transportwege und damit Energie einzusparen, ist der Bau einer Abfallsortieranlage in Kassel notwendig. Zukünftig sind große Veränderungen des Abfallaufkommens und der Heizwerte durch veränderte Abfallzusammensetzung zu erwarten. Diese zukünftigen Veränderungen konnten jedoch in den Szenarien (Abschnitt 2.4) aufgrund fehlender Daten bisher nicht berücksichtigt.

Holz wird in Zukunft voraussichtlich verstärkt als Bau- und Gebrauchsmaterial verwendet und auch nur noch in kleineren Mengen für die Verbrennung zur Verfügung stehen.

Somit wird ein großer Anteil der in den Szenarien berücksichtigten Verbrennungsmaterialien nur kurz- bis mittelfristig zur Verfügung stehen und muss ebenfalls sukzessive durch erneuerbare Energien ersetzt werden.

Spitzenlast: Biogas, synthetische Gase oder andere Energieträger wie Holzpellets

Die Bereitstellung hoher Leistungen in den winterlichen Kälteperioden (Spitzenlast) erweist sich als eine große Herausforderung. Es werden sehr flexible Energieträger und darüber hinaus Speicher benötigt, um diesen Spitzenbedarf abzudecken. Die Energieträger zur Bereitstellung der Spitzenlast wurden im Rahmen dieser Studie nicht näher spezifiziert.

b) Regenerative Energien

Groß-Wärmepumpen

Für den Einsatz von Großwärmepumpen spielen die verfügbaren Wärmequellen und das Temperaturniveau der Wärmequellen für die Effizienz der Anlagen eine entscheidende Rolle (siehe Anhang A). In Kassel stehen unter anderem eine Kläranlage und die Fulda als Wärmequellen zur Verfügung. Im Gegensatz zur Außenluft hat das Abwasser im Klärwerk ganzjährig eine nutzbare Temperatur von mehr als 10 °C im Winter und bis zu 23 °C im Sommer. Auch die Temperatur des Flusswassers der Fulda fällt im Winter nicht so stark ab wie die Außentemperatur. Allerdings können die Flusswasser-Wärmepumpen im Winter aufgrund der zu niedrigen Flusstemperatur von unter 3 °C an ca. 20 Tagen im Jahr nicht und an über 50 Tagen im Jahr nur im Teillastbetrieb betrieben werden.

Aus einer Dimensionierung der Wärmepumpen im Rahmen einer Vorplanung geht hervor, dass rund 110 GWh/a Wärme aus dem gereinigten Abwasser der Kläranlage mit Großwärmepumpen in das Fernwärmenetz eingespeist werden können.

Wird 30% des Niedrigwasserabflusses der Fulda genutzt (ggf. verteilt auf mehrere Standorte bzw. Entnahmestellen) könnte mit Großwärmepumpen ca. 250 GWh Wärme pro Jahr bereitgestellt werden.

Darüber hinaus sollten weitere Wärmequellen für Großwärmepumpen, wie zum Beispiel Abwärme aus den bestehenden Verbrennungsanlagen (Kühlwasser und Rauchgase), zügig erschlossen werden. Dadurch wird sich insbesondere das Wärmebereitstellungspotential im Winter noch etwas erhöhen.

Freiflächen-Solarthermie

Solarthermische Anlagen können kostengünstig und sehr ressourcen-schonend regenerative Wärme bereitstellen. Allerdings haben Solarthermieanlagen einen hohen Flächenbedarf. Die Flächen sollten außerdem möglichst nah am Fernwärmenetz liegen. Thermische Solaranlagen stellen Wärme überwiegend in Sommerhalbjahr bereit. Bei Einsatz eines hinreichend großen saisonalen Wärmespeichers kann die Solarwärme allerdings im Winter genutzt werden. Im dargestellten Szenario wurde eine Kollektorfläche von ca. 30.000 m² angesetzt. Der Flächenbedarf beläuft sich auf eine Grundfläche von 6 ha bis 8 ha je nach Aufstellung der Kollektoren (Winkel, Ausrichtung).

2.2.2. Saisonaler Wärmespeicher

Klärschlamm, Hausmüll und sonstige Abfallstoffe fallen häufig kontinuierlich an, können aber nur in geringen Mengen gespeichert werden. Für die Berechnung von Szenarien wurde daher angenommen, dass sie nahezu das ganze Jahr hindurch praktisch kontinuierlich zur Wärmebereitstellung genutzt werden. Zudem stellen thermische Solaranlagen die Wärme überwiegend im Sommerhalbjahr bereit. Außerdem wird angenommen, dass die Großwärmepumpe an der Kläranlage ganzjährig betrieben wird. Dadurch kommt es zu erheblichen Wärmeüberschüssen in den Sommermonaten. Ziel der Untersuchungen ist, aufzuzeigen, wie mit großen Erdbeckenspeichern diese Überschüsse bis in den Winter gespeichert werden können und dazu beizutragen, auch den Spitzenlastbedarf während Kälteperioden im Winter zu decken.

Wenn in der Fernwärme nur die betrachteten Verbrennungsprozesse berücksichtigt werden, ergibt sich bei den gewählten Randbedingungen und einen entsprechenden Fernwärmeausbau auf 27 % ein notwendiges Speichervolumen von ca. 750.000 Kubikmetern.

Bei einem weiteren Ausbau der Fernwärme steigt auch der Verbrauch im Sommer, so dass der sommerliche Wärmeüberschuss durch die Verbrennungsprozesse sinkt und Speicherkapazität frei wird. Dadurch kann der Speicher bei Ausbau des Wärmenetzes zunehmend für erneuerbare Energien genutzt werden, die durch Groß-Wärmepumpen und Solarthermieanlagen bereitgestellt werden.

Bei einem Fernwärme-Ausbau auf 48 % des Gesamtwärmebedarfs und einem durchgehenden Betrieb einer Groß-Wärmepumpe an der Kläranlage mit einer Wärmebereitstellungsleistung von 21 MW_{th} erhöht sich der Speicherbedarf auf ca. 920.000 m³.

Die Speichergröße hängt jedoch stark von den gewählten Parametern ab, wie die Verfügbarkeit eines Energieträgers zur Deckung der Spitzenlast, die notwendige Altholzbeimischung zum Klärschlamm und die Berücksichtigung unterschiedlicher sommer- und winterlicher Bedarfsabsenkung bei Sanierung und die zusätzliche dezentrale Spitzenlastabdeckung, zum Beispiel durch Kaminöfen.

Der Speicher kann darüber hinaus dafür genutzt werden, den Betrieb des Heizkraftwerks zu flexibilisieren, das heißt, er bietet die Möglichkeit, bevorzugt dann Strom zu erzeugen (und gleichzeitig Wärme zwischenspeichern), wenn die Preise an der Strombörse hoch sind. Auch Großwärmepumpen könnten in Zukunft verstärkt dann betrieben werden, wenn Überschussstrom vorhanden ist und die Wärme nicht gleichzeitig verbraucht, sondern zwischengespeichert wird. Dies führt dazu, dass der Speicher häufiger im Jahresverlauf be- und entladen wird.

In Dänemark wurden in den letzten Jahren bereits sechs große saisonale Speicher (Erdbeckenspeicher) mit Speichervolumina von bis zu 200.000 m³ errichtet.

2.2.3. Nahwärme und gebäudeindividuelle Wärmeerzeugung

Ein deutlich zunehmender Anteil der Wärme wird in Zukunft durch eine Quartiers-Wärmeversorgung bereitgestellt werden müssen, bei der mehrere Gebäude, Wohnquartiere oder auch ganze Stadtteile durch Wärmenetze miteinander verbunden werden. Im Szenario wird der verbleibende Anteil der nicht über Wärmenetze versorgten Gebäude von 40% des Kasseler Wärmebedarfs in den Gebäuden selbst bereitgestellt.

Auch in der Nahwärmeversorgung und in der gebäudeindividuellen Wärmeversorgung werden überwiegend Wärmepumpen zum Einsatz kommen. Wärmequellen sind vor allem Luft, aber auch Erdsonden oder vereinzelt Grund- und Flusswasser. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Biomasse wird angenommen, dass nur ca. 5 % des Kasseler Gesamtwärmebedarfs zur Versorgung von Einzelgebäuden und zur Nahwärmeversorgung mit Biomasse gedeckt wird. Bei Einsatz eines Biomasse-Kessels wurde angenommen, dass in der jeweiligen Wärmeversorgungsanlage durchschnittlich 15 % der Wärme mit einer thermischen Solaranlage bereitgestellt wird. Beim Einsatz von Erd- und Luftwärmepumpen wurde ein durchschnittlicher Solarthermieanteil von 4 % vorgesehen.

Luft-Wasser-Wärmepumpen

Mit der Änderung der Hessischen Bauordnung (HBO) vom 22. November 2022 (GVBl. 2022, S. 571) wurde die Errichtung von Luftwärmepumpen in den bauordnungsrechtlichen Abstandsflächen vor allem in stark verdichteten Gebieten erleichtert. Demnach sind keine Mindestabstände zu Nachbargrundstücken mehr vorgeschrieben, sofern die Wärmepumpe eine Größe von 2 m Höhe und eine Gesamtlänge von 3 m nicht überschreitet.

Allerdings wurden trotzdem zur Ermittlung des nutzbaren technischen Potentials von Luft-Wasser-Wärmepumpen Schallimmissionsgrenzwerte in Abhängigkeit von der Gebäudeheizlast angelehnt an den „Leitfaden Schall“ vom Bundesverband für Wärmepumpe berücksichtigt (bwp, 2016). Dabei wurde der Schalleistungspegel für neuere Wärmepumpen gemäß der Produktdatenbank (get,2022) berechnet. Für den Aufstellort der Luft-Wasser-Wärmepumpen wurde im betrachteten Szenario ein Mindest-Abstand von einem Meter zum Gebäude innerhalb eines 3 m breiten Bandes vorgesehen.

Falls die notwendige Heizleistung unter Einhaltung der Schallimmissionsgrenzwerte und Abstandsregelungen nicht gedeckt werden kann, wird geprüft, ob dies nach einer Sanierung des Gebäudes, also bei reduzierter Heizleistung möglich wäre. Es zeigt sich, dass rund 35 % der Kasseler Einfamilienhäuser ohne weitere Sanierungsmaßnahmen nicht mit Luft-Wasser-Wärmepumpen versorgt werden können. Werden Einfamilienhäuser auf EH 55-Standard modernisiert, so verringert sich dieser Wert auf 15 %.

Dagegen kommen ohne die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen mehr als 90 % der Mehrfamilienhäuser allein aufgrund von Schallimmissionsgrenzwerten nicht für einen Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen infrage. Bei entsprechender Sanierung sinkt dieser Wert auf 70 %.

Sole-Wasserwärmepumpen mit Erdwärme-Sonden

Um die Eignung einer Geothermie-Bohrung eines Standorts zu prüfen, muss sowohl die hydrogeologische als auch die wasserwirtschaftliche Standortbewertung berücksichtigt werden.

Das gesamte Stadtgebiet Kassels ist aufgrund von weiträumiger Grundwasserstockwerksgliederung als *hydrogeologisch* ungünstig eingestuft. Für die Nutzung von Erdwärmesonden ist daher eine Einzelfallprüfung durch das HLNUG notwendig. In über 90 % der Fälle kann die Bohrung in diesen Gebieten durchgeführt werden, es kann jedoch zu Einschränkungen z.B. bezüglich der Bohrtiefe oder besonderen Anforderungen an die technische Ausführung kommen.

Ein Großteil der Stadt Kassel westlich der Fulda ist als *wasserwirtschaftlich* ungünstig eingestuft, der nördliche und östliche Teil Kassels als wasserwirtschaftlich günstig. Auch hier ist bei ungünstiger Einstufung eine Einzelfallprüfung notwendig, die allerdings ohnehin schon aufgrund der hydrogeologischen Beurteilung erforderlich ist. Zwei Bereiche im Stadtgebiet sind als wasserwirtschaftlich unzulässig eingestuft worden. In diesen Bereichen sind keine Bohrungen möglich. Dazu gehört auch der Standort des Fernwärmekraftwerks an der Dennhäuser Straße (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, HLUG, 2015; Karte Anhang C).

Das oberflächennahe Geothermiepotential für Kassel wurde nach der VDI-Richtlinie 4640 ermittelt. Einige Annahmen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Durch die Beschränkung der berücksichtigten Fläche auf einen maximalen Anteil von 50 % der Freifläche werden sonstige Bebauungen, Büsche, Bäume, u.a. berücksichtigt.

Tabelle 1: Randbedingung zur Installation von Erdwärmesonden (EWS)

Sondenlänge	100 m
Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds	1,68 W/(mK)
Mindestabstand vom Gebäude	1 m
Entfernung vom Gebäude	1 m bis 3 m
Mindestabstand vom Nachbargrundstück	5 m
Mindestabstand zwischen Sonden	3 m
Anteil max. Bebauung der Freifläche	50%
Volllaststunden	1600
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe	4

Darüber hinaus wurde bei einer Installation benachbarter Erdwärmesonden wegen der Erdreichauskühlung eine Abnahme der spezifischen Entzugsleistung berücksichtigt. Wie bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen wurden auch Erdwärmesonden nur dann berücksichtigt, wenn die angegebenen Volllaststunden vollständig durch die entsprechende Wärmepumpe bereitgestellt werden können.

Nach dieser Auswertung können rund 65 % der Einfamilienhäuser, 20 % der Reihenhäuser und 15 % der Mehrfamilienhäuser mit oberflächennaher Geothermie mit Erdwärmesonden und Wärmepumpe versorgt werden. Energetisch entspricht dies rund 15 % des Gesamtwärmebedarfs (inkl. Industrie und GHD) 2030.

In Abbildung 3 ist der Deckungsanteil von Erdwärmesonden-gekoppelten Wärmepumpen und in Abbildung 4 der Deckungsanteil von Luft-Wasser-Wärmepumpe am Wärmebedarf gebietsweise ausgewiesen.

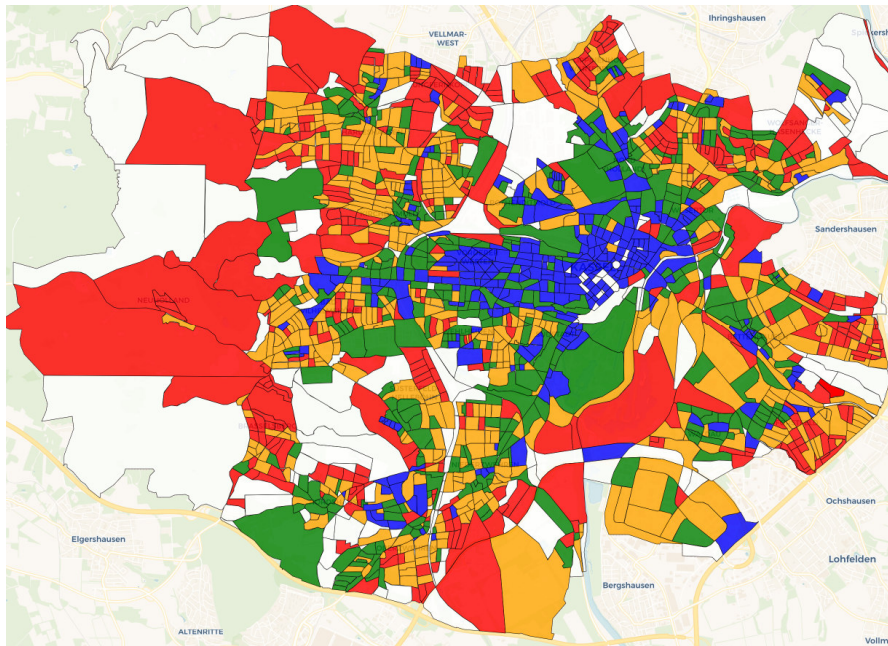


Abbildung 3: Mögliche Deckungsanteile der Wärmebereitstellung mit Luft-Wasser-Wärmepumpen am Wärmebedarf unter Berücksichtigung von Schallimmissionsgrenzwerten.

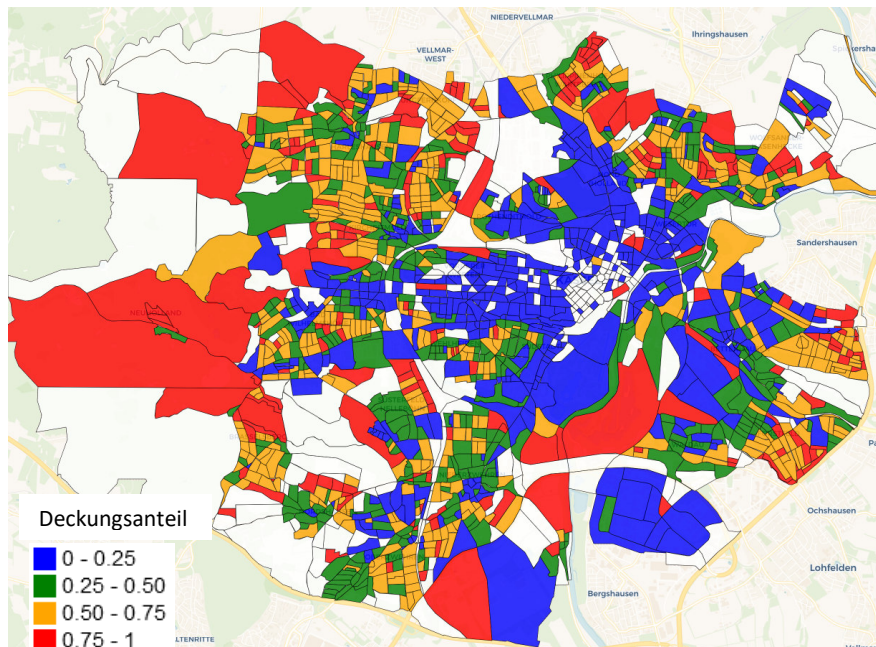


Abbildung 4: Mögliche Deckungsanteile der Wärmebereitstellung mit Erdwärmesonden und Sole-Wasser-Wärmepumpen unter Berücksichtigung des Platzbedarfs.

2.2.4. Entwicklung des Wärmeverbrauchs

Der zeitliche Verlauf des Gesamt-Wärmeverbrauchs wurde in Stundenzeitschritten auf Grundlage standardisierter Verbrauchsprofile modelliert. Das Modell berücksichtigt die unterschiedliche Verbrauchsentwicklung in den Sektoren Privathaushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (inkl. sozialer Einrichtungen) und Industrie. Es umfasst Annahmen zu zukünftigen Entwicklungen, die den Wärmeverbrauch beeinflussen, wie zum Beispiel die Wohnflächenentwicklung, die Sanierungsrate und die Entwicklung der Wertschöpfung. Für die mittlere jährliche Sanierungsrate wurde 2 % und für die Verbrauchsreduktion bei einer Sanierung 50 % angesetzt.

Der Wärmeverbrauch hängt stark von der Außentemperatur ab und wurde aus Wetterdatensätzen abgeleitet. Im Vergleich zu standardisierten Verbrauchsprofilen wurde zusätzlich berücksichtigt, dass sich aufgrund der fortschreitenden Sanierung der Anteil des winterlichen und sommerlichen Wärmeverbrauchs in den Sektoren in unterschiedlicher Höhe verringert. Dies hat einen besonderen Einfluss auf die winterliche Spitzenlastabdeckung und sommerliche Überschüsse.

Mit der gewählten Parameterkonfiguration ergibt sich ein **Rückgang des Kasseler Wärmeverbrauchs bis 2030 um ca. 16 %** und bis 2050 um ca. 40 % (Bezugsjahr: 2019).

2.2.5. Wärmebereitstellungs-Szenario

Abbildung 5 zeigt ein Wärmebereitstellungs-Szenario für Kassel mit einem Fernwärmeanteil von 48 %, einem Nahwärmeanteil von 12 % und 40 % dezentraler Versorgung. Dargestellt ist die Deckung des Wärmebedarfs der Stadt mit unterschiedlichen Energieträgern im Jahresverlauf. Es sind Tagesmittelwerte der Wärmeleistung (in Megawatt) von Januar bis Dezember abgebildet. Der Gesamt-Wärmebedarf der Stadt ist als standardisiertes Verbrauchsprofil dargestellt. Es ergeben sich ausgeprägte Lastspitzen im Dezember und Januar.

a) Fernwärme: 48 %-Szenario

Die Fernwärme ist farblich dargestellt. Die Klärschlamm- und Müllverbrennung (braun und beige dargestellt) sowie die Wärmebereitstellung der Klärwasser-Wärmepumpe (dunkelblau) verlaufen im Szenario kontinuierlich und stellen die Grundlast bereit. Sommerliche Überschüsse sind unterhalb der x-Achse dargestellt. Diese Überschüsse werden im Modell in den Speicher geleitet.

Die Speicherbeladung ist im unteren Diagramm dargestellt: Die Kurve zeigt den Speicherladezustand in Prozent. Ab Ende Mai wird der Speicher über ca. 3 Monate kontinuierlich beladen und hauptsächlich ab Mitte Dezember bis Anfang März wieder entladen. Die Entladung des Speichers ist im oberen Diagramm als orange Fläche dargestellt. Sie erfolgt vor allem während der Spitzenlasten im Winter.

Es ist auch zu erkennen, dass die Flusswasserwärmepumpen (hellblau) in den Kälteperioden über längere Zeiträume (insgesamt ca. 50 Tage) gar nicht oder nur in Teillast betrieben werden können. Daher sollten möglichst weitere Niedertemperaturwärmequellen, z.B. aus dem Kühlwasser oder dem Rauchgas der Müll- und Abfallverbrennungsanlagen, erschlossen werden.

Tagesmittel Wärmestrom in MW

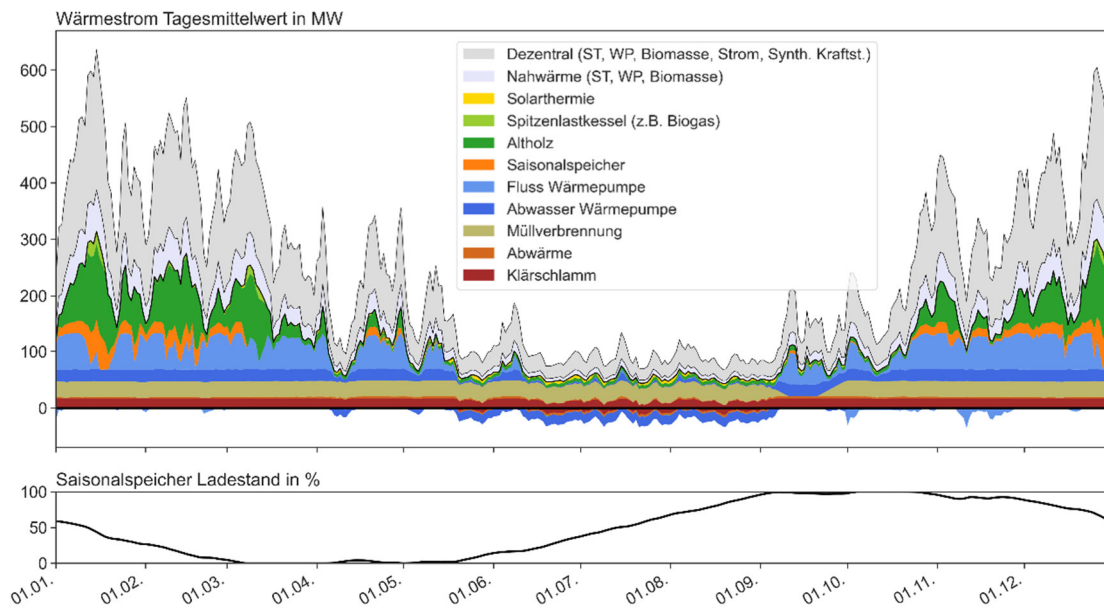


Abbildung 5: Wärmebereitstellung (mittlere tägliche Leistung in Megawatt) im Jahresverlauf.

Oben: Darstellung unterschiedlicher Wärmeträger und Wärmeerzeugungstechnologien, Szenario mit 48 % Fernwärmeanteil (farbig); 12 % Nahwärmeanteil (grau) und 40 % dezentrale Wärmeversorgung (grau) am Gesamtwärmebedarf der Stadt Kassel 2030.

Die untere Kurve zeigt den Jahresverlauf des Speicherladezustands des Saisonspeichers in Prozent.

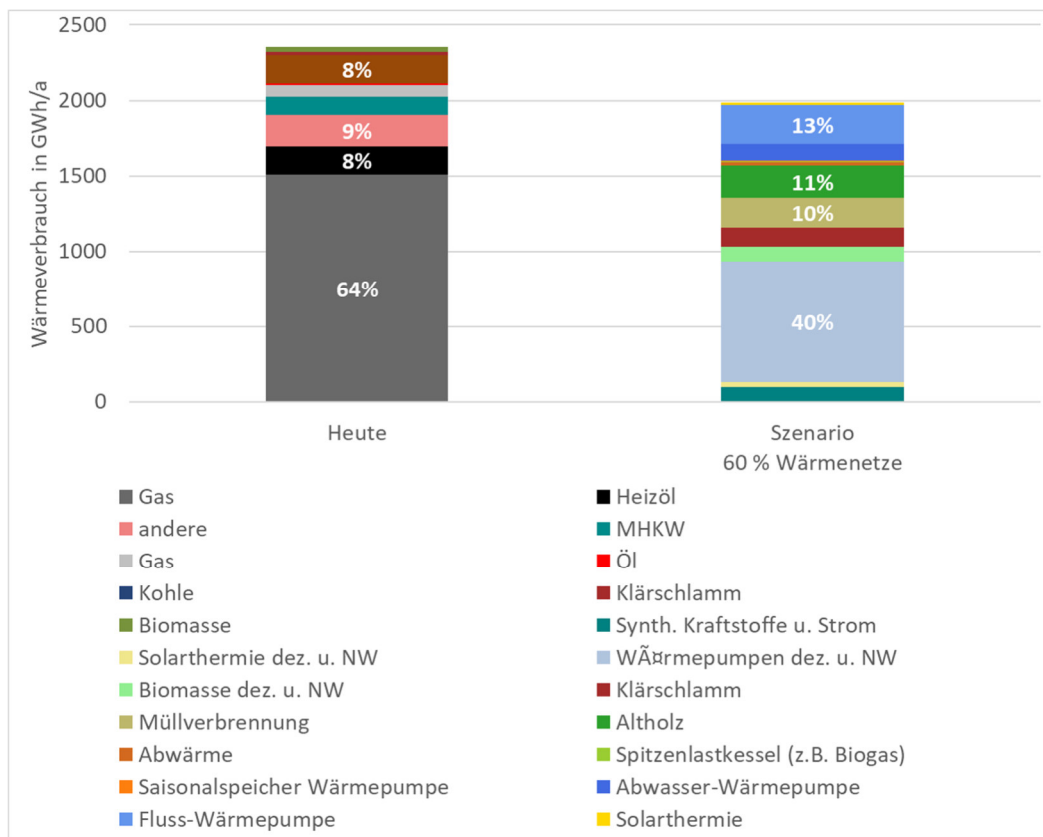


Abbildung 6: Gegenüberstellung: Wärmeerzeugung heute (links) und Wärmeerzeugung im Szenario mit 48 % Fernwärme, 12 % Nahwärme & 40 % dezentrale Versorgung (rechts).

In diesem Szenario wird ein großer Teil des zur Verfügung stehenden Altholzes für die Spitzenlastdeckung berücksichtigt. Das tatsächliche Verhältnis der Altholzbeimischung zur Klärschlammverbrennung war zur Zeit der Erstellung dieses Szenarios nicht bekannt und soll in späteren Untersuchungen berücksichtigt werden.

Trotz der angenommenen sehr hohen Verfügbarkeit von Altholz ist dafür ein weiterer Spitzenlastkessel nötig. Für diesen verbleibenden Anteil der Wärmebereitstellung zur Spitzenlastabdeckung in Höhe von ca. 1 % des Gesamt-Wärmeverbrauchs wurde angenommen, dass er von einem flexibel einsetzbaren Energieträger wie Biogas oder synthetische Gase gedeckt werden kann.

b) Dezentrale Wärmeversorgung (12 %) und Nahwärmeversorgung (40 %)

Mit den in Abschnitt 2.3 beschriebenen Annahmen zur Potentialermittlung, auf Grundlage der verfügbaren Wärmeverbräuche (Wärmekataster) und der dem Szenario zugrundeliegenden Annahmen zu den Wärmenetzgebieten ergibt sich insgesamt ein Bedarf von

ca. 16.000 Wärmepumpen, 2.000 Biomasse- und 6.000 Solarthermieanlagen.

Untersuchungen des Gebäudebestands haben gezeigt, dass ca. 75 % der Gebäude auf einen Mindeststandard saniert werden müssen. Um das Ziel bis zum Jahr 2030 zu erreichen, wäre hierfür eine Sanierungsrate von über 5 % pro Jahr notwendig, die der zugrundeliegenden Sanierungsrate von 2 % pro Jahr (für 16 % Verbrauchsreduktion bis 2030) deutlich übersteigt.

In Abbildung 6 sind die Jahressummen der einzelnen Wärmeträger und Wärmebereitstellungstechnologien als Balkendiagramm zusammengestellt.

c) Stromverbrauch für Wärmepumpen (Szenario)

Für den Betrieb von Wärmepumpen in der Nah- und Fernwärme und für die dezentrale Wärmeversorgung werden insgesamt 470 GWh Strom im Jahr benötigt. Diesem Verbrauch stehen ca. 280 GWh/Jahr Stromerzeugung der Heizkraftwerke (Altholz, Klärschlamm, Abfall) gegenüber.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Potentialanalyse

1. Energieeinsparung

Aus Untersuchungen verschiedener Verbrauchssektoren wurde ein Szenario mit einem **Gesamteinsparpotential des Wärmeverbrauchs** in der Stadt um ca. **16 %** abgeleitet.

2. Wärmenetze

Aus dem Abgleich zwischen der Verteilung der Wärmeverbrauchsdaten in Kassel und dem Potential zukünftig verfügbarer Energieträger und Technologien ergibt sich ein Ausbau von Wärmenetzen zur Versorgung von insgesamt ca. 60 % des Wärmebedarfs (**48 % Fernwärme, 12 % Nahwärme**). Dafür sind ca. 14.000 neue Hausanschlüsse nötig. Die übrigen **40 % der Wärmeversorgung** erfolgt **in Einzelgebäuden**.

Verbrennungsprozesse in der Fernwärme

Der Kohleausstieg wird bereits umgesetzt: Kohle wird bis Ende 2025 stufenweise durch Klärschlamm, Müll und Altholz substituiert.

Das Bereitstellungspotential dieser **Abfall- und Reststoffe** reicht aus, um **27 %** des Kasseler Gesamtwärmebedarfs in 2030 (Szenario) zu decken und übersteigt somit den Bedarf an Energieträgern für die derzeitige Fernwärmebereitstellung (20 % des heutigen Gesamtwärmeverbrauchs).

- Allein durch den Umstieg auf die oben genannten Abfall- und Reststoffe ist ein Ausstieg aus der Verbrennung fossiler Energieträger (Erdgas, Heizöl) möglich.

Erneuerbare Energien in der Fernwärme

- **Großwärmepumpen** (Fuldawasser- und Abwasserwärmepumpen) liefern im Szenario einen Anteil von **19 %** an der Gesamtwärmeversorgung.
- Mit dem angenommenen Einsatz großer Solarthermieranlagen (30.000 m² Kollektorfläche), durch Abwärmenutzung und Spitzenlastabdeckung wird ca. **2 %** des Wärmebedarfs bereitgestellt.

Speicher

Durch die kontinuierliche Abfall- und Reststoffverbrennung (inkl. Klärschlamm) sowie den Einsatz von Groß-Wärmepumpen und Freiflächen-Solarthermieranlagen entstehen sommerliche Wärmeüberschüsse. Daher ist der Einsatz saisonaler Wärmespeicher notwendig.

3. Dezentrale Wärmeversorgung in Einzelgebäuden und Nahwärmeversorgung

Folgende Annahmen wurden zugrunde gelegt:

- Der Anteil an der Wärmeversorgung, der durch **Biomasse** (wie Holzpellets oder Scheitholzkessel) bereitgestellt werden kann, wurde **auf 5 % begrenzt**.
- Biomasse-Kessel werden ganz überwiegend in Kombination mit Solarthermieranlagen installiert mit einem mittleren Solaren Deckungsanteil von 15 %.
- Luft- und Erdreichwärmepumpen werden mit einem Solaren-Deckungsgrad von insgesamt 4 % berücksichtigt.
- Zur Umsetzung des Wärmeversorgungskonzepts müssen **ca. 16.000 Wärmepumpen, 2.000 Biomassekessel und 6.000 Solarthermieranlagen** installiert werden.
- Nach derzeitigen Bestimmungen bzgl. Schallschutz und Abstandsregelungen lässt sich nur **ca. ein Drittel des Wärmebedarfs** der Gebäude, die nicht ans Fernwärmenetz angeschlossen sind im **jetzigen Sanierungszustand ohne weitere Maßnahmen** mit einer **Luftwärmepumpe** und **4 %** mit **Erdwärmesonden** versorgen.

2.3. Wärmenetze und Ausweisung von Wärmenetzgebieten

2.3.1. Vor- und Nachteile von Wärmenetzen

Die Ergebnisse der Untersuchungen zu Schallimmissionen von Luftwärmepumpen, zum Platzbedarf von Erdwärmesonden und dem Sanierungszustand der Gebäude zeigen auf, dass es bei verdichteter Bebauung enge Begrenzungen für die effiziente Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen gibt. Eine Alternative ist daher der Betrieb von Nah- und Fernwärmenetzen. Diese ermöglichen, dass nur wenige (größere) Wärmeerzeugungsanlagen errichtet werden müssen und so auch die Spitzenlasten leichter bereitgestellt werden können. Bei Biomasseverbrennungsanlagen fallen bei größeren, zentralen Verbrennungsanlagen zudem weniger schädliche Emissionen an, da bessere Filter eingesetzt werden, durch den meist professionell gesteuerten Anlagenbetrieb und weniger Ein- und Ausschaltvorgänge als bei vielen kleinen Öfen. Durch kleinere Stückzahlen lässt sich außerdem der Herstellungs- und Wartungsaufwand zu reduzieren. Ein weiterer Vorteil bei der Realisierung von zentralen Wärmeversorgungsstrukturen ist die schnellere Umsetzbarkeit der Umrüstung im Vergleich zur Installation einer hohen Anzahl von Einzelanlagen und aufwändigeren Gebäudesanierung.

Nachteile zentraler Anlagen mit Wärmenetzen sind dagegen ihr höherer Planungs-, Bau- und Wartungsaufwand sowie ihre einheitlichen Bereitstellungstemperaturen und hohen Wärmeverluste. Je verdichteter die Bebauung ist, desto geringer fallen jedoch die Wärmeverluste pro Rohrleitungslänge aus. Somit eignen sich Wärmenetze gerade in den Gebieten, in denen es aufgrund von Schallimmissionen und Platzmangel zu Problemen mit der gebäude-individuellen Wärmeversorgung kommen kann.

2.3.2. Verdichtungspotential

Wenn es möglich wäre, alle Gebäude, die weniger als 40 m von einer Fernwärmeleitung entfernt liegen, ans Fernwärmenetz anzuschließen, ließe sich theoretisch der Fernwärmeanteil an der Kasseler Wärmeversorgung verdoppeln. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass derzeit nicht überall genügend Netzkapazitäten vorhanden sind (zu kleine Rohrdurchmesser) und auch Wärmeerzeugungs- und Speicherkapazitäten geschaffen werden müssen, da das Fernwärmenetz in den letzten Jahrzehnten vielfach erweitert wurde und es in einigen Abschnitten schon heute weit über den ursprünglichen Auslegungszustand hinausreicht. Andererseits nimmt der Wärmebedarf der bestehenden Gebäude durch die Gebäudesanierung ab. Um diese Abnahme auszugleichen, ist es auch für den Weiterbetrieb des Wärmenetzes nötig, weitere Gebäude anzuschließen.

2.3.3. Methode zur Ermittlung von Trassenlängen

Zunächst wurden anhand der gebäudescharfen Wärmeverbrauchsdaten Trassenverläufe simuliert. Prioritätsgebiete für Wärmenetze wurden zunächst automatisiert nach verschiedenen Kri-

terien, wie dem Wärmeverbrauch pro Trassenlänge, und dann punktuell mit einem weiteren manuellen Abgleich, z.B. unter Einbeziehung von Netzkapazitäten und Straßenzustand ausgewiesen. Es wurde jedoch keine detaillierte hydraulische Berechnung des Gesamtnetzes durchgeführt. Dies ist für eine verbindliche Ausweisung von Fernwärmegebieten allerdings notwendig.

Zusätzlich wurden geeignete, aber geografisch vom Fernwärmegebiet weiter entfernt liegende Gebiete als mögliche Zentren für Nahwärmegebiete identifiziert, in denen Wärmenetze mit einem eigenen Erzeugerpark versorgt werden.

2.3.4. Vorläufige Ausweisung von Fernwärmegebieten

Da das Kasseler Fernwärmenetz historisch gewachsen ist, sind die bestehenden Rohrleitungen nicht auf den zukünftig notwendigen Ausbau ausgelegt. Es können zwar noch weitere Verbraucher an die bestehenden Leitungen angeschlossen und das Leitungsnetz erweitert werden, diese Netzkapazitäten sind allerdings lokal unterschiedlich auf die einzelnen Netzstränge verteilt. Gleichzeitig nimmt der Wärmeverbrauch durch Einsparmaßnahmen kontinuierlich aber lokal unterschiedlich ab. Unter diesen Randbedingungen ist eine umfassende und detaillierte Wärmenetzplanung erforderlich, die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht geleistet werden konnte. **Eine verbindliche Ausweisung von Wärmenetzgebieten konnte daher noch nicht vorgenommen werden.**

Für eine **vorläufige Ausweisung** geeigneter Nah- und Fernwärmenetzgebiete wurden verschiedene Kriterien berücksichtigt, wie zum Beispiel der Wärmebedarf von Gebäuden, die Entfernung von bestehenden Wärmenetzen und die Bebauungsdichte. Weitere Kriterien wie zum Beispiel die Bodenbeschaffenheit und Straßenbahnquerungen wurden nur punktuell berücksichtigt.

Abbildung 7 zeigt die vorläufige Ausweisung von Prioritätsgebieten für den Wärmenetzausbau in Kassel. Das Stadtgebiet ist in Fernwärmegebiete mit hoher und niedrigerer Priorität (Prio-1- und Prio-2), in Nahwärmegebiete und Gebiete zur gebäudeindividuellen Wärmeversorgung unterteilt. Es werden abgestufte Anschlussraten zwischen 60 und 95 % angesetzt. Die violett eingefärbten Verdichtungsgebiete sollen möglichst weitgehend erschlossen werden, das heißt, dass auch Nebenstraßen, in denen aktuell noch keine Fernwärmeleitungen verlegt sind, erschlossen werden. In den grau-eingefärbten Gebieten sind dagegen nur Gebäude, die weniger als 40 m den vorhandenen Trassen entfernt sind, berücksichtigt.

Neue Nahwärmegebiete benötigen eigene Wärmeerzeugungsanlagen und die dafür nötigen Standorte. Es empfiehlt sich, neue Nahwärmenetze von großen Wärmeverbrauchern (z.B. Schulen oder anderen öffentlichen Einrichtungen) ausgehend zu entwickeln.

Aus Abbildung 7 ist ersichtlich, dass die Verdichtung des Fernwärmenetzes in den zentralen Stadtgebieten eine hohe Priorität hat. Wegen der verdichteten Bebauung und etwas größeren Entfernung zum Fernwärmenetz sind die Südstadt und Teile des Vorderen Westens der Kategorie „Prio 2“ zugeordnet worden. Auch zum Beispiel der Stadtteil Bad Wilhelmshöhe und das Gebiet östlich vom Bahnhof Wilhelmshöhe eignen sich wegen der verdichteten Bebauung gut für Wärmenetze. Da die Anschlusskapazitäten der naheliegenden bestehenden Trassen aber schon ausgeschöpft sind, wurden die Gebiete als Nahwärmegebiete ausgewiesen.

Auf Grund der Entfernung vom Fernwärmenetz erscheint es sinnvoll, die Stadtteile Kirchditmold, Harleshausen und Fasanenhof ebenfalls mit eigenständigen Netzen und Erzeugerparks zu versorgen.

Die ausgewiesenen Nahwärmegebiete liegen somit entweder zu weit von der aktuellen Fernwärmeleitung entfernt (Harleshausen, Kirchditmold, Nord-östlicher Teil von Nord-Holland, Nordshausen) oder können aufgrund von begrenzten Netzkapazitäten oder baulichen Hindernissen nicht (vollständig) aus dem Kasseler Fernwärmenetz versorgt werden (Bad Wilhelmshöhe).

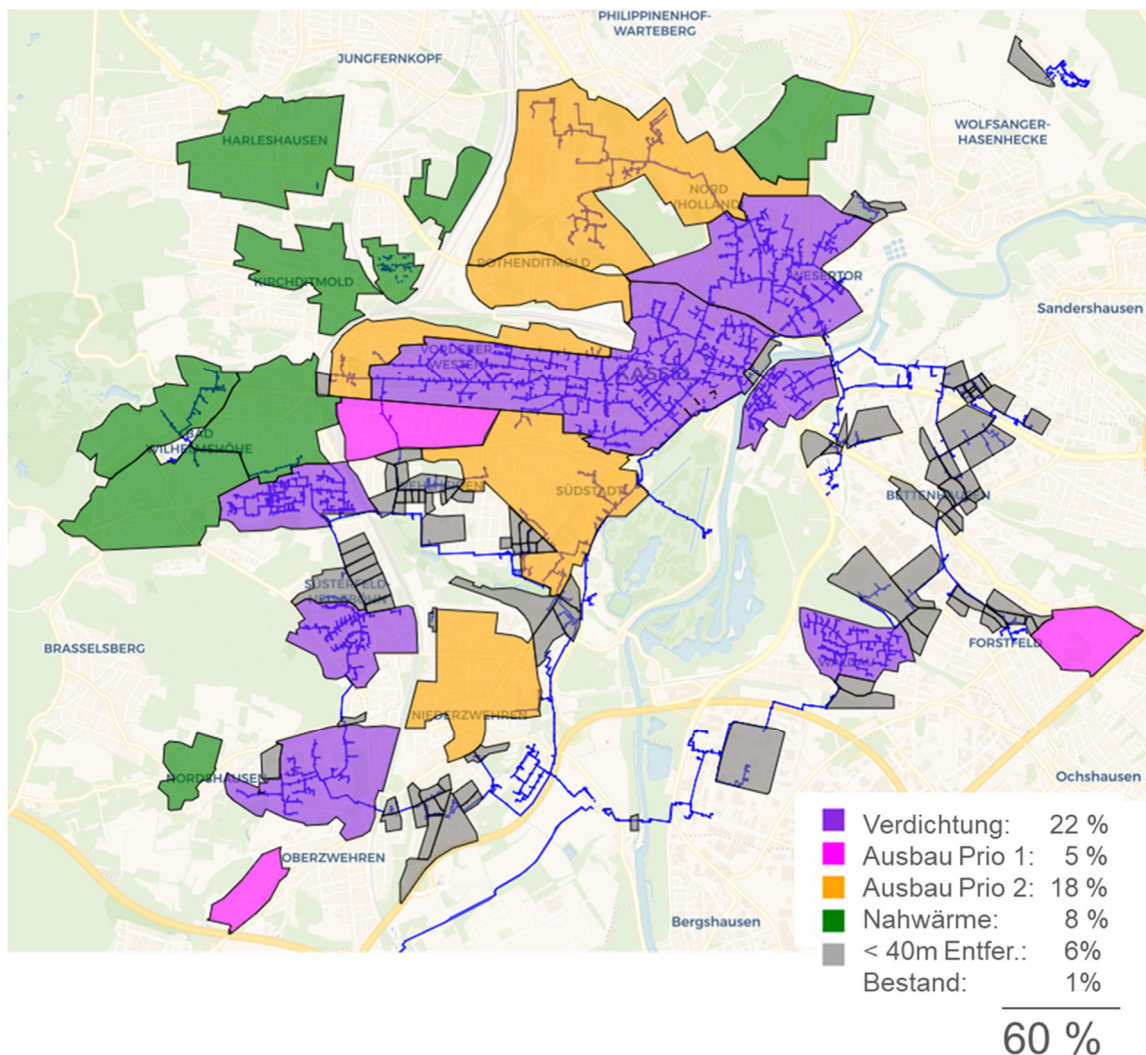


Abbildung 7: Vorläufige Ausweisung von Eignungsgebieten für wärmenetzbasierte Wärmeversorgung differenziert nach Fernwärmeverdichtung, Fernwärmeausbau (Prio 1 und Prio 2), Nahwärme und Gebiete mit Anschluss der Gebäude entlang der vorhandenen Fernwärmeleitungen. Dabei sollen 60% des Wärmebedarfs der Stadt durch Wärmenetze gedeckt werden..

Trassenlängen und Anschlussraten

Auf Grundlage von Kennzahlen wurde für einen Ausbau des Fernwärmenetzes auf 48 % der Wärmeversorgung eine Trassenlänge von heute 180 km auf ca. 450 km errechnet. Hinzu kommen Nahwärmenetze mit einer Trassenlänge von ca. 130 km. Der Anteil der in den verschiedenen Gebieten durch Wärmenetze bereitgestellten Energie ist ebenfalls in Abbildung 7 aufgeführt. Insgesamt wird in den ausgewiesenen Gebieten ca. 60 % des Gesamtwärmebedarfs in Kassel bereitgestellt, je nach Gebiet mit Anschlussraten zwischen 60 % und 95 %. Die heutige durchschnittliche Anschlussrate der an die Wärmenetze grenzenden Gebäude beträgt rund 40%.

2.4. Maßnahmen

A) Fernwärmenetz

- A1: Netzplanung: Hydraulische und thermische Modellierung des Gesamtnetzes
- A2: Systematische Temperaturabsenkungen im Fernwärmenetz
- A3: Tarifierungen und Service
- A4: Dezentrale Einspeisung erneuerbarer Energien
- A5: Entwicklung und Umsetzung eines Transformationsplans für die gesamte Netzinfrastruktur
- A6: Verbindliche Ausweisung von Nah- und Fernwärmegebieten

B) Wärmeerzeugung durch zentrale Anlagen

- B1: Thermische Abfall- und Reststoffverwertung
- B2: Installation von Großwärmepumpen
- B3: Installation von Erdbecken- und Druckspeichern
- B4: Installation großer Solarthermieanlagen
- B5: Erschließung von Wasserstoffnutzung zur Spitzenlastabdeckung (Fernwärme)

C) Dezentrale Wärmeversorgung und Nahwärmesysteme

- C1: Beratung, Information & Förderung
- C2: Wärme-Contracting-Angebote (Wärmelieferverträge)
- C3: Projekte zur Energieeinsparung / Verbrauchsverhalten
- C4: Ermittlung von oberflächennahen Geothermie-Potentialen
- C5: Flächendeckende Vorplanung von Nahwärmesystemen
- C6: Machbarkeitsstudien und Bau von Nahwärmeversorgungssystemen
- C7: Energiemanagement in öffentlichen Gebäuden

D) Wärmeversorgung in Industrie- und Gewerbegebieten

- D1: Bereitstellung von Informationsmaterialien
- D2: Koordinierte Informationskampagnen in Industrie- und Gewerbegebieten, Networking
- D3: Aufsuchende Energieberatung in Industrieunternehmen und Gewerbe
- D4: Erstellung von Transformationsplänen in allen Kasseler Industrie- & Gewerbegebieten
- D5: Erstellung eines Abwärmekatasters für das gesamte Stadtgebiet
- D6: Umsetzung und Monitoring der Maßnahmen
- D7: Bedarfs- und Angebotsanalyse für die Nutzung von Wasserstoff in Industrie und Gewerbe

E) Städtische Planung und Politik

- E1: Weiterentwicklung des Wärmekatasters als Planungsinstrument
- E2: Dauerhafte Etablierung der Wärmeleitplanung / kommunalen Wärmeplanung
- E3: Erlass einer Fernwärmesatzung
- E4: Ausweisung von Sanierungsgebieten
- E5: Politik und Stadtplanung / Bauleitplanung, Bauaufsicht und Straßenbauvorhaben
- E6: Personal / Fachkräfte

2.5. Zeitlicher Verlauf der Maßnahmen (Einordnung)

Um das Zielszenario im Jahr 2030 zu erreichen, müssten außerordentlich große Anstrengungen unternommen werden. Dabei muss insbesondere der Bau von Großwärmepumpen, Saisonal speichern und der Trassenausbau mit hoher Priorität vorangetrieben werden. Auch im dezentralen Bereich müssen möglichst schnell Erdgas- und Ölheizungen durch Wärmepumpen und Biomasseanlagen ersetzt werden.

In Abbildung 8 ist vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung eine erste Priorisierung der Maßnahmen in einer Zeitleiste qualitativ dargestellt. Um die Wärmeversorgung bereits bis zum Jahr 2030 vollständig ohne fossile Energieträger (mit Ausnahme von Abfällen) bereitzustellen, müsste nach dem Szenario zum Beispiel die Fernwärmeversorgung bereits im Jahr 2026 auf einen Anteil von ca. 42 % des Gesamtwärmeverbrauchs ausgebaut sein, sowie Kohle- und Erdgas durch Klärschlamm-, Abfall- und Altholzverbrennung substituiert und erste Groß-Wärmepumpen in Betrieb sein.

In Abbildung 9 ist die Wärmebereitstellung durch die unterschiedlichen Wärmeerzeuger im zeitlichen Verlauf bis 2030 dargestellt. Um den Erdgasausstieg in der Kasseler Fernwärmeversorgung zügig voranzutreiben, werden zunächst verstärkt Rest- und Abfallstoffe zum Einsatz kommen. Diese können jedoch nur dann vollständig genutzt werden, wenn das Wärmenetz ausgebaut und Speicherkapazitäten geschaffen werden. Die Fernwärme kann durch die Verfügbarkeit dieser Ersatzbrennstoffe deutlich schneller dekarbonisiert werden im Vergleich zum dezentralen Bereich. Überall dort, wo Gebäude an Wärmenetze angrenzen, hat der Anschluss eine hohe Priorität, sofern es die Wärmenetzkapazitäten zulassen. Darüber hinaus müssen Wärmenetze erneuert und ausgebaut werden.

In den Gebieten ohne Eignung für eine netzgebundene Wärmeversorgung soll die Wärmeversorgung mit gebäudeindividuellen Technologien erfolgen. Das sind Gebiete von lockerer Bebauung (viele Einfamilienhäuser), die weit entfernt von Nah- oder Fernwärmeleitungen liegen und wo sich somit ein Anschluss an das Fernwärmenetz nicht lohnen würde. Als klimaschonende gebäudeindividuelle Heizung kommen vor allem Wärmepumpen (ggf. gekoppelt mit Photovoltaik), Solarthermie und Biomassekessel in Frage. Für einen effizienten Einsatz von Wärmepumpen ist eine energetische Gebäudesanierung und die Umstellung auf Niedertemperaturheizkörper besonders wichtig, um den Bedarf an erneuerbarem Strom und Stromverteilnetzausbau zu verringern.

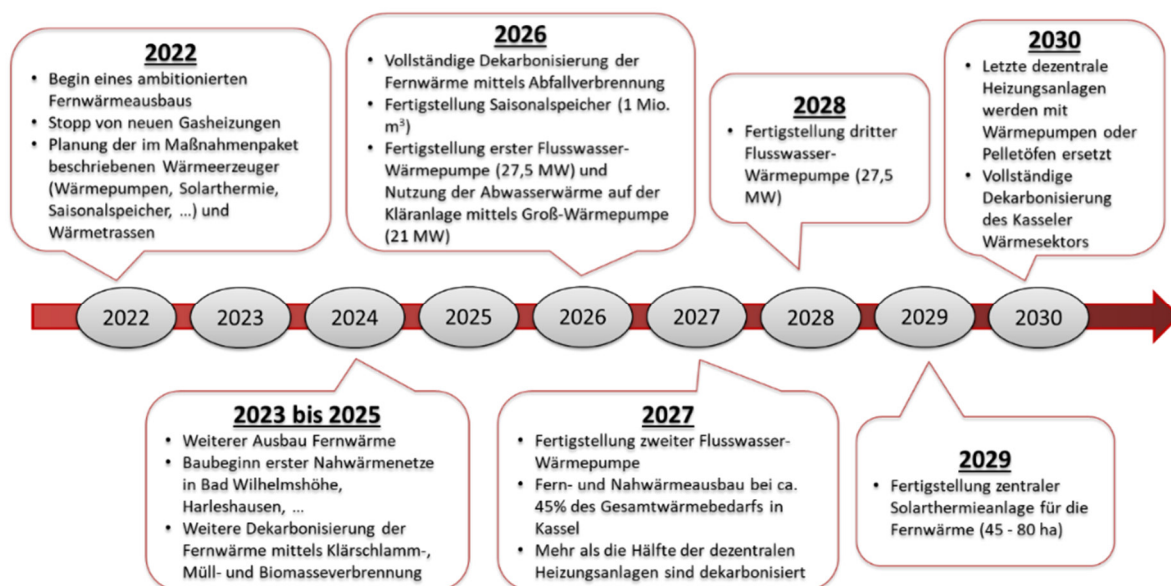


Abbildung 8: Zeitstrahl mit Maßnahmen und wichtigen Zieldaten zur Fertigstellung der Maßnahmen zur Erreichung des Ziels Klimaneutralität 2030

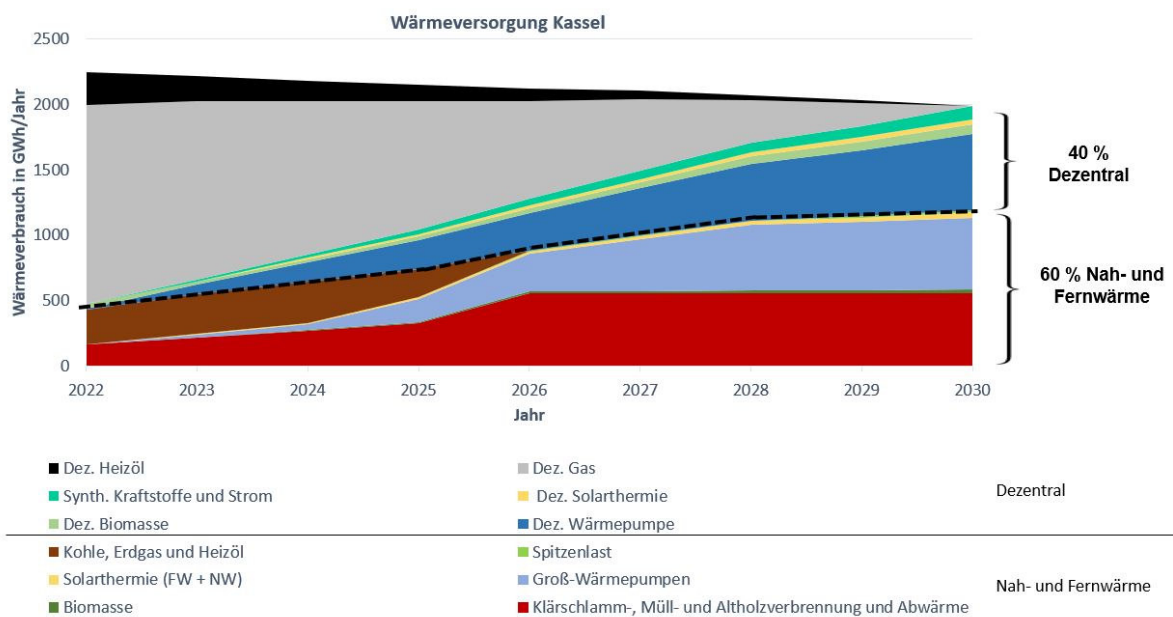


Abbildung 9: Deckung des Wärmebedarfs in Kassel von heute bis zum Zieljahr 2030 mit verschiedenen Energieerzeugern bzw. Energieträgern

2.6. Fazit

Um das vorgegebene Ziel erreichen zu können, bis zum Jahr 2030 in Kassel die Wärmeversorgung ohne die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas zu betreiben, wären außerordentlich weitreichende Maßnahmen notwendig, die in vielen Bereichen gleichzeitig umgesetzt werden müssen. Allein die durchgeführte Dimensionierung von Trassenlängen und Großwärmeerzeugern und die Anzahl notwendiger dezentraler Wärmeversorgungsanlagen verdeutlichen

das Ausmaß der Transformation. Umso dringender ist ein konsequentes Handeln und Umsteuern.

Im vorliegenden Bericht werden Ergebnisse zum derzeitigen Wärmeverbrauch und über Szenarien zur Wärmeverbrauchsentwicklung dargestellt. Mit gebäudescharfen Daten konnten zum Beispiel detaillierte Erkenntnisse über den Wärmeverbrauch in verschiedenen Gebäudetypen, Anwendungssektoren und Stadtteilen gewonnen werden.

Die Gegenüberstellung des Wärmeverbrauchs mit verfügbaren Potentialen zur Nutzung erneuerbarer Energien unter Berücksichtigung verschiedener Restriktionen dient zudem als fundierte Grundlage für weitere Untersuchungen und Planungen.

Die daraus entwickelten Szenarien liefern bereits umfangreiche Ergebnisse über eine mögliche Zusammensetzung verschiedener Energieträger und Bereitstellungstechnologien für die Fernwärmeversorgung im Jahresverlauf. Gebäudescharfe Untersuchungen über die Platzierung von Luftwärmepumpen und Erdwärmesonden zeigen darüber hinaus Potentiale und Limitierungen für den dezentralen Einsatz von Wärmepumpen auf. Ein Planungstool, das zur Erstellung der Szenarien entwickelt wurde, ermöglicht die Erstellung einer Vielzahl weiterer Szenarien, mit denen Einflussgrößen gezielt untersucht werden können.

Ein erster Transformationsplan, der auf Grundlage der Ergebnisse entwickelt wurde, dient als Grundlage dafür, zügig Umsetzungsmaßnahmen anzustoßen. Gleichzeitig muss er in Zukunft detaillierter ausgearbeitet, konkretisiert, stetig überprüft und an neue Randbedingungen angepasst werden.

Eine verbindliche Ausweisung von Wärmenetzgebieten hat sich als sehr komplex erwiesen. Allerdings veranschaulicht eine Karte mit einer vorläufigen Gebietsausweisung den Ausbau- und Neubaubedarf von Wärmenetzen und dient dazu, Prioritäten für detailliertere Untersuchungen und Umsetzungsmaßnahmen zu setzen.

Generell ist in innerstädtischen Gebieten mit verdichteter Bebauung der Wärmenetzausbau gegenüber einer dezentralen Wärmeversorgung zu bevorzugen und mit hoher Priorität zu verfolgen.

Eine Kostenschätzung auf Grundlage einer Annuitätenrechnung zeigt den erheblichen Investitionsbedarf auf und stellt somit eine Grundlage für politische Weichenstellungen.

Aus Kostensicht lässt sich auf Grundlage der Ergebnisse zwar zunächst keine allgemeine Aussage darüber treffen, ob zentrale oder dezentrale Wärmeversorgungsstrukturen zu bevorzugen sind. Das Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann aber zukünftig für einen Kostenvergleich zwischen verschiedenen Versorgungskonzepten in kleineren Gebieten mit deutlich höherer Genauigkeit genutzt werden.

3. Nächste Schritte

Mit der vorliegenden Wärmeleitplanung wird der Rahmen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Stadt Kassel bis 2030 aufgezeigt. Die Ziele der Stadt Kassel zur Klimaneutralität sowie das mit der Wärmeleitplanung verbundene Anliegen, Transformationspfade für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in Kassel aufzuzeigen, werden von jüngsten Entwicklungen auf Bundes- und Landesebene unterstützt. So sind durch die Novelle des Hessischen Energiegesetzes Kommunen in Hessen mit mehr als 20.000 Einwohner*innen nunmehr verpflichtet, eine Kommunale Wärmeplanung aufzusetzen. Auch der Bund wird mit dem geplanten Wärmeplanungsgesetz (WPG) die Kommunen verpflichten, Kommunale Wärmepläne zu entwickeln – für die Stadt Kassel wird dieser voraussichtlich bis spätestens 2026 verbindlich vorliegen müssen. Die Bundesregierung hat im Juni 2023 zudem angekündigt, das Gebäudeenergiegesetz durch Novelle an Kommunale Wärmepläne zu koppeln. Die Wärmeplanung wird damit eine gesetzlich vorgeschriebene Fachplanung, die verbindlichen Einzug in das kommunale Handeln halten soll.

Die mit der Wärmeleitplanung erarbeiteten Grundlagen sind daher im Rahmen der Kommunalen Wärmeplanung zu überprüfen, zu präzisieren sowie an neue Rahmenbedingungen anzupassen. Bis Ende 2023 werden Bund und Land die inhaltlichen Anforderungen an die Aufstellung der Kommunalen Wärmeplanung ausformulieren. Auf dieser Basis wird geprüft werden, wie die Ergebnisse der Wärmeleitplanung in die kommunale Wärmeplanung einfließen können.

Absehbar ist jedoch bereits jetzt, dass folgende Inhalte zentrale Bestandteile der Kommunalen Wärmeplanung sein werden:

- eine Bestandsanalyse der Wärmeverbräuche (Status Quo)
- eine Potenzialanalyse zur Nutzung erneuerbarer Energien
- die Entwicklung eines Zielszenarios
- die Einteilung des beplanten Gebiets in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete sowie die Darstellung und Ausweisung der Wärmeversorgungsarten sowie
- die Entwicklung einer Umsetzungsstrategie mit konkreten Umsetzungsmaßnahmen.

Dazu werden weitere und vertiefte Erhebungen, Analysen, Modellierungen, Simulationen, Kostenberechnungen und andere Untersuchungen wie Machbarkeitsstudien zu Wärme-, Strom- & Erdgasnetzen, Wärmeerzeugungs- und speicher-Infrastruktur erforderlich sein.

Nicht zuletzt wird die Beteiligung der Öffentlichkeit ein zentraler Baustein der Kommunalen Wärmeplanung sein.

In der Planung werden zudem übergeordnete Planungen des Bundes und des Landes berücksichtigt werden, wie zum Beispiel die noch in Überarbeitung befindliche Nationale Wasserstoffstrategie sowie die Nationale Biomassestrategie.