Abschlussbericht für den Transformationsplan in Duderstadt

nach Vorgaben der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze

BEW Modul 1



Eichsfelder Blockheizkraftwerk und Bädergesellschaft

mbH (EBB)

Ersteller: Tilia GmbH

März 2026

Executive Summary

Die Eichsfelder Blockheizkraftwerk und Bädergesellschaft mbH (EBB) betreibt in Duderstadt ein bestehendes Wärmenetz zur Versorgung des Wohngebiets „Über dem Siebigsbach“ sowie des Schulzentrums „Auf der Klappe“. Vor dem Hintergrund der gesetzlichen Anforderungen des Wärmeplanungsgesetzes (WPG), sowie der Zielsetzung einer treibhausgasneutralen Wärmeversorgung bis spätestens 2045, wurde für das Wärmenetz ein Transformationsplan gemäß den Mindestanforderungen der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW), Modul 1, erarbeitet. Der vorliegende Transformationsplan dient als strategische Voruntersuchung und Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Ausrichtung, Erweiterung und Dekarbonisierung des Wärmenetzes. Er zeigt auf wie das bestehende derzeit fossil dominierte Versorgungssystem schrittweise technisch und wirtschaftlich tragfähig in ein treibhausgasneutrales Wärmenetz überführt werden kann.

Ausgangspunkt bildet eine umfassende Ist-Analyse des Untersuchungsgebiets, des Wärmenetzes sowie der bestehenden Wärmeerzeugung. Im Jahr 2024 wird die Wärmeversorgung vollständig durch fossile Erzeuger bereitgestellt. Der bilanziell ermittelte Primärenergieeinsatz und der CO_2-Emissionsfaktor spiegeln diesen Ausgangszustand wider und dienen als Referenz für die Bewertung der Transformationsmaßnahmen. Gleichzeitig zeigt die Analyse, dass das bestehende Netz hydraulisch gut ausgelegt ist und eine belastbare Grundlage für den weiteren Ausbau sowie die Integration erneuerbarer Wärmeerzeugung bietet. Darauf aufbauend wurde eine systematische Potenzialanalyse erneuerbarer Energien und nutzbarer Abwärme durchgeführt. Untersucht wurden unter anderem Solarthermie und PVT, oberflächennahe Geothermie, Umweltwärme aus Luft, Power-to-Heat-Systeme sowie KWK-Optionen. Potenziale, die technisch oder wirtschaftlich nicht sinnvoll nutzbar sind, wurden transparent geprüft und begründet ausgeschlossen. Die Analyse zeigt, dass insbesondere strombasierte Technologien ein hohes und standortgerecht nutzbares Potenzial für die zukünftige Wärmeversorgung darstellen.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurde eine Vorzugsvariante für den Soll-Zustand des Wärmenetzes entwickelt. Der Transformationspfad sieht einen schrittweisen Umbau des Erzeugerparks hin zu einem überwiegend auf erneuerbaren Energien basierenden und stromseitig integrierten Erzeugungssystem vor. Bereits bis zum Jahr 2030 wird ein signifikanter Anteil erneuerbarer Energien erreicht, während bis 2045 die vollständige Umstellung auf eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung vorgesehen ist. Der Primärenergieeinsatz sowie die bilanziellen CO_2-Emissionen werden dabei gemäß Stromgutschriftmethode vollständig reduziert.

Parallel zur technischen Konzeption wurde ein Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrahmen erarbeitet, der zeigt, dass die Umsetzung der Vorzugsvariante unter realistischen Annahmen grundsätzlich wirtschaftlich tragfähig ist. Die wesentlichen Einflussgrößen wurden identifiziert und im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse bewertet.

Der geplante Netzausbau erfolgt schrittweise und orientiert sich an der Einbindung von Ankerkunden sowie an wirtschaftlich tragfähigen Anschlussquoten. Ergänzend wurden Maßnahmen zur Bürgereinbindung, Akzeptanzsteigerung und Akquise beschrieben, welche die bereits begonnene Öffentlichkeitsarbeit fortführen und durch eine gezielte Ansprache potenzieller Anschlussnehmer ergänzen. Insgesamt erfüllt der Transformationsplan die Anforderungen an eine förderfähige Voruntersuchung nach BEW-Modul 1 vollständig. Er bildet die fachliche, technische und wirtschaftliche Grundlage für die weiteren Planungsleistungen sowie für die anschließende Beantragung der Projektumsetzung im Rahmen von BEW-Modul 2 und unterstützt die EBB Duderstadt bei der langfristigen, klimaneutralen und strukturiert umsetzbaren Weiterentwicklung ihres Wärmenetzes.

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary 2

Abbildungsverzeichnis 4

Tabellenverzeichnis 5

Einleitung 6

1. IST-Analyse des Untersuchungsgebietes 7

1.1. Wärmeverbrauchs – und Bedarfsermittlung 7

1.2. IST-Analyse des Wärmenetzes 8

1.3. IST-Analyse der Wärmeerzeugung 13

2. Potenzialermittlung erneuerbarer Energien und Abwärme 15

2.1. Solarthermie / PVT 15

2.2. Oberflächennahe Geothermie 16

2.3. Aquathermie 18

2.4. Abwasser-Abwärme 18

2.5. Luft-Wärmepumpe 18

2.6. Biomasse 19

2.7. Abwärme 20

2.8. Innovative Kraft-Wärme-Kopplung (iKWK) 20

2.9. Zusammenfassung 22

3. SOLL-Analyse des geplanten Netzausbaus 24

3.1. SOLL-Abnehmer 24

3.2. SOLL-Erzeuger 25

3.3. SOLL-Netz 26

3.4. Primärenergieeinsparung und CO_2-Emissionen 29

4. Kostenrahmen 30

4.1. Investitionskosten, betriebsbedingte und verbrauchs-bedingte Kosten 30

4.2. Wärmelieferpreis und Wirtschaftlichkeitsberechnung 31

4.3. Risikoanalyse 31

5. Zeit- und Ressourcenplan 33

6. Pfad zur Treibhausgasneutralität 34

7. Maßnahmen zur Bürgereinbindung und Stärkung der Akzeptanz sowie Akquise 35

8. Weitere Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung 36

9. Fazit 38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte des Wärmenetzgebiets (Erweiterung und Bestand) Duderstadt. ...7
Abbildung 2: Darstellung der Temperaturverläufe von Vorlauf und Rücklauf des Primärnetzes, sowie des Differenzdrucks im Zeitraum vom 28.11.2024 bis zum 27.11.2025 9
Abbildung 3: Darstellung der Temperaturverläufe von Vorlauf und Rücklauf des Sekundärnetzes, sowie des Differenzdrucks im Zeitraum vom 28.11.2024 bis zum 27.11.2025 10
Abbildung 4: Darstellung der Wärmeerzeugung der BHKWs und der Wärmeeinspeisung an der Energiezentrale insgesamt im Zeitraum vom 28.11.2024 bis zum 27.11.2025. Die Differenz wird durch die Wärmeerzeugung der Erdgas-Heizkessel und den Wärmespeicher ausgeglichen 10
Abbildung 5: Übersicht Trassen Bestandsnetze.....11
Abbildung 6:Trassenlängen des Bestands-Fernwärmenetzes im Untersuchungsgebiet aufgeschlüsselt nach Nenndurchmesser (DN).....12
Abbildung 7: Darstellung des Versorgungsgebietes (rot), des Erweiterungsgebietes (grün) und der Potenzialfläche Solarenergie (violett) 16
Abbildung 8: Potenzialfläche (rot) für die Luft-Wärmeübertrager-Einheiten einer Luft-Wärmepumpe auf dem Dach der zukünftigen Energiezentrale (Quelle: Google Earth).....19
Abbildung 9: Grobdimensionierung einer iKWK-Anlage 21
Abbildung 10: Mindestausbau des Wärmenetzes (ohne Bestandsleitungen aber mit möglichem Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Energiezentrale) 27
Abbildung 11: Im Mindestausbau erforderliche Neubau- und Ersatzleitungslängen aufgeteilt nach Nenndurchmesser 27
Abbildung 12: Für die Erschließungsplanung berücksichtigte Netzgebietsabschnitte, für die jeweils die zur Erschließung erforderliche Netzlänge und Wärme-Abnahmepotenziale bestimmt wurden und daraus die Wärmeliniendichte abgeleitet wurde.....28
Abbildung 13: Finanzierungskonzept 31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der an das Bestandswärmenetz angeschlossenen Gebäude nach Nutzungsart, Wohneinheiten und Übergabestationen 8
Tabelle 2: Wärmemengen und Netzverluste für die Betriebsjahre 2022 bis 2024 9
Tabelle 3: Übersicht der bestehenden Wärmeerzeugungsanlagen mit installierten Leistungen, Energieträgern und erzeugten Wärmemengen im Ist-Zustand 2024: 13
Tabelle 4: Gegenüberstellung von Betriebsdaten, Gasverbrauch und resultierenden Wirkungsgraden der bestehenden Blockheizkraftwerke in den Jahren 2023 und 2024. 14
Tabelle 5: Abschätzung der potenziellen Erträge aus PV- und PVT-Anlagen. 16
Tabelle 6: Abschätzung der potenziellen Erträge aus Geothermie 17
Tabelle 7: Identifizierte nutzbare Potenziale 22
Tabelle 8: Nicht nutzbare Potenziale mit Ausschlussgrund 22
Tabelle 9: Übersicht über den Erzeugerpark mit thermischer Leistung (P_{th}) und Wärmemengen (Q_{th}) für das Zielbild einer treibhausgasneutralen Versorgung bis zum Jahr 2045 26
Tabelle 10: Potenzielle Trassenabschnitte mit zugehörigem Wärmebedarf, Trassenlängen und Wärmeliniendichte (WLD) 28
Tabelle 11: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien (EE), des Primärenergieeinsatzes (PE) und des CO_2-Emissionsfaktors gemäß Stromgutschriftmethode im Zeitverlauf bis 2045. 29
Tabelle 12: Zusammenfassung notwendige Investitionen zur Erreichung des Soll-Zustandes 30
Tabelle 13: Parameter der Sensitivitätsanalyse 32
Tabelle 14: Potenzieller Zeitplan für die weitere Projektimplementierung 33
Tabelle 15: Pfad zur Treibhausneutralität mit Angabe der jeweiligen thermischen Leistungen (P_{th}) und Wärmemengen (Q_{th}). 34

Einleitung

Bis zum Jahr 2045 soll die Energieversorgung in Deutschland klimaneutral erfolgen. Der Klimaschutzplan der Bundesregierung sieht bis zum Jahr 2030 eine Minderung der Treibhausgasemissionen (THG) um 65 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 vor. Um diese Zielstellung zu erreichen ist es unerlässlich, dass kommunale Energiesysteme und deren Infrastrukturen grundlegende Änderungen erfahren.

Die EBB betreibt in Duderstadt ein Wärmenetz zur Versorgung des Wohngebiets „Über dem Siebigsbach“ und des Schulzentrums „Auf der Klappe“. Im Zuge aktueller Überlegungen zur Erweiterung des Bestandsnetzes und dem Anschluss neuer Abnehmer wird aktuell ein Transformationsplan nach den Vorgaben des BEW-Modul 1 zur Bereitstellung klimaneutraler Wärme bis 2045 erstellt. Damit soll das Wärmenetz einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in Duderstadt leisten.

Mit der Erstellung des Transformationsplanes werden, unter Beachtung relevanter städtebaulicher, genehmigungsrechtlicher und förderspezifischer Aspekte, die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit der Transformation und Erweiterung des Wärmenetzes aufgezeigt und konkrete Maßnahmen auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität benannt. Die Studie dient als zentrale strategische Entscheidungsgrundlage und Planungshilfe im Hinblick auf die Realisierung einer möglichen Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes, der damit einhergehenden Investitionsplanungen für die Versorgung des benachbarten Quartiers und für Entscheidungen über die künftige Eigentümer- und Betreiberstruktur.

Im Rahmen des vorliegenden Berichts wird zunächst der bestehende Zustand des Untersuchungsgebiets und des bestehenden Wärmenetzes beschrieben, einschließlich Wärmebedarf, Wärmenetz und Wärmeerzeugung (IST-Analyse). Darauf folgt die systematische Untersuchung des Potenzials erneuerbarer Energien und nutzbarer Abwärme. Auf dieser Grundlage wird der angestrebte Zielzustand der Abnehmerstruktur und des Wärmenetzes mit dem zugehörigen Transformationspfad bis zur Treibhausgasneutralität dargestellt. Ergänzend werden der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrahmen, der Zeit- und Ressourcenplan sowie Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung und Effizienzverbesserung erläutert. Der Bericht schließt mit einem Fazit und einem Anhang.

1. IST-Analyse des Untersuchungsgebietes

Im folgenden Kapitel wird der aktuelle Zustand des Untersuchungsgebiets als Ausgangsbasis für die weitere Planung dargestellt. Hierzu werden das Untersuchungsgebiet, die bestehenden Abnehmerstrukturen sowie das vorhandene Wärmenetz und die aktuelle Wärmeerzeugung beschrieben. Die IST-Analyse bildet die fachliche Grundlage für die anschließende Bewertung von Potenzialen und die Ableitung des zukünftigen Zielzustands des Wärmenetzes.

1.1. Wärmeverbrauchs – und Bedarfsermittlung

Das Wärmenetz befindet sich im Südosten der Stadt (Abbildung 1) und versorgt aktuell sowohl das Schulzentrum „Auf der Klappe“ sowie das Wohngebiet „Über dem Siebigsbach“.

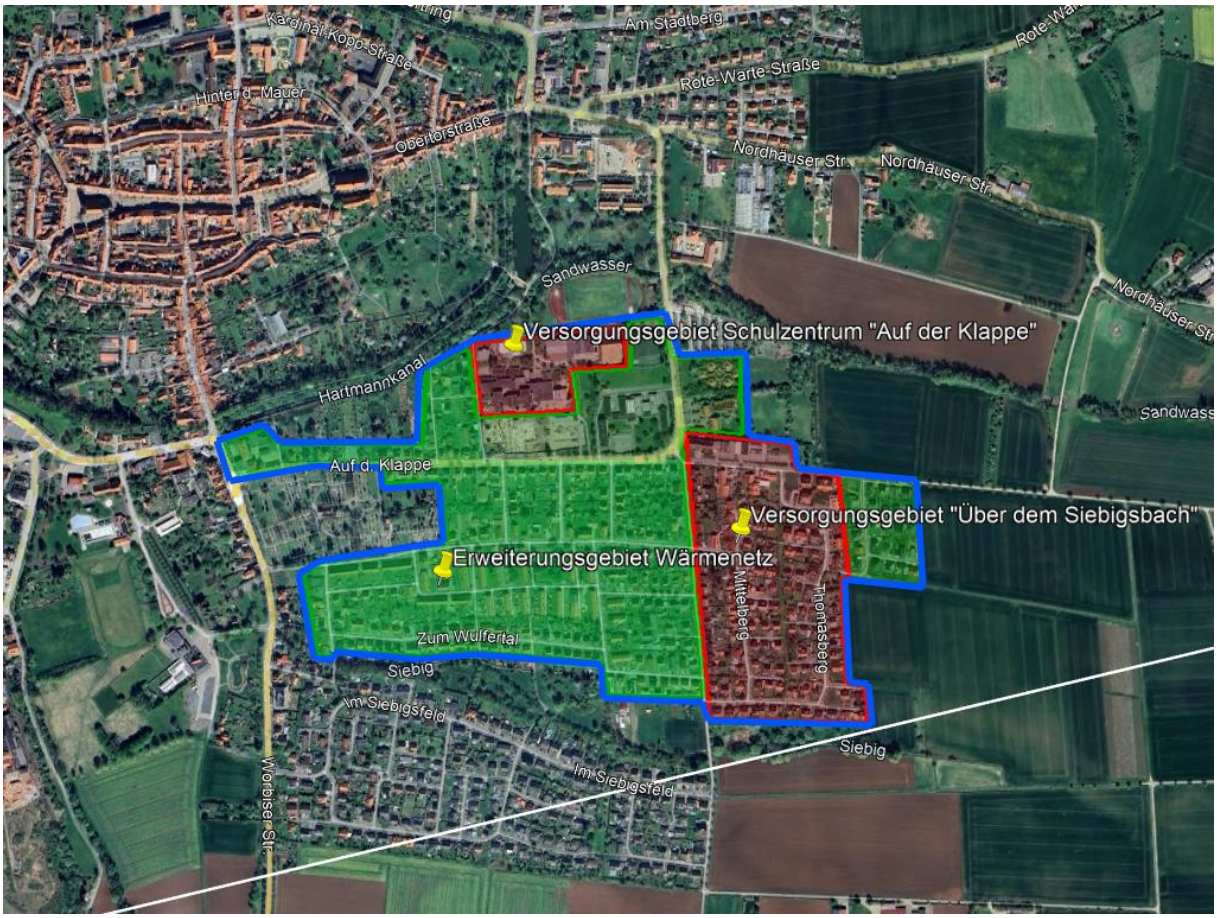

Abbildung 1: Übersichtskarte des Wärmenetzgebiets (Erweiterung und Bestand) Duderstadt.

In Abbildung 1 ist das Untersuchungsgebiet mit den beiden Versorgungsgebieten dargestellt. Ebenso ist auch das geplante Erweiterungsgebiet des Wärmenetzes in grüner Farbe eingezeichnet. Im gesamten Untersuchungsgebiet sind 351 Gebäude verortet. Nachfolgend gibt Tabelle 1 eine Übersicht über die Art und die Anzahl der am Bestandsnetz angeschlossenen Gebäude.

Tabelle 1: Übersicht der an das Bestandswärmenetz angeschlossenen Gebäude nach Nutzungsart, Wohneinheiten und Übergabestationen

Art des Gebäudes	Anzahl der Gebäude	Anzahl der Wohneinheiten	Bestands-kunden	Anzahl der Übergabestationen
Schule	6	0	6	5
Wohngebäude	104	104	104	104
Gesamtergebnis	110	104	110	109

1.2. IST-Analyse des Wärmenetzes

Das Bestandsnetz hat eine Trassenlänge von rund 4,2 km und versorgt die 110 Hausanschlüsse. Die Verlegung erfolgte im gesamten Bestandsnetz unter Straßen, Wegen und teilweise Grünflächen. Das Wärmenetz wurde im Jahr 1989 im Bereich des Schulzentrums erbaut. In den Jahren 1995-2001 wurde dann das Wohngebiet schrittweise angeschlossen. Einzelne Leitungen wurden teilweise in den Jahren 2005 und 2014 ersetzt.

In den vergangenen zwanzig Jahren wurden am Fernwärmenetz mehrere wesentliche Modernisierungsmaßnahmen umgesetzt. Bereits im Jahr 2011 erfolgte eine umfassende Erneuerung der Heizzentrale im Schulzentrum. Dabei wurden zwei Blockheizkraftwerke installiert, ein neuer Vorlaufverteiler sowie ein Rücklaufsammler in der Nennweite DN 250 eingebaut und sowohl eine Nachspeisestation mit integrierter Druckhaltung als auch eine moderne Wasseraufbereitungstechnik ergänzt.

Im Jahr 2023 wurde zudem eine 900-kW-Übergabestation vor dem Verteilnetz des angrenzenden Wohngebiets eingerichtet. Diese ermöglicht es, die Vorlauftemperatur des Wohngebiets unabhängig vom Netz des Schulgeländes zu regeln, wodurch die Netzverluste deutlich reduziert werden konnten. Der Effekt der Maßnahme ist deutlich in der Entwicklung der Wärmeverluste zu sehen (vgl. Tabelle 1).

Zur weiteren Verbesserung der Betriebsqualität wurde 2025 eine mobile Filteranlage in Betrieb genommen, die eine dauerhaft hohe Wasserqualität im Netz sicherstellt. Das Bestandsnetz ist auf eine Vorlauftemperatur von bis zu 90 °C ausgelegt und einer Temperaturspreizung von 30 K.

Zwei Wärmespeicher mit einem jeweiligen Fassungsvermögen von 9,4 m^3 puffern die kontinuierliche Wärmeproduktion der Blockheizkraftwerke gegenüber dem schwankenden Wärmebedarf im Netz und sind kaskadiert verschaltet. Dadurch wird die Anzahl der Ab- und Anfahrvorgänge der BHKW deutlich reduziert. Die vorhandenen Heizkessel sind jedoch nicht an die Wärmespeicher angebunden.

Seit dem Jahr 2025 wird das bisherige BHKW 1 durch ein Kompaktmodul des Typs Sokratherm GG 260 betrieben. Das GG 260 weist dieselben thermischen und elektrischen Leistungsparameter wie das zuvor eingesetzte GGF 237 auf, da weder der Netzanschluss noch die Feuerungswärmeleistung verändert wurden. Die elektrische Leistung beträgt weiterhin 263 kW, die thermische Leistung 394 kW, sodass das Modul ohne relevante Unterschiede in die bestehende Erzeugungsstruktur integriert ist.

Aus den Wärmemengen der Betriebsjahre 2022 bis 2024 können die Netzverluste errechnet werden, wie in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Wärmemengen und Netzverluste für die Betriebsjahre 2022 bis 2024

Jahr	2022	2023	2024
Erzeugte Wärmemenge in kWh	3.697.897	3.036.350	3.066.965
Verkaufte Wärmemenge in kWh	2.552.473	2.364.383	2.333.626
Netzverluste in kWh	1.145.424	671.967	733.339
Netzverluste in % der erzeugten Wärmemenge	31,0%	22,1%	23,9%

In Abbildung 2 und Abbildung 3 sind die gemessenen Temperaturverläufe der Vor- und Rücklauftemperaturen sowie der Differenzdruck im Sekundär- bzw. Primärnetz für den Verlauf eines Jahres dargestellt.

Die Auswertung der gemessenen Vor- und Rücklauftemperaturen zeigt, dass im Sommerbetrieb im Sekundärnetz eine reduzierte Vorlauftemperatur erkennbar ist. Dies weist auf einen angepassten Betrieb bei geringerem Wärmebedarf hin. Im Primärnetz hingegen bewegt sich die Vorlauftemperatur über den betrachteten Zeitraum auf einem weitgehend ähnlichen Temperaturniveau und weist keine ausgeprägte saisonale Absenkung auf.

Dies deutet darauf hin, dass temperaturseitige Optimierungen bislang überwiegend auf der sekundären Netzebene erfolgen. Eine gezielte und bedarfsabhängige Absenkung der Vorlauftemperatur auch im Primärnetz, insbesondere im Sommerbetrieb, stellt daher einen potenziellen Ansatz zur Effizienzsteigerung dar. Durch eine Reduktion des Temperaturniveaus könnten die Wärmeverluste im Primärnetz verringert und der Netzbetrieb insgesamt optimiert werden.

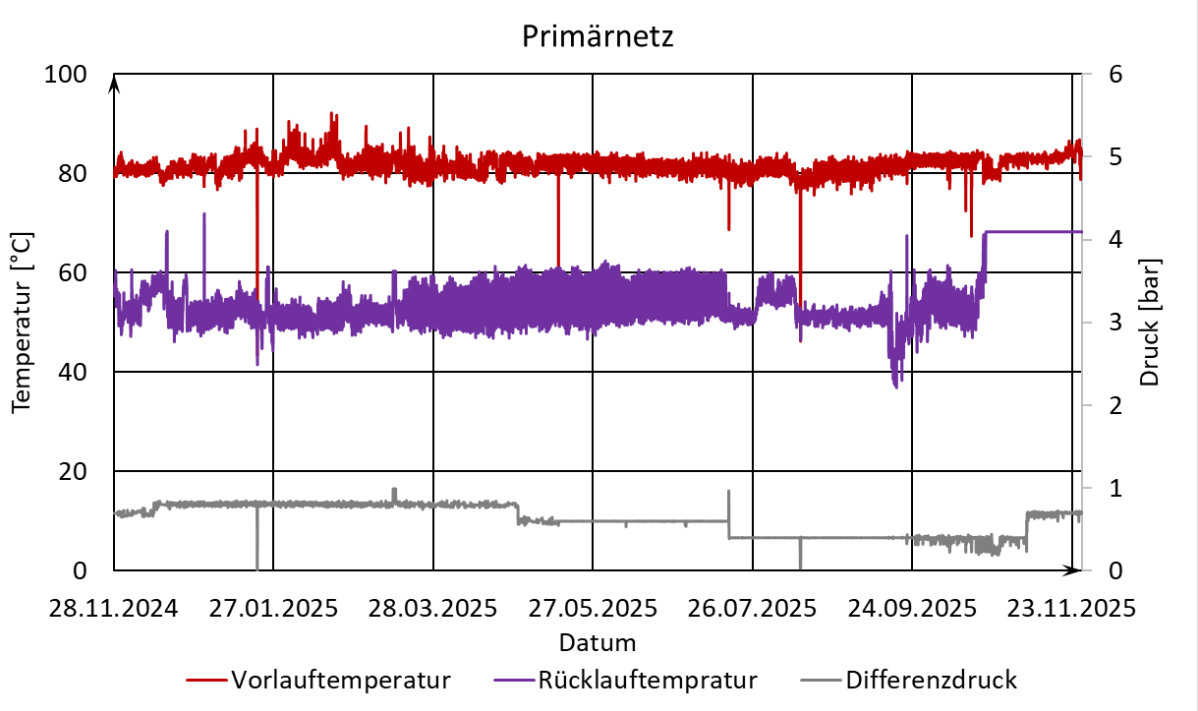

Abbildung 2: Darstellung der Temperaturverläufe von Vorlauf und Rücklauf des Primärnetzes, sowie des Differenzdrucks im Zeitraum vom 28.11.2024 bis zum 27.11.2025

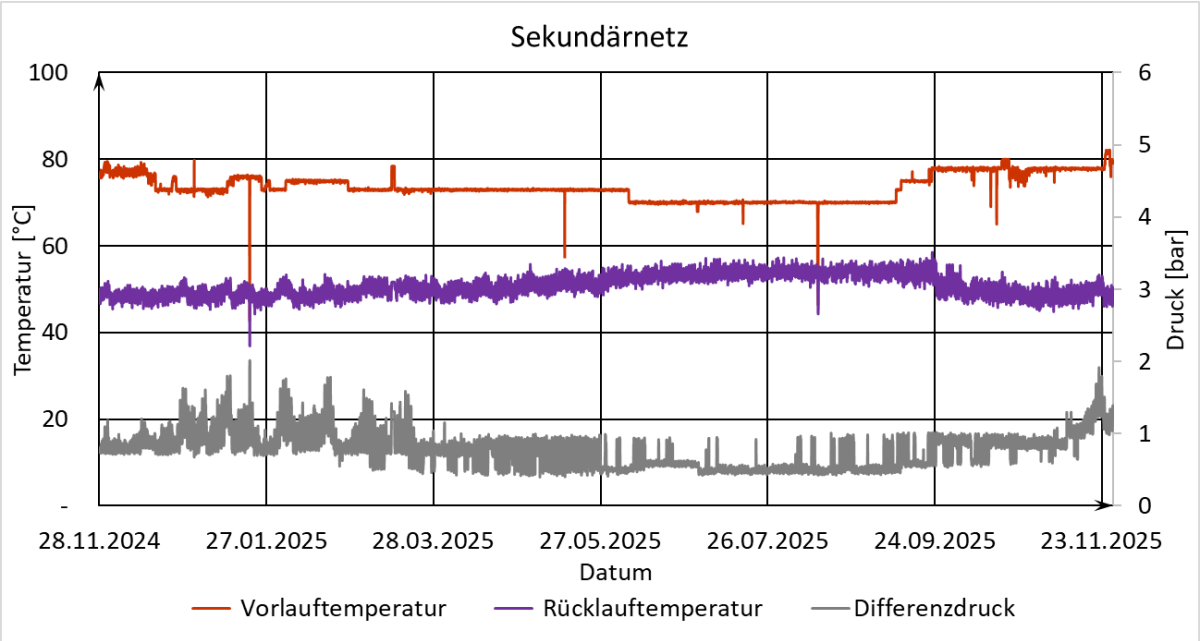

Abbildung 3: Darstellung der Temperaturverläufe von Vorlauf und Rücklauf des Sekundärnetzes, sowie des Differenzdrucks im Zeitraum vom 28.11.2024 bis zum 27.11.2025

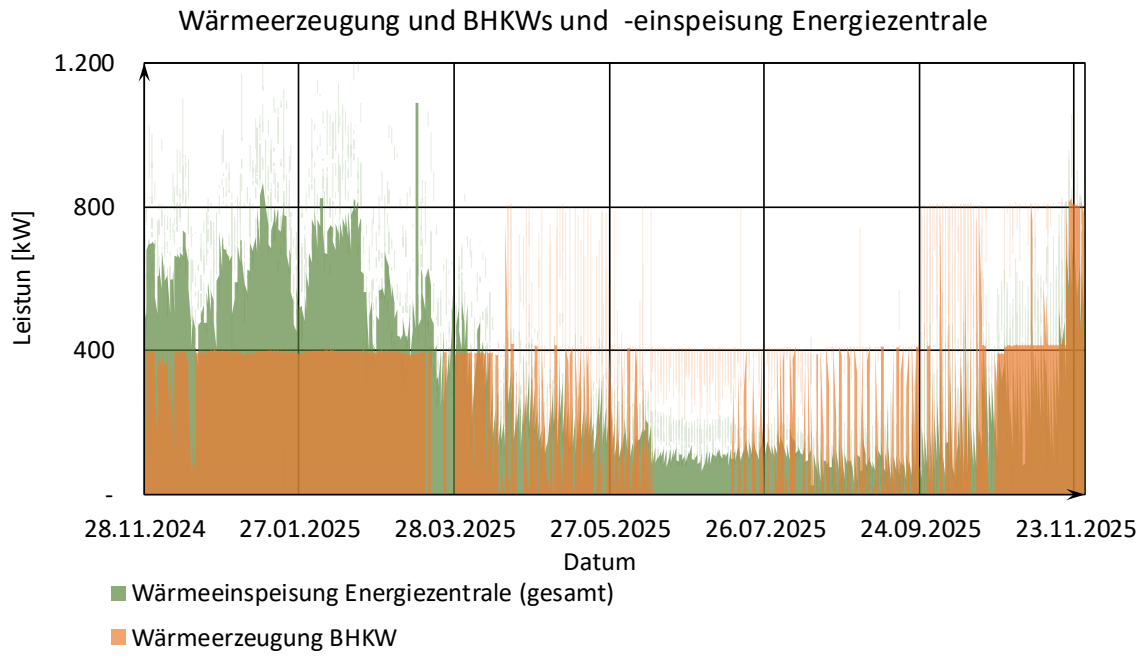

Abbildung 4: Darstellung der Wärmeerzeugung der BHKWs und der Wärmeeinspeisung an der Energiezentrale insgesamt im Zeitraum vom 28.11.2024 bis zum 27.11.2025. Die Differenz wird durch die Wärmeerzeugung der Erdgas-Heizkessel und den Wärmespeicher ausgeglichen

Die bestehende Wärmezentrale wird verlegt und im Zuge dessen vollständig neu strukturiert. Die bisherige Erzeugung, bestehend aus zwei Blockheizkraftwerken und drei Kesseln, wird durch ein modernes, effizientes Anlagenkonzept ersetzt. Am Standort des ehemaligen Hallenbads entsteht eine neue Energiezentrale, die aus einem hocheffizienten Blockheizkraftwerk, einer Wärmepumpe sowie einer Power-to-Heat-Anlage besteht. Durch diese Neuaufstellung wird sowohl die Systemeffizienz gesteigert als auch die Flexibilität im Zusammenspiel verschiedener Erzeugungstechnologien deutlich verbessert.

In Duderstadt zeigt sich bei den Wärmeleitungen eine hohe bauliche Heterogenität, insbesondere im Hinblick auf die eingesetzte Dämmung. Die vorliegenden Leitungsabschnitte weisen sehr unterschiedliche Dämmstärken auf, die von minimal 21,5 mm bis maximal 66,8 mm reichen, mit einem durchschnittlichen Wert von 33,4 mm. Diese Streuung deutet auf eine Mischung verschiedener Bau- und Sanierungsjahre sowie unterschiedlicher Leitungstypen hin. Während ältere Abschnitte oft geringere Dämmstärken aufweisen, wurden in neueren Teilstrecken tendenziell stärkere Isolierungen verbaut, um Wärmeverluste zu reduzieren und die Energieeffizienz des Netzes zu verbessern. Die Variabilität der Dämmung ist daher ein wichtiger Faktor für hydraulische und thermische Bewertungen des Duderstädter Wärmenetzes und sollte bei zukünftigen Optimierungs- oder Sanierungsmaßnahmen gezielt berücksichtigt werden.

Aus den Unterlagen zum Duderstädter Wärmenetz geht hervor, dass es sich, wie im kommunalen und quartiersbezogenen Wärmenetzausbau üblich, um ein Zweileiter-System handelt.

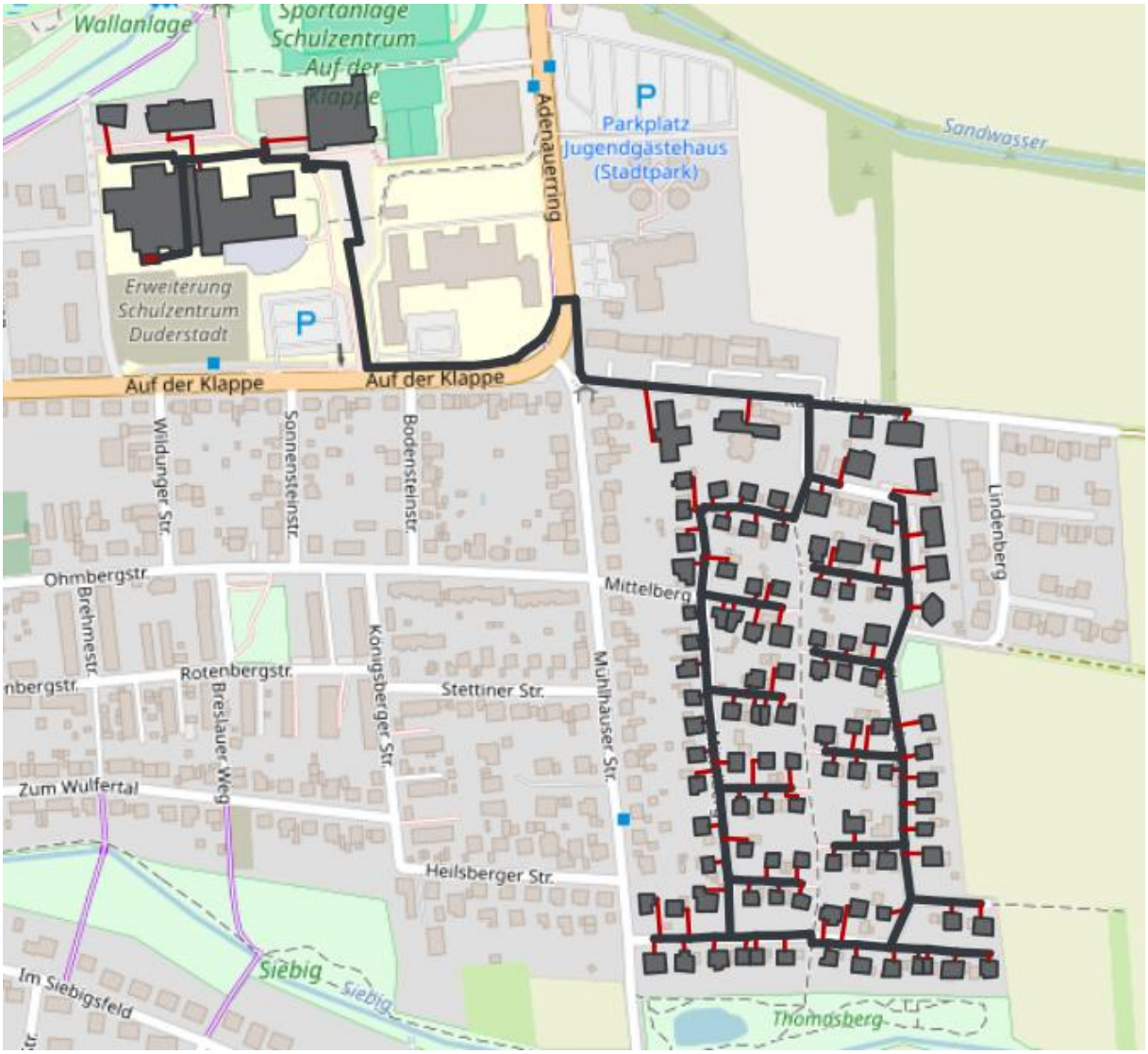

Abbildung 5: Übersicht Trassen Bestandsnetze

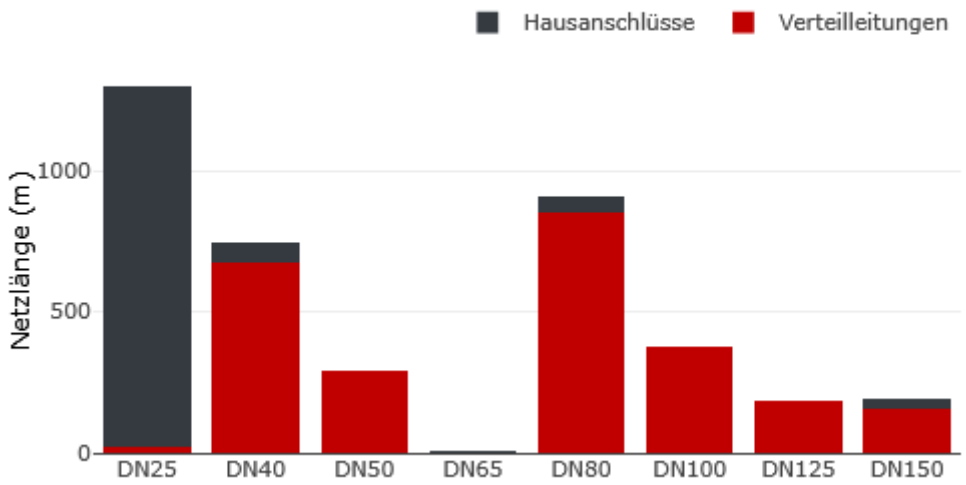

Abbildung 6:Trassenlängen des Bestands-Fernwärmenetzes im Untersuchungsgebiet aufgeschlüsselt nach Nenndurchmesser (DN).

Die Gesamtlänge des Netzes beträgt 4.200 m.

- Anteil Primärnetz: 943 m
- Anteil Sekundärnetz: 3.257 m

Druckverlust Primärnetz

Der spezifische Druckverlust des Wärmenetzes beträgt 65,88 Pa/m und liegt damit im Bereich moderner, hydraulisch gut ausgelegter Wärmenetze. Im Vergleich zu typischen Bestandsnetzen mit Druckverlusten von 80–150 Pa/m ist der Wert als überdurchschnittlich effizient zu bewerten. Gleichzeitig zeigt der Vergleich mit Best-Practice-Netzen (<30 Pa/m), dass mittelfristig weiteres Optimierungspotenzial besteht, insbesondere im Hinblick auf eine Reduzierung des Pumpenergiebedarfs und die Vorbereitung eines zukünftigen Niedertemperaturbetriebs.

Druckverlust Sekundärnetz:

Der hydraulische Zustand des Wärmenetzes wird über den spezifischen Druckverlust Δp/L bewertet. Für das betrachtete Netz ergibt sich bei einem gemessenen Druckverlust von 0,775 bar über eine Leitungslänge von 3.257 m ein spezifischer Druckverlust von rund 24 Pa/m.

Im Vergleich zu etablierten Benchmark-Werten für Wärmenetze liegt dieser Wert deutlich unterhalb der in der Praxis üblichen Bandbreite. Moderne kommunale Wärmenetze weisen typischerweise spezifische Druckverluste von 30–80 Pa/m auf, während Bestandsnetze häufig Werte von 80–150 Pa/m erreichen. Werte unter 30 Pa/m gelten als Best-Practice und werden in der Regel nur bei sehr gut dimensionierten und hydraulisch optimierten Netzen erzielt.

Mit einem spezifischen Druckverlust von 24 Pa/m befindet sich das untersuchte Wärmenetz somit im oberen Effizienzbereich vergleichbarer Netze. Der geringe Druckverlust weist auf eine günstige Rohrdimensionierung, eine gleichmäßige hydraulische Auslegung sowie einen niedrigen Pumpenergiebedarf hin. Dies stellt eine sehr gute Ausgangsbasis für die Transformation des Wärmenetzes dar, insbesondere im Hinblick auf einen zukünftigen Betrieb mit niedrigeren Netztemperaturen und einem erhöhten Anteil erneuerbarer Wärmeerzeugung.

1.3. IST-Analyse der Wärmeerzeugung

Die aktuelle Wärmeerzeugung basiert auf einer Kombination aus zwei erdgasbetriebenen Blockheizkraftwerken sowie drei konventionellen Kesseln mit Zweistoffbrennern (Erdgas/Heizöl). Im Jahr 2024 wurde insgesamt eine Wärmemenge von 3.067 MWh erzeugt.

Den größten Beitrag zur Wärmebereitstellung leisten die beiden BHKW des Typs Sokratherm-GG237 und GG260. Mit jeweils 239 kW_{el} und 378 kW_{th} stellen sie zusammen 2.119 MWh Wärme bereit, was einem Anteil von 71,4 % an der gesamten Jahreswärme entspricht. Die BHKW sind damit das tragende Element der aktuellen Versorgung und bilden aufgrund ihres hohen Nutzungsgrades und der gleichzeitigen Stromerzeugung das Effizienzfundament des bestehenden Systems.

Ergänzend zu den BHKW sind drei Viessmann Vitoplex 200 Heizkessel mit einer jeweiligen thermischen Leistung von 900 kW installiert. Diese Anlagen sind mit Zweistoffbrennern ausgestattet, sodass sowohl Erdgas als auch Heizöl eingesetzt werden kann, was eine gewisse Versorgungssicherheit bietet. Im Jahr 2024 lieferten die Kessel zusammen 878 MWh Wärme, was einem Anteil von 28,6 % an der gesamten Wärmeerzeugung entspricht. Die Kessel fungieren hauptsächlich als Spitzen- und Redundanzlastkessel.

Insgesamt zeigt die Analyse, dass das heutige Wärmeerzeugungssystem stark auf fossile Energieträger angewiesen ist und nur einen begrenzten Anteil flexibler Zweistoffnutzung aufweist. Die hohe Laufzeit der BHKW deutet auf eine bisher wirtschaftlich optimierte Betriebsweise hin, zugleich aber auf einen Modernisierungs- und Transformationsbedarf, insbesondere im Hinblick auf Dekarbonisierung und zukünftige regulatorische Anforderungen.

Tabelle 3: Übersicht der bestehenden Wärmeerzeugungsanlagen mit installierten Leistungen, Energieträgern und erzeugten Wärmemengen im Ist-Zustand 2024:

	elektrische Leistung [kW_{el}]	**thermische Leistung [kW_{th}]**	**Energie-träger**	**Erzeugte Wärme-menge 2024 [MWh]**	**Anteil an der Wärme-erzeugung 2024**	**Modell**
BHKW 1	239	378	Erdgas	2.119	71,4 %	Sokratherm GG 237
BHKW 2	239	378	Erdgas			Sokratherm GG 237
Kessel mit Zweistoff-brenner 1	-	900	Erdgas/ Heizöl	878	28,6 %	Viessmann Vitoplex 200
Kessel mit Zweistoff-brenner 2	-	900	Erdgas/ Heizöl			Viessmann Vitoplex 200
Kessel mit Zweistoff-brenner 3		900	Erdgas/ Heizöl			Viessmann Vitoplex 200
Summe	478	3.456		3.067	100%	

Im Jahr 2024 weist das Wärmenetz einen bilanziellen Primärenergieeinsatz von 2.462 MWh/a auf, was einem Primärenergiefaktor von 0,89 entspricht - ermittelt nach der Stromgutschriftmethode. Der daraus resultierende spezifische CO_2-Faktor beträgt 36 g CO_2/kWh. Diese Kennwerte spiegeln den fossil geprägten Ausgangszustand der Wärmeerzeugung wider und bilden die

Referenzbasis für die Bewertung der im Transformationsplan vorgesehenen Dekarbonisierungsmaßnahmen.

Tabelle 4: Gegenüberstellung von Betriebsdaten, Gasverbrauch und resultierenden Wirkungsgraden der bestehenden Blockheizkraftwerke in den Jahren 2023 und 2024.

	2024		2023	
	BHKW1	BHKW2	BHKW1	BHKW2
Strom [MWh]	1.098	204	562	654
Wärme [MWh]	1.855	334	947	1.069
Gas [MWh]	3.767	681	1.948	2.192
Wirkungsgrad Strom	29%	30%	29%	30%
Wirkungsgrad Wärme	49%	49%	49%	49%
Wirkungsgrad gesamt	78%	79%	77%	79%

Die im Betrieb gemessenen Wirkungsgrade von ca. 30 % elektrisch und ca. 49 % thermisch liegen spürbar unter den im Datenblatt angegebenen Referenzwerten (ca. 35 % elektrisch und 55–58 % thermisch). Daraus ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von rund 79 %, der unterhalb des für hocheffiziente KWK-Anlagen typischen Bereichs liegt.

Die Abweichung ist jedoch nicht grundsätzlich als technisch kritisch zu bewerten. Vielmehr deutet sie auf betriebsbedingte Einschränkungen hin, insbesondere auf eine nicht durchgehend optimale Wärmenutzung sowie auf Betriebsphasen außerhalb des Volllastpunkts. Unter realen Einsatzbedingungen ist eine Reduktion des elektrischen Wirkungsgrades um mehrere Prozentpunkte gegenüber dem Datenblattwert als systemtypisch anzusehen.

Der thermische Wirkungsgrad von 49 % weist darauf hin, dass ein Teil der potenziell nutzbaren Abwärme nicht vollständig in das Wärmenutzungssystem eingebunden ist. Dies kann beispielsweise durch erhöhte Rücklauftemperaturen, zeitweise fehlende Wärmesenken verursacht sein. In diesen Fällen wird zwar weiterhin Strom erzeugt, die Gesamtenergieeffizienz der Anlage sinkt jedoch.

In der Gesamtbetrachtung ist der reale Gesamtwirkungsgrad von etwa 79 % noch im akzeptablen Bereich für Bestandsanlagen, liegt jedoch unterhalb des technisch und wirtschaftlich sinnvollen Optimums. Für den Transformationsplan ergibt sich daraus kein konkreter Handlungsbedarf, insbesondere deshalb, da ein perspektivischer Ersatz der Anlagen vorgesehen ist.

2. Potenzialermittlung erneuerbarer Energien und Abwärme

Im Rahmen der Erarbeitung des Transformationsplanes für das Wärmenetz in Duderstadt wird eine umfassende Potenzialanalyse erneuerbarer Energien und nutzbarer Abwärme durchgeführt. Hierfür werden sämtliche relevanten Wärmequellen, darunter Solarthermie, Geothermie sowie Umweltwärme aus Luft, Erdreich, Fluss- oder Abwasser, systematisch untersucht und geografisch zugeordnet. Die Analyse umfasst sowohl das theoretische Angebot als auch die prüfbaren Rahmenbedingungen wie Standortverfügbarkeit, Flächenbedarf, technische Eignung, Genehmigungsfähigkeit und infrastrukturelle Voraussetzungen. Abschließend wird sich dann auf das tatsächlich realisierbare Potenzial konzentriert, welches unter Berücksichtigung lokaler Restriktionen, hydraulischer und geologischer Gegebenheiten bewertet wird. Die Ergebnisse werden anschließend beschrieben und in tabellarischer Form zusammengeführt, um eine transparente Grundlage für die weiteren Planungsschritte zu schaffen.

2.1. Solarthermie / PVT

Solarthermie stellt eine gute Möglichkeit zur Wärmebereitstellung.

Im Rahmen der Prüfung der Nutzbarkeit von Solarthermie wurde zunächst ermittelt, auf welchen Flächen diese nutzbar gemacht werden können. Als potenzielle Flächen kommen dabei Dächer in Betracht.

Neben der klassischen Solarthermie wurde auch die Möglichkeit der Nutzung von Photo-Voltaik-Thermie (PVT) betrachtet. PVT-Kollektoren kombinieren Photovoltaik-Module zur Stromerzeugung mit thermischen Kollektoren, die die Abwärme aus den PV-Modulen nutzen und ins Wärmenetz einspeisen. Dies ermöglicht eine effiziente Doppelnutzung der Dachflächen, insbesondere in Quartieren mit hohem Wärme- und Strombedarf.

Nach der Analyse der Nutzbaren Freiflächen im Bebauungsplan der Stadt Duderstadt[1] wurde vor allem die in Abbildung 7 violett hervorgehobene Fläche (21.000 m^2) als für eine Solarthermieanlage geeignet identifiziert.

Unter der Annahme, dass in Duderstadt eine Globalstrahlung von 1.115 kWh/m^2/a anliegt[2] und einem Kollektorwirkungsgrad von 50 % einen Belegungsfaktor von 0,65 erreicht wird, ergibt sich ein Wärmebereitstellungspotenzial von etwa 7.600 MWh/a.

Im Untersuchungsgebiet stehen zwar grundsätzlich zahlreiche Dachflächen zur Verfügung, jedoch eignen sich diese aufgrund ihrer kleinteiligen Struktur, unterbrochenen Ausrichtung und starken Heterogenität nicht für eine wirtschaftliche Einbindung in ein Wärmenetz. Darüber hinaus weisen viele Dächer unterschiedliche Neigungswinkel und Verschattungen auf, was die mögliche Erzeugungsleistung stark reduziert, und eine einheitliche, netzdienliche Auslegung erschwert. Hinzu kommt, dass statische Tragfähigkeiten älterer Gebäude häufig begrenzt sind, sodass großflächige Kollektorinstallationen in der erforderlichen Dimensionierung unter Umständen nicht möglich wären.

[1] https://geoportal.landkreisgoettingen.de/terraweb/loginol.htm?login=gast&mobil=false&karteIdx=19&themenIds=41_115_542&minx=581782.82857796&miny=5704963.9549996&maxx=594976.74385468&maxy=5711109.3561792; abgerufen am 04.12.2025 abgerufen am 04.12.2025

[2] https://www.wieistmeinsolar.de/niedersachsen/goettingen/duderstadt.html abgerufen am 04.12.2025



Abbildung 7: Darstellung des Versorgungsgebietes (rot), des Erweiterungsgebietes (grün) und der Potenzialfläche Solarenergie (violett)

Fazit: Aus den genannten Gründen wurde das Potenzial der Dachflächen für die Einspeisung in ein Wärmenetz, gerade im Vergleich zur möglichen Freiflächenanlage, als wirtschaftlich schwer realisierbar bewertet. Stattdessen konzentriert sich die Analyse auf die Möglichkeit einer Freiflächen-Solarthermieanlage, da hier sowohl eine große, zusammenhängende Fläche als auch eine technisch sinnvolle und wirtschaftlich tragfähige Anlagenauslegung realistisch erscheinen.

Tabelle 5: Abschätzung der potenziellen Erträge aus PV- und PVT-Anlagen.

Standort	Fläche [m^2]	Solarthermie	PVT	
		Solarer Ertrag (Wärme) [MWh]	**Solarer Ertrag (Wärme) [MWh]**	**Solarer Ertrag (Strom) [MWh]**
1	21.000	8.858	8.371	3.192

2.2. Oberflächennahe Geothermie

Die Nutzung der Erdwärme stellt eine zentrale Option zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung dar. Für das Quartier in Duderstadt wird das Potenzial als mittel eingeschätzt. Eine belastbare Bewertung ist jedoch nur durch weiterführende Untersuchungen möglich. Hierzu gehören insbesondere Probebohrungen sowie ein Thermal Response Test (TRT), um die tatsächliche Entzugsleistung und die geologischen Randbedingungen zu ermitteln.

Die Analyse der NIBIS-Daten zeigt, dass die Installation von Erdwärmesonden grundsätzlich möglich ist, wenngleich Einschränkungen durch Festgesteinsverbreitung und möglichen Grundwasserstockwerksbau bestehen können. Dies erfordert die Berücksichtigung entsprechender Maßnahmen und Genehmigungsprozesse bei der Betrachtung der Erschließung des entsprechenden geothermischen Potenzials. Für Flächenkollektoren sind hingegen keine Einschränkungsgründe bekannt; die Eignung ist grundsätzlich gegeben. Entscheidend sind hier die Grundstücksgröße und die Einhaltung der Abstandsregelungen. Schutzgebiete wie Wasser-,

Natur- und FFH-Gebiete können die Installation zusätzlich einschränken, sodass eine detaillierte Prüfung je Flurstück erforderlich ist.

Grundsätzlich kommen im Umfeld des Quartiers also beide Varianten der oberflächennahen Geothermie in Betracht: vertikale Erdwärmesonden (Tiefenbereich 50–150 m) und horizontale Erdwärmekollektoren.

Für die Potenzialabschätzung wird angenommen, dass die Fläche, welche für die Solarthermie untersucht wurde (violett hervorgehoben in Abbildung 7 ebenso für die Erschließung der oberflächennahen geothermischen Potenziale in Betracht kommt. Die Potenzialabschätzung für die Erdwärmesonden geht von einer Sondentiefe von 100 m aus. Der Bohrabstand von 8 m liegt oberhalb der VDI-Mindestanforderung und ist aus Effizienzgründen wesentlich: größere Abstände reduzieren thermische Wechselwirkungen der Sondenfelder, verbessern die Regeneration des Untergrundes und stabilisieren die Quellentemperaturen über die Heizperiode. Auf Basis einer spezifischen Entzugsleistung von 40 W/m und 2.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr ergeben sich (bei der angenommenen Fläche von 21.000 m^2) rechnerisch 328 Sonden, eine Quellleistung von ca. 1,31 MW_{th} und eine jährliche Quellarbeit von ca. 2.600 MWh_{th}.

Für Flächenkollektoren wurde die VDI 4640 (Auslegung von Erdwärmekollektoren) herangezogen. Mit einem konservativen Ansatz von 25 W/m^2 und 1.800 Vollbenutzungsstunden pro Jahr resultiert bei 21.000 m^2 eine Quellleistung von ca. 0,53 MW_{th} und eine jährliche Quellarbeit von ca. 950 MWh_{th}. Da Kollektoren in den oberen Bodenschichten arbeiten, sind sie stärker von saisonalen Temperaturschwankungen, Bodenfeuchte, Bautiefe und Bodenstruktur abhängig; entsprechend fallen Quellentemperaturen im Winter niedriger aus als bei Sonden.

Für beide Varianten der oberflächennahen Geothermie wird die gewonnene Umweltwärme über Sole-Wärmepumpen auf das für eine Netzeinspeisung erforderliche Temperaturniveau angehoben. Die Jahresarbeitszahl wurde für die Potenzialabschätzung bewusst konservativ mit 2,5 angesetzt. Diese Annahme ist technisch plausibel, da im Quartier von vergleichsweise niedrigen Quellentemperaturen auszugehen ist, die sich insbesondere bei dichter Sondenbelegung oder bei der Nutzung oberflächennaher Kollektoren einstellen können. Bei der Einspeisung in ein Wärmenetz ist außerdem von einer höheren Zieltemperatur für die Wärmepumpe auszugehen, die Effizienz der Wärmepumpe reduziert wird.

Auf dieser Grundlage ergeben sich für das Sondenfeld jährliche Wärmebereitstellungen von rund 4.400 MWh_{th}/a, während die Kollektorfelder etwa 1.600 MWh_{th}/a liefern können. Beide Werte beinhalten sowohl die gewonnene Umweltwärme als auch den elektrischen Antriebsanteil der Wärmepumpen.

Fazit: Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Geothermie im Quartier technisch grundsätzlich möglich ist, jedoch eine detaillierte Erkundung und Abstimmung erforderlich bleibt. Die nächsten Schritte umfassen Probebohrungen, Genehmigungsprüfungen und die Auslegung eines ersten Sondenfeldes. Perspektivisch bietet die Technologie eine attraktive Option zur nachhaltigen Wärmeversorgung, sofern die geologischen und räumlichen Voraussetzungen erfüllt werden.

Tabelle 6: Abschätzung der potenziellen Erträge aus Geothermie

Fläche [m^2]	Erdwärmesonden				Erdwärmekollektoren	
	Anzahl Sonden	**Entzugs-leistung [MW_{th}]**	**Ertrag Umweltwärme [MWh_{th}]**	**Wärme-ertrag WP [MWh_{th}]**	**Ertrag Umwelt-wärme [MWh_{th}]**	**Wärme-ertrag WP [MWh_{th}]**
21.000	328	1,31	2.624	4.373	945	1.575

2.3. Aquathermie

Die Nutzung von Umweltwärme aus Fließ- oder Standgewässern (Aquathermie) stellt grundsätzlich eine interessante Möglichkeit zur Bereitstellung erneuerbarer Wärme dar. Technisch erfolgt die Wärmeentnahme über Wärmetauscher im Wasser oder am Ufer, kombiniert mit Wärmepumpen zur Anhebung des Temperaturniveaus. In der Regel sind dafür Gewässer mit ausreichender Tiefe, konstantem Durchfluss oder Volumen und stabilen Temperaturen erforderlich.

Im untersuchten Potenzialgebiet in Duderstadt stehen jedoch keine geeigneten Fließ- oder Standgewässer zur Verfügung. Weder Flüsse noch größere Kanäle befinden sich in unmittelbarer Nähe des Quartiers, sodass eine wirtschaftliche und technische Umsetzung der Fluss- und Seethermie ausgeschlossen werden kann.

Fazit: Für das Quartier ergibt sich kein nutzbares Potenzial zur Wärmegewinnung aus Gewässern. Diese Option wird im Transformationsplan nicht weiterverfolgt.

2.4. Abwasser-Abwärme

Die Nutzung von Wärme aus Abwasser bietet eine innovative Möglichkeit zur Integration erneuerbarer Energien in kommunale Wärmesysteme. Dabei wird die im Abwasser enthaltene Wärme über einen Wärmeübertrager entzogen und mithilfe einer Wärmepumpe auf das erforderliche Temperaturniveau für die Wärmeversorgung angehoben. Besonders vorteilhaft ist die Installation dieser Systeme am Auslauf einer Kläranlage, da dort ein relativ gleichmäßiger Volumenstrom und stabile Temperaturen gewährleistet sind und der Abwasseraufbereitungsprozess ohne Beeinträchtigung weiterbetrieben werden kann.

Die dem Untersuchungsgebiet nächstgelegene Kläranlage ist die Kläranlage der Eichsfelder Wirtschaftsbetriebe GmbH. Gemäß der Kommunalen Wärmeplanung Duderstadt ergibt sich auf Basis der mittleren Klarwassertemperaturen und -volumenströme und einer Temperaturabsenkung von 5 K ein theoretisch nutzbares Wärmepotenzial von rund 13,1 GWh pro Jahr. Die Abwassertemperaturen liegen während der Heizperiode zwischen 10 °C und 15 °C, was den Einsatz einer Großwärmepumpe ermöglicht.[3]

Allerdings bestehen wesentliche Einschränkungen:

- Die Kläranlage liegt mehr als 2,5 km vom betrachteten Quartier entfernt, sodass aufgrund der Distanz keine wirtschaftliche Einbindung möglich ist.
- Im öffentlichen Kanalnetz von Duderstadt sind die Durchflussmengen nach Angaben der EWB zu gering (deutlich unter der technisch sinnvoll nutzbaren Volumenstroms von 10– 15 l/s)[4].

Fazit: Für das untersuchte Quartier ergibt sich aktuell kein technisch und wirtschaftlich sinnvoll nutzbares Potenzial zur Abwasserwärmenutzung. Eine vertiefte Analyse wird nicht weiterverfolgt. Perspektivisch könnte die Option im Rahmen der Untersuchung zur Wärmeversorgung von Quartieren in räumlicher Nähe zur Kläranlage oder bei Kanalsanierungen berücksichtigt werden.

2.5. Luft-Wärmepumpe

Eine Luft-Wärmepumpe nutzt die Außenluft als Wärmequelle, um Wärme für das Wärmenetz bereitzustellen. Diese Technologie ist eine effiziente Möglichkeit, erneuerbare Wärme zu

[3] Enercity (2025): Kommunale Wärmeplanung Stadt Duderstadt
[4] Tilia (2024): Integriertes energetisches Quartierskonzept Duderstadt

gewinnen, da sie keine fossilen Brennstoffe benötigt und relativ einfach in bestehende Infrastrukturen integriert werden kann.

Das Potenzial der Luft-Wärmepumpe ist jedoch durch die verfügbaren Aufstellflächen für die Außeneinheiten und Luftkühler begrenzt. Um die Effizienz der Wärmepumpe zu maximieren, sollten diese Einheiten möglichst nahe an den bestehenden Heizzentralen positioniert werden. Zudem müssen die Stellflächen in der Energiezentrale für die Aufstellung des Wärmepumpenmoduls, auch den Sicherheitsanforderungen hinsichtlich des Kältemittels entsprechen.

In Duderstadt ist die zukünftige Energiezentrale im Gebäude des ehemaligen Schwimmbades vorgesehen. Bei einer Begehung wurde festgestellt, dass im Innenraum ausreichend geeignete Stellflächen für eine Wärmepumpenanlage vorhanden sind. Die Wärmeübertrager-Einheiten zur Wärmeaufnahme aus der Umgebungsluft können unter Berücksichtigung der statischen Gegebenheiten möglicherweise auf dem Dach des Gebäudes, wie in Abbildung 8 hervorgehoben, platziert werden. Dabei sind auch die genehmigungsrechtlichen Anforderungen bspw. hinsichtlich Schallemissionen zu beachten.

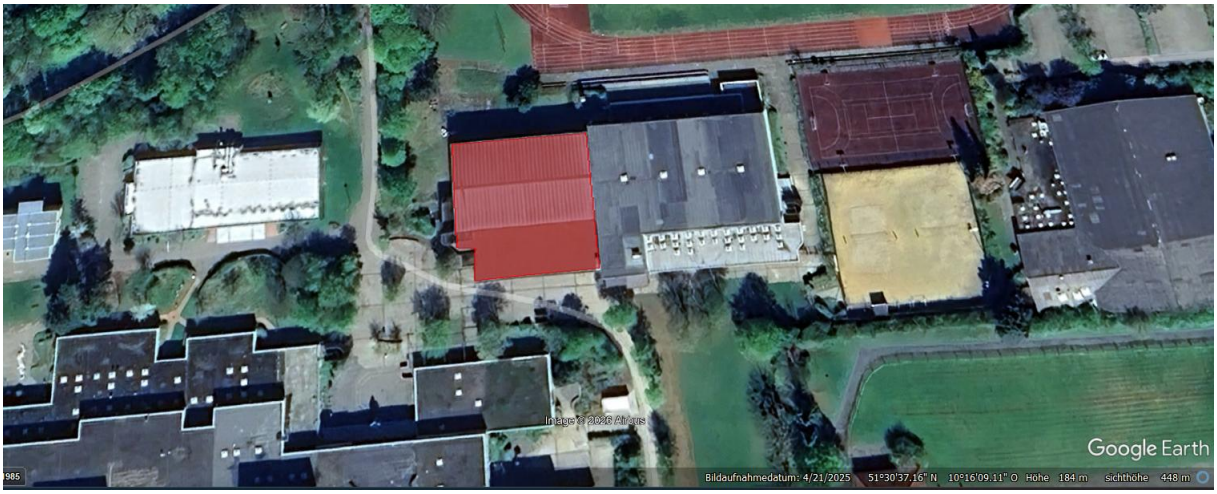

Abbildung 8: Potenzialfläche (rot) für die Luft-Wärmeübertrager-Einheiten einer Luft-Wärmepumpe auf dem Dach der zukünftigen Energiezentrale (Quelle: Google Earth)

Fazit: Für das untersuchte Quartier in Duderstadt stellt die Luft-Wärmepumpe eine grundsätzlich geeignete und technisch realisierbare erneuerbare Wärmequelle dar, deren Einsatz jedoch maßgeblich durch die verfügbaren Aufstellflächen sowie schall- und genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen begrenzt ist. Eine weitergehende Bewertung von Anlagengröße, Effizienz und Wirtschaftlichkeit sollte daher im Rahmen einer vertieften Planung erfolgen.

2.6. Biomasse

Die Nutzung von Biomasse stellt eine weitere Möglichkeit zur Bereitstellung erneuerbarer Wärme dar. Technisch sind vor allem holzartige Brennstoffe (Hackschnitzel, Pellets), sowie die Nutzung von Biomasse in Form von Reststoffen und Nebenprodukten interessante Optionen. Voraussetzung für eine wirtschaftliche und nachhaltige Nutzung ist jedoch die Verfügbarkeit geeigneter, lokal vorhandener Biomassequellen.
Hierbei stellte sich die Herausforderung, dass im Untersuchungsgebiet und dessen direkter Umgebung keine relevanten Biomasseströme identifiziert werden konnten, welche für eine lokale Wärmeerzeugung herangezogen werden könnten. Es existieren im Stadtgebiet von Duderstadt zwar zwei bestehende Biogasanlagen mit BHKW, in denen Abwärme im Umfang von insgesamt ca. 13.200 MWh/a entsteht. Jedoch befinden sich die Standorte räumlich zu weit vom Untersuchungsgebiet entfernt. Zudem wird die erzeugte Wärme bereits anderweitig genutzt,

sodass keine überschüssigen oder technisch sinnvoll nutzbaren Wärmemengen festgestellt werden konnten. Eine Nutzung dieser Quellen würde sowohl erhebliche infrastrukturelle Investitionen als auch Eingriffe in bestehende Nutzungsketten erfordern.
Grundsätzlich wäre für das Quartier auch der Zukauf und externe Bezug von Biomasse, beispielsweise in Form von Holzhackschnitzeln oder Pellets, eine mögliche Versorgungsoption. Diese Variante setzt jedoch voraus, dass entsprechende Lieferketten aufgebaut werden, dauerhaft verfügbare und preisstabile Ressourcen sichergestellt werden können und geeignete Flächen für Lagerung und Logistik bereitgestellt werden können. Vor dem Hintergrund der überregional zunehmend angespannten Marktsituation sowie langfristig unsicheren Preis- und Verfügbarkeitsentwicklung von holzartiger Biomasse wird diese Option als strategisch weniger robust bewertet. Zudem lägen die Vorteile einer lokalen, nachhaltigen Biomassenutzung, etwa kurze Transportwege oder die regionale Wertschöpfung, nicht vor.

Fazit: Für das Quartier ergibt sich kein nutzbares lokales Biomassepotenzial. Auch wenn der externe Zukauf von holzartiger Biomasse eine Option darstellt, erscheint diese Lösung aufgrund von Marktunsicherheiten, zusätzlichem Infrastrukturbedarf und fehlenden regionalen Synergien nicht zielführend.

2.7. Abwärme

Industrielle Abwärme stellt grundsätzlich eine potenziell wertvolle Wärmequelle dar, insbesondere in Gebieten mit energieintensiven Produktionsprozessen in räumlicher Nähe. Für das Quartier in Duderstadt wurde das Potenzial über die Plattform für Abwärme des BAFA[5] geprüft. Die Abfrage ergab, dass derzeit lediglich zwei relevante Prozesse bei der Firma Ottobock SE & Co. KGaA eingetragen wurden:

- Drucklufterzeugung
- Regenerative Thermische Nachverbrennung (RNV-Werk II)

Für diese beiden Prozesse wird eine jährliche Wärmemenge von rund 1,15 GWh/a angegeben. Allerdings bestehen erhebliche Einschränkungen für eine externe Nutzung:

Die Verfügbarkeit der Wärme ist zeitlich stark limitiert und nicht regelbar. Außerdem wird ein Teil der Wärme bereits innerbetrieblich genutzt.

Darüber hinaus liegt der Unternehmensstandort in deutlicher Entfernung zum zu versorgenden Gebiet, was einen wirtschaftlichen Wärmetransport zusätzlich erschwert.

Fazit: Unter den aktuellen Rahmenbedingungen ergibt sich für Untersuchungsgebiet in Duderstadt kein technisch sinnvoll nutzbares Potenzial industrieller Abwärme, sodass dieser Ansatz im Transformationsplan nicht weiterverfolgt wird.

2.8. Innovative Kraft-Wärme-Kopplung (iKWK)

Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen werden in der Regel mit Erdgas betrieben und zählen damit nicht zu den erneuerbaren Energiequellen. Durch den Einsatz biogener oder synthetischer Brennstoffe, beispielsweise Biogas, können KWK-Anlagen jedoch auch auf Basis erneuerbarer Energien betrieben werden. Darüber hinaus ermöglichen KWK-Anlagen in Kombination mit weiteren Wärmeerzeugern einen flexiblen und netzdienlichen Betrieb. Insbesondere durch die regelungstechnische Einbindung in ein Gesamtsystem können sie die Integration Erzeugungstechnologien basieren auf erneuerbaren Energien unterstützen, wie dies im Konzept der „innovativen Kraft-Wärme-Kopplung“ (iKWK) vorgesehen ist. Deshalb sollen KWK-Anlagen,

[5] https://elan1.bafa.bund.de/zvi-ui/pfa/abwaermepotentiale; abgerufen am 03.12.2025

insbesondere iKWK-Anlagen, an dieser Stelle ebenfalls als mögliche Erzeugungstechnologie berücksichtigt werden.

Eine iKWK-Anlage setzt sich aus einer KWK-Anlage, einer erneuerbaren Wärmeanlage (beispielsweise eine Wärmepumpe oder Solarthermie) sowie einer Power-to-Heat-Anlage (PtH) zusammen. Die regelungstechnische Verbindung aller Einzelanlagen gewährleistet einen automatisierten und stromnetzdienlichen Einsatz der Gesamtanlage. Die einzelnen Anlagen müssen dabei nicht an einem Standort installiert werden, sondern es ist ausreichend, dass sie ins gleiche Wärmenetz einspeisen.

Im stromgeführten Betrieb ist in der Regel lediglich ein Anlagenteil der iKWK-Anlage in Betrieb. Die KWK-Anlage wird bei hohen Strompreisen betrieben. Der Betrieb der Wärmepumpenanlage erfolgt in Phasen niedriger Strompreise, in der Regel zu Zeiten starker Stromeinspeisungen aus Windkraft- und PV-Anlagen. Die PtH-Anlage wird bei sehr niedrigen Strompreisen betrieben. Bei iKWK-Systemen ist kein technologiebezogener Mindestanteil vorgeschrieben; entscheidend ist, dass mindestens 30 % der jährlichen Referenzwärme durch die erneuerbare Wärmeanlage bereitgestellt werden.

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde eine Grobdimensionierung einer potenziellen iKWK-Anlage vorgenommen, wie in Abbildung 9 dargestellt. Die Grobdimensionierung einer förderfähigen Anlage wurde basierend auf den Ausschreibungsvorgaben und Erfahrungswerten vorgenommen.

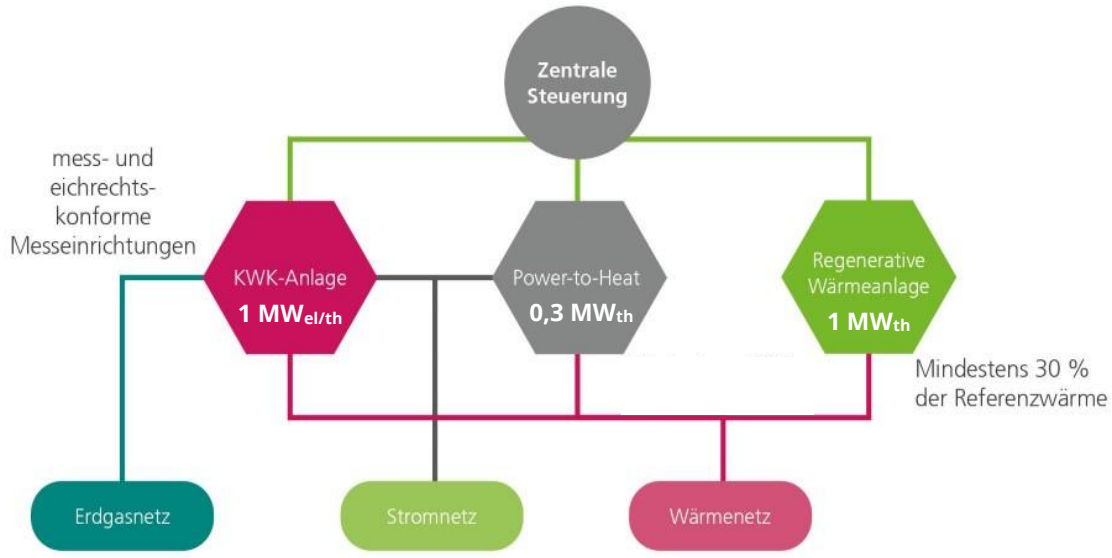

Abbildung 9: Grobdimensionierung einer iKWK-Anlage

Fazit: Auf Grundlage der Grobdimensionierung lässt sich ableiten, dass der Einsatz einer innovativen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (iKWK) im Quartier Duderstadt gut umsetzbar ist. Durch den im Untersuchungsgebiet bestehenden Wärmebedarf ist damit zu rechnen, dass sowohl das KWK-Modul als auch die Wärmepumpenkomponente der iKWK-Anlage auf wirtschaftlich sinnvolle Betriebsstunden kommen können.

2.9. Zusammenfassung

Im Rahmen des Transformationsplans wurde eine umfassende Potenzialanalyse relevanter erneuerbarer Wärmequellen und Abwärmeströme durchgeführt. Ziel war die Identifikation und systematische Bewertung der verfügbaren Ressourcen sowie ihrer technischen und wirtschaftlichen Nutzbarkeit für die zukünftige Wärmeversorgung des Quartiers. Neben der Untersuchung von Solarenergie, geothermischen Potenzialen, Luftwärmepumpen, Biomasse und Kraft-Wärme-Kopplung-Lösungen wurden auch industrielle Abwärme, Abwasserwärme sowie Umweltwärme aus Gewässern geprüft. Dabei wurden sowohl die theoretisch verfügbaren Energiemengen als auch standortspezifische Einschränkungen, infrastrukturelle Voraussetzungen und räumliche Distanzen berücksichtigt.

Die Analyse zeigt, dass insbesondere Solarthermie und PVT, oberflächennahe Geothermie, Luftwärmepumpen, Biomasse, Biogas-KWK sowie Power-to-Heat ein nutzbares Potenzial für die Wärmeversorgung im Quartier bieten. Die entsprechenden Ergebnisse und Quantifizierungen sind in Tabelle 7 dargestellt. Für einige Wärmequellen, wie Abwasserwärme, industrielle Abwärme und bestehende externe Biogasanlagen, besteht zwar ein relevantes Potenzial, die Quellen liegen jedoch in deutlicher räumlicher Entfernung zum Netzgebiet oder die Wärme wird bereits genutzt. Diese Potenziale wurden daher ausgeschlossen und in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 7: Identifizierte nutzbare Potenziale

Möglicher Wärmeerzeuger	**Theoretisches Potenzial [MWh/a]**	**Hier betrachtetes/ nutzbares Potenzial [MWh/a]**
Solarthermie und PVT (Freifläche, 21.000 m^2)	Solarthermie: 8.800 (thermisch) PVT: 8.300 (thermisch); 3.200 (elektrisch)	8.800 8.300
Geothermie (Erdwärmesonden, angenommene Fläche 21.000 m^2)	Umweltwärme: 2.600 Nutzwärme (mit Wärmepumpe JAZ 2,5): 4.500	4.500
iKWK (ggf. mit Biogas/ synthetischem Gas)	Keine Limitierung angenommen	6.000
Power 2 Heat (EE)	Keine Limitierung angenommen	1.500
Biomasse	Keine Limitierung angenommen	6.000
Luftwärmepumpe (EE)	Keine Limitierung angenommen	6.000

Tabelle 8: Nicht nutzbare Potenziale mit Ausschlussgrund

Möglicher Wärmeerzeuger	**Theoretisches Potenzial [MWh/a]**	**Ausschlussgrund**
Abwasserwärme	13.100	Räuml. Entfernung zum Netzgebiet
Abwärme aus Industrieprozessen	1.150	Räuml. Entfernung zum Netzgebiet
Abwärme aus bestehenden Biogasanlagen (mit BHKW-Betrieb am Standort)	Zwei Anlagen vorhanden – Wärmeerzeugung von 13.200	Räuml. Entfernung zum Netzgebiet, Abwärme bereits genutzt

Weitere untersuchte Optionen wie Fluss- und Seethermie oder tiefe Geothermie sind im Kontext Duderstadts nicht umsetzbar. Gründe hierfür sind das Fehlen geeigneter Gewässer in Netzumgebung sowie ein zu hohes geologisches Risiko beziehungsweise wirtschaftlich nicht darstellbare Investitionskosten.

Insgesamt bildet die systematische Potenzialanalyse eine robuste Grundlage für die Ableitung geeigneter erneuerbarer Wärmequellen und deren mögliche Integration in das künftige Versorgungskonzept des Quartiers.

3. SOLL-Analyse des geplanten Netzausbaus

Aufbauend auf der zuvor dargestellten IST-Analyse und der Untersuchung der verfügbaren erneuerbaren Energie- und Abwärmepotenziale wird im folgenden Kapitel der angestrebte Zielzustand des Wärmenetzes beschrieben. Die SOLL-Analyse zeigt, wie das bestehende Wärmenetz technisch, strukturell und organisatorisch weiterentwickelt werden kann, um die identifizierten Potenziale schrittweise zu integrieren und die Transformation hin zu einer treibhausgasneutralen Wärmeversorgung umzusetzen.

3.1. SOLL-Abnehmer

Der geplante Ausbau des Wärmenetzes in Duderstadt erfolgt schrittweise und orientiert sich an den identifizierten Wärmebedarfen, den lokalen Potenzialen sowie den strategischen Entwicklungszielen der Stadt. Grundlage bildet die Einbindung von zentralen Ankerkunden als stabile Basis für den Netzausbau, kombiniert mit der gezielten Erschließung weiterer Anschlussoptionen im Untersuchungsgebiet.

Als zentraler Ankerkunde konnte die Wohnungsbaugesellschaft Eichsfeld mbH Duderstadt (Wobau) gewonnen werden. Die Gebäude des kommunalen Wohnungsunternehmens weisen hohe spezifische Wärmebedarfe und klare Modernisierungsbedarfe auf und eignen sich daher besonders für eine systematische Umstellung auf eine leitungsgebundene Wärmeversorgung.

Für die Erschließung der Wobau-Liegenschaften sind zwei aufeinander aufbauende Bauabschnitte vorgesehen. Diese Struktur ermöglicht einen risikominimierten Netzaufbau, eine frühzeitige Inbetriebnahme erster Verbrauchseinheiten sowie eine wirtschaftlich sinnvolle Lastentwicklung.

- Bauabschnitt 1: Anschluss der westlich gelegenen Wobau-Gebäude (6 Gebäude, ca. 0,5 GWh/a)
- Bauabschnitt 2: Anschluss der östlich gelegenen Wobau-Gebäude (6 Gebäude, ca. 0,5 GWh/a)

Neben den Liegenschaften der Wobau ist vorgesehen, zusätzliche Wohngebäude im Untersuchungsgebiet an das neue Wärmenetz anzuschließen. Entlang der für die Wobau-Erschließung geplanten Haupttrassen werden alle Eigentümer der dort angrenzenden Gebäude aktiv angesprochen. Bei einem bekundeten Interesse erfolgt der Anschluss unmittelbar im Zuge der Umsetzung der jeweiligen Bauabschnitte. Dadurch werden Synergien genutzt und die Wirtschaftlichkeit der Haupttrasse verbessert.

Für die Erschließung weiterer Straßenzüge außerhalb des unmittelbaren Wobau-Korridors ist jedoch zunächst ein ausreichender Bedarf zu identifizieren. Dieser kann auf zwei Wegen entstehen:

1. Identifikation weiterer Ankerkunden

   Beispielsweise kommt das Gebäude der Stadtverwaltung Duderstadt als potenzieller Großabnehmer infrage. Große Einzelverbraucher erhöhen die Grundlast und ermöglichen einen wirtschaftlichen Netzausbau auch über den initialen Versorgungsraum hinaus.

2. Ausreichend hohe Anschlussbereitschaft entlang eines Straßenzuges

   Hierzu wird eine systematische Interessensabfrage durchgeführt. Rückmeldungen werden dokumentiert und in Bezug auf die Anschlussquote und die zu erwartende Wärmeliniendichte ausgewertet.

Nur wenn die Anschlussquote hoch genug ausfällt und sich dadurch eine wirtschaftlich tragfähige Wärmeliniendichte ergibt, wird die Erschließung des entsprechenden Straßenzuges vorgesehen. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass das Netz zielgerichtet, bedarfsgerecht und betriebswirtschaftlich sinnvoll erweitert wird.

Im Untersuchungsgebiet wurde das erschließbare Anschluss- und Leistungspotenzial für den Ausbau des Wärmenetzes abgeschätzt. Der Gesamt-Wärmebedarf im betrachteten Gebiet beträgt insgesamt rund 11 GWh/a. Davon werden bereits etwa 2,5 GWh/a über das bestehende Fernwärmenetz gedeckt. Zusätzlich entfällt 1,0 GWh/a auf Liegenschaften der örtlichen Wohnungsbaugesellschaft, deren Anschluss an das Fernwärme-Netz zugesichert wurde. Ausgehend von diesen Werten verbleibt ein technisch und marktseitig grundsätzlich adressierbares Potenzial von mehr als 7 GWh/a. Damit erscheint das angestrebte Ziel, die jährliche Wärmeabnahme gegenüber dem Stand von 2024 bis zum Jahr 2030 zu verdoppeln gut erreichbar. Unter Berücksichtigung realistischer Anschlussquoten, technischer Randbedingungen und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen würde dafür eine zusätzliche Erschließung von 1,5 GWh/a an Wärmeabnahme erforderlich sein.

3.2. SOLL-Erzeuger

Zur Umsetzung des Transformationspfads wird die Heizzentrale vom Schulgebäude in das alte Hallenbad verlegt und dort als neue Energiezentrale aufgebaut. Der Erzeugerpark wird schrittweise auf strombasierte, erneuerbare Technologien ausgerichtet. Die Zielwerte für erneuerbare Wärme gemäß Wärmeplanungsgesetz werden erreicht: 43 % (2030), 100 % (2040) und 100 % (2045). Die insgesamt bereitgestellte Jahreswärmemenge wurde für alle Zieljahren als konstant bei 5.997 MWh/a angenommen.

2030 – Einstieg in die erneuerbare Wärmeerzeugung (EE-Anteil 43 %)

Am neuen Standort im alten Hallenbad bilden eine Luft-Wärmepumpe mit 1.000 kW thermischer Leistung und 2.360 MWh/a Jahresarbeit (Energieträger: erneuerbarer Strom) sowie eine Power-to-Heat-Anlage (PtH) mit 300 kW und 212 MWh/a die erneuerbare Basis. Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit bleibt eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (KWK) mit 1.040 kW und 3.422 MWh/a (Energieträger: Erdgas) im Einsatz. Spitzenlastkessel mit 900–2.700 kW decken ausschließlich seltene Lastspitzen ab (3 MWh/a, Energieträger: Erdgas/Erdöl). Die Kombination ermöglicht eine sichere Wärmeversorgung bei gleichzeitiger deutlicher Emissionsreduktion und erfüllt den EE-Mindestanteil für 2030.

2040 – Deutliche Steigerung des EE-Anteils (90 % - 100 %)

Die erneuerbare Wärmeerzeugung wird ausgebaut: die Luft-Wärmepumpe wird auf 1.500 kW und 4.198 MWh/a erweitert, die PtH-Anlage auf 600 kW und 635 MWh/a (jeweils erneuerbarer Strom). Die bisherige KWK wird außer Betrieb genommen. Spitzenlastkessel verbleiben mit 900–2.700 kW als Sicherheitsreserve (1.164 MWh/a), wobei der Einsatz fossiler Energieträger durch synthetische Energieträger, Wasserstoff oder Biomethan ersetzt wird. Damit wird der EE-Anteil gemäß Wärmeplanungsgesetz auf bis zu 100 % angehoben. Welche Energieträger zur Spitzenlast eingesetzt wird, entscheidet sich im Bereich 2035-2039 und ist stark abhängig von der jeweiligen Verfügbarkeit und den Kosten des Energieträgers.

2045 – Vollständige Dekarbonisierung (EE-Anteil 100 %)

Bis 2045 wird der Erzeugerpark vollständig erneuerbar betrieben. Die Luft-Wärmepumpe bleibt mit 1.500 kW und 4.198 MWh/a das Rückgrat der Grundlast, die PtH-Anlage wird auf 1.000 kW und 1.199 MWh/a erweitert. Für Spitzenlastfälle steht ein 1.000-kW-Kessel bereit, der 600 MWh/a liefert und mit synthetischen erneuerbaren Energieträgern bzw. grünem Wasserstoff betrieben

wird. Damit wird die Jahreswärmemenge von 5.997 MWh/a vollständig regenerativ bereitgestellt; der Standort erfüllt dauerhaft die Anforderungen des Wärmeplanungsgesetzes.

Tabelle 9: Übersicht über den Erzeugerpark mit thermischer Leistung (P_{th}) und Wärmemengen (Q_{th}) für das Zielbild einer treibhausgasneutralen Versorgung bis zum Jahr 2045

		2030	**2040**	**2045**
Luft Wärmepumpe	P_{th} (kW)	1.000	1.500	1.500
	Q_{th} (MWh/a)	2.360	4.198	4.198
	Energieträger	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar
Power to Heat	P_{th} (kW)	300	600	1.000
	Q_{th} (MWh/a)	212	635	1.199
	Energieträger	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar
Kraft-Wärme-Kopplung	P_{th} (kW)	1.040	-	-
	Q_{th} (MWh/a)	3.422	-	-
	Energieträger	Erdgas	-	-
Spitzenlastkessel	P_{th} (kW)	900-2.700	900-2.700	1.000
	Q_{th} (MWh/a)	3	1.164	600
	Energieträger	Erdgas/Erdöl	Syn. Energieträger/ H_2 erneuerbar/ Biomethan	Syn. Energieträger/ H_2 erneuerbar/ Biomethan
Gesamt Erzeugerpark	Q_{th} (MWh/a)	5.997	5.997	5.997
Anteil EE		43%	100 %	100%

Es wird konstant daran gearbeitet werden, das Netz weiter zu verdichten. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass sich der Einfluss von Verbrauchsreduzierenden Energieeffizienz-Maßnahmen und Verdichtung im Netz die Waage halten und somit die Gesamterzeugungsmenge der Wärme gleichbleibend ist.

3.3. SOLL-Netz

Zum jetzigen Planungsstand ist die konkrete Ausgestaltung des Wärmenetzes im SOLL-Zustand noch nicht abschließend festgelegt. Ursache hierfür ist insbesondere, dass die zukünftige Abnahmestruktur zusätzlich zu den bereits zugesagten Anschlüssen noch nicht verbindlich bestimmt ist. Mit der örtlichen Wohnungsgesellschaft steht jedoch ein zentraler Ankerkunde fest, dessen Anschluss bereits zugesagt wurde. Aus dem Anschluss der entsprechenden Liegenschaften ergibt sich ein belastbarer Mindestausbau des Wärmenetzes, der die Grundlage für den weiteren Netzausbau bildet. Dieser Mindestausbau ist in Abbildung 10 dargestellt. Die zugehörigen Leitungslängen aufgeschlüsselt nach den erforderlichen Leitungsdurchmessern sind in Abbildung 11 ausgewiesen.

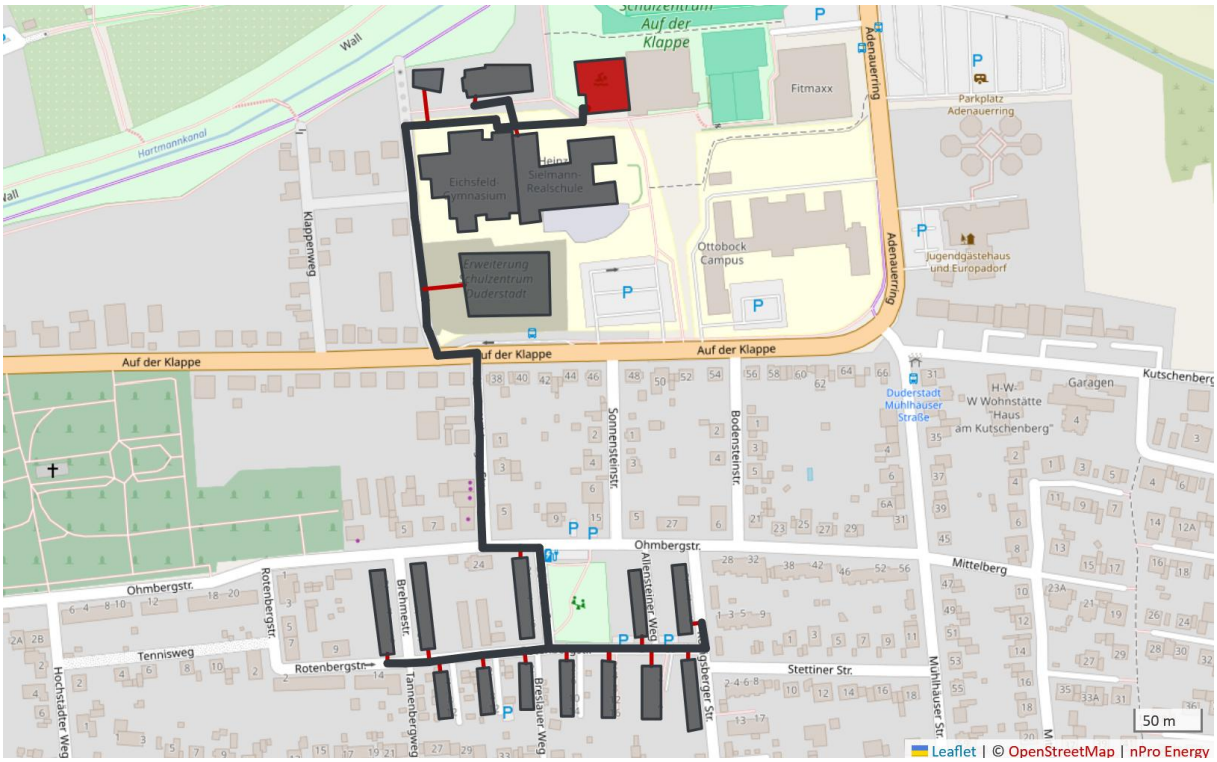

Abbildung 10: Mindestausbau des Wärmenetzes (ohne Bestandsleitungen aber mit möglichem Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Energiezentrale)

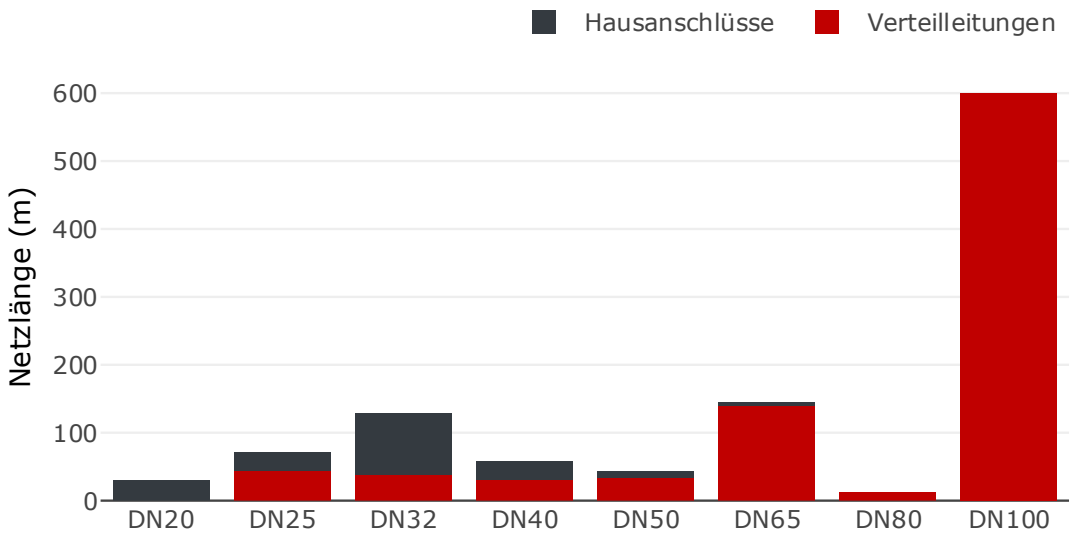

Abbildung 11: Im Mindestausbau erforderliche Neubau- und Ersatzleitungslängen aufgeteilt nach Nenndurchmesser

Der darüberhinausgehende Ausbau des Wärmenetzes ist von mehreren Einflussfaktoren abhängig. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Abnahmeseite. Maßgeblich sind insbesondere die räumliche Anordnung potenzieller Anschlussnehmer, die erzielbare Anschlussquote, der resultierende Wärmebedarf sowie die daraus abgeleitete Wärmeliniendichte. Die Wärmeliniendichte dient hier als Maßzahl für die Wirtschaftlichkeit des Leitungsbaus, und ist definiert als jährlicher Wärmeabsatz je Meter Trassenlänge. Nur bei ausreichend hoher Wärmeliniendichte ist ein wirtschaftlich tragfähiger Netzausbau möglich.

In Tabelle 10 sind die Wärmebedarfe die erforderliche neu zu errichtende Trassenlänge und die daraus resultierende Wärmeliniendichte für die in Abbildung 12 abgegrenzten Trassenabschnitte dargestellt. Diese Betrachtung kann als erste Grundlage zur Identifizierung der für den Netzausbau interessanten Gebiete genutzt werden.

Tabelle 10: Potenzielle Trassenabschnitte mit zugehörigem Wärmebedarf, Trassenlängen und Wärmeliniendichte (WLD)

Nr.	Möglicher Trassenabschnitt (Straße)	Wärme-bedarf [MWh/a]	Trassen-längen [m]	WLD [MWh/ (m*a)]
1	Auf der Klappe	892	690	1,3
1*	Worbiser Straße 1+3	79	140	0,58
2	Klappenweg	275	320	0,87
3	Auf der Klappe / Wildunger Straße / Sonnensteinstraße / Bodensteinstraße	926	810	1,14
4	Adenauerring/Kutschenberg	503	90	5,9
5	Lindenberg	513	680	0,75
6	Ohmbergstr (West)/Brehmestr. / Rotenbergstr. / Görlitzer Str.	1.004	600	1,67
7	Königsberger Str./Rotenbergstr.	750	300	2,46
8	Ohmbergstraße (Ost)	314	330	0,95
9	Worbiser Str. / Hochstädter Weg	487	630	0,77
10	Ohmbergstr./Tennisweg	373	250	1,5
11	Zum Wulfertal	848	850	1
12	Königsberger Straße / Stettiner Straße / Mühlhäuser Str. / Heilsberger Str.	1.217	1.320	0,92

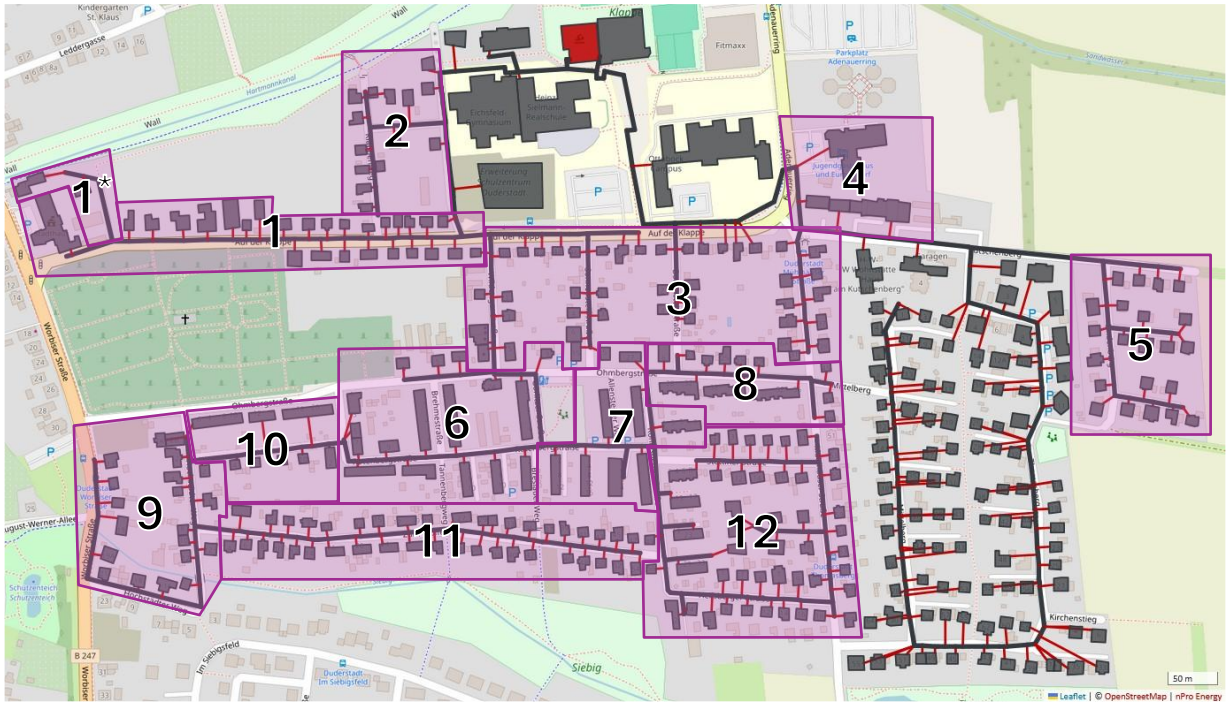

Abbildung 12: Für die Erschließungsplanung berücksichtigte Netzgebietsabschnitte, für die jeweils die zur Erschließung erforderliche Netzlänge und Wärme-Abnahmepotenziale bestimmt wurden und daraus die Wärmeliniendichte abgeleitet wurde

Neben der Nachfrageseite ist der Netzausbau auch durch die Erzeugerseite begrenzt. Die verfügbare Erzeugungsleistung und Wärmespeicherkapazität, sowie deren zeitliche Entwicklung bestimmen die maximal sinnvoll versorgbare Abnehmerzahl und damit den möglichen Netzausdehnungsgrad. Der Ausbau des Wärmenetzes erfolgt daher unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.3 dargestellten, verfügbaren und geplanten Erzeugungskapazitäten.

Der Ausbau des Wärmenetzes erfolgt wie in Abschnitt 3.1 dargestellt schrittweise in aufeinander aufbauenden Bauabschnitten. Ausgangspunkt ist der bestätigte Mindestausbau zur Erschließung des Ankerkunden (Bauabschnitt 1 und 2). Weitere Ausbauphasen sind in Abhängigkeit von den identifizierten interessanten Wärmenetzausbaugebieten vorgesehen.

3.4. Primärenergieeinsparung und CO_2-Emissionen

Im Ist-Zustand des Jahres 2024 ist die Wärmeversorgung der EBB Duderstadt vollständig fossil geprägt und weist keinen Anteil erneuerbarer Energien auf. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeerzeugung beträgt entsprechend 0 %. Unter Anwendung der Stromgutschriftmethode ergibt sich, wie bereits in Kapitel 1.3 ermittelt, ein jährlicher Primärenergieeinsatz von 2.462 MWh/a (PE). Der daraus resultierende spezifische CO_2-Emissionsfaktor liegt bei 36 g CO_2/kWh.

Im Zuge der Transformation der Wärmeerzeugung ist eine schrittweise und deutliche Reduktion des Primärenergieeinsatzes sowie der CO_2-Emissionen vorgesehen. Bereits bis zum Jahr 2030 wird ein Anteil erneuerbarer Energien von 43 % erreicht. Ab diesem Zeitpunkt weist das Wärmeerzeugungssystem unter Anwendung der Stromgutschriftmethode keinen bilanziellen Primärenergieeinsatz mehr auf. Entsprechend reduziert sich der CO_2-Faktor auf 0 g CO_2/kWh.

Diese Bilanz bleibt in den Folgejahren 2035 und 2040 bestehen, während der Anteil erneuerbarer Energien weiter steigt und im Jahr 2040 bereits 81 % erreicht. Spätestens ab dem Jahr 2045 erfolgt die Wärmeversorgung vollständig auf Basis erneuerbarer Energien, sodass ein EE-Anteil von 100 % erzielt wird. Der Primärenergieeinsatz sowie die bilanziellen CO_2-Emissionen verbleiben dann dauerhaft bei 0, bezogen auf die Stromgutschriftmethode.

Insgesamt zeigt sich, dass durch die geplanten Transformationsmaßnahmen eine vollständige Dekarbonisierung der Wärmeversorgung erreicht wird. Gegenüber dem Ist-Zustand wird der jährliche Primärenergieeinsatz um 2.462 MWh/a reduziert und die CO_2-Emissionen bilanziell vollständig vermieden. Damit leistet das Transformationskonzept einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele und zur nachhaltigen Ausrichtung der Energieversorgung der EBB Duderstadt.

Tabelle 11: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien (EE), des Primärenergieeinsatzes (PE) und des CO_2-Emissionsfaktors gemäß Stromgutschriftmethode im Zeitverlauf bis 2045.

		Ist-Zustand (2024)	2030	2035	2040	2045
Anteil EE		0%	43%	43%	100%	100%
Primärenergie nach Stromgutschriftmethode	MWh/a (PE)	2.462	0	0	0	0
CO_2-Faktor nach Stromgutschriftmethode	gCO_2/kWh	36	0	0	0	0

Primärenergie und CO_2-Faktor des Netzes wurden nach der Stromgutschriftmethode nach dem Arbeitsblatt der AGFW *FW 309 Teil 9 "Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte - Produktbezogene Kennzahlen"* berechnet.

4. Kostenrahmen

Im Zuge der Ermittlung eines Kostenrahmens wurde ein Wirtschaftlichkeits- und Finanzierungskonzept für die Vorzugsvariante erstellt. In dem vorliegenden Konzept sind die Investitionssummen der einzelnen Komponenten des Wärmenetzes approximativ dargestellt. Des Weiteren wurden die betriebs - und verbrauchsbedingten Kosten geschätzt und eine Analyse der Wirtschaftlichkeit des zukünftigen Wärmenetzes durchgeführt. Im Folgenden erfolgt eine Darstellung der Finanzierung der Investitionssummen. Mittels einer Risikoanalyse wurden die wichtigsten Einflussparameter auf die Wirtschaftlichkeit dargestellt.

4.1. Investitionskosten, betriebsbedingte und verbrauchsbedingte Kosten

Die Erreichung des angestrebten Wärmenetz- und Anlagentechnik-Zustandes erfordert die Umsetzung folgender spezifischer Investitionsmaßnahmen.

Tabelle 12: Zusammenfassung notwendige Investitionen zur Erreichung des Soll-Zustandes

Pos.	Investitionskosten	Betriebskosten
BHKW-Anlage		
Power to Heat Anlage		
Wärmepumpe		
elektrische Einbindung		
Wärmenetz + hydraulische Einbindung		
MSR		
Summe Investitionskosten Bau und Technik		
Gebäude		
Investitionskosten Bau und Technik inkl. NK		
Planung + Reserve		
Investitionskosten Bau und Technik inkl. NK & Reserve	Ca 8.000.000 €	Ca. 120.000 €/a

Die Ermittlung der Investitionskosten erfolgte auf Basis von Richtpreisangeboten und Erfahrungswerten. Die Ermittlung der Wartungs- und Instandhaltungskosten erfolgte gemäß der Richtlinie VDI 2067.

Die Ermittlung der verbrauchsbedingten Kosten erfolgte auf Basis der erforderlichen Energiebezüge (Gas, Strom) sowie der entsprechenden Energiepreisprognosen.

Der Wirtschaftsplan sieht Projektzuschüsse vor, die zum einen aus der Förderung BEW und zum anderen aus Baukostenzuschüssen (BKZ) oder Anschlusskosten seitens der Anschlussnehmer resultieren. Der Umfang der BEW-Zuschüsse wurde dahingehend vereinfacht, dass eine maximale Förderung in Höhe von 50 % für das Modul 1 und 40 % für das Modul 2 für alle förderfähigen Ausgaben ermittelt wurde. Gemäß den Ausführungen in Modul 2 ist die tatsächliche Förderung jedoch auf die Wirtschaftlichkeitslücke begrenzt. Im Rahmen der Antragstellung ist eine Wirtschaftlichkeitslückenberechnung durchzuführen, in der dargelegt wird, dass die beantragte Förderung unter Berücksichtigung sämtlicher Kosten-, Erlös- und Förderkomponenten über die Lebenszeit des zu fördernden Projekts sowie eines plausiblen kontrafaktischen Falls für die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens erforderlich ist.

Die Finanzierung der erforderlichen Investitionen zur Umsetzung der Vorzugsvariante kann gemäß dem folgenden Diagramm in mehreren Stufen erfolgen. Gemäß der Prämisse wurde eine Eigenkapitalquote von 20 % angenommen.

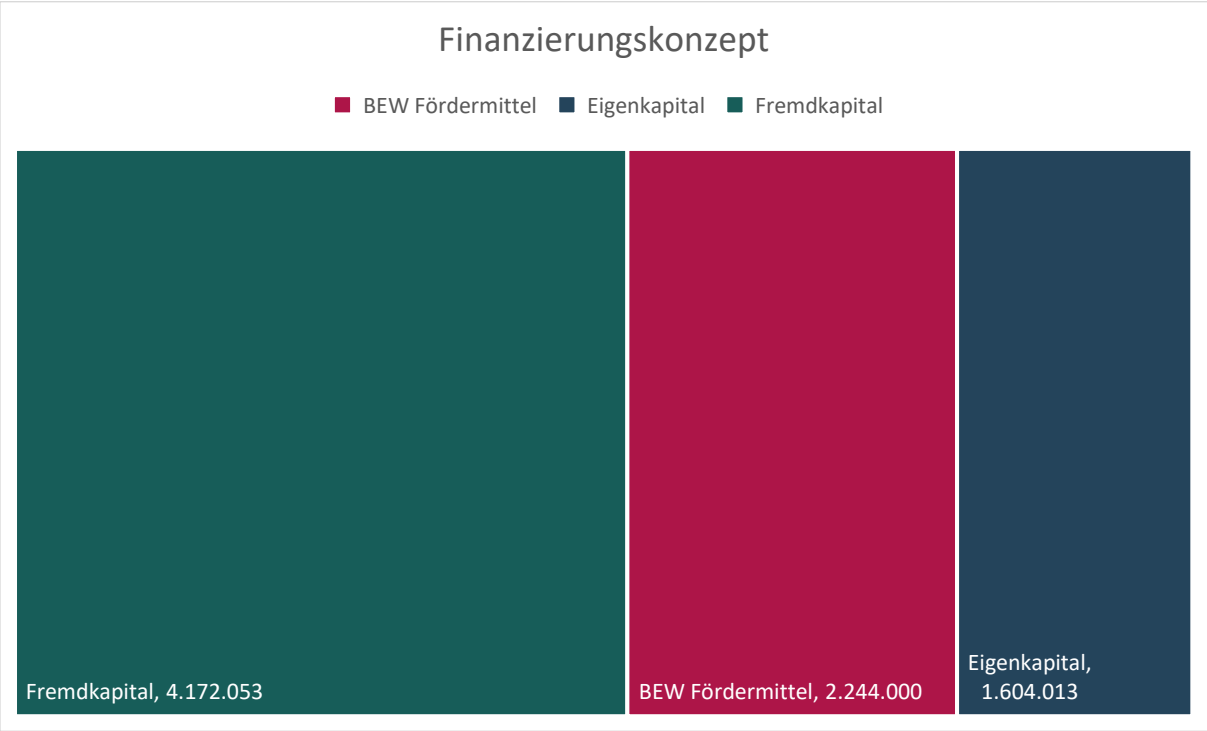

Abbildung 13: Finanzierungskonzept

Wirtschaftsplan der favorisierten Variante dem Auftraggeber mit der Übergabe des Berichts als bearbeitbare Excel-Datei zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt. Im weiteren Projektverlauf ist eine Ergänzung des vereinfachten Wirtschaftsplans um eine Gewinn- und Verlustrechnung sowie die Einbindung der Ergebnisse von Planung und konkret eingeholten Angeboten erforderlich. Dies dient als Basis für eine Investitionsentscheidung.

4.2. Wärmelieferpreis und Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für die Vorzugsvariante wurde eine umfassende Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Grundlage der Bewertung ist die Kapitalwertmethode unter Anwendung einer Diskontierungsrate von 8 % sowie einer Betrachtungsdauer von 25 Jahren. Die Abschreibungszeiträume der einzelnen Anlagenteile wurden gemäß den üblichen und anerkannten Vorgaben angesetzt. Auf Basis dieser Prämissen konnte die wirtschaftliche Tragfähigkeit der Vorzugsvariante nachgewiesen werden.

Der resultierende Wärmelieferpreis wird maßgeblich durch die erreichbare Anschlussquote bestimmt. Darüber hinaus hängt der konkrete Wärmepreis von den resultierenden Gesamtkosten der Wärmeversorgung ab. Diese setzen sich aus den in Kapitel 5.1 dargestellten Bedarfskosten, Investitionskosten sowie laufenden Betriebs- und Instandhaltungskosten zusammen. Entsprechend bildet der Wärmelieferpreis die kostenbasierte Umsetzung der geplanten Transformationsmaßnahmen ab und stellt die wirtschaftliche Grundlage für eine langfristig stabile und wettbewerbsfähige Wärmeversorgung dar.

4.3. Risikoanalyse

Zur besseren Beurteilung der Projektrisiken bzw. der relevanten Einflussgrößen auf die Wirtschaftlichkeit des Projektes wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Zu diesem Zweck

wurden insgesamt folgende vier Parameter auf ihren Einfluss auf die Wärmegestehungskosten untersucht. Die Modifikation zum Basiswert wurde mit einer Abweichung von -25 % bzw. +25 % vorgenommen.

Tabelle 13: Parameter der Sensitivitätsanalyse

Parameter	Basiswert
Wärmeabsatz im Quartier (Endausbau)	5 GWh/a
Entwicklung des Strompreises für die Wärmepumpen	160 €/MWh
Effizienz der Wärmepumpen	2,5
Mehr- oder Minderkosten in der Projektumsetzung	8.000.000 € Gesamtinvestitionen, inkl. Unvorhergesehenes

Die Resultate der Sensitivitätsanalyse legen nahe, dass der Wärmeabsatz im Quartier den signifikanten Einfluss auf die Projektrendite aufweist. Demgegenüber sind Abweichungen von den ursprünglichen Werten, die eine Spannbreite von +/-25 % um den Ausgangswert aufweisen, als vernachlässigbar zu betrachten, wenn es um die Wärmegestehungskosten geht. Sowohl der Strompreis als auch die Anlageneffizienz der Wärmepumpen beeinflusst die Wirtschaftlichkeit des Projektes in signifikanter Weise. In der nächsten Projektphase sollte daher ein besonderes Augenmerk auf diese Parameter gelegt werden.

5. Zeit- und Ressourcenplan

Das nachfolgende Diagramm veranschaulicht den Zeitplan für die weitere Implementierung des Projektes. Parallel zur Erstellung des Transformationsplans, der nicht nach BEW gefördert wird, läuft der Förderantrag für die HOAI-Leistungsphasen 2-4, wobei der Transformationsplan als Voruntersuchung dient. Im Anschluss an die Fachplanung (Lph2-4) erfolgt die weitere Projektumsetzung im Rahmen von Modul 2, zu dem beispielsweise die Ausschreibung und Vergabe sowie der Bau des Wärmenetzes zählen. Nach Abschluss der Planungsleistungen (Lph 2-4) wird folglich ein neuer Förderantrag für Modul 2 (Systemische Förderung) beim BAFA gestellt. Die Gesamtprojektdauer für Modul 2 ist zunächst gemäß dem Bewilligungszeitraum im BEW zunächst auf vier Jahre begrenzt, wobei eine Verlängerung um zwei weitere Jahre möglich ist.

Tabelle 14: Potenzieller Zeitplan für die weitere Projektimplementierung

	Arbeitspaket	Q4 2025	Q1 2026	Q2 2026	Q3 2026	Q4 2026	Q1 2027	Q2 2027	Q3 2027	Q4 2027	Q1 2028	Q2 2028	Q3 2028	Q4 2028	Q1 2029	Q2 2029	Q3 2029	Q4 2029
Planung/BEW	Modul 1 Machbarkeitsstudie (LPH1)																	
	Antrag Aufstockung Modul 1 Planungsleistung (LPH 2-4)																	
	Modul 1 Planungsleistung (LPH 2-4)																	
	Antrag Modul 2																	
	Ausführungsplanung (LPH 5), Ausschreibung, Vergabe																	
Umsetzung/IBN	Umbau Energiezentrale																	
	Errichtung Wärmenetz BA1																	
	Inbetriebnahme Energiezentrale + BA1																	
	Errichtung Wärmenetz BA2																	
	Inbetriebnahme BA2																	

6. Pfad zur Treibhausgasneutralität

Der Pfad zur Treibhausgasneutralität stellt einen Zeitplan zur Umsetzung des in der SOLL-Analyse des Wärmenetzes angedachten Versorgungskonzeptes dar und ist der Tabelle 15 zu entnehmen.

Gemäß dem Plan ist die Erreichung eines Anteils von 43 % erneuerbarer Wärme im Wärmenetz bis zum Jahr 2030 vorgesehen. Dieser wird hauptsächlich durch den Ausbau und die Inbetriebnahme der Luft-Wärmepumpe erreicht. Das Ziel für das Jahr 2045 besteht in der vollständigen Deckung des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien. Die sich in den jeweiligen Jahren ergebenden Treibhausgasemissionen sind im Abschnitt 3.4 in Tabelle 11dargestellt.

Die Stadt Duderstadt hat sich zum Ziel gesetzt, bereits im Jahr 2040 CO_2-neutral zu sein. Dieses Ziel kann grundsätzlich mit dem vorgestellten Transformationskonzept erreicht werden, beispielsweise durch den Einsatz CO_2-neutraler Brennstoffe ab dem Jahr 2040. Hierfür sollte zu einem geeigneten Zeitpunkt, etwa im Jahr 2035, eine Evaluation erfolgen und eine Entscheidung darüber getroffen werden, wie die Energieversorgung des Spitzenlastkessels in den Folgejahren sichergestellt werden soll.

Tabelle 15: Pfad zur Treibhausneutralität mit Angabe der jeweiligen thermischen Leistungen (P_{th}) und Wärmemengen (Q_{th}).

		Ist-Zustand (2024)	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**
Luft Wärme-pumpe	P_{th} (kW)	-	1.000	1.000	1.500	1.500
	Q_{th} (MWh/a)	-	2.360	2.360	4.198	4.198
	Energieträger	-	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar
Power to Heat	P_{th} (kW)	-	300	300	600	1000
	Q_{th} (MWh/a)	-	212	212	635	1.199
	Energieträger	-	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar	Strom erneuerbar
Kraft-Wärme-Kopplung	P_{th} (kW)	756	1.040	1.040	-	-
	Q_{th} (MWh/a)	2.119	3.422	3.422	-	-
	Energieträger	Erdgas	Erdgas	Erdgas	-	-
Spitzenlast-kessel	P_{th} (kW)	2.700	900-2.700	900-2.700	900-2.700	1.000
	Q_{th} (MWh/a)	878	3	3	1164	600
	Energieträger	Erdgas/ Erdöl	Erdgas/ Erdöl	Erdgas/ Erdöl	Syn. Energieträger/ H_2 erneuerbar/ Biomethan	Syn. Energieträger/ H_2 erneuerbar/ Biomethan
Gesamt Erzeugerpark	Q_{th} (MWh/a)	2.997	5.997	5.997	5.997	5.997
Anteil EE		**0%**	**43%**	**43%**	**100%**	**100%**

7. Maßnahmen zur Bürgereinbindung und Stärkung der Akzeptanz sowie Akquise

Die Einbindung der Bürgerschaft sowie die frühzeitige und transparente Kommunikation sind wesentliche Erfolgsfaktoren für die Umsetzung der geplanten Transformation der Wärmeversorgung. Ziel ist es, Akzeptanz für die Maßnahmen zu schaffen, Vertrauen aufzubauen und gleichzeitig eine möglichst hohe Anschlussquote zu erreichen.

Bereits im Jahr 2024 wurde eine Bürgerinformationsveranstaltung durchgeführt, in der die Ausgangssituation, die Zielsetzung der Transformation sowie erste Lösungsansätze vorgestellt wurden. Ergänzend dazu erfolgte im Jahr 2026 eine begleitende Öffentlichkeitsarbeit in Form von Zeitungsartikeln und Pressemitteilungen. Diese Maßnahmen dienten der breiten Information der Bevölkerung über die geplanten Veränderungen, die Vorteile der zukünftigen Wärmeversorgung sowie die langfristigen ökologischen und wirtschaftlichen Effekte.

Aufbauend auf diesen bereits umgesetzten Kommunikationsmaßnahmen ist für die weiteren Projektphasen eine gezielte Vertriebsoffensive geplant. Diese soll insbesondere potenzielle Anschlussnehmer direkt ansprechen und über konkrete Anschlussmöglichkeiten, Kostenstrukturen und Vorteile der leitungsgebundenen Wärmeversorgung informieren. Durch die Kombination aus transparenter Information, persönlicher Ansprache und klaren wirtschaftlichen Argumenten soll die Akzeptanz weiter gesteigert und die notwendige Anschlussquote zur wirtschaftlichen Umsetzung des Transformationskonzepts sichergestellt werden.

8. Weitere Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung

Neben dem Ausbau der Erzeugungsanlagen und des Wärmenetzes tragen auch betriebliche, organisatorische und digitale Maßnahmen wesentlich zur Steigerung der Effizienz und zur Reduzierung von Energieverlusten bei. Die nachfolgend dargestellten Maßnahmen ergänzen den Transformationspfad und unterstützen einen wirtschaftlichen, flexiblen und zukunftsfähigen Netzbetrieb.

Maßnahme 1: Zeitweise Abschaltung gering ausgelasteter Netzabschnitte

Netzabschnitte mit dauerhaft oder saisonal sehr geringer Wärmeabnahme (z. B. Schulgebäude außerhalb der Heizperiode) werden zeitweise außer Betrieb genommen, hydraulisch abgetrennt oder mit stark reduzierter Netztemperatur gefahren.

Effekte auf das Wärmenetz:

- Reduktion der Wärmeverluste in schwach ausgelasteten Leitungsabschnitten
- Verringerung unnötiger Vorhaltungstemperaturen im Sommerbetrieb
- Senkung des erforderlichen Pumpenergieeinsatzes
- Verbesserung der energetischen Gesamteffizienz des Wärmenetzes

Maßnahme 2: Gezielte Absenkung der Vorlauftemperatur im Sommerbetrieb

Im Sommerbetrieb wird die Vorlauftemperatur im Primärnetz gezielt und gleitend abgesenkt. Die Temperaturführung orientiert sich am tatsächlich erforderlichen Mindestniveau zur Versorgung der verbleibenden Abnehmer.

Effekte auf das Wärmenetz:

- Direkte Reduktion der Leitungswärmeverluste durch geringere Temperaturdifferenzen zur Umgebung
- Verbesserung der Effizienz von Wärmeerzeugern
- Reduzierung des jährlichen Energieeinsatzes für die Wärmeerzeugung

Maßnahme 3: Sicherstellung der Datenerfassung und des Messstellenbetriebs

Der kontinuierliche Betrieb aller relevanten Messstellen wird sichergestellt. Dies umfasst die zuverlässige Erfassung von Wärmemengen, Temperaturen und Volumenströmen im Primär- und Sekundärnetz.

Effekte auf das Wärmenetz:

- Transparenz über energetische Verluste und Betriebszustände
- Grundlage für datenbasierte Betriebsoptimierung
- Früherkennung von Fehlfunktionen oder ineffizienten Netzbereichen
- Verbesserung der Nachvollziehbarkeit gegenüber Fördermittelgebern und Aufsichtsstellen

Maßnahme 4: Erweiterung der Messinfrastruktur zur Betriebsoptimierung

Das Wärmenetz wird schrittweise mit zusätzlichen Messpunkten ausgestattet, insbesondere an Netzknoten, Einspeisepunkten und Übergabestationen. Dies ermöglicht eine feinere Steuerung des Gesamtsystems.

Effekte auf das Wärmenetz:

- Ermöglichung eines optimierten iKWK-Betriebs in der Zukunft
- Verbesserung der Last- und Temperaturführung im Netz
- Reduktion von Sicherheitszuschlägen im Betrieb
- Effizientere Einbindung erneuerbarer und flexibler Wärmeerzeuger

Maßnahme 5: Systematische Dokumentation und Auswertung von Betriebskennzahlen

Zentrale Betriebskennzahlen wie Netzverluste, Pumpstromverbräuche und Rücklauftemperaturen werden regelmäßig dokumentiert und ausgewertet. Die Ergebnisse fließen in die kontinuierliche Betriebsoptimierung ein.

Effekte auf das Wärmenetz:

- Laufende Identifikation von Effizienzpotenzialen
- Nachweis der Wirksamkeit umgesetzter Maßnahmen
- Unterstützung strategischer Entscheidungen zur Netztransformation
- Langfristige Senkung von Energie- und Betriebskosten

Maßnahme 6: Anreizsysteme zur Absenkung der Rücklauftemperaturen

Für angeschlossene Gebäude werden Anreize zur Senkung der Rücklauftemperatur geschaffen, z. B. durch vertragliche Regelungen, Bonusmodelle oder technische Unterstützung beim hydraulischen Abgleich auf Gebäudeebene.

Effekte auf das Wärmenetz:

- Nachhaltige Absenkung der Rücklauftemperaturen im Gesamtnetz
- Reduktion der Netzverluste und des Pumpenergiebedarfs
- Verbesserung der Effizienz zentraler und dezentraler Wärmeerzeuger
- Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Netzbetreiber und Anschlussnehmern

9. Fazit

Der vorliegende Transformationsplan zeigt, dass die schrittweise Umstellung des bestehenden Wärmenetzes der EBB Duderstadt auf eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung technisch, wirtschaftlich und organisatorisch umsetzbar ist. Der Plan wurde gemäß den Vorgaben der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW), Modul 1, erstellt und erfüllt die Anforderungen an eine förderfähige, belastbare Voruntersuchung.

Ausgehend von einer detaillierten Ist-Analyse des Wärmenetzes und der Wärmeerzeugung wurde der fossil geprägte Ausgangszustand des Jahres 2024 transparent dargestellt. Auf dieser Grundlage erfolgte eine systematische Untersuchung relevanter erneuerbarer Wärmequellen sowie geeigneter Erzeugungstechnologien. Die Auswahl der Vorzugsvariante basiert auf einer nachvollziehbaren Abwägung technischer Machbarkeit, lokaler Rahmenbedingungen, wirtschaftlicher Tragfähigkeit sowie der regulatorischen Anforderungen des Wärmeplanungsgesetzes und der BEW-Richtlinie.

Der entwickelte Transformationspfad beschreibt einen schrittweisen Umbau des Wärmenetzes hin zu einem überwiegend strom- und erneuerbar basierten Erzeugungssystem. Bereits bis zum Jahr 2030 wird ein Anteil erneuerbarer Energien von 43 % erreicht, bis 2045 ist die vollständige Umstellung auf eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung vorgesehen. Der Primärenergieeinsatz sowie die bilanziellen CO_2-Emissionen werden gemäß Stromgutschriftmethode vollständig reduziert. Die energetischen Zielwerte und Kennzahlen wurden konsistent hergeleitet und dokumentiert.

Die durchgeführte Wirtschaftlichkeitsanalyse bestätigt, dass die Umsetzung der Vorzugsvariante unter realistischen Annahmen zu Anschlussquoten, Kostenentwicklungen und Förderbedingungen wirtschaftlich tragfähig ist. Der ermittelte Wärmelieferpreis liegt in einem marktüblichen Bereich und bildet eine stabile Grundlage für den weiteren Netzausbau. Die ergänzende Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die wesentlichen Einflussgrößen identifiziert wurden und die verbleibenden Projektrisiken beherrschbar sind.

Insgesamt stellt der Transformationsplan eine tragfähige Entscheidungs - und Planungsgrundlage für die nächsten Projektschritte dar. Die Inhalte erfüllen die Anforderungen an BEW Modul 1 vollständig und bilden zugleich die fachliche, technische und wirtschaftliche Basis für die Einleitung der weiteren Planungsleistungen sowie für die anschließende Beantragung der Projektumsetzung im Rahmen von BEW-Modul 2.