

Erstellung strategischer Energieversorgungskonzepte für Prüfgebietscluster der Wärmeplanung in München

Abschlussbericht zur Veröffentlichung

(datenschutzkonforme und durch das Referat für Klima- und Umweltschutz
(RKU) der Landeshauptstadt München gekürzte Fassung)

Auftraggeber

Referat für Klima- und Umweltschutz der Landeshauptstadt München

Auftragnehmer

IREES GmbH - Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien
e-think energy research GmbH

Autoren

Johannes Haller, Dr. Sophie Lohmann, Dr. Jan Steinbach (IREES),
Dr. Andreas Müller (e-think)

Karlsruhe, 22. Mai 2026

IREES GmbH Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien

Durlacher Allee 77

D - 76131 Karlsruhe

Telefon: +49 721 – 915 2636 – 36

www.irees.de

info@irees.de

Geschäftsführung: Dr. Jan Steinbach, Dr. Heike Brugger

Amtsgericht Mannheim, Handelsregisternummer: HRB 111193

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	V
1 Executive summary	7
2 Ausgangslage und Zielsetzung	12
2.1 Zielsetzung und Motivation	12
2.2 Ausgangslage in den Prüfgebietsclustern	12
3 Methodik und Datengrundlagen	18
3.1 Wärmeplan/Modell München	18
3.2 Ortsbildanalyse	19
3.3 Umweltwärmepotenziale	20
3.4 Akteurs- und Liegenschaftsinformationen	29
4 Analyse klimaneutraler Versorgungsoptionen	38
4.1 Dezentrale Einzelgebäude-Lösungen	38
4.2 Zentrale und Quartierslösungen	59
4.3 Liegenschaften mit besonderen Herausforderungen: Krankenhaus Barmherzige Brüder (Quartier Südliches Schloßbrondell)	93
5 Vergleich und Bewertung der Versorgungsoptionen	94
5.1 Bewertungsrahmen und Kriterien	94
5.2 Quantitative Bewertung	95
5.3 Qualitative Bewertung	115
5.4 Gesamtvergleich der Optionen	121
6 Akteursbeteiligung	125
6.1 Erste Beteiligungsphase	125
6.2 Zweite Beteiligungsphase	126
7 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Prüfgebiete und auf Eignungsgebiete „Wärmepumpe nach Sanierung“	130
7.1 Gebäudeverteilung in den zu untersuchenden Gebieten (Untersuchungsgebieten)	131
7.2 Gebietstypen	135
7.3 Potenzial von Luftwärmepumpen zur Versorgung der Gebäude in den Untersuchungsgebieten	139
7.4 Fazit zur Übertragbarkeit auf andere Gebiete	159
8 Empfehlungen und Umsetzungspfad	160

8.1	Technologische Pfade der Wärmewende	160
8.2	Unterstützung der Umsetzung	162
8.3	Stufe 1: Kurzfristige Umsetzung (bis ca. 2030)	163
8.4	Stufe 2: Mittelfristige Umsetzung (ca. 2030–2040)	165
8.5	Stufe 3: Zielbild (ab ca. 2040)	166
9	Literatur	167

Abkürzungen

BEG	Bundesförderung Effiziente Gebäude
BEW	Bundesförderung Effiziente Wärmenetze
BSV	Bayerische Schlösser-Verwaltung
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ äq.	Kohlendioxid - Äquivalent
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DSGVO	Datenschutzgrundverordnung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EE	Erneuerbare Energie
EFH	Einfamilienhaus
EZFH	Ein- und Zweifamilienhaus
FW	Fernwärme
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GIS	Geographische Informationssystem
GWh	Gigawattstunde
KWK	Kraftwärmekopplung
KWP	Kommunale Wärmeplanung
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LHM	Landeshauptstadt München
MFH	Mehrfamilienhaus
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
MSE	Münchner Stadtentwässerung
NWG	Nichtwohngebäude
O&M	Betriebs- und Wartungskosten (operation & maintenance)
RKU	Referat für Klima- und Umweltschutz
SWM	Stadtwerke München
TAP	Thermal Aquifer Potenzial
THG	Treibhausgas

UDB	Untere Denkmalschutzbehörde
VMW	Vereinigung Münchener Wohnungsunternehmen e.V.
WPG	Wärmeplanungsgesetz
WE	Wohneinheit
WG	Wohngebäude
WP	Wärmepumpe

1 Executive summary

Im Rahmen dieses Projekts wurden für drei ausgewählte Prüfgebietscluster der kommunalen Wärmeplanung München tragfähige Strategien für eine klimaneutrale Wärmeversorgung entwickelt, bewertet und die Übertragbarkeit auf weitere Prüfgebiete untersucht. Ziel war es, insbesondere für jene Gebiete Lösungen zu identifizieren, in denen im bestehenden Wärmeplan bislang keine eindeutige Versorgungsoption für mindestens 80 % der Gebäude bestimmt werden konnte.

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass keine universell geeignete Versorgungslösung existiert. Vielmehr sind die technisch, ökonomisch und ökologisch tragfähigsten Optionen stets stark abhängig von den jeweiligen Quartiersstrukturen, den Gebäudeeigenschaften sowie den verfügbaren lokalen Wärmequellen.

Methodik

Die Untersuchung baut auf dem bestehenden Wärmeplan der Landeshauptstadt München (basierend auf dem Wärmebedarf des sog. "Modell München") auf und wurde durch zusätzliche Analysen und Datenerhebungen vertieft. Hierzu gehörten insbesondere eine detaillierte Ortsbildanalyse mit manueller Gebäudesichtung zur Bewertung realer Umsetzungsbedingungen vor Ort. Zudem wurden lokale Umweltwärmepotenziale systematisch untersucht, darunter Luft, Abwasser, Fließgewässer und Grundwasser. Darauf aufbauend erfolgte die Prüfung **innovativer** Wärmepumpenlösungen sowohl für dezentrale (bspw. Aufdach-, Etagen- und dachintegrierte Luft-Wärmepumpen oder PVT-Wärmepumpen) als auch für semi-zentrale und zentrale Anwendungen (bspw. containerbasierte oder vertikale Luft-Großwärmepumpen). In Bereichen mit hoher Wärmedichte und geeigneter Quellenverfügbarkeit wurden potenzielle Nahwärmenetze konzeptionell entworfen. Die identifizierten Versorgungsoptionen wurden technisch, ökonomisch und ökologisch bewertet und vergleichend gegenübergestellt. Ein zentraler Bestandteil der Methodik war darüber hinaus die enge Einbindung relevanter Akteure, darunter die Stadtverwaltung, Energieversorger, Denkmalschutzbehörden sowie Eigentümer:innen und Betreiber größerer Liegenschaften.

Zentrale Ergebnisse

Über alle untersuchten Gebiete hinweg stellen dezentrale Wärmepumpenlösungen die zentrale Basisoption dar. Sie zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Wirtschaftlichkeit, kurzfristige Umsetzbarkeit und breite Anwendbarkeit aus, sind jedoch insbesondere in dicht bebauten Quartieren durch Flächenverfügbarkeit, Schallschutzanforderungen und denkmalrechtliche Rahmenbedingungen eingeschränkt. Quartiersbezogene Wärmenetzlösungen auf Basis von Großwärmepumpen weisen erhebliche CO₂-Minderungspotenziale auf, sind jedoch nur unter spezifischen Voraussetzungen wirtschaftlich darstellbar und mit höheren Umsetzungsanforderungen verbunden. Eine flächendeckende Umsetzung zentraler Wärmenetze ist daher kurz- bis mittelfristig nicht realistisch.

Gebietsspezifische Bewertung

Die Analyse der drei Prüfgebietscluster zeigt deutliche Unterschiede in den geeigneten Versorgungsstrategien. In dem dicht bebauten innerstädtischen Quartier **Münchner Freiheit** sind dezentrale Luft-Wärmepumpen nur für einen Teil der Gebäude realisierbar. Demgegenüber stellen Nahwärmelösungen in besonders dicht bebauten Baublöcken in Kombination mit Großwärmepumpen, die Wärme aus dem Schwabinger Bach und einem größeren Abwasserkanal entziehen, eine technisch und ökonomisch gut geeignete Option dar. Diese ist zwar mit einem hohen Koordinationsaufwand verbunden, bietet gleichzeitig aber ein erhebliches CO₂-Minderungspotenzial.

Im Quartier **Südliches Schloßbrondell** zeigt sich eine gute Kombinierbarkeit aus dezentralen Wärmepumpenlösungen und quartiersbezogenen Ansätzen. Eine abwasserbasierte Wärmenetzlösung ist technisch realisierbar und wirtschaftlich vergleichbar mit dezentralen Wärmepumpenlösungen.

Aufgrund der aufgelockerten Bebauungsstruktur sind im Quartier **Hochleite/Theodolindenplatz** dezentrale Luft-Wärmepumpen, teilweise auch in kaskadierten Systemen, für den Großteil der Gebäude umsetzbar. Zentrale Wärmenetzlösungen sind daher nicht erforderlich und wirtschaftlich wie umweltschutzrechtlich kaum realisierbar.

Abgeleitete Empfehlungen und Umsetzungspfad

Aus dem Vergleich der Versorgungsoptionen ergibt sich eine konsequente Priorisierung dezentraler Wärmepumpenlösungen als kurzfristig wirksame und wirtschaftlich tragfähige Basisstrategie. Diese sollten neben der bestehenden Zusatzförderung der Landeshauptstadt München (LHM) durch konkrete Planungs- und Beratungsangebote flankiert werden, insbesondere für Mehrfamilienhäuser und komplexe Gebäudestrukturen. Innovative Aufstellungs- und Systemlösungen (z. B. Kaskaden, dachintegrierte Anlagen, containerbasierte Systeme) sind aktiv in die Beratung zu integrieren, um bestehende Flächen- und Schallrestriktionen zu überwinden. In Gebäuden mit hohen Vorlauftemperaturen oder eingeschränkten Sanierungsmöglichkeiten ist der Einsatz hybrider Systeme als Übergangslösung zu empfehlen. Wärmepumpen übernehmen dabei die Grundlast, während bestehende Systeme zunächst für Spitzenlasten weiterbetrieben werden. Diese Systeme sind so auszulegen, dass ein späterer vollständiger Übergang auf erneuerbare Wärme, bspw. durch kleinere Biomassefeuerungen, möglich bleibt.

Quartiersbezogene Wärmenetzlösungen sind gezielt dort weiterzuverfolgen, wo klare strukturelle Voraussetzungen vorliegen. Dazu gehören insbesondere eine hohe Wärmedichte, geeignete und gesicherte Umweltwärmequellen sowie das Vorhandensein großer Ankerkunden. Für solche Gebiete ist eine frühzeitige Unterstützung der weiteren Planungsschritte durch die LHM sinnvoll. Dabei stehen die Identifikation und Aktivierung engagierter Einzelpersonen oder lokaler Initiativen als Voraussetzung für weitere Schritte im Vordergrund. Hierfür kann eine frühzeitige Vernetzung mit bestehenden Beratungsangeboten

sowie mit vergleichbaren Initiativen und Praxisbeispielen dazu beitragen, zur Umsetzung zu aktivieren. Darauf aufbauend kann die Stadt insbesondere mit der Durchführung oder Förderung von Machbarkeitsstudien, der Prüfung geeigneter Standorte für Energiezentralen und Entnahmestellen und der frühzeitigen Abstimmung mit Genehmigungsbehörden unterstützen.

Zur Umsetzung ist der Aufbau spezifischer Unterstützungsstrukturen erforderlich, in Anknüpfung und Ergänzung zu den bereits von der LHM praktizierten Aktivitäten (wie die aufsuchende Energieberatung, die Angebote des Bauzentrums oder das städtische Förderprogramm klimaneutrale Gebäude). Insbesondere quartiersbezogene Beratungsangebote, standardisierte Wirtschaftlichkeitsvergleiche mit einheitlichen Energiepreisannahmen sowie gezielte und aufsuchende Informationsangebote für Eigentümer:innen mit kurzfristigem Investitionsbedarf sind notwendig. Ein besonderer Fokus sollte auf Gebäuden mit alten Heizsystemen liegen, um fossile Ersatzinvestitionen insbesondere unter perspektivisch geänderten Rahmenbedingungen durch die geplante Novelle des Gebäudeenergiegesetzes zu vermeiden. Insbesondere müssen langfristige Kosten- und Versorgungsrisiken gasbasierter Lösungen klar adressiert und konkrete Alternativen aufgezeigt werden. Ergänzend sind gezielte Förder- und Unterstützungsangebote für vulnerable Gruppen und komplexe Gebäudesituationen sinnvoll, insbesondere bei Denkmalschutz, eingeschränkten Flächenverhältnissen oder wirtschaftlichen Hemmnissen. Parallel dazu ist die Qualifizierung von Fachakteuren (Planung, Handwerk, Energieberatung) weiter auszubauen, um die Umsetzung innovativer Wärmepumpensysteme zu erleichtern.

Kurzfristig (bis ca. 2030) steht die breite Umsetzung dezentraler Wärmepumpenlösungen sowie der Einsatz hybrider Systeme im Vordergrund. Diese kann durch gezielte Aktivierungs- und Umsetzungsformate im Rahmen einer zu entwickelnden Kommunikations- und Beteiligungsstrategie seitens der LHM unterstützt werden. Dazu gehört insbesondere die Durchführung von Interessensabfragen für Bündelungsaktionen für Wärmepumpensysteme (Nachfragebündelung) in geeigneten Gebäudestrukturen sowie die Bündelung von Energieberatungs-, Genehmigungs- und Sanierungsprozessen in bauähnlichen Gebäuden, um Synergien zu nutzen und Kosten zu reduzieren.

Mittelfristig (bis ca. 2040) erfolgt die selektive Umsetzung quartiersbezogener Wärmenetzlösungen sowie die Weiterentwicklung bestehender Systeme. Die planerischen und genehmigungsrechtlichen Vorarbeiten für zentrale Wärmenetze und Großwärmepumpen in Form von Machbarkeitsstudien, Standortprüfungen und Genehmigungsabklärungen (z. B. für Abwasser-, Flusswasser- und zentrale Luftwärmepumpen) sollten jedoch frühzeitig begonnen werden. Voraussetzung ist das Vorhandensein interessierter Akteure (z. B. Bürgerenergiegenossenschaften, Contractor, Stadtwerke). Machbarkeitsstudien können von der Kommune beauftragt und über die BEW mit bis zu 50 % gefördert werden. Langfristig wird eine weitgehend klimaneutrale Wärmeversorgung erreicht, die maßgeblich auf strombasierten Systemen mit Nutzung erneuerbarer Umweltwärme basiert.

Übertragbarkeit auf andere Prüfgebiete

Kapitel 7 untersucht die Übertragbarkeit der entwickelten Energieversorgungskonzepte auf weitere Prüfgebiete und bewertet deren Skalierbarkeit auf unterschiedliche städtebauliche Strukturtypen. Grundlage bildet eine systematische Analyse von 288 Baublöcken mit der Klassifizierung „Prüfgebiet“ sowie 646 Baublöcken mit der Kategorie „Wärmepumpe nach Sanierung“, insgesamt rund 20.000 Gebäudeobjekte mit einem Wärmebedarf von etwa 800 GWh¹.

Die Ergebnisse zeigen, dass Vorgehen, Methodik und Bewertungskriterien gut auf weitere Prüfgebiete übertragbar sind. Die Bewertung erfolgte mithilfe algorithmischer GIS-Analysen, wodurch eine konsistente Skalierung der Methodik auf eine große Anzahl von Baublöcken möglich ist.

Dezentrale Wärmepumpenlösungen stellen in den meisten Gebietstypen die Basisoption dar. Die Auswertung zeigt, dass ein sehr großer Anteil der untersuchten Baublöcke Eignungskategorien zugeordnet werden können, in denen gebäudeindividuelle Wärmepumpenlösungen ohne oder nach moderaten Sanierungsmaßnahmen realisierbar sind. Von den insgesamt 955 untersuchten Baublöcken konnten für 858 geeignete Lösungen identifiziert werden, um 90 % der Gebäude ohne vorherige umfassende Sanierungsmaßnahmen mit angepassten Wärmepumpenlösungen zu versorgen.

Damit ergibt sich eine quantitative Aussage zum Projekterfolg: **rund 95 % der betrachteten Baublöcke, welchen zuvor die Kategorie „Prüfgebiet“ zugewiesen wurde, können grundsätzlich mit geeigneten dezentralen Lösungen versorgt werden und stellen somit faktisch keine Prüfgebiete auf Baublockebene mehr dar**, da eine technisch plausible Transformationsoption identifiziert wurde. Dennoch kann sich die Transformation im Einzelfall schwieriger gestalten als in anderen Gebieten der Stadt.

Einschränkungen zeigen sich insbesondere in dicht bebauten innerstädtischen Strukturen mit Blockrandbebauung, begrenzten Aufstellflächen oder komplexen Eigentümerstrukturen. Hier können fehlende Freiflächen, genutzte Dachgeschosse oder geringe Gebäudeflächen die Installation von Luftwärmepumpen erschweren. Dennoch zeigen die Analysen, dass innovative Systemlösungen, alternative Aufstellkonzepte oder ergänzende klimaneutrale Energieträger die identifizierten Restriktionen teilweise überwinden können.

Die Priorisierung „dezentral vor zentral, einfach vor komplex, kurzfristig vor langfristig“ erweist sich als robust übertragbare Planungsgrundlage für größere Gebiete. Das gilt nicht zwangsläufig für jedes Einzelgebäude, da die individuellen Herausforderungen sehr groß sein können. Gerade in heterogenen Quartieren mit unterschiedlichen Eigentümerstrukturen ermöglicht dieser Ansatz jedoch eine schrittweise und realisierungsorientierte Transformation der Wärmeversorgung. Dort, wo eine dezentrale Versorgung aufgrund von dichter Bebauung

¹ Der zur Verfügung gestellte Datensatz beinhaltet 710 Gebiete (zumeist Baublöcke, teilweise sind Baublöcke jedoch in mehrere Gebiete unterteilt) mit dem Attribut „Wärmepumpe nach Sanierung“ und 414 Gebiete mit dem Attribut „Prüfgebiet“. Diese ergeben in Summe 1124 Gebiete bzw. 1123 unterschiedliche Baublöcke. Teilweise enthalten diese Gebiete jedoch keine beheizten Gebäude oder Daten konnten nicht zugeordnet werden. Wird der Datensatz um diese Gebiete bereinigt, so verbleiben 646 bzw. 288 Gebiete (934 Gebiete).

und/oder denkmalpflegerischen Einschränkungen nicht oder nur eingeschränkt möglich ist, können Nahwärmenetze eine Lösung mit vergleichbaren Wärmegestehungskosten darstellen, die quartiersspezifisch zu entwickeln sind.

Fazit:

Die Ergebnisse bestätigen eine hohe Übertragbarkeit der Methodik auf weitere Prüfgebiete. Dezentrale Wärmepumpenlösungen bilden in den meisten Gebietstypen die tragfähige Grundlage einer klimaneutralen Wärmeversorgung. Mehr als 95 % **der untersuchten Baublöcke** (Gebiete, die im Wärmeplan als „Prüfgebiete“ oder „Wärmepumpe nach Sanierung“ klassifiziert wurden) **können bereits einer konkreten Lösungsoption zugeordnet werden**, wodurch sich der Anteil echter Prüfgebiete deutlich reduziert. Einschränkungen bestehen vor allem in dichten innerstädtischen Lagen, insbesondere Gebiete Altbauten in Blockrandbauweise (mit und ohne Hinterhofbebauung). Diese können jedoch durch angepasste technische Lösungen und geeignete Transformationspfade teilweise kompensiert werden, indem Sanierungen und hybride Systeme schrittweise in einem mehrstufigen Vorgehen umgesetzt werden.

Die Entwicklung und Umsetzung von Wärmeversorgungslösungen in den Prüfgebieten ist mit diesem Projekt nicht abgeschlossen und bedarf der weiteren Begleitung und Unterstützung durch die Landeshauptstadt München.

2 Ausgangslage und Zielsetzung

2.1 Zielsetzung und Motivation

Mit dem Beschluss "Kommunale Wärmeplanung für München" im Mai 2024 wurde ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg in die Münchner Wärmewende gemeistert. Die meisten Baublöcke im Stadtgebiet konnten in diesem Rahmen als Eignungsgebiete mit eindeutiger Lösungsempfehlung für eine klimafreundliche Wärmeversorgung für mindestens 80 % der darin enthaltenen Gebäude ausgewiesen werden. Dennoch konnten im Wärmeplan noch nicht für alle Baublöcke Eignungen zur zukünftigen Wärmeversorgung ausgewiesen werden: Die sogenannten Prüfgebiete sind die weißen Flecken im Wärmeplan, in denen keine einheitliche Lösung für mindestens 80 % der Gebäude gefunden wurde. Diese Prüfgebiete müssen im nächsten Schritt näher betrachtet werden, um Lösungen zur nachhaltigen Wärmeversorgung in diesen herausfordernden Gebieten zu finden.

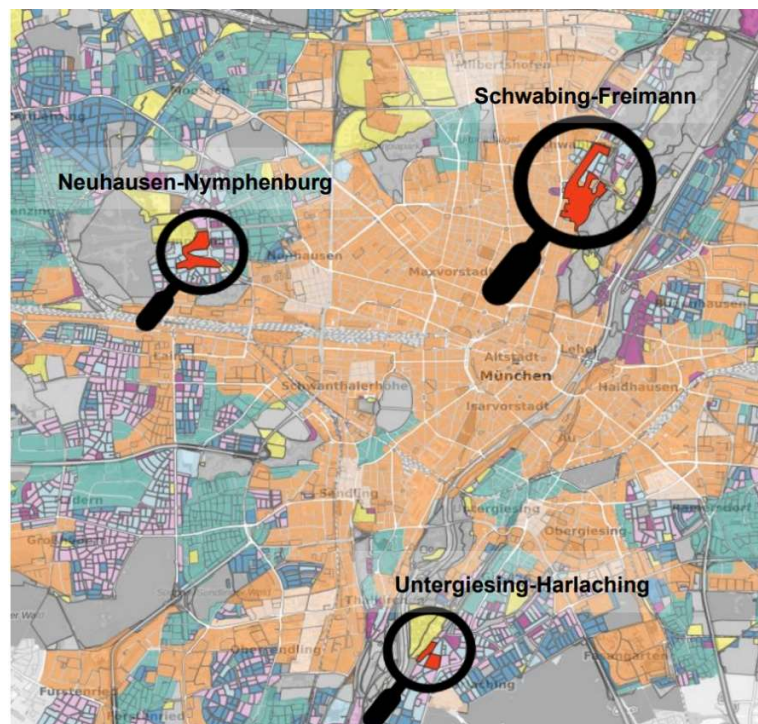
Das Ziel des vorliegenden Projektes war es, diesen Prozess für drei ausgewählte Prüfgebietscluster zu durchlaufen und damit (1) Handlungsoptionen für diese drei Prüfgebietscluster aufzuzeigen und (2) Methoden und Erkenntnisse zu gewinnen, die sich auf andere Prüfgebiete übertragen lassen. Dabei wurde auf die bestehenden Daten des Wärmeplans (Modell München) aufgebaut (Kapitel 3.1), die mit neuen Datensätzen (Kapitel 3.2) und weiterführenden Analysemethoden (Kapitel 4) erweitert wurden. Ein fortlaufender Austausch mit Partnern, die an der Wärmeplanung beteiligt waren, ermöglichte die Einbindung der dort bestehenden Daten und Rahmenbedingungen (Kapitel 3.4). Auf Basis der Ergebnisse der Analysen und der Austauschformate wurden die identifizierten Versorgungsoptionen (Kapitel 4) miteinander verglichen und Empfehlungen ausgesprochen (Kapitel 5). Ein weiterer Schwerpunkt war der Austausch mit Akteuren vor Ort in den Prüfgebietsclustern, um Lösungen zu entwickeln, die den lokalen Spezifika der Gebäude und den Bedürfnissen der Anwohnenden, der Eigentümer und Eigentümerinnen und anderen Menschen und Organisationen im Prüfgebiet gerecht werden (Kapitel 6). Aufbauend auf den vorliegenden Ergebnissen wurde die Übertragbarkeit auf andere Prüfgebiete untersucht (Kapitel 7) und schließlich Empfehlungen und Umsetzungsschritte abgeleitet (Kapitel 8).

Der vorliegende Bericht ist eine vom RKU gekürzte und leicht überarbeitete Fassung. Dabei wurden insbesondere Belange des Datenschutzes berücksichtigt. Zu diesem Zweck wurden zahlreiche Abbildungen mit Hinweisen auf individuelle Gebäude entfernt.

2.2 Ausgangslage in den Prüfgebietsclustern

Die drei zu untersuchenden Prüfgebietscluster wurden im Vorfeld vom Referat für Klima- und Umweltschutz ausgewählt. Sie decken drei typische Quartierstypen ab, die von dichter innerstädtischer vier- bis fünfgeschossiger Blockrandbebauung bis hin zu weiträumiger Vorstadtbebauung mit kleineren freistehenden Mehrfamilienhäusern reichen. Die Gebiete umfassen teilweise größere zusammenhängende Cluster von Prüfgebiets-Baublöcken ab und sollen durch ihre Verteilung über das Stadtgebiet hinweg weitere Prüfgebiete repräsentieren (siehe Abbildung 1). Dadurch wird eine Übertragbarkeit der Ergebnisse ermöglicht.

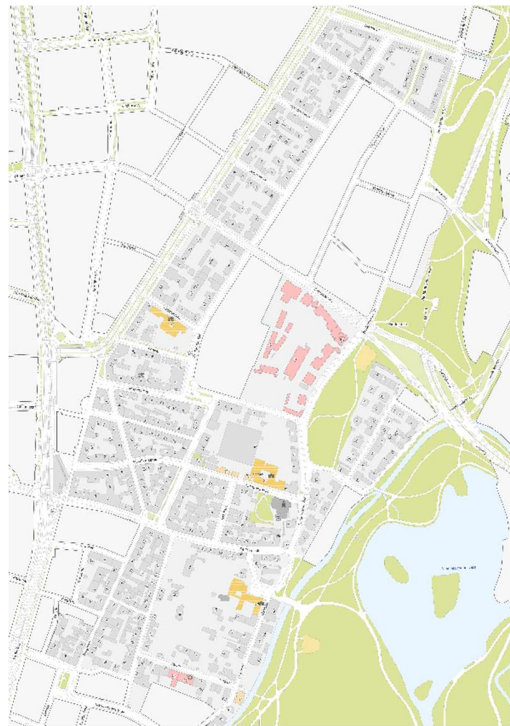
Abbildung 1: Verortung der drei Untersuchungsgebiete im Wärmeplan der Stadt München (Bildquelle: RKU)



2.2.1 Quartier Münchner Freiheit

Das Prüfgebietscluster Münchner Freiheit ist das größte der drei ausgewählten Cluster und erstreckt sich in Schwabing-Freimann zwischen Leopoldstraße/Ungererstraße und dem Englischen Garten, ungefähr von der Höhe der Maria-Josepha-Straße bis zur Stengelstraße in Nord-Süd-Richtung (s. Abbildung 2). Es ist dicht bebaut mit überwiegend mehrgeschossigen Wohnhäusern; der Anteil an Mietswohnungen und Gebäuden unter Denkmal- oder Ensembleschutz ist hoch.

Abbildung 2: Umgriff Quartier Münchner Freiheit



2.2.1.1 Schnelle Fakten

- Areal von 308.000 m², Wohnbau- (56 %) und Mischgebiet (44 %)
- 505 Gebäude, größtenteils 4- bis 6-geschossige Blockrandbebauung
- Baujahre zum Großteil vor 1950, 1/3 vor 1900
- Gebäude sind größtenteils gasversorgt
- 4.404 Wohneinheiten mit insgesamt 6.476 Einwohnern
- 306 Gebäude unter Denkmalschutz (61 %), davon 207 als Einzeldenkmal und 99 als Ensemble
- 39 Gebäude sind sichtbar oder nach Angaben aus Akteursbeteiligung thermisch saniert
- Klinikum rechts der Isar, Schulen, Kirchen
- 481 Eigentümer, davon 69% Privatpersonen, 17 % Unternehmen, 6 % Genossenschaften, kirchliche und städtische Unternehmen, 7 % LHM

2.2.1.2 Bisherige Wärmeversorgung

- Rund 26,1 MW_{th} Wärmeerzeugerleistung aktuell, maximale Reduktion durch ambitionierte energetische Sanierung auf rund 21,2 MW_{th}
- Wärmeverbrauch in Summe 45,1 GWh_{th}/a
Mittlerer Wärmebedarf 147 kWh_{th}/m²/a
- Überwiegende Versorgung mittels Erdgas-Etagenheizung und Erdgas-Zentralheizung, zum Teil Anschluss an die Fernwärme, Einzelgebäude mit Ölheizung, Wärmepumpe und Nachtspeicherheizung

2.2.2 Quartier Südliches Schloßbrondell

Das Prüfgebietscluster Südliches Schloßbrondell liegt in Neuhausen-Nymphenburg und verläuft südöstlich entlang der Straße Südliches Schloßbrondell bis ungefähr zur Lierstraße im Süden und bis zur Arnulfstraße im Osten (s. Abbildung 3). Das Gebiet zeichnet sich durch eine Mischnutzung aus vorwiegend 2- bis 4-geschossigen Gebäuden aus.

Abbildung 3: Umgriff Quartier Südliches Schloßbrondell



2.2.2.1 Schnelle Fakten

- Areal von 148.600 m², Misch- (61 %) und Wohnbaugebiet (39 %)
- 304 Gebäude, vorwiegend 2 bis 4-geschossig
- Baujahre zum Großteil vor 1960
- Gebäude sind größtenteils gasversorgt
- 1.189 Wohneinheiten mit insgesamt 1.992 Einwohnern
- 52 Gebäude unter Denkmalschutz (17 %), davon 44 als Einzeldenkmal und 8 als Ensemble
- 23 Gebäude sind sichtbar oder nach Angaben aus Akteursbeteiligung thermisch saniert
- Krankenhaus Barmherzige Brüder
- 142 Eigentümer, davon 77 % Privatpersonen, 13 % Unternehmen, 6 % Genossenschaften, kirchliche und städtische Unternehmen, 4 % LHM

2.2.2.2 Bisherige Wärmeversorgung

- Rund 21,5 MW_{th} Wärmeerzeugerleistung aktuell, maximale Reduktion durch ambitionierte energetische Sanierung auf rund 16,2 MW_{th}
- Wärmeverbrauch in Summe 41,3 GWh_{th}/a
- Mittlerer Wärmebedarf 163 kWh_{th}/m²/a
- Überwiegende Versorgung mittels Erdgas-Zentralheizung und Erdgas-Etagenheizung, Einzelgebäude mit Ölheizung, Nachtspeicherheizung, Biomasse

2.2.3 Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

Das Prüfgebietscluster Hochleite/Theodolindenplatz liegt in Harlaching in zwei Rechtecken, einem entlang der Hochleite, parallel zum Auer Mühlbach (Lindenstr., Über der Klausen und Hochleite) und einem nordwestlich des Theodolindenplatzes (Lindenstr., Achleitnerstr., Geiselgasteigstr., Isenschmidstr.) (s. Abbildung 4). Es ist das kleinste der drei betrachteten Quartiere und zeichnet sich durch fast ausschließliche Wohnbebauung und einen sehr hohen Anteil an denkmalgeschützten Gebäuden aus.

Abbildung 4: Umgriff Quartier Hochleite/Theodolindenplatz



2.2.3.1 Schnelle Fakten

- Areal von 68 500 m², Wohnbaugebiet (91 %), geringer Anteil Mischgebiet (9 %)
- 75 Gebäude, vorwiegend 2-geschossig mit 1-4 Wohneinheiten
- Baujahre zum Großteil vor 1960
- Gebäude sind größtenteils gasversorgt
- 231 Wohneinheiten mit insgesamt 465 Einwohnern
- 64 Gebäude unter Denkmalschutz (85 %), davon 23 als Einzeldenkmal und 41 als Ensemble
- 5 Gebäude sind sichtbar oder nach Angaben aus Akteursbeteiligung thermisch saniert
- 79 Eigentümer, davon 92 % Privatpersonen, 3 % Unternehmen, 5 % LHM

2.2.3.2 Bisherige Wärmeversorgung

- Rund 2,5 MW_{th} Wärmeerzeugerleistung aktuell, maximale Reduktion durch ambitionierte energetische Sanierung auf rund 1,9 MW_{th}
- Wärmeverbrauch in Summe 4,5 GWh_{th}/a

- Mittlerer Wärmebedarf 163 kWh_{th}/m²/a
- Überwiegende Versorgung mittels Erdgas-Zentralheizung, Einzelgebäude mit Erdgas-Ölheizung und Etagenheizung

2.2.4 Einschränkungen durch Denkmalschutz

Denkmalpflegerische Einschränkungen zeigten sich als eine der größten Herausforderungen in der Identifikation von Lösungsoptionen, sowohl in den Modellberechnungen (Kapitel 4) als auch in den Erfahrungsberichten der Anwohnenden (Kapitel 6). Besonders im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz (85 %), aber auch im Quartier Münchner Freiheit (61 %) unterliegen viele Gebäude einem solchen Schutzstatus.

Das Ziel des Ensembleschutzes ist der Schutz des Straßen- und Ortsbildes und betrifft daher hauptsächlich die straßenzugewandte Seite der Gebäude. Eine Innendämmung und Maßnahmen wie die Aufstellung einer Wärmepumpe an der Hofseite sind grundsätzlich möglich, aber ebenfalls genehmigungspflichtig durch die untere Denkmalschutzbehörde. Unter gewissen Umständen können auch straßenseitige Maßnahmen möglich sein, z. B. in nicht einsehbaren Bereichen oder wenn das Gebäude nicht prägend für das Ensemble ist.

Der Einzeldenkmalschutz ist ein strikterer Schutzstatus, der den Schutz der Gebäudesubstanz des einzelnen Objekts zum Ziel hat. Auch hier können aber hofseitige Maßnahmen und Maßnahmen an anderen nicht einsehbaren Orten möglich sein, dies muss im Einzelfall in Abstimmung mit der unteren Denkmalschutzbehörde entschieden werden.

Die Aushandlung zwischen dem öffentlichen Interesse des Denkmalschutzes und dem öffentlichen Interesse der Energiewende ist ein fortlaufender Prozess, der sich voraussichtlich auch in Zukunft weiterentwickeln wird. Während der Projektlaufzeit wurde beispielsweise das Bayerische Denkmalschutzgesetz (BayDSchG) novelliert, um die Priorisierung von erneuerbaren Energiemaßnahmen im Denkmalschutz zu erhöhen.

3 Methodik und Datengrundlagen

3.1 Wärmeplan/Modell München

Das Projektteam hat vom Auftraggeber Daten aus der kommunalen Wärmeplanung erhalten. Dazu zählen die georeferenzierten Umrisse der Gebäude in den zu untersuchenden Prüfgebieten, die Flurstücksgrenzen sowie die Grenzen der Baublöcke, jeweils mit den für den Wärmeplan relevanten Eigenschaften. Auf Ebene der Baublöcke und Flurstücke zählen dazu die Energie- bzw. Leistungsgrenzen, die durch Grundwasser, Erdsonden oder Grabenkollektoren bereitgestellt werden können, sowie diverse aggregierte Größen aus dem Gebäudedatensatz. Der bereitgestellte Gebäudedatensatz enthält umfangreiche, wärmeplanungsrelevante Informationen zu den bestehenden Gebäuden in den Gebieten. Die Daten dazu stammen aus dem Modell München, das von den Stadtwerken München (SWM) entwickelt und betrieben wird. Die Attribute, die auf Einzelgebäudeebene vorhanden sind, umfassen

- allgemeine Kenngrößen, z. B. Baualtersklassen, Gebäudenutzungstyp etc.,
- geometriebezogene Größen, wie beheizte Fläche, außenluftbeaufschlagte Oberfläche(n), Fensterflächen etc.,
- wärmebedarfsrelevante Größen wie U-Werte und Heizlasten,
- energieverbrauchsrelevante Größen wie der eingesetzte Energieträger,
- und Informationen wie z.B. zu möglichen Sanierungspotenzialen, -tiefen, Verfügbarkeit von unterschiedlichen Energieversorgungsmöglichkeiten.

Die Daten im Modell München basieren auf einer Zusammenfassung unterschiedlicher Datenbanken. Unter Zuhilfenahme von numerischen Methoden (maschinelles Lernen, bauphysikalische Modellierung) und Expertenwissen wurden diese Daten in ein in sich konsistentes Gesamtmodell überführt. Dieses Modell bildet auch auf regionaler/lokaler Ebene die Energieverbräuche der Gebäude zur Wärmebereitstellung mit guter Näherung ab. Dabei ist jedoch zu beachten, dass energie- und wärmeplanungsrelevante Informationen und Parameter auf Ebene der Einzelgebäude zumeist auf Basis generischer Methoden zugewiesen wurden und die tatsächlichen Energieverbräuche, Sanierungszustände, eingesetzten Heizungssysteme, Gebäudenutzungsprofile etc. nicht bekannt sind.

Die zur Verfügung gestellten Daten basieren auf einer Version des Modells München, wie es zum Zeitpunkt der Erstellung des Kommunalen Plans zur Verfügung stand. Im Rahmen des Projektes wurde diese Version des Gebäudebestandes (Version 2023) mit einer neueren Version des Modells München (Version 2024) gegenübergestellt, die Abweichungen wurden plausibilisiert und gegebenenfalls angepasst. Die wichtigsten Unterschiede zwischen den beiden Versionen liegen in der etwas besseren Zuordnung der verwendeten Energieträger, wenn einem Gebäude kein Zählpunkt zugeordnet werden kann (was häufig bei Gebäuden in Hinterhöfen der Fall ist), in der etwas besseren Erkennung von nicht beheizten Gebäuden („Garagenfilter“) und in den geänderten Energieverbräuchen.

3.2 Ortsbildanalyse

Aufbauend auf den bereits vorhandenen Daten aus der Wärmeplanung wurden die Gebäudebestände in den drei betrachteten Quartieren im Rahmen des Projektes manuell gesichtet, ergänzt und konsolidiert. Dies erfolgte sowohl durch eine Vor-Ort-Begutachtung der zur Straße gewandten Gebäudeseite als auch durch eine Bewertung mittels Google Earth/Google Street View.

3.2.1 Begehungen der Quartiere

Für die Vor-Ort-Datenerfassung wurde eine vom Projektteam entwickelte Telefon-App verwendet. Damit wurden neben der Geolokation des Gebäudes unter anderem die folgenden Parameter für alle von öffentlichem Grund einsehbaren Gebäude in der App erfasst:

- Anzahl bewohnte Stockwerke
 - Zur Korrektur der im Standarddatensatz enthaltenen Geschossanzahl und der damit einhergehenden beheizten Fläche.
- Ausgebautes Dachgeschoss
 - Zur Korrektur der beheizten Fläche.
- Energetische Sanierung der Fassade
 - Der energetische Zustand ist im Standarddatensatz nicht enthalten. Die Erfassung, ob eine Wärmedämmung der Fassade bereits durchgeführt wurde oder nicht, erlaubt eine bessere Einschätzung des aktuellen Verbrauchs sowie möglicher zukünftiger Einsparungen.
- Fassadenmaterial, Fenstertyp und Sanierungsbarrieren (bspw. durch strukturierte Fassade)
 - Dies dient der Plausibilisierung der U-Werte (z. B. bei Sichtbetonfassaden oder Kastenfenstern) sowie der Einschätzung von Barrieren für eine mögliche zukünftige Gebäudesanierung.
- Fotos des Gebäudes
 - Fotos zur internen Dokumentation

Gebäude, an denen eine energetische Sanierung der Fassade festgestellt wurde, wurden ebenfalls festgehalten.

3.2.2 Anpassung des Wärmebedarfs

In weiterer Folge wurden Google-Earth-/Google-Street-View-Daten dazu genutzt, eine bessere Einordnung der Gebäudeobjekte in den Hinterhöfen der Grundstücke durchzuführen. Anhand der Bilder wurde eine manuelle Einschätzung getroffen, ob es sich bei diesen Gebäuden um beheizte oder teilbeheizte Objekte handelt. Auf Basis dessen wurde der Standarddatensatz angepasst. Darüber hinaus wurde eine Neubewertung der mitversorgten Objekte vorgenommen. Auf Basis der optischen Sichtung der Konstellation der Gebäudeobjekte wurden die Zuordnungen der Heizungsträger in den Nebengebäuden bzw. Gebäuden in den Hinterhöfen teilweise angepasst. Dadurch kam es teilweise zu einer Verschiebung von Heizöl zu Erdgas.

Im letzten Schritt wurden die energetischen Bewertungen der Gebäude in den existierenden unterschiedlichen Versionen des Modell München verglichen. Den einzelnen Gebäudeobjekten wurden im Modell München durch die verschiedenen Datenupdates unterschiedliche Zahlenwerte für energieverbrauchsrelevante Parameter zugewiesen. Durch eine manuelle Begutachtung der in den verschiedenen Versionen hinterlegten Zahlen wurden unplausible Werte korrigiert. Als Basis wurde ein Mittelwert für den Verbrauch aus den unterschiedlichen Versionen herangezogen.

Um einen konsistenten Wärmebedarf für die einzelnen Objekte zu erhalten, wurden die verschiedenen Informationen so zusammengeführt, dass einerseits die oben beschriebenen Parameter berücksichtigt wurden und andererseits der gesamte Energiebedarf der gemessenen Energieträger Fernwärme und Erdgas erhalten bleibt. Aus Datenschutzgründen konnten diese Anpassungen nicht in das Modell München übernommen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Modell München und die dem Wärmeplan zugrunde liegenden Basisdaten eine gute Datengrundlage bieten. Hinsichtlich des Energiebedarfs war vor allem ein Abgleich der Daten aus unterschiedlichen Versionen des Modells München datenverbessernd. Deutliche Verbesserungen der Datenlage konnten in Bereichen der thermischen Sanierungen durch die Vor-Ort-Besichtigungen gewonnen werden. Dies betrifft die bereits durchgeführten und von außen erkennbaren Maßnahmen, Barrieren für zukünftige Maßnahmen sowie, sofern persönliche Gespräche stattgefunden haben, die Informationen zu geplanten bzw. in Betracht gezogenen Maßnahmen der Eigentümer.

3.3 Umweltwärmepotenziale

Nach Sichtung der verfügbaren Datengrundlagen sowie der Anpassung des modellierten Wärmebedarfs und der Sanierungspotenziale an die Ergebnisse der Ortsbildanalyse wurden die drei Prüfgebietecluster auf mögliche Umweltwärmequellen und Speicherpotenziale innerhalb und in der direkten Umgebung der Gebiete analysiert. Saisonale Speicher wurden aufgrund der geringen verfügbaren Flächen in und in direkter Nähe zu allen drei Quartieren, wasserrechtlichen Bohrtiefenbegrenzungen (bei Erdsondenspeichern) und der fehlenden Notwendigkeit aufgrund fehlender saisonal verfügbarer Wärmequellen ausgeschlossen. Auch für andere Prüfgebiete im Stadtgebiet erscheint die Wahrscheinlichkeit begrenzt, ausreichend große zusammenhängende Flächen für solche Konzepte bereitzustellen. Kleinere Speicherlösungen mit Speicherdauern über Stunden oder wenige Tage wurden im Zusammenhang mit quartiersbezogenen Wärmepumpensystemen betrachtet, insbesondere zur Lastglättung und zur ökonomischen Optimierung des Anlagenbetriebs.

Die Nutzung von unvermeidbarer industrieller Abwärme oder Niedertemperaturabwärme bspw. aus Rechenzentren, Großwäschereien oder Großkantinen ist grundsätzlich überall dort sinnvoll, wo entsprechende Quellen vorhanden sind und geeignete Wärmeabnehmer in räumlicher Nähe liegen (siehe hierzu (Kleinertz et al., 2024)). In den drei untersuchten Quartieren konnten jedoch keine relevanten Abwärmequellen jenseits der im Folgenden betrachteten Abwasserkanäle identifiziert werden. Solche Potenziale sind insbesondere in Prüfgebieten mit direktem Anschluss an Gewerbe- oder Industriegebiete zu prüfen.

Umgebungsluft und solare Einstrahlung wurden aufgrund der geringen Flächenverfügbarkeit primär im Rahmen der dezentralen Einzelgebäude-Lösungen untersucht (vgl. Kapitel 4.1.1 und 4.1.2), insbesondere in Form von Luft-Wärmepumpen, PVT-Systemen sowie dachintegrierten oder kaskadierten Anlagen. Für Gebiete mit hohen Wärmedichten und genügend vorhandenen Freiflächen können auch größere Quartiers-Luft-Wärmepumpen in Betracht kommen (vgl. Kapitel 4.2.3).

Die nachfolgenden Unterkapitel widmen sich den Umweltwärmequellen, die im urbanen Bestand der drei Prüfgebietscluster realistisch erschließbar erscheinen: Oberflächengewässer, größere Abwasserkanäle sowie geothermische Potenziale. Diese Quellen bieten abhängig von Lage, Dimensionierung und Genehmigungsfähigkeit die größten Potenziale für eine klimaneutrale und ganzjährig verfügbare zentrale Wärmeversorgung.

3.3.1 Oberflächengewässer

Oberflächengewässer wie Seen, Flüsse und Kanäle bieten eine lokal verfügbare und weitgehend kontinuierliche Umweltwärmequelle, die aufgrund ihrer vergleichsweise stabilen Wassertemperaturen für den Einsatz von Großwärmepumpen technisch attraktiv sind.

Die FfE-Studie „Wärmepumpen an Fließgewässern – Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern“ (Ferstl & Wettberg, 2024) zeigt, dass bayerische Fließgewässer ein substantielles technisches Potenzial zur Wärmebereitstellung besitzen. Bereits eine moderate Erschließung könnte einen merklichen Beitrag zur Deckung des Wärmebedarfs leisten. Die Analyse macht jedoch deutlich, dass regionale Unterschiede, jahreszeitliche Schwankungen und hydrologische Mindestanforderungen die tatsächliche Nutzbarkeit beeinflussen.

Erfahrungen aus Praxisprojekten, wie bspw. am Mühlbach in Rosenheim (Clausen et al., 2025; Ferstl & Wettberg, 2024) belegen, dass Fließgewässer eine temperaturstabile, verlässliche und technisch erprobte Wärmequelle sind. Für die Wärmeplanung empfiehlt sich also, überall dort, wo ausreichende mittlere Abflussmengen (Größenordnung oberhalb von etwa 100l/s) mit geringen Schwankungen und günstige Standortbedingungen vorliegen, Oberflächengewässer als Umweltwärmequelle zu prüfen.

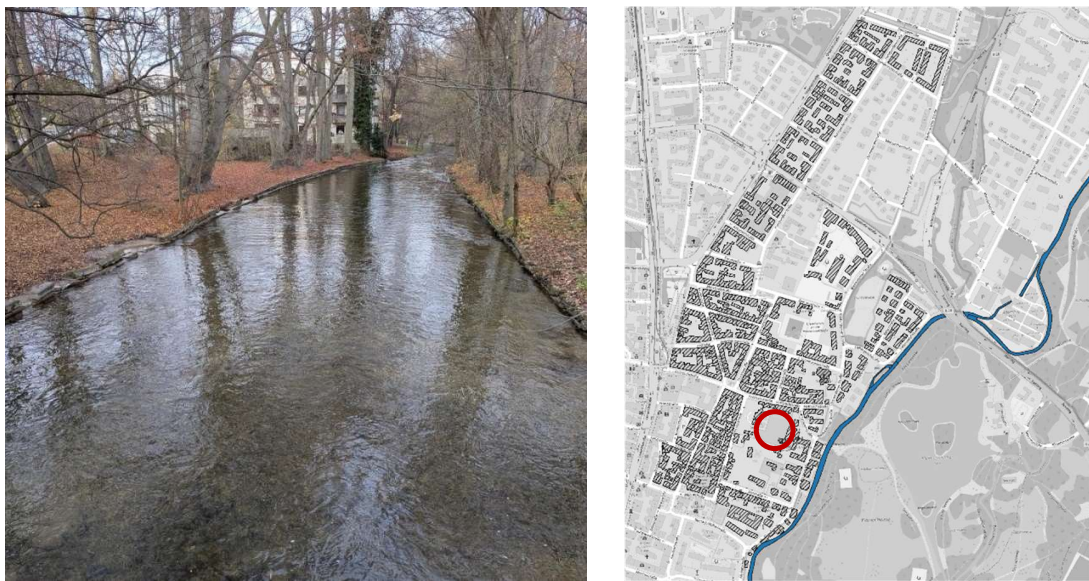
In den Quartieren Münchner Freiheit und Südliches Schloßbrondell finden sich mit dem Kleinhesseloher See und dem Badener See bzw. den Schlossgartenkanälen in Nymphenburg zwar jeweils in relativer Nähe zum Quartier größere stehende Gewässer. Jedoch sind diese Gewässer vergleichsweise flach und liegen in landschaftlich und bodendenkmalgeschützten Gartenanlagen. Dadurch sind Tiefbaumaßnahmen nur stark eingeschränkt möglich und es sind insbesondere für die Schlossgartenkanäle strenge Verträglichkeitsprüfungen für FFH-Gebiete notwendig, die aufgrund des geringen Potenzials ein unverhältnismäßiges Risiko darstellen (siehe dazu Kapitel 3.4.1.2). Zudem sind alle Gewässer in den Gartenanlagen des Schloss Nymphenburg laut Informationen der Bayerischen Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen (BSV) aufgrund ihrer Historie und hydraulischen Abdichtung gegen die Münchener Schotterebene mit Lehm sehr sensibel gegen Beschädigung. Die Durchflussmengen, die künstlich aus der Würm in die Gewässer des Schlossparks abgeleitet werden sind zudem zu gering, um ein nennenswertes Potenzial darzustellen.

Es verbleiben zwei größere Fließgewässer, die als Umweltwärmequelle von Interesse sein können:

3.3.1.1 Quartier Münchner Freiheit: Schwabinger Bach

Östlich entlang des Quartiers Münchner Freiheit verläuft der Schwabinger Bach am westlichen Rand des Englischen Gartens. Abbildung 5 zeigt einen visuellen Eindruck des Bachs an einer möglichen Entnahmestelle am linken Ufer.

Abbildung 5: Visueller Eindruck und Verortung des Schwabinger Bachs (eigene Darstellungen)



Der Bach speist sich am südlichen Ende des Englischen Gartens aus dem Köglmühlbach und aus Teilen des Eisbachs und ist einer der Münchner Stadtbäche, die allesamt aus der Isar gespeist werden. Für den Schwabinger Bach liegen kontinuierliche Messdaten zu Durchfluss und Wassertemperatur durch den Gewässerkundlichen Dienst Bayern vor. Der Bach hat auf Höhe des Quartiers eine Breite von rund 10 m und eine Tiefe von etwa 60-70 cm. Für die Beurteilung des Schwabinger Baches wurden Messwerte für Abflussmenge und Wassertemperatur der letzten 3 Jahre an einer Messstelle, etwa einen Kilometer südlich des Quartiers (Tierärztliche Hochschule) herangezogen (Gewässerkundlicher Dienst Bayern). Der Mittlere Abfluss der letzten drei Jahre beträgt $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$, jedoch zeigt der Verlauf des Abflusses, dass es auch während der Heizperiode immer wieder zu Niedrigwasserständen kam. Daher wird für die Potenzialabschätzung von einer Wasserentnahme im Bereich von 5-10 % des gesamten Durchflusses (280-570 l/s) ausgegangen, um eine Wärmebereitstellung auch bei Niedrigwasser zu gewährleisten. Bei Nutzung dieses Durchflusses lässt sich bei 75°C Vorlauftemperatur und einen um 4 K abgekühlten Rückfluss in den Bach eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3 und damit eine Heizleistung einer Großwärmepumpe im Winter zwischen 7 und $15 \text{ MW}_{\text{th}}$ erzeugen. In der Regel sind nach (Clausen et al., 2025) 10 bis 20 % der vorhandenen Durchflussmenge für die direkte Entnahme aus dem Gewässer an einem Standort geeignet. Es lassen sich für die Nutzung von Fließgewässern aufgrund der unterschiedlichen Standortvoraussetzungen

allerdings nur eingeschränkt allgemeingültige Aussagen treffen. Zum Vergleich: die Großwärmepumpen am Mühlbach in Rosenheim mit insgesamt 4,7 MW_{th} nutzen rund 25 % des gesamten Durchflusses (40 l/s); die Flusswärmepumpe am Rhein in Mannheim mit 20,5 MW_{th} entnimmt hingegen mit 800-1000 l/s nur etwa 1 Promille des gesamten Durchflusses (Clausen et al., 2025; Ferstl & Wettberg, 2024).

Die Quellenausnutzung kann in weiten Teilen der Heizperiode noch größer sein, wenn bivalente Systeme zum Einsatz kommen, die die fehlende Leistung bei Niedrigwasser durch einen Spitzenlastkessel bereitstellen.

3.3.1.2 Quartier Hochleite/Theodolindenplatz: Auer Mühlbach

Nordwestlich des Quartiers Hochleite/Theodolindenplatz, unterhalb des Steilufers verläuft der Auer Mühlbach, ein Abzweig des Isar-Werkkanals, welcher in direkter Nähe zum Quartier durch einen Düker an der Marienklausenbrücke unter der Isar hindurchgeführt wird und in nord-östlicher Richtung verläuft. Für den Auer Mühlbach liegen keine Messdaten des Gewässerkundlichen Dienst Bayern vor, sodass für die Potenzialabschätzung auf Temperaturmesswerte zur Isar zurückgegriffen wird. Da zum Durchfluss keine Messdaten vorliegen und der Zufluss zum Auer Mühlbach durch den Isar-Werkkanal mit relativ gleichbleibendem Durchfluss geregelt ist, wird für die weitere Analyse von einem konstanten Durchfluss von 10 m³/s nach („Auer Mühlbach“, 2025) ausgegangen. Wie beim Schwabinger Bach wird für die Potenzialabschätzung von einer Wasserentnahme im Bereich von 5-10% des gesamten Durchflusses (500-1000 l/s) und gleichen Annahmen für Vor- und Rücklauf eines Wärmenetzes ausgegangen, was eine Heizleistung einer Flusswärmepumpe von 12-24 MW_{th} ermöglicht. Dieses erhebliche Potenzial überschreitet die Heizlast des Quartiers um ein Vielfaches und zeigt, dass eine energetische Erschließung des Auer Mühlbachs sich noch eher für größere Quartiere entlang des Gewässerverlaufs eignet.

Abbildung 6: Verortung des Auer Mühlbachs (www.kraermuehle.com)



Die Nutzung des Auer Mühlbachs für die Wärmebereitstellung im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz ist aufgrund strenger naturschutz-, denkmal- und landschaftsrechtlicher Vorgaben sowie erheblicher bautechnischer Risiken am Steilhang des Isarufers voraussichtlich kaum realisierbar (siehe hierzu Kapitel 4.2.1.2.6). Eingriffe wären im FFH-Gebiet „Oberes Isartal“ grundsätzlich unzulässig bzw. nur mit sehr hohem Aufwand genehmigungsfähig. Ausnahmen sind nur aus zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses rechtlich möglich und erfordern umfangreiche Prüf- und Ausgleichsmaßnahmen. Zudem stellen Steilhangquerungen erhebliche technische und sicherheitsrelevante Herausforderungen dar. Realistischer erscheint eine Nutzung allenfalls bachabwärts gelegener Bereiche außerhalb des besonders sensiblen Hangabschnitts.

3.3.1.3 Bestimmung des Heizleistungspotenzials

Das Heizleistungspotenzial durch die Nutzung von Fließgewässern mittels Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen wird wie folgt berechnet. Die Entzugsleistung aus dem Gewässer $\dot{Q}_A$ ergibt sich aus dem Massendurchfluss $\dot{m}$ und der mittleren Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem Vor- und Rücklauf des Wärmeübertragers (WÜ):

$$\dot{Q}_A = c_p \cdot \dot{m} \cdot \Delta T$$

Die Wärmekapazität c_p wird dabei mit $4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ als die von Wasser angenommen. Die Heizleistung einer Flusswasser-Wärmepumpe ergibt sich aus der Summe von Entzugsleistung $\dot{Q}_A$ und der Verdichterleistung P unter Annahme einer Kompressionswärmepumpe. Das Verhältnis von Entzugsleistung und Verdichterleistung wird durch den COP bestimmt, der mithilfe eines Gütegrades von 0,52² aus dem Lorentz-Wirkungsgrad berechnet wird:

$$COP = 0,52 \cdot \eta_c = 0,52 \cdot \frac{T_{m_{\text{Senke}}}}{T_{m_{\text{Senke}}} - T_{m_{\text{Quelle}}}}$$

Wobei $T_{m_{\text{Senke}}}$ und $T_{m_{\text{Quelle}}}$ jeweils die mittleren logarithmischen Temperaturdifferenzen von Vor- und Rücklauf an der Abnahmeseite (Netz bzw. Gebäude) und von Vor- und Rücklauf des Flusswasser-WÜ. Das Heizleistungspotenzial wird unter Annahme einer Auskühlung von 4 K und unter Berücksichtigung der gemessenen mittleren monatlichen Wassertemperaturen berechnet. Zur Vermeidung von Eisbildung wird von einer Mindest-Wassertemperatur von 4 °C für den Betrieb der WP ausgegangen. Unterhalb von 4 °C Wassertemperatur würde die Wärmepumpe demnach angeschaltet bzw. die Entzugsleistung und damit die Auskühlung entsprechend reduziert, um im Rücklauf bei einer Temperatur über 0 °C zu bleiben. Im Jahresmittel wird bei konstanter Volllast bei beiden Gewässern theoretisch eine JAZ von 3 erreicht, in den Wintermonaten, in denen der Großteil der Wärmeproduktion stattfindet, liegt der COP jedoch bei rund 2,6.

² Konservative Schätzung basierend auf Daten des Fraunhofer IEG für Großwärmepumpensysteme (geschlossene Systeme + MVR) bei einem mittleren Temperaturhub von 60 K: <https://grosswaermepumpen-info.de/de/produkte/cop/>

3.3.2 Größere Abwasserkanäle

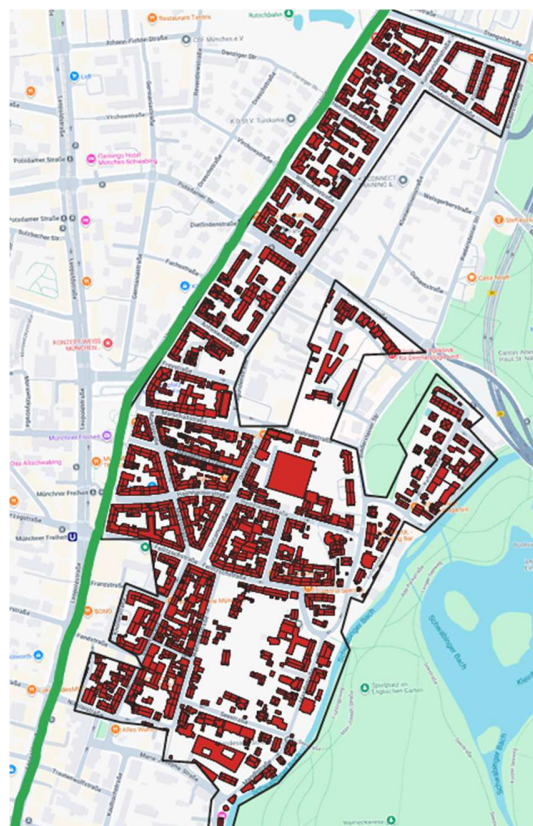
Größere Abwasserkanäle bieten aufgrund ihrer auch im Winter im Vergleich zu anderen Umweltwärmequellen hohen und konstanten Temperaturen (typischerweise 10-12 °C) und relativ stabilen Volumenströme ganzjährig nutzbare Wärmemengen. Aus diesen Gründen ist eine Abwasserwärmenutzung in solchen Kanälen erst wirtschaftlich sinnvoll möglich.

Nach Informationen der Münchner Stadtentwässerung (MSE) befinden sich in zwei der drei untersuchten Gebiete Abwasserkanäle von relevanter Größe für eine Nutzbarkeit im Quartier. Diese beiden Gebiete werden im Folgenden näher betrachtet:

3.3.2.1 Quartier Münchner Freiheit

Entlang der Leopoldstraße und dann abknickend der Ungererstraße folgend befindet sich eine Abwasser-Kanaltrasse mit 2,4 bis 2,8 m Profilhöhe und einem rechnerischen, mittleren Trockenwetterabfluss Q_{t24} von ca. 350 l/s. Bei voller Nutzbarkeit des mittleren Trockenwetterabflusses ergibt sich mit den im nächsten Abschnitt beschriebenen Annahmen eine theoretische Heizleistung einer Großwärmepumpe von über 4 MW_{th}. Abbildung 7 zeigt den Verlauf des Abwasserkanals wie von Vertretern der MSE zur Verfügung gestellt.

Abbildung 7: Verlauf des Abwasserkanals Ungererstr./Leopoldstr. Im Quartier Münchner Freiheit nach Angaben der MSE



3.3.2.2 Quartier Südliches Schloßbrondell

Entlang der Wotanstraße verläuft ein großer Abwasserkanal mit bis zu 2,4 m Profilhöhe, welcher ab dem Romanplatz in nördlicher Richtung entlang der Notburgastraße abknickt. Der Kanal hat einen rechnerischen, mittleren Trockenwetterabfluss von 220 l/s, woraus sich unter den unten beschriebenen Annahmen ein theoretisches Heizleistungspotenzial von 2,6 MW_{th} ergibt. Abbildung 8 zeigt den ungefähren Verlauf des Abwasserkanals im Quartier.

Abbildung 8: Verlauf des Abwasserkanals Wotanstr./Notburgastr. Im Quartier Südliches Schloßbrondell nach Angaben der MSE



3.3.2.3 Rahmenbedingungen

Die Münchner Stadtentwässerung (MSE) weist darauf hin, dass die Länge der eingesetzten Kanalwärmetauscher nicht grundsätzlich begrenzt wird. Allerdings könnten standortspezifische Vorgaben der MSE dazu führen, dass bestimmte Schachtbereiche freigehalten werden müssen. Dadurch kann die effektive einbaubare Länge variieren.

Für die Temperaturabsenkung gelten die Vorgaben, dass im Tagesmittel eine maximale Abkühlung des Abwassers um 2 K zulässig ist und kurzzeitige Spitzen bis zu 4 K betragen dürfen. Entscheidend ist, dass der Tagesmittelwert eingehalten wird. Da sich mehrere Wärmetauscher thermisch gegenseitig beeinflussen würden, erlaubt die MSE keine Installation mehrerer Wärmetauscher unmittelbar hintereinander im selben Kanalabschnitt. Erfahrungswerte zu minimalen Abständen zwischen mehreren Wärmeübertragern fehlen bisher.

Aus dem Austausch mit einem Technologieanbieter ergeben sich weitere praxisrelevante Rahmenbedingungen für den Einsatz von Kanalwärmetauschern. Für die Potenzialermittlung empfiehlt der Hersteller, nur etwa 70 % des mittleren Trockenwetterabflusses anzusetzen, um auch bei geringeren Abflussmengen eine hohe Betriebssicherheit zu gewährleisten. Bei bivalenten Systemen, also einer Großwärmepumpe in Kombination mit einem Spitzenlastkessel, kann die Auslegung hingegen auf 100 % des mittleren

Trockenwetterabflusses erfolgen. Eine solche bivalente Konfiguration erhöht zusätzlich die Versorgungssicherheit.

Projekte werden zudem nur dann umgesetzt, wenn im betreffenden Kanalabschnitt in den kommenden fünf Jahren keine Sanierungsmaßnahmen vorgesehen sind. Entsprechende Informationen sind im Planungsprozess der kommunalen Entwässerungsbetriebe üblicherweise verfügbar. Die regelmäßige Kanalreinigung mittels Hochdruckspülung stelle kein Risiko für die installierten Wärmeübertrager dar. Diese gelten insgesamt als nahezu wartungsfrei: Bei sehr geringem Durchfluss kann sich zwar ein dünner Biofilm auf den Oberflächen bilden, der die Leistung leicht reduziert. Aus diesem Grund wird eine moderate Überdimensionierung empfohlen. Der Verbleib eines Wärmetauschers im Kanal kann aufgrund potenziell anstehender betrieblicher / baulicher Anpassungen im Kanalnetz nicht unbegrenzt zugesichert werden. Aus diesem Grund empfiehlt die MSE grundsätzlich den Einsatz eines externen Wärmetauschers, um diese kritische Schnittstelle zu vermeiden.

Für eine belastbare hydraulische und thermische Auslegung sind Temperatur- und Durchflussmessungen mit einer zeitlichen Auflösung von fünf Minuten erforderlich, idealerweise in den Wintermonaten Januar und Februar, um den durchschnittlichen Trockenwetterabfluss sowie die niedrigsten Temperaturverhältnisse zu erfassen. Auf Basis dieser Messungen kann ein detailliertes Planungsangebot erstellt werden, das üblicherweise von den Herstellern kostenpflichtig erstellt wird. Die gesamten Planungen, der Bau sowie die Inbetriebnahme der Anlage werden von der MSE geprüft, freigegeben und begleitet.

3.3.2.4 Bestimmung des Heizleistungspotenzials

Das Heizleistungspotenzial durch die Nutzung von Abwasserkanälen mittels Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen wird analog zum Potenzial für Flusswasser-WP unter Verwendung eines Exergiefaktors von 0,52 bestimmt:

$$COP = 0,52 \cdot \eta_c = 0,52 \cdot \frac{T_{m_{Senke}}}{T_{m_{Senke}} - T_{m_{Quelle}}}$$

Wobei $T_{m_{Senke}}$ und $T_{m_{Quelle}}$ jeweils die mittleren logarithmischen Temperaturdifferenzen von Vor- und Rücklauf an der Abnahmeseite (Netz bzw. Gebäude) und von stromaufwärtigem und stromabwärtigem Ende des WÜ im Abwasserkanal. Für ein Nahwärmenetz, das ältere Bestandsgebäude versorgt, wird von 75 °C am Vorlauf und 55 °C am Rücklauf ausgegangen. Für den saisonalen Verlauf der Abwassertemperaturen sind uns keine Messwerte bekannt, sodass von einem typischen Verlauf zwischen 18 °C im Hochsommer und 8 °C im Winter ausgegangen wird. Insgesamt ergibt sich so im Jahresmittel eine Jahresarbeitszahl der Abwasser-Wärmepumpe (JAZ) von 3, in den Wintermonaten, in denen der Großteil der Wärmeproduktion stattfindet, liegt der COP bei rund 2,8.

Neben der eigenen Abschätzung wurde durch den Technologieanbieter eine rein theoretische Grobauslegung zweier Wärmeübertrager in den Gebieten Münchner Freiheit und Südliches Schloßbrondell durchgeführt, welche jeweils das gesamte theoretisch vorhandene Potenzial nutzen würden. Hierbei handelt es sich um eine rechnerische Betrachtung ohne weitere Prüfung der konkreten Realisierbarkeit (Fehlen einer mse-seitigen betrieblichen und baulichen

Grundsatzprüfung sowie einer Prüfung der Spartenlage) sowie des Fehlens einer Betrachtung externer Wärmetauschoptionen. Die Grobauslegung geht von einem Betriebspunkt mit einer angenommenen Abwassertemperatur von 12 °C, einer Vorlauftemperatur der Wärmepumpe von rund 8 °C und einer Rücklauftemperatur von etwa 4 °C aus. Daraus ergibt sich in beiden Fällen ein COP der Wärmepumpe von 3. Die Grobauslegung wurde für den monovalenten Betrieb eines Wärmenetzes erstellt und geht von 70 % des mittleren Trockenwetterabflusses als Auslegungsgrundlage aus, um auch bei selten vorkommenden, sehr niedrigen Abflusswerten die notwendige Heizlast zu gewährleisten. Daraus ergibt sich für den Kanal im Gebiet Münchner Freiheit eine Heizleistung von rund 3 MW_{th} bei einer Wärmeübertrager-Länge von 350 m und Kosten von rund 1,3 Mio. € und für das Gebiet Südliches Schloßbrondell eine Leistung von 2,25 MW_{th} bei einer Länge von 306 m und Kosten von rund 1 Mio. €.

Für eine bessere Ausnutzung des Abwasserpotenzials empfiehlt sich der Einsatz bivalenter Systeme. Sie ermöglichen eine Auslegung auf die volle Entzugskapazität und übernehmen bei geringen Abflüssen die Versorgung der Abnehmer über einen Spitzenlastkessel. Für bivalente Systeme liegt die mögliche Heizleistung im Gebiet Münchner Freiheit bei rund 4,3 MW_{th} bei einer Wärmeübertrager-Länge von rund 500 m und Kosten von rund 1,9 Mio. €. Im Gebiet Südliches Schloßbrondell ist die Leistung eines bivalenten Systems bei rund 3,2 MW_{th} bei einer Länge von rund 440 m und Kosten von rund 1,4 Mio. €.

3.3.3 Geothermische Potenziale

Geothermie umfasst die Nutzung der im Erdreich sowie in tieferen geologischen Schichten gespeicherten Wärmeenergie und stellt eine weitgehend regenerativ verfügbare Energiequelle dar. Sie kann sowohl zur Bereitstellung von Heizwärme als auch, im Fall der Tiefengeothermie, zur Stromerzeugung genutzt werden. Während im Großraum München die tiefe Geothermie insbesondere eine zentrale Rolle bei der Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung spielt, ist ihr Einsatz in nicht fernwärmeerschlossenen innerstädtischen Quartieren aufgrund des hohen Flächen- und Platzbedarfs in der Regel nicht realisierbar.

Die oberflächennahe Geothermie nutzt die im Erdreich und im Grundwasser gespeicherte Umweltwärme bis in Tiefen von etwa 400 m und stellt eine lokal verfügbare, ganzjährig nutzbare und klimaneutrale Energiequelle dar. Für die Nutzung kommen üblicherweise Erdwärmesonden, Erdkollektoren oder Grundwasser-Wärmepumpen zum Einsatz. Während in vielen Gebieten Münchens bereits Grundwasseranlagen realisiert sind, unterliegt der Einsatz von Erdwärmesonden in München erheblichen Einschränkungen, da sich unterhalb des ersten Grundwasserleiters (typischerweise ab etwa 15 m unter Geländeoberkante) häufig abdichtende tertiäre Schichten befinden, die in der Regel nicht durchbohrt werden dürfen, um den Schutz der Grundwasserstockwerke sicherzustellen. Der Einsatz von Erdwärmesonden ist daher wasserrechtlich genehmigungspflichtig und ist in vielen Lagen nur eingeschränkt bis zu einer Tiefe von etwa 15 m oder gar nicht möglich. Lediglich im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz sind aufgrund der erhöhten Lage Bohrungen bis etwa 30 m Tiefe möglich.

Wie bereits im Wärmeplan festgestellt wurde, sind die Potenziale für eine flächendeckende Wärmeversorgung mit grundwassergespeisten Wärmepumpen in München aufgrund der günstigen hydrogeologischen Rahmenbedingungen in vielen Gebieten besonders groß. In den

drei untersuchten Gebieten reichen die Grundwasserpotenziale unterhalb der verfügbaren Flächen jedoch nur bei einzelnen Gebäuden für eine komplette Deckung des Wärmebedarfs. Für die Feststellung der Eignung für eine Teil- oder Vollversorgung einzelner Gebäude in den Gebieten wurden die im Wärmeplan bereits detailliert untersuchten Potenziale je Flurstück herangezogen.

Das Potenzial für den Einsatz von Erdkollektoren ist in den untersuchten Quartieren insgesamt gering. Zum einen stehen nur begrenzt geeignete Freiflächen zur Verfügung, da für Erdkollektoren größere zusammenhängende und möglichst unversiegelte Flächen erforderlich sind. Zum anderen bestehen zusätzliche denkmalrechtliche Einschränkungen bei angrenzenden Flächen, insbesondere Flächen des Schloss Nymphenburg oder des Englischen Gartens, die als Bodendenkmal geschützt sind. Vor diesem Hintergrund sind flächige Grabungen in diesen Bereichen voraussichtlich nur unter erhöhtem Aufwand genehmigungsfähig, sodass der Ertrag von Erdkollektoren in diesem Bereich in keinem passenden Verhältnis zum Aufwand der Erschließung steht.

Neben der Wärmebereitstellung ermöglichen Erdkollektoren und Erdwärmesonden (und begrenzt auch Grundwasserbrunnen) prinzipiell auch eine Gebäudekühlung, wobei die im Sommer entzogene Wärme in den Untergrund eingebracht wird. Diese thermische Regeneration des Erdreichs wirkt einer langfristigen Abkühlung des Untergrunds entgegen und erhöht die Effizienz der Wärmepumpe langfristig. Beide Systeme sind in den untersuchten Gebieten und der direkten Umgebung aufgrund von Flächen- und Tiefenbeschränkungen jedoch nur begrenzt nutzbar.

3.4 Akteurs- und Liegenschaftsinformationen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden verschiedene Austauschtermine mit wichtigen Akteuren für die drei Gebiete durchgeführt.

3.4.1 Austausch mit kommunalen und überregionalen Akteuren

3.4.1.1 Untere Denkmalschutzbehörde (UDB)

Da alle Prüfgebiete sowohl Einzeldenkmäler als auch Bereiche mit Ensembleschutz umfassen, wirken sich die denkmalpflegerischen Anforderungen insbesondere auf Fassadenmaßnahmen, technische Außenanlagen und die gestalterische Einbindung von Energie- und Heizungstechnik aus. Ziel des Gesprächs mit der unteren Denkmalschutzbehörde war es, diese Anforderungen für Einzeldenkmäler und Ensembles in Bezug auf energetische Maßnahmen zu konkretisieren.

Für Gebäude im Ensembleschutz wurde deutlich, dass für Maßnahmen an der hofseitigen Außenwand geringere Gestaltungsanforderungen bestehen. Straßenseitige Eingriffe können nur zugelassen werden, soweit das Erscheinungsbild und die historische Bausubstanz nicht beeinträchtigt werden und keine überwiegenden Gründe des Denkmalschutzes entgegenstehen oder diesen nicht durch Nebenbestimmungen zur Art der Umsetzung Rechnung getragen werden kann. Aufwändig gestaltete oder stadtbildprägende Fassaden unterliegen hingegen einer strengeren Prüfung. In welchen Bereichen und in welcher Stärke

eine Außendämmung von Ensemblegebäuden möglich ist, muss im jeweiligen Einzelfall geprüft und mit der Unteren Denkmalschutzbehörde abgestimmt werden. Photovoltaikanlagen, Solarthermie oder außenliegende Klimageräte können nach erfolgter Abstimmung zugelassen werden, sofern sie von der öffentlichen Straßenseite aus nicht einsehbar sind. Innenraumdämmungen sind bei Ensemblegebäuden üblicherweise möglich und gelten als denkmalverträglich.

Für Einzeldenkmäler fallen die Anforderungen strenger aus. Maßnahmen an der hofseitigen Außenwand sind häufig möglich, solange keine historisch wertvollen Fassadenelemente wie Stuck, Gesimse oder Balkone betroffen sind. Auch hier erfolgt die Bewertung im Einzelfall. Straßenseitige Veränderungen an der Außenwand sind dagegen in der Regel nicht zulässig. Photovoltaik, Solarthermie und Split-Klimageräte können - wie im Ensembleschutz - dann genehmigt werden, wenn sie nicht von der Straßenseite sichtbar sind. Innenraumdämmungen sind nur nach erfolgter Abstimmung möglich, wenn keine besondere historische Bausubstanz (Wandverkleidungen, künstlerische Gestaltungen) beeinträchtigt wird.

Für alle Maßnahmen gilt, dass eine denkmalrechtliche Erlaubnis grundsätzlich erforderlich ist. Die Behörde verwies zudem auf die Novelle des Bayerischen Denkmalschutzgesetzes vom Dezember 2024, nach der energetischen Sanierungen künftig stärkeres Gewicht beigemessen wird als bisher. Dies könnte perspektivisch zu einer größeren Offenheit gegenüber bestimmten Maßnahmen beitragen, sofern das Erscheinungsbild besonders schützenswerter Gebäude nicht wesentlich beeinträchtigt wird.

3.4.1.2 Bayerische Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen (BSV)

Aufgrund der unmittelbaren räumlichen Nähe von Parkflächen unter Verwaltung der BSV an die Quartiere Südliches Schloßrondell und Münchner Freiheit fand ein Austausch mit der Bayerische Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen statt. Ziel des Gesprächs war es, mögliche Synergien sowie potenziell nutzbare Flächen im Umfeld des Schlossparks Nymphenburg und des Englischen Gartens für erneuerbare Wärmeversorgungsoptionen zu identifizieren. Dabei standen insbesondere Fragen zur Nutzbarkeit von Park- und Funktionsflächen, zu grundwasser- und geothermischen Potenzialen und eine mögliche Mitversorgung des historischen Gebäudekomplexes und angrenzender Liegenschaften des Schlosses Nymphenburg im Vordergrund.

Der Austausch zeigte insgesamt, dass die Optionen für erneuerbare Wärmequellen im Bereich von Schloss Nymphenburg und Englischem Garten durch den herausragenden Denkmalwert, den hohen Schutzstatus der Parks und die hydrologischen Besonderheiten stark eingeschränkt sind. Im weiteren Planungsprozess erscheint daher die Nutzung der Flächen für die angrenzenden Quartiere aufgrund der denkmalpflegerischen Herausforderungen bei gleichzeitig voraussichtlich geringen Wärmequellenpotenzialen als nachrangig.

3.4.1.3 Münchner Stadtentwässerung (MSE)

Ziel des Austauschtermins mit der Münchner Stadtentwässerung war es, die Rahmenbedingungen, Datenverfügbarkeiten sowie technischen und regulatorischen

Einschränkungen für die Nutzung von Abwasserwärme im Kontext der Energieversorgungskonzepte zu klären. Insbesondere sollte bewertet werden, inwieweit Abwasser als potenzielle Wärmequelle in München praktisch erschließbar ist und welche Hürden im Planungs- und Umsetzungsprozess zu erwarten sind.

Im Gespräch wurde deutlich, dass seitens der MSE rechnerische Daten zum Trockenwetterdurchfluss zur Verfügung stehen, während Abwassertemperaturen nicht erfasst werden. Die Rahmenbedingungen in München sind durch ein Mischsystem geprägt, in dem Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam abgeführt werden. Dies führt zu stark schwankenden Durchflussmengen sowie teilweise sehr niedrigen Abwassertemperaturen von unter 10 °C, was die Nutzung als Wärmequelle unattraktiver macht als bspw. in Trennsystemen. Zudem ist eine Nutzung des Abwassers zur Kühlung grundsätzlich nicht zulässig.

Die bisherigen Erfahrungen im Genehmigungsprozess zeigen, dass sich insb. aufgrund der hydraulischen Randbedingungen (insb. zu wenig Abfluss) ca. 90 % aller Anfragen als technisch nicht realisierbar und unwirtschaftlich erweisen. Selbst bei im Mittel ausreichenden Abwassermengen unterliegt der Abwasserzufluss aus verschiedenen Gründen Schwankungen (Temperatur und Durchfluss), sodass eine dezidierte Wärmemenge seitens MSE nicht garantiert werden kann. Mit Blick auf die Abwasserreinigungsprozesse in den Klärwerken ist die maximale Temperaturabsenkung vertraglich auf 2 Kelvin im Tagesmittel begrenzt.

Für eine wirtschaftliche Abwärmenutzung im Kanal ist laut Literaturangaben ein Durchfluss von mindestens 10 bis 15 Liter pro Sekunde erforderlich, dies entspricht dem Abwasseranfall von etwa 3.000 bis 4.000 Einwohnerwerten. Das verdeutlicht, dass eine ausreichende Dimensionierung des Einzugsgebiets entscheidend ist.

3.4.1.4 Stadtwerke München (SWM)

Ziel des Gesprächs mit den Stadtwerken München (SWM) war es, die Randbedingungen und Perspektiven für Nah- oder Fernwärmelösungen insbesondere in den Quartieren Südliches Schloßbrondell und Münchner Freiheit zu diskutieren und potenzielle Synergien für die weitere Planung zu identifizieren.

Bezüglich der Fernwärme machten die SWM deutlich, dass der Fernwärmeausbau bereits heute enorm ambitioniert sei, weitere große Erschließungen innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte seien nur begrenzt realisierbar. Gerade in dicht bebauten Bereichen wie dem Quartier Münchner Freiheit könne parallel zur bestehenden Fernwärmetrasse an der Grenze des Gebiets kaum ein eigenständiges Nahwärmenetz entstehen, da dies ähnlich aufwändig sei, wie eine Netzerweiterung.

Für das Quartier Südliches Schloßbrondell wurde deutlich, dass die SWM für den nächsten Investitionszyklus von etwa 20 Jahren trotz vorhandener potenzieller Ankerkunden keine konkreten Zusagen machen können. Obwohl das Krankenhaus Barmherzige Brüder, das Klinikum Dritter Orden und das Schloss Nymphenburg zusammen ein potenziell attraktives Abnahmenvolumen darstellen, sind die heutigen Voraussetzungen schwierig. Der Bereich liegt peripher zu bestehenden Netzstrukturen und wäre nur mit deutlichen Umstrukturierungen oder neuen Erzeugungsstandorten erschließbar. Zwischen den größeren Verbrauchern

befinden sich überwiegend kleinteilige Wohnquartiere ohne nennenswerte zusätzliche Abnehmer. Ein Inselnetz wäre grundsätzlich denkbar, erfordert jedoch ein größeres Bauwerk als Erzeugungsstandort und ausreichende Wärmedichte

Für das Quartier Münchner Freiheit erläuterten die SWM, dass die dort verlaufende große Dampftransportleitung nicht für eine Versorgung kleinerer Gebäude geeignet ist, sondern dem Verbundbetrieb des Gesamtsystems dient. Aus diesem Grund befindet sich hier trotz vorhandener Fernwärmetrassen kein klassisches Verdichtungsgebiet. Perspektivisch ist eine Erweiterung der Mitversorgung entlang kleinerer Abzweige, etwa im Bereich Kunigundenstraße bis Marschallstraße denkbar, sofern sich entsprechende Nutzer melden. Die SWM prüfen dann die entsprechende technische Machbarkeit.

Insgesamt zeigte der Austausch, dass die SWM für die untersuchten Gebiete kurz- bis mittelfristig keine Möglichkeit der großflächigen Erschließung mit Fernwärme sehen, bis auf wenige Ausnahmen im Quartier Münchner Freiheit.

3.4.1.5 Vereinigung Münchener Wohnungsunternehmen e.V. (VMW)

Im Rahmen der Untersuchungen fand ein Austausch mit der Vereinigung Münchener Wohnungsunternehmen e.V. statt, die als Dachorganisation vieler, vor allem gemeinnütziger Wohnungsunternehmen in München agiert. Ziel des Gesprächs war es, die in den untersuchten Prüfgebieten vertretenen Wohnungsunternehmen und ihre jeweiligen Gebäudebestände zu identifizieren, und deren Perspektiven in den Planungsprozess einzubeziehen.

Die VMW machte deutlich, dass ihre Mitgliedsunternehmen grundsätzlich eine hohe Bereitschaft haben, die Transformation der Wärmeversorgung aktiv mitzugestalten. Gleichzeitig sehen sie sich erheblichen Herausforderungen gegenüber, insbesondere aufgrund heterogener Baualtersklassen, begrenzter Außenflächen und innenstadttypischer Restriktionen, die technische Lösungen oftmals einschränken.

Im Quartier Münchner Freiheit konnten mehrere relevante Gebäude identifiziert werden, die im Eigentum von Mitgliedsunternehmen der VMW stehen.

Ansprechpartner dieser Unternehmen wurden anschließend in Austauschgespräche eingebunden, um Informationen zur bestehenden Anlagentechnik zu erhalten, die jeweiligen Perspektiven und Anforderungen an eine zukunftsfähige Wärme- und Kälteversorgung zu ermitteln und mögliche bereits vorhandene Konzepte oder geplante Maßnahmen zur Dekarbonisierung zu besprechen.

3.4.1.6 Immissionsschutz beim Referat für Klima- und Umweltschutz (RKU)

Ziel des Gesprächs war es, die schalltechnischen Rahmenbedingungen für den Einsatz von Luftwärmepumpen in den betrachteten Wohngebieten zu klären und ein Verständnis dafür zu gewinnen, unter welchen Voraussetzungen Wärmepumpen in dicht bebauten Quartieren immissionsschutzrechtlich realisierbar sind. Dabei stand insbesondere im Fokus, welche Anforderungen an Gerätewahl, Standort, Schallschutz und planerische Nachweise sich aus den geltenden Richtwerten ableiten und wie diese im weiteren Planungsprozess berücksichtigt

werden können. Die betrachteten Quartiere sind überwiegend als allgemeine oder reine Wohngebiete eingestuft, was besonders strenge Anforderungen an die nächtlichen Immissionsrichtwerte mit sich bringt.

Die Vertreter des Immissionsschutzes machten deutlich, dass die Schallleistungspegel zwischen verschiedenen Luftwärmepumpen erheblich variieren und die Auswahl leiser Geräte – kombiniert mit geeigneten Schallschutzmaßnahmen – entscheidend für eine genehmigungsfähige Umsetzung ist. Herstellerangaben zur Schallleistung seien für Laien häufig schwer verständlich, da Dämmwerte oft nur für bestimmte Frequenzspektren angegeben werden. Das Referat empfahl daher, möglichst hochwertige Schallschutzhauben oder Herstellerlösungen zu verwenden, deren Wirksamkeit garantiert wird.

Ein wiederkehrender Punkt war die Unterschiedlichkeit zwischen formaler Zulässigkeit und subjektiver Wahrnehmung. Auch wenn die Immissionsrichtwerte eingehalten werden, werden Luftwärmepumpen im dicht bebauten städtischen Raum teilweise als störend empfunden – insbesondere nachts, wenn die Hintergrundgeräusche deutlich abnehmen. Für das Quartier Hochleite/Theodolindenplatz wurde aufgrund der dichten Bebauung beispielsweise eine notwendige Pegelunterschreitung von etwa 10 dB unterhalb des nächtlichen Immissionsrichtwerts (ca. 25 dB) als Zielgröße genannt. Die Vertreter des Immissionsschutzes verwiesen in diesem Zusammenhang auf das sogenannte Irrelevanzkriterium der TA Lärm: Wird der maßgebliche Richtwert von der einzelnen Anlage um mindestens 10 dB (A) unterschritten, ist der verursachte Pegel so gering, dass auch mehrere dieser Anlagen nicht zu einer Überschreitung des IRW führen können. Bei 6 dB Unterschreitung gilt die Anlage auch dann als genehmigungsfähig, wenn die Gesamtbelastung über dem Richtwert liegt (siehe Kapitel 4.1.1).

Besondere Herausforderungen ergeben sich aus den baulichen Rahmenbedingungen, da in innerstädtischen Bereichen Reflexionen an Fassaden und anderen Baukörpern (z. B. Vordächer, Garagen, Mülltonnenhäuschen) auftreten können, die im Voraus nur eingeschränkt prognostizierbar sind. Eine professionelle schalltechnische Bewertung kann daher insbesondere in sensiblen Bereichen sinnvoll sein.

Insgesamt zeigte der Austausch, dass die schalltechnische Integration von Wärmepumpen im innerstädtischen Raum zwar anspruchsvoll, aber grundsätzlich machbar ist. Entscheidend ist eine frühzeitige Einbindung immissionsschutzfachlicher Expertise sowie die Auswahl leiser Geräte in Kombination mit professionellen Schallschutzlösungen.

3.4.1.7 Gespräche mit Technologieanbietern

Ziel des Austauschs mit einem **Technologieanbieter von Abwasser-Wärmeübertragern** war es, die erstellten Grobauslegungen zweier Abwasser-Wärmeübertrager zu erläutern und zu plausibilisieren und die Randbedingungen einer Umsetzung zu diskutieren.

Für die Dimensionierung von Wärmeübertragungssystemen wird üblicherweise nur rund 70 % des mittleren Trockenwetterabflusses angesetzt, um selbst in Phasen mit besonders niedrigen Abflüssen ausreichend Spielraum zu gewährleisten. Für die Dimensionierung von Wärmeübertragungssystemen wird üblicherweise der Trockenwetterabfluss mit einer

Überschreitungshäufigkeit von 80% angesetzt, um sicherzustellen, dass die Entzugsleistung aus dem Auslegungszustand kontinuierlich zur Verfügung steht.

Voraussetzung für die Umsetzung eines Projekts ist, dass der betroffene Kanalabschnitt innerhalb der nächsten fünfzehn Jahre nicht saniert oder repariert werden muss. Diese Prüfung erfolgt im Rahmen der üblichen Prozesse der MSE und stellt nach Aussage des Anbieters selten eine Hürde dar. Nach dem Einbau des Wärmeübertragersystems gilt eine Kanalreinigung mit Hochdruckspüldüsen in Ei-förmiger Ausführung als unproblematisch. Lediglich Schläuderketten sollten nicht zur Reinigung zum Einsatz kommen. Auch hinsichtlich des Wartungsaufwands wird das System als sehr wartungsarm eingeschätzt: In der Regel bildet sich, wie im kompletten Kanalsystem, eine Dünne Sielhaut auf dem Wärmeübertragersystem. Dieser sogenannte Biofilm reduziert die Wärmeübertragung, dies wird jedoch bereits bei der Planung des Systems durch Überdimensionierung berücksichtigt. Daher ist ein regelmäßiges Spülen des Kanalabschnitts bzw. des Wärmeübertragersystems nicht nötig, um die vollständige Leistung des Systems zu erhalten. Laut Aussage des Anbieters, musste in den vergangenen 15 Jahren bei etwa 150 Referenzprojekten kein einziger Wärmeübertrager wieder ausgebaut werden, was die hohe Betriebssicherheit der Technologie unterstreiche.

Auf Basis der bisherigen Angaben der MSE zu mittlerem Trockenwetterabfluss und Kanaldimensionen hat der Anbieter eine Grobauslegung mit Richtpreis für die größeren Kanäle im Quartier Münchner Freiheit und Südliches Schloßbrondell erstellt. Für eine belastbare Potenzialanalyse und Anlagenplanung sind Durchflussmessungen mit 5-Minuten-Auflösung erforderlich, idealerweise in den Wintermonaten Januar oder Februar bzw. in der Hauptnutzungsperiode des Wärmeübertragersystems soll dies nicht Deckungsgleich mit der Heizperiode sein, um den Trockenwetterdurchfluss und die Abwassertemperatur für eine technisch stimmige Auslegung zu erfassen.

Im Rahmen der Technologieanalyse fand ein Austausch mit einem **Anbieter von Container-Luft-Wärmepumpen** statt. Der Anbieter verfügt über ein breites Leistungsspektrum, das von kleinen Anlagen mit 4 kW_{th} bis hin zu Großwärmepumpen mit über 20 MW_{th} reicht. Ziel des Gesprächs war es, die Anwendbarkeit von Containerlösungen in den Untersuchungsgebieten und technische Details der Umsetzung zu diskutieren.

Der Hersteller betont, dass Anlagen bis etwa 700 kW_{th} üblicherweise als Außenaufstellung realisiert werden können, während größere Leistungen in Gebäuden oder technischen Betriebsräumen installiert werden müssen. Die Entscheidungskriterien für die Aufstellung umfassen unter anderem die schalltechnischen Anforderungen sowie die Verfügbarkeit geeigneter Wärmequellen. Die Systeme arbeiten mit verschiedenen Verdichtertechnologien, darunter Schrauben-, Scroll- und Turbokompressoren, und können auf Wunsch mit Umweltproduktdeklarationen (EPD) geliefert werden.

Ein Schwerpunkt des Gesprächs war das Konzept sogenannter Heizungscontainer, die als kompakte, modular aufstellbare Wärmepumpenzentralen für große Wohnblöcke oder Quartiere dienen. Diese Systeme kombinieren Luft-Wasser Wärmepumpen für niedrige Quellentemperaturen - typischerweise ausgelegt für etwa 35 °C Vorlauftemperatur - mit einer nachgeschalteten Booster-Wärmepumpe im Container, der Vorlauftemperaturen von über

90 °C bereitstellen kann. Für diese hohen Temperaturen ist in der Regel eine Quellentemperatur von rund 35 °C erforderlich, bei kälteren Quellen sinkt die maximal erreichbare Endtemperatur. Die Leistung solcher Containerlösungen liegt meist im Bereich von 200 bis 300 kW_{th}, und durch zweistufige Verdichtung können trotz der hohen Vorlauftemperaturen Leistungszahlen (COP) von über 4 erreicht werden. Größere Leistungsbereiche sowie individuelle Sonderlösungen können projektspezifisch realisiert werden.

Reversible Wärmepumpen gewinnen laut dem Anbieter für Wohnungsunternehmen und größere Gebäudeeigentümer stark an Relevanz, insbesondere vor dem Hintergrund steigender sommerlicher Temperaturen und wachsender Nutzeranforderungen. Der Anbieter wies zudem darauf hin, dass die Kombination aus photovoltaisch erzeugtem Strom und dezentralen Split-Klimageräten ein vielversprechender Ansatz sei, da überschüssiger PV-Strom im Sommer genutzt werden könne, ohne in Zeiten geringer Einspeisevergütung vollständig ins Netz abgegeben werden zu müssen.

Bei den Rückkühlern stellt insbesondere die Vereisung ein Problem dar, da für große Übertragerflächen erhebliche Energiemengen zum Abtauen benötigt werden.

Ziel des Gesprächs mit einem **Anbieter von Quartiers-Luft-Wärmepumpen in vertikaler Bauweise** war es, die Potenziale und Einschränkungen der Technologieoption einer Luft-Wärmepumpe auf Quartiers-Skala zu diskutieren.

Der Schwerpunkt des Gesprächs konzentrierte sich auf eine Großwärmepumpe in vertikaler Bauweise, ein Quartiers-Wärmepumpensystem, das entwickelt wurde, um die typischen Restriktionen bei urbanen Wärmepumpenanlagen (begrenzte Fläche und Schallemissionen) zu adressieren. Das System ist in Leistungsgrößen von 0,3 bis 1 MW_{th} verfügbar und für Netztemperaturen von 80/40 °C ausgelegt (weitere Temperaturniveaus sind möglich). Durch die Abführung der Fortluft nach oben wird das Risiko einer Rezirkulation reduziert. Die gesamte Technik, darunter Wärmepumpe, Netzpumpe und Regelung, ist im unteren Bereich eines massiven Betongebäudes integriert, was die Schallemissionen erheblich verringert. Ein vorliegendes Schallgutachten weist 30 dB(A) in 10 Metern Abstand aus. Diese Werte sollen ab Inbetriebnahme des Prototyps im Frühjahr in Bremen messtechnisch validiert werden. Idealerweise wird der Turm in der Höhe so gewählt, dass er sich in die bestehende Gebäudestruktur einfügt und die Schallemissionen nach oben nicht auf umliegende Gebäude treffen.

Das System bietet neben der Wärmeerzeugung auch Kühlfunktionen, die insbesondere im Neubau und in Quartieren mit wachsender sommerlicher Wärmebelastung relevant sind. Für Bestandssysteme mit hohen Rücklauftemperaturen über 55 °C ist eine Rücklaufkühlung vorgesehen, da konventionelle CO₂-Wärmepumpen in diesen Bereichen nicht effizient arbeiten können. Zudem besteht die Möglichkeit, ein Power-to-Heat-Modul (bis 500 kW) zu integrieren, um Spitzenlasten abzusichern sowie eine Redundanz zu schaffen. Weiter ist eine Teilnahme am Sekundär-Regelenergiemarkt möglich, um zusätzliche Einnahmen zu generieren. Die Errichtung erfolgt vergleichsweise schnell: Zwischen Pfahlgründung und Betriebsaufnahme liegen geplant fünf bis sechs Monate.

Zur wirtschaftlichen Bewertung benötigt der Anbieter im Planungsprozess insbesondere Gaslastprofile, Wärmemengendaten und Informationen zu Temperaturanforderungen. Grobe Kostenschätzungen sind jedoch bereits im Vorfeld möglich. Für die technische Realisierung werden ein Fundament von etwa 12 m × 6 m sowie rund drei Meter umlaufende Wartungsfläche benötigt. Thermische Speicher werden abhängig von der Leistung dimensioniert. Übliche Größen liegen bei etwa 150 m³ pro MW_{th}, mit einem Durchmesser von vier Metern und einer Höhe von siebzehn Metern. In Dänemark seien hingegen auch größere Speicher von 300 bis 400 m³ pro MW üblich.

Das angebotene Contracting-Modell erfordert eine ausreichende Wärmeliniedichte, sodass Einzelhaussiedlungen typischerweise nicht wirtschaftlich betrieben werden können. Reihenhaussiedlungen oder innerstädtische Blöcke mit kompakten Strukturen können dagegen geeignet sein.

3.4.2 Rückmeldungen großer Liegenschaften

Um frühzeitig Einblicke in bestehende Energieinfrastrukturen, geplante Modernisierungen und spezifische Anforderungen an zukünftige Wärmeversorgungskonzepte zu erhalten, wurden Gespräche mit Verantwortlichen größerer Liegenschaften mit nennenswertem Wärmeverbrauch geführt. Ziel war es, die Perspektiven großer Gebäudeeigentümer und Betreiber einzubeziehen, technische und organisatorische Hemmnisse zu identifizieren und potenzielle Synergien für eine quartiersbezogene oder zentrale klimaneutrale Wärmeversorgung auszuloten. Die gewonnenen Informationen fließen in die Konzeptentwicklung und Bewertung der geeigneten Versorgungsoptionen ein. Neben den aufgeführten Akteuren wurden weitere Liegenschaftsverantwortliche (unter anderem die Klinik und Poliklinik für Dermatologie und Allergologie im Quartier Münchner Freiheit) kontaktiert. Trotz mehrfacher Anfrage erfolgte jedoch keine Rückmeldung bzw. wurde kein Interesse an einem Austausch signalisiert.

Das Vor-Ort-Gespräch mit Vertretern der **Münchner Zentralbaugenossenschaft** wurde geführt, um den energetischen und baulichen Zustand des Baublocks im Norden des Quartiers Münchner Freiheit zu erfassen und mögliche Optionen und bestehende Planungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu prüfen. Ziel war es, zentrale technische, bauliche und finanzielle Rahmenbedingungen zu verstehen, die für die weitere Analyse und für mögliche Sanierungsentscheidungen der Genossenschaft maßgeblich sind.

Im Gespräch wurden verschiedene Versorgungsoptionen, sowie deren Rahmenbedingungen und Hemmnisse für die Umsetzung diskutiert.

Ziel des Erstgesprächs mit Vertretern des **Krankenhaus Barmherzige Brüder** im Quartier Südliches Schloßbrondell war die Klärung der aktuellen Wärmeversorgungsinfrastruktur und der technischen, wirtschaftlichen und genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung des Krankenhauses. Der Energiebedarf des Krankenhauses ist, wie bei vielen anderen Krankenhäusern auch, sehr hoch: Der jährliche Erdgasverbrauch für die Heißwassererzeugung (hauptsächlich für die Warmwasserbereitung und Raumwärme) sowie Dampferzeugung (für Sterilisationszwecke und zur Luftbefeuchtung) liegt im oberen

einstelligen GWh-Bereich. Neben einer Einschätzung der realistisch umsetzbaren Wärmeversorgungsoptionen wurden bestehende Pläne für eine klimaneutrale Wärmeversorgung abgefragt und Einsparpotenziale diskutiert.

In einem weiteren Gespräch wurden die identifizierten Wärmeversorgungsoptionen für das Krankenhaus vorgestellt und Feedback zur Umsetzbarkeit eingeholt. Ein wesentlicher Gesprächspunkt war die Eignung des Standortes für die Nutzung von Luft-Wärmepumpen, welche aus mehreren Gründen als problematisch eingeschätzt wurden. Benannt wurden die Lage entlang einer sensiblen Sichtachse zum Schloss Nymphenburg, sowie erhebliche statische Einschränkungen am Bestandsgebäude. Diskutiert wurden kleinere, leichtere Luft-WP, ein Kanalwärmetauscher und Biomasseanlagen. Ein Öl-Backup wäre in jedem Fall weiterhin erforderlich.

Aufgrund der absehbar steigenden Nachfrage und der unsicheren Preisentwicklung wurden erhebliche wirtschaftliche Risiken bei strombasierten Systemen gesehen. Als alternative oder ergänzende Option wurde der Einsatz von Biomasse erörtert. Für eine sichere Versorgung wäre jedoch eine Lagerkapazität von etwa 40 Tonnen erforderlich, was die Errichtung eines größeren Bunkerbauwerks voraussetzen würde. Diese Lösung wäre technisch machbar, jedoch mit erheblichen Flächen- und Investitionsanforderungen, sowie einem erhöhten Schwerlastverkehrsaufkommen verbunden.

4 Analyse klimaneutraler Versorgungsoptionen

Auf Basis der Analyse des Gebäudebestands, der lokalen Rahmenbedingungen und der im Gebiet verfügbaren Umweltwärmequellen wurden im nächsten Schritt verschiedene klimaneutrale Versorgungsoptionen systematisch geprüft. Ziel dieses Arbeitspakets ist es, auf Basis der Ergebnisse der Wärmeplanung weitere Möglichkeiten für belastbare, klimaneutrale Versorgungsoptionen für jedes Einzelgebäude in den geprüften Quartieren zu identifizieren und die technische Machbarkeit, die schall- und denkmalrechtliche Umsetzbarkeit sowie die räumlichen und hydraulischen Voraussetzungen zu bewerten. Dabei wurden sowohl gebäudeindividuelle, dezentrale Ansätze als auch quartiersbezogene, zentrale Lösungen mittels Nahwärmenetzen betrachtet. Für die Gebiete werden Gesamtkonzepte zur Wärmeversorgung vorgeschlagen und in eine priorisierte Umsetzungslogik überführt.

Ausgangspunkt der durchgeführten Untersuchung ist die Prämisse, dass in allen drei Prüfgebietsclustern die dezentrale Versorgung über Luft-Wärmepumpen (Luft-WP) voraussichtlich die wirtschaftlichste Option darstellt. Darauf aufbauend wird in den Untersuchungsgebieten zunächst eine genaue Prüfung der Eignung für Luft-WP unter leicht veränderten Annahmen als im Wärmeplan durchgeführt und neu bewertet.

Ausgehend von der Basisoption dezentrale Luft-WP werden ergänzende bzw. alternative Lösungen systematisch „abgeschichtet“ und bewertet. In den Lösungsraum werden zunächst innovative (Luft-)WP-Technologien integriert:

- Kaskadierung
- Schallschutzmaßnahmen durch Kapselung
- größere Container-Wärmepumpen
- Etagen-Wärmepumpen
- Aufdach-Wärmepumpen
- Dachgeschoßintegrierte Wärmepumpen
- PVT-Wärmepumpen

Darüber hinaus wird die Erschließung weiterer lokal verfügbarer erneuerbarer Wärmequellen geprüft. Für Gebiete mit geeignetem Quellenpotenzial werden Varianten von Wärmeversorgungslösungen und Netzen entwickelt. Methodisch wird dabei angenommen, dass im definierten Netzgebiet eine Vollversorgung angestrebt wird, unabhängig von der individuellen Eignung einzelner Gebäude für Luft-WP.

4.1 Dezentrale Einzelgebäude-Lösungen

Im Folgenden werden die wesentlichen dezentralen Versorgungsoptionen systematisch untersucht. Dazu zählen insbesondere Luft-Wärmepumpen als derzeit wichtigste Standardtechnologie, innovative Wärmepumpensysteme (z. B. Kaskaden-, Dach- und containerbasierte Lösungen), oberflächennahe Geothermie sowie hybride Systeme als Übergangslösungen in Bestandsgebäuden mit erhöhten technischen Anforderungen.

Nicht weiter betrachtet werden Stromdirektheizungen, da diese eine vergleichsweise geringe Effizienz aufweisen und zu hohen Betriebskosten sowie einer erhöhten Belastung der

Stromnetze führen. Zudem sind sie gemäß Gebäudeenergiegesetz (GEG) nur in besonders energieeffizienten Gebäuden zulässig und stellen daher keine breit übertragbare Lösung für die betrachteten Bestandsquartiere dar. Auch der Einsatz von Biomethan wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht als vorrangige Option verfolgt. Zwar kann Biomethan bilanziell zur Dekarbonisierung beitragen, jedoch bestehen Unsicherheiten hinsichtlich langfristiger Verfügbarkeit, Kostenentwicklung und Skalierbarkeit. Zudem besteht die Gefahr von Lock-in-Effekten durch die Weiterführung bestehender gasbasierter Infrastrukturen. Vor diesem Hintergrund werden biomethanbasierte Lösungen nicht als zukunftsfähiger Hauptpfad für die Wärmeversorgung in den untersuchten Prüfgebieten betrachtet.

4.1.1 Luft-Wärmepumpen

Die vormals geltenden Abstandsregeln für Luft-WP zu Nachbargrundstücken sind in Bayern abgeschafft worden, da „eine übliche Luftwärmepumpe keine Abstandsflächen auslöst, weil sie keine gebäudegleiche Wirkung im Sinne des Art. 6 Abs. 1 Satz 2 BayBO entfaltet“, wie das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr klargestellt hat³. Einzige Restriktion für nicht unter Denkmal- oder Ensembleschutz stehende Gebäude sind daher die Schallschutzvorgaben der TA Lärm.

In allen drei untersuchten Quartieren sind keine flächendeckenden Bebauungspläne in Kraft. Daher wird für die schalltechnische Bewertung der strengste Anwendungsfall der TA Lärm zugrunde gelegt, entsprechend der Gebietskategorie „reines Wohngebiet“ mit einem nächtlichen Immissionsrichtwert von 35 dB(A) in schutzbedürftigen Räumen gemäß DIN 4109 (Wohn-, Schlaf-, Arbeits- und Kinderzimmer sowie Küchen mit Essplatz).

Der maßgebliche Immissionsort befindet sich gemäß Anhang A.1.3 TA Lärm 0,5 m vor der Mitte des geöffneten Fensters des am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Aufenthaltsraums. Der Einwirkungsbereich einer Anlage beginnt bei Pegeln, die 10 dB(A) unterhalb des Immissionsrichtwertes liegen, also bei 25 dB(A) in der Nacht. Eine Anlage gilt zudem als genehmigungsfähig, wenn die Gesamtbelastung den Richtwert überschreitet, die durch die Anlage verursachte Zusatzbelastung jedoch mindestens 6 dB unterhalb des Richtwertes liegt (≤ 29 dB(A) in reinen Wohngebieten während der Nachtzeit).

Zur Beurteilung zusätzlicher Geräuschimmissionen sieht die TA Lärm drei abgestufte Prüfkriterien vor. Eine Anlage gilt als irrelevant, wenn ihr Beurteilungspegel den maßgeblichen Immissionsrichtwert um mindestens 10 dB(A) unterschreitet. In diesem Fall ist ihr Beitrag akustisch unbedeutend, und eine weitere Prüfung entfällt. Liegt der Schallpegel der Anlage weniger als 10 dB(A) unter dem Richtwert, wird sein Verhältnis zur bestehenden Vorbelastung betrachtet. Ist die Anlage mindestens 6 dB(A) leiser als der vorhandene Gesamtpegel, erhöht sie diesen um weniger als 1 dB(A) und gilt damit ebenfalls als nicht erheblich. Erst wenn die

³ Mitteilung des Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr unter https://www.bauen.bayern.de/assets/stmi/buw/baurechtundtechnik/24_rundschreiben_abstandsflaechen-luftwaermepumpen.pdf

neue Quelle den Gesamtpegel um 3 dB(A) oder mehr anhebt, wird die Änderung als wahrnehmbar und erheblich bewertet.

Im Unterschied zum Vorgehen des Wärmeplans wird in dieser Untersuchung keine Weißflächenkartierung vorgenommen. Es werden bewusst weniger konservative Annahmen getroffen, um das technisch Mögliche zu prüfen - auch unter Berücksichtigung geringfügiger Hemmnisse. Leitungen, Kanäle und Bäume werden daher nicht grundsätzlich als Ausschlusskriterien für Aufstellorte betrachtet, da Luft-Wärmepumpen bei Bedarf auch unter Bäumen installiert oder im Falle von Sanierungsarbeiten an Leitungen und Kanälen vorübergehend demontiert werden können. Das gilt insbesondere für kleinere Wärmepumpengeräte mit Leistungen unterhalb von etwa 12 kW, für die üblicherweise eine Gründung auf Streifenfundament anstelle einer durchgehenden Stahlbeton-Bodenplatte ausreichend ist.

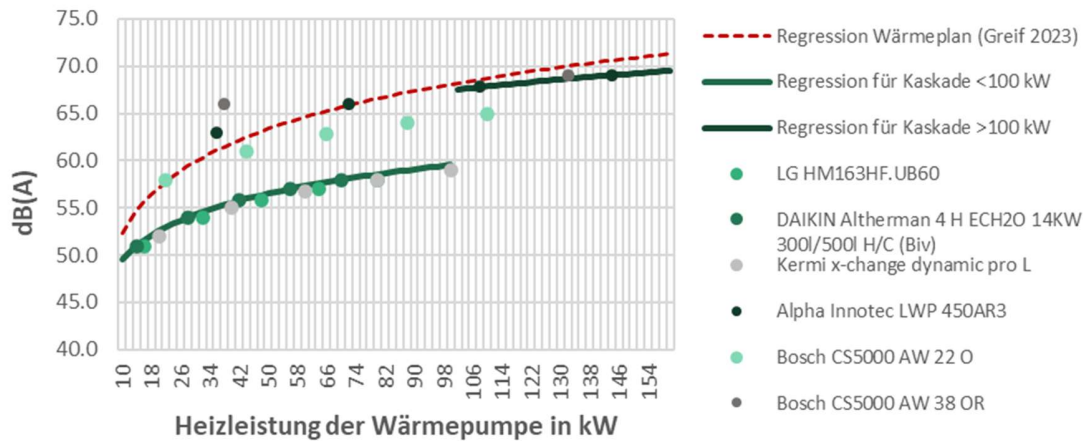
4.1.1.1 Optimale Wärmepumpenstandorte

Die Aufstellorte der Luft-Wärmepumpen werden für jedes Gebäude innerhalb der Grenzen des zugehörigen Flurstücks optimiert. Dabei gelten folgende Randbedingungen: ein Mindestabstand von 1 m und ein maximaler Abstand von 10 m zur Hauswand sowie kein Mindestabstand zur Grundstücksgrenze. Die Optimierung erfolgt auf Basis von 500 zufällig generierten Punkten innerhalb des Flurstücks unter Berücksichtigung der Abstände zu umliegenden Gebäuden im Umkreis von 50 m. Bereiche zwischen zwei Außenwänden werden aufgrund erhöhter Schallreflexionen von der Standortsuche ausgeschlossen. Die optimierten Wärmepumpenstandorte wurden ermittelt, die Eignung der Einzelgebäude für Luft-WP mit Einzelgeräten und Kaskaden im energetisch sanierten und unsanierten Zustand wurde analysiert. Tabelle 4 listet die absolute und relative Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten je nach Variante.

4.1.1.2 Berechnung der Schalldruckpegel an Nachbargebäuden

Der Schalldruckpegel an Nachbargebäuden wird angelehnt an die im Wärmeplan genutzte Methodik berechnet, um das Vorgehen zu plausibilisieren und die angepassten Heizlasten zu berücksichtigen. Dazu wurde ebenfalls auf die im Wärmeplan verwendete Korrelation des Schallleistungspegels von Luft-Wärmepumpen nach (Greif, 2023) zurückgegriffen, welche entsprechend der Beschlussvorlage zum Wärmeplan von (RKU, 2024) auf die leisere Hälfte der Wärmepumpen angepasst wurde. Die Regressionskurve ist in Abbildung 9 zu sehen und wird zur Einordnung durch die Schallleistungspegel einer Auswahl besonders leiser aktueller Wärmepumpenmodelle im Nachtmodus sowie Kaskaden mehrerer kleinerer Wärmepumpenmodelle komplementiert. Diese Korrelation aus Heizleistung der Wärmepumpe zum Schallleistungspegel ist die Grundlage für die weitere Berechnung des Schalldruckpegels an umliegenden Gebäuden.

Abbildung 9: Schalleistungspegel bei Kaskadierung verschiedener Luft-Wärmepumpenmodelle mit unterschiedlicher Heizleistung und verwendete Regressionen



Bis zu einem Abstand von 3 m zur nächsten Wand wird nach (LAI, 2023) der Schallpegel durch Reflexion um 3 dB(A) erhöht (Schallabstrahlung in den Viertelraum). Dies wird bei der Berechnung des Schalleistungspegels L_w der Schallquelle berücksichtigt:

$$L_w = 36.611 + 6.8382 \cdot \ln(P_{\text{Heiz}}) + (3 \text{ if Abstand}_{WP} > 3m \text{ else } 6)$$

Der Schalldruckpegel L_p an umliegenden Gebäuden wird auf Grundlage einer kugelförmigen Schallausbreitung in den Halbraum über dem Untergrund ($Q = 2 \rightarrow +3$ dB), einer möglichen Reflexion an einer Wand ($Q = 4 \rightarrow +6$ dB) und der atmosphärischen Dämpfung (bei einer rel. Luftfeuchtigkeit von 70 % und einer mittleren Temperatur von 20 °C) berechnet:

$$\begin{aligned} L_p &= L_w + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right) - A_{\text{atm}} \\ &= L_w - 20 \cdot \log_{10}(r) + 10 \cdot \log_{10}(Q) - 11 - A_{\text{atm}} \end{aligned}$$

Beugungsdämpfung an Schallhindernissen wie Gebäuden wird ebenfalls berücksichtigt.

Neben der Möglichkeit, ein Wärmepumpengerät der passenden Leistungsklasse aufzustellen, besteht die Möglichkeit, mehrere kleinere Wärmepumpengeräte zur Erhöhung der Leistung parallel zu schalten. In der Praxis wird hierbei von einer „Kaskade“ gesprochen, obwohl sich der Begriff fachlich eigentlich auf die Reihenschaltung von Wärmepumpen zur Temperaturerhöhung bezieht. Üblicherweise kommen hier nach Information des Bundesverband Wärmepumpe nicht mehr als fünf Geräte nebeneinander vor. Die Zunahme des Schallpegels bei mehreren Quellen gleicher Lautstärke ist in Tabelle 1 zu sehen. Wie im Vergleich der Regressionen solcher Kaskaden mehrerer Wärmepumpengeräte mit der im Wärmeplan verwendeten Regression in Abbildung 9 zu sehen, haben Kaskaden das Potenzial, die Heizleistung mit deutlich geringeren Schallemissionen bereitzustellen als in der zuvor verwendeten Regressionsfunktion für Einzelgeräte abgebildet.

Tabelle 1: Pegelzunahme bei mehreren gleichen Schallquellen

Pegelzunahme ΔL bei n gleich lauten Schallquellen	
Anzahl n gleich lauter Schallquellen	Pegelzunahme ΔL in dB
1	0,0
2	3,0
3	4,8
4	6,0
5	7,0
6	7,8
7	8,5
8	9,0
9	9,5
10	10,0
12	10,8

Für Kaskaden von üblicherweise bis zu fünf parallelen Luft-Wärmepumpengeräten ergibt sich eine Zunahme des Gesamtpegels von lediglich 7 dB(A) über dem Schalldruckpegel eines Einzelgeräts. Dadurch ergibt sich folgende Regression des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der installierten Wärmeleistung. Die Korrelation wurde zweigeteilt, da große Wärmepumpengeräte überproportional laut sind:

Regression für Leistungen < 100kW:

$$L_w = 39.53 + 4.3458 * \ln(P_{Heiz}) + (3 \text{ if } Abstand_{WP} > 3m \text{ else } 6)$$

Regression für Leistungen > 100kW:

$$L_w = 47.352 + 4.3647 * \ln(P_{Heiz}) + (3 \text{ if } Abstand_{WP} > 3m \text{ else } 6)$$

Erzeugt ein Gerät im Betrieb deutlich hörbare Einzeltöne oder wiederkehrende Klänge (bspw. Brummen, Pfeifen), ist ein Zuschlag für Tonhaltigkeit zu berücksichtigen. Dieser Zuschlag ist gerätespezifisch und kann den Beurteilungspegel um 3-6 dB(A) erhöhen. Nach verschiedenen Schallrechnern für Wärmepumpen (bspw. vom Bundesverband Wärmepumpe (BWP) oder des Landesamts für Umwelt Sachsen-Anhalt) wird ein Zuschlag von 3 dB(A) für hörbare Tonhaltigkeit des Betriebsgeräuschs berücksichtigt, falls dieser nicht exakt bekannt ist. Jedoch entsprechen Geräte mit tonhaltigen Geräuschemissionen laut (LAI, 2023) nicht dem Stand der Technik und sind daher nicht empfohlen. Zudem können die tonalen Geräuschkomponenten durch konstruktive Maßnahmen beseitigt werden, sodass in der nicht-konservativen Betrachtung der Prüfgebiete kein Zuschlag berücksichtigt wird.

Im Folgenden wurden die Schallpegel durch Luft-WP an optimierten Standorten innerhalb des Flurstücks eines Gebäudes im energetischen Ausgangszustand und in einem mittleren energetischen Sanierungsniveau (wo durch Sanierungsbarrieren möglich) für die Regressionsfunktion des Wärmeplans für Einzelgeräte und die Funktion bei Kaskadenlösung gegenübergestellt. Dabei wurde für jede Kombination aus Schallleistungsannahme (Einzelgerät

+ Kaskade) und Sanierungsniveau (Status Quo und saniert) je Einzelgebäude getestet, ob der Schallgrenzpegel an umliegenden Nachbargebäuden von 29 dB(A) bei Nacht nicht überschritten wird und damit unter der Unerheblichkeitsgrenze der TA Lärm liegt. Entsprechend wurde die Eignung je nach Annahme ausgewiesen. Hierbei ist zu beachten, dass für die Kaskadenlösung trotz des größeren Platzbedarfs einer meist linienförmigen Aufstellung der Geräte in der Analyse ebenfalls von einer Punktquelle ausgegangen wird.

Abbildung 10 zeigt, wie die Eignung für Luft-WP für die verschiedenen Berechnungsmethoden für jedes Einzelgebäude gestaffelt ist: Ist ein Gebäude nach Berechnung mithilfe der Regressionsfunktion aus dem Wärmeplan im unsanierten Zustand geeignet, ist es das erst recht bei Annahme ambitionierter Sanierung oder unter Nutzung einer Kaskadenlösung. Ist ein Gebäude nach Berechnung mithilfe der Regressionsfunktion aus dem Wärmeplan nur im sanierten Zustand geeignet, ist es das in fast allen Fällen auch im unsanierten Zustand unter Nutzung einer Kaskadenlösung, da hier der Schallleistungspegel deutlich geringer ist. Die Eignung der Einzelgebäude für Luft-WP mit Einzelgeräten und Kaskaden im energetisch sanierten und unsanierten Zustand wurde analysiert. Tabelle 4 listet die absolute und relative Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten je nach Variante.

Abbildung 10: Staffelung der Eignung für Luft-WP je Einzelgebäude



Kaskadenlösungen mit mehreren Außeneinheiten erhöhen zwar die installierbare Wärmepumpenleistung mit geringeren Schallemissionen als einzelne große Geräte, erfordern jedoch deutlich mehr funktionsfähige Außenfläche. Neben der reinen Stellfläche sind Abstände für Luftansaugung und Abluft, Wartungszugang sowie Maßnahmen zur Vermeidung von Rezirkulation notwendig.

4.1.1.3 Eignung für Luft-WP im Quartier Münchner Freiheit

Die Auswertung der Schallpegel an den jeweils angrenzenden Gebäuden in ergibt, dass selbst unter günstigen Rahmenbedingungen einer vollständigen energetischen Sanierung und einer (leiseren, aber platzaufwändigeren) Kaskadenlösung für Luftwärmepumpen in vielen Bereichen erhebliche Einschränkungen für die Aufstellung von Luftwärmepumpen bestehen. Besonders im mittleren und südlichen Teil des Quartiers liegen die berechneten Schalldruckpegel an den nächstgelegenen Fassaden häufig über 29 dB(A) und damit oberhalb des zulässigen Bereichs für eine genehmigungsfähige Zusatzbelastung. In diesen Bereichen ist der Einsatz dezentraler Luftwärmepumpen im Außenraum weitgehend ausgeschlossen. Dafür gibt es mehrere Gründe: Die dichte Blockrandbebauung führt zu stark abgeschirmten Innenhöfen, in denen Schallreflexionen verstärkt auftreten und selbst leise Geräte hohe Immissionspegel an Nachbargebäuden verursachen können. Gleichzeitig schränken denkmalchutzbedingte

Sanierungsbarrieren die Möglichkeiten ein, den Wärmebedarf zu reduzieren und kleinere Wärmepumpengeräte zu verwenden.

Aus der schalltechnischen Analyse ergibt sich daraus eine gebäudescharfe Bewertung der Eignung für Luftwärmepumpen, differenziert nach Einzelgeräten (nach Wärmeplan) und Kaskadenlösungen. Die Ergebnisse wurden für einen unsanierten als auch für einen sanierten Zustand der Gebäude analysiert und zeigen gebäudescharf, in welchen Bereichen des Quartiers der Einsatz von Luft-WP aus schalltechnischen Gründen bereits jetzt oder erst nach energetischer Sanierung möglich ist.

Luft-WP sind danach vor allem im dicht bebauten zentralen und südlichen Bereich des Quartiers kaum möglich, da die einzig möglichen Aufstellorte in engen Innenhöfen liegen. Im nördlichen Teil und angrenzend an den Englischen Garten sind etliche, auch größere Gebäude bereits im unsanierten Zustand auch mit Einzelgeräten geeignet für die Nutzung einer Luft-WP. Gebäude, die nur im sanierten Zustand für die WP-Versorgung mit Einzelgeräten geeignet sind, sind in den meisten Fällen auch im unsanierten Zustand durch eine Kaskadenlösung versorgbar.

Die Anzahl und relativen Anteile der Gebäude und Wohneinheiten, die für Luft-WP mit Außengeräten geeignet sind, sind in Tabelle 2: Luft-WP-Eignung nach Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten im Quartier Münchner Freiheit dargestellt. Dabei schließen jeweils die für den sanierten Zustand geeigneten Gebäude auch die Gebäude mit ein, die im unsanierten Zustand als geeignet identifiziert wurden. Die Anzahl der Gebäude mit Eignung für kaskadierte Luft-WP im unsanierten Zustand schließt in der Regel auch diejenigen Gebäude mit ein, die schalltechnisch nur im sanierten Zustand für die Nutzung von Einzelgeräten geeignet sind.

Tabelle 2: Luft-WP-Eignung nach Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten im Quartier Münchner Freiheit

	Luft-WP mit Einzelgerät		Luft-WP mit Kaskade	
	unsaniert	saniert	unsaniert	saniert
Anzahl Gebäude abs.	78	156	175	195
Anzahl Gebäude rel.	16,3 %	32,6 %	36,6 %	40,8 %
Anzahl Wohneinheiten abs.	381	933	1082	1351
Anzahl Wohneinheiten rel.	8,8 %	21,5 %	25,0 %	31,2 %

4.1.1.4 Eignung für Luft-WP im Quartier Südliches Schloßbrondell

Dieselbe Analyse wurde auch für das innenstadtnahe Quartier Südliches Schloßbrondell durchgeführt. Die Auswertung zeigt, dass bei etlichen Gebäuden im Quartier die Grenzwerte nach Sanierung nicht überschritten werden. Zwar sind die Flurstücke insbesondere im südlichen Teil des Gebietes ebenfalls klein, jedoch können im sanierten Zustand oder mit Kaskadenlösungen bei vielen Gebäuden Standorte gefunden werden, die eine schalltechnische Eignung ermöglichen.

Die sich daraus ergebende Eignung der Einzelgebäude für Luft-WP mit Außengeräten (Einzel- oder Kaskadenlösung) wurde gebäudescharf bewertet. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die absolute und relative Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten, die je nach Variante für Luft-WP-Lösungen geeignet sind.

Tabelle 3: Luft-WP-Eignung nach Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten im Quartier Südliches Schloßrondell

	Luft-WP mit Einzelgerät		Luft-WP mit Kaskade	
	unsaniert	saniert	unsaniert	saniert
Anzahl Gebäude abs.	30	81	94	112
Anzahl Gebäude rel.	18,8 %	50,6 %	58,8 %	70,0 %
Anzahl Wohneinheiten abs.	78	367	405	546
Anzahl Wohneinheiten rel.	6,5 %	30,8 %	34,0 %	45,8 %

4.1.1.5 Eignung für Luft-WP im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

Im vorstädtisch geprägten Quartier Hochleite/Theodolindenplatz zeigt die Schallpegelanalyse für den unsanierten Zustand und WP-Kaskaden, dass für die meisten Gebäude ein Aufstellort gefunden werden kann, für den der Pegelgrenzwert nur am eigenen Gebäude überschritten wird. Zwar weisen die Gebäude verglichen mit den anderen Quartieren einen hohen Wärmebedarf auf, jedoch sind auch die Grundstücke deutlich größer, sodass notwendige Abstände häufig eingehalten werden können. Dadurch sind die meisten Gebäude im Quartier auch im unsanierten Zustand für den Einsatz von Luft-WP geeignet, wenn kaskadierte Luft-WP gewählt werden. Insbesondere entlang der Hochleite ist jedoch noch zu prüfen, inwiefern mehrere Außengeräte aufgrund des Platzbedarfs und des Bewuchses in Richtung des Steilufers aufgestellt werden können.

Die Eignung der Einzelgebäude für Luft-WP mit Einzelgeräten und Kaskaden im energetisch sanierten und unsanierten Zustand wurde analysiert. Tabelle 4 listet die absolute und relative Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten je nach Variante.

Tabelle 4: Luft-WP-Eignung nach Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

	Luft-WP mit Einzelgerät		Luft-WP mit Kaskade	
	unsaniert	saniert	unsaniert	saniert
Anzahl Gebäude abs.	27	51	70	74
Anzahl Gebäude rel.	36,5 %	68,9 %	94,6 %	100 %
Anzahl Wohneinheiten abs.	52	151	210	226
Anzahl Wohneinheiten rel.	23,0 %	66,8 %	92,9 %	100 %

4.1.1.6 Genehmigungsfähigkeit und Umsetzungshemmnisse

Die Genehmigungsfähigkeit von Luft-Wärmepumpen im Stadtgebiet wird maßgeblich durch bauordnungs-, bauplanungs- und immissionsschutzrechtliche Vorgaben bestimmt. Nach den aktuellen Hinweisen der Lokalbaukommission München (LBK) sind Luft-Wärmepumpen grundsätzlich zulässig und können zur Erfüllung der energetischen Anforderungen des Gebäudeenergierechts eingesetzt werden, unterliegen jedoch strengen Anforderungen an den Schallschutz und das Rücksichtnahmegebot.

Werden Luft-Wärmepumpen vollständig innerhalb des Gebäudes errichtet, ist kein Nachweis zur Einhaltung der TA Lärm erforderlich. Außengeräte oder außen aufgestellte Anlagenteile müssen hingegen die Immissionsrichtwerte der TA Lärm nachweislich einhalten. Dies stellt insbesondere in reinen und allgemeinen Wohngebieten mit niedrigen nächtlichen Richtwerten ein zentrales Umsetzungshemmnis dar. Die Einhaltung ist nicht allein vom Schallleistungspegel des Geräts abhängig, sondern auch von Abständen zu schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen, Reflexionen im Stadtraum sowie standortabhängigen Zuschlägen, etwa bei wandnaher Aufstellung oder hofartigen Situationen.

Bauordnungsrechtlich gelten Luft-Wärmepumpen als bauliche Anlagen. Werden sie im Rahmen eines genehmigungspflichtigen Bauvorhabens errichtet, sind sie Teil des Bauantrags. Bei nachträglicher Installation an Bestandsgebäuden sind sie in der Regel verfahrensfrei, entbinden jedoch nicht von der Pflicht zur Einhaltung aller öffentlich-rechtlichen Vorschriften. Anlagen und Einhausungen bis 2 m Höhe lösen zudem keine Abstandsflächen aus. Bauplanungsrechtlich müssen Außengeräte grundsätzlich innerhalb des bestehenden Bauliniengefüges liegen, Abweichungen sind nur über Einzelfallbefreiungen möglich.

Als wesentliches Umsetzungshemmnis in dicht bebauten Quartieren erweist sich der Schallschutz in Kombination mit begrenzten Aufstellflächen. Die LBK empfiehlt daher ausdrücklich, frühzeitig schallarme Geräte zu wählen, Aufstellorte sorgfältig zu prüfen und gegebenenfalls schalltechnische Fachgutachten einzubinden. Für den Nachweis der TA-Lärm-Konformität stehen vereinfachte Verfahren (LBK-Formular, LAI-Leitfaden, Schallrechner des Bundesverbands Wärmepumpe) ebenso zur Verfügung wie detaillierte Prognosen durch Sachverständige.

Insgesamt sind Luft-Wärmepumpen rechtlich grundsätzlich gut integrierbar, ihre Umsetzung im innerstädtischen Bestand ist jedoch häufig durch Schallanforderungen, Standortrestriktionen und planerische Unsicherheiten begrenzt. Innovative Aufstellkonzepte (siehe Kapitel 4.1.2) können diese Hemmnisse mindern, erfordern jedoch eine besonders sorgfältige Planung und Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden.

4.1.1.7 Gegenüberstellung mit Eignung für Luft-WP aus Wärmeplan

Die vorliegende Untersuchung verfolgt im Vergleich zum kommunalen Wärmeplan eine weniger konservative Herangehensweise bei der Bewertung der Eignung von Gebäuden für Luft-Wärmepumpen. So wurden potenzielle Aufstellflächen auch dann berücksichtigt, wenn sie bis zu 10 m vom Gebäude entfernt liegen, und es erfolgte keine pauschale Einschränkung durch bestehende Leitungen oder Baumbestand. Ziel war es, zunächst aufzuzeigen, welche

technischen Möglichkeiten grundsätzlich bestehen, selbst wenn deren Umsetzung im Einzelfall mit einem erhöhten Planungs- und Abstimmungsaufwand verbunden ist.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Luft-Wärmepumpen in diesen Fällen zwar häufig aufwendiger umzusetzen sind als es die Annahmen im Wärmeplan nahelegen, der erforderliche Aufwand jedoch in der Regel deutlich geringer bleibt als bei der Realisierung zentraler quartiersbezogener Lösungen. Insbesondere in Situationen, in denen kurzfristig eine klimaneutrale Wärmeversorgung für einzelne Gebäude gefunden werden muss, kann die dezentrale Lösung daher weiterhin eine realistische Handlungsoption darstellen.

Die im Rahmen dieser Untersuchung ermittelten Eignungen für Luft-Wärmepumpen unter Verwendung der im Wärmeplan genutzten Regressionsfunktion wurden mit den Ergebnissen des kommunalen Wärmeplans abgeglichen. Dabei zeigt sich, dass die grundsätzliche Einschätzung der technischen Umsetzbarkeit in beiden Ansätzen weitgehend übereinstimmt. Insbesondere bei Gebäuden, für die aufgrund von Schall- und Flächenrestriktionen keine realistische Aufstellmöglichkeit besteht, kommen beide Bewertungen zu vergleichbaren Ergebnissen.

4.1.2 Innovative Wärmepumpensysteme

Neben klassischen dezentralen Wärmepumpenkonzepten gewinnen innovative Systemlösungen zunehmend an Bedeutung, um die baulichen, schalltechnischen und flächenbezogenen Restriktionen im innerstädtischen Bestand zu adressieren. Das folgende Unterkapitel stellt ausgewählte innovative Wärmepumpensysteme vor, die durch alternative Aufstellungs- und Integrationskonzepte neue Handlungsspielräume eröffnen. Dazu zählen Aufdach- und dachintegrierte Wärmepumpen, PVT-gestützte Systeme, Containerlösungen für größere Mehrfamilienhäuser sowie etagenweise Wärmepumpenkonzepte, die jeweils spezifische Vorteile, aber auch projektspezifische Anforderungen mit sich bringen.

4.1.2.1 Aufdach-WP

Auf Grundlage einer visuellen Vorprüfung der Gebäude anhand von Überflug- und Luftbilddaten (Google) wurden jene Gebäude identifiziert, die über begehbare Flachdächer mit grundsätzlich tragfähiger Dachkonstruktion verfügen. Für diese Gebäude kommt voraussichtlich eine Aufdachaufstellung von Außeneinheiten luftbasierter Wärmepumpen in Betracht, jedoch muss die Tragfähigkeit des Dachs jeweils im Einzelfall noch statisch überprüft werden. Insbesondere in Fällen, in denen eine konventionelle Bodenaufstellung aufgrund von Flächenknappheit oder schalltechnischen Restriktionen nicht möglich ist, stellt die Dachaufstellung eine technisch realisierbare Alternative dar.

Aus schalltechnischer Sicht bietet die Aufdachaufstellung, ebenso wie eine in das Dachgeschoss integrierte Wärmepumpe den Vorteil, dass die Schallemissionen oberhalb oder im Bereich der Gebäudehöhen benachbarter Bebauung auftreten. Dadurch lassen sich bei geeigneter Anordnung und zusätzlichen Schallschutzmaßnahmen ungünstige Reflexionen an gegenüberliegenden Gebäuden deutlich reduzieren. Voraussetzung für eine solche Aufstellung ist jedoch, dass die zulässigen Dachlasten eingehalten werden. Unter der Annahme einer

verfügbaren Traglastreserve von etwa 50 bis 75 kg/m² sollte die zusätzliche Flächenlast durch die Wärmepumpenaußeneinheiten einschließlich etwaiger Lastverteiler- und Tragkonstruktionen einen Wert von 20 bis 25 kg/m² nicht überschreiten und möglichst über tragende Bauteile (z. B. Außen- oder Querwände) abgetragen werden.

Im Leistungsbereich größerer Außenluft-Wärmepumpen (ca. 100–800 kW_{th}) liegen die typischen Betriebsgewichte bei etwa 1.000 kg je 100 kW_{th}. Unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlags von rund 25 % für zusätzliche Konstruktionselemente ergibt sich daraus ein Richtwert von maximal etwa 1,5 bis 2,0 kW_{th} pro m² Dachfläche. Aufgrund der hohen punktuellen Aufstandsflächen größerer Geräte ist in der Regel eine gezielte Lastverteilung erforderlich.

Neben der statischen Auslegung ist ein schwingungstechnisch abgestimmtes Aufstellungskonzept erforderlich. Durch geeignete Maßnahmen zur Schwingungs- und Körperschallentkopplung muss sichergestellt werden, dass die im Betrieb entstehenden Schwingungen nicht in die Gebäudestruktur eingeleitet werden und zu Beeinträchtigungen in den darunterliegenden Nutzungsbereichen führen.

Die geeigneten Gebäude für eine Aufdach-Aufstellung von Luft-WP wurden für alle drei untersuchten Quartiere gebäudescharf analysiert. Eine Eignung besteht im Quartier Münchner Freiheit für rund 6%, im Quartier Südliches Schlossrondell für rund 4% und im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz für rund 12% der Gebäude.

4.1.2.2 Dachgeschoßintegrierte WP

Dachgeschossintegrierte Wärmepumpen stellen eine spezielle Variante der Aufdach- bzw. Dachaufstellung dar, bei der die Wärmepumpentechnik innerhalb des Dachraums untergebracht wird. Dieses Konzept kann insbesondere in innerstädtischen Bestandsgebäuden eine Alternative darstellen, wenn Außenaufstellungen aus platz- oder schalltechnischen Gründen nicht möglich sind und gleichzeitig eine Dachaufstockung oder ein nicht vollständig ausgebautes Dachgeschoss vorhanden ist.

Die Ergebnisse der gebäudescharfen Sichtung der Dachnutzungen wurden analysiert hinsichtlich der Dachgeschosse, in denen eine Aufstellung grundsätzlich möglich erscheint. In diesen Fällen kann die Gewichtslast der Wärmepumpe direkt auf das tragende Mauerwerk der darunterliegenden Geschosse abgetragen werden, was aus statischer Sicht vergleichsweise günstige Voraussetzungen schafft. Demgegenüber kann bei Gebäuden mit zweigeschossigen Dachkonstruktionen, bei denen eine Aufstellung lediglich im oberen, begehbaren Dachraum möglich wäre, die Last nicht direkt auf tragende Wände abgeführt, sondern müsste über den Dachstuhl abgetragen werden. Eine solche Lösung ist in der Regel mit statischen und konstruktiven Anforderungen verbunden und stellt, selbst bei grundsätzlicher technischer Machbarkeit, eine erhebliche Umsetzungsbarriere dar.

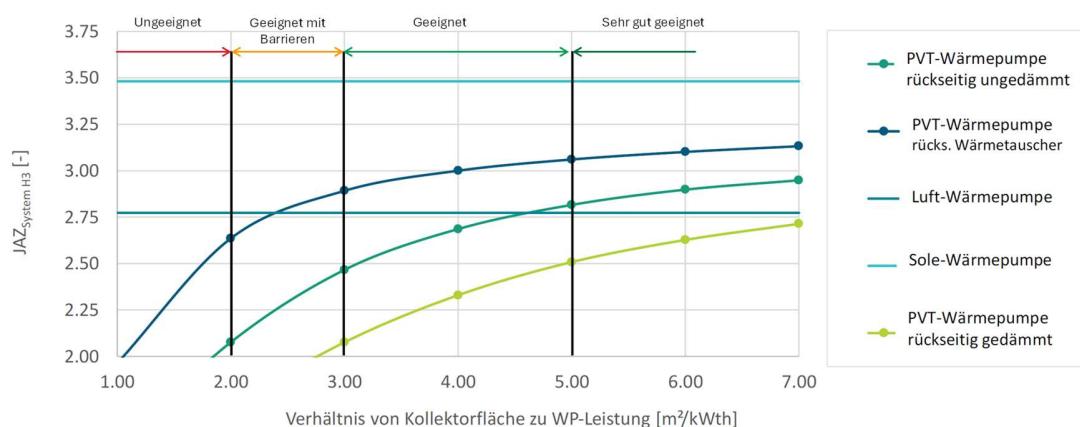
Unabhängig von der konkreten Dachkonstruktion sind bei dachgeschossintegrierten Wärmepumpen zusätzlich schwingungs- und schalltechnische Maßnahmen erforderlich, um eine Übertragung von Körperschall in die Gebäudestruktur zu vermeiden. Auch brandschutzrechtliche Anforderungen, Zugänglichkeit für Wartung sowie die Führung von Luft-

und Leitungswegen sind frühzeitig zu berücksichtigen. Insgesamt eignen sich dachgeschossintegrierte Wärmepumpen nur für einen begrenzten Teil des Gebäudebestands, können dort aber auch bei enger Bebauung und fehlenden Aufstellmöglichkeiten im Außenraum die Nutzung von Luft-WP ermöglichen. Ihre Realisierbarkeit hängt maßgeblich von der tragwerksseitigen Ausführung des Dachgeschosses sowie von der Möglichkeit ab, die zusätzlichen Lasten direkt in tragende Bauteile einzuleiten. In Gebäuden ohne diese Voraussetzungen ist das Konzept in der Regel nicht wirtschaftlich oder technisch sinnvoll umsetzbar. Dachgeschossintegrierte Wärmepumpen erscheinen im Quartier Münchner Freiheit für rund 11%, im Quartier Südliches Schlossrondell für rund 5% und im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz für rund 19% der Gebäude grundsätzlich geeignet.

4.1.2.3 PVT-WP

PVT-Kollektorkonzepte (Photovoltaik-Thermie) sind eine Hybridtechnologie, die die gleichzeitige Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme aus Sonnenstrahlung ermöglicht. In diesen Systemen sind photovoltaische Zellen zur Stromerzeugung und thermische Kollektoren zur Wärmegewinnung in einer kompakten Baueinheit kombiniert. Durch die Integration beider Technologien wird die verfügbare Dachfläche optimal genutzt und ein höherer Gesamtwirkungsgrad als bei separaten PV-Modulen und Solarthermie-Kollektoren erreicht. Während frühere PVT-Systeme überwiegend auf gedämmte solarthermische Kollektoren zur Wärmeherzeugung setzten, kommen zunehmend rückseitig ungedämmte Module bzw. Module mit einem rückseitigen Wärmetauscher („Metallplatte“) zum Einsatz. Diese fördern die Wärmeübertragung auf der Rückseite des Moduls und nutzen neben der solaren Einstrahlung auch die Außenluft als zusätzliche Wärmequelle. Solche PVT-Kollektoren eignen sich insbesondere als Wärmequelle für Sole-Wasser-Wärmepumpen.

Abbildung 11: Jahresarbeitszahl (JAZ_{System}) für PVT-Wärmepumpensysteme im Vergleich zu konventionellen Wärmepumpensystemen mit Luft- und Sole als Wärmequelle. (Quelle: (Bongs et al., 2023), eigene Ergänzungen)



Ein wesentlicher Vorteil dieser Systeme liegt darin, dass sie im Gegensatz zu herkömmlichen Außenluft-Wärmepumpen keine Ventilatoren benötigen. Diese stellen nämlich die Hauptquelle von Schallemissionen und Schwingungen dar. Somit arbeiten diese Systeme nahezu

geräuschlos und können an Orten eingesetzt werden, an denen konventionelle Außenluft-Wärmepumpen aufgrund der Baustruktur nicht zulässig sind. Nachteilig sind die wesentlich höheren Kosten und der höhere Installationsaufwand. Darüber hinaus sind Flächen erforderlich, an denen solche Module angebracht werden können. Unter der Annahme eines Verhältnisses von 4 m^2 Kollektorfläche je kW thermischer Wärmepumpenleistung ergibt sich beispielsweise für ein Gebäude mit einer erforderlichen Wärmeerzeugerleistung von 50 kW wie in Abbildung 12 dargestellt eine erforderliche Kollektorfläche von 200 m^2 . Das in der Abbildung dargestellte Gebäude hat eine Gesamtdachfläche von etwa 200 m^2 . Unter Berücksichtigung von Randabständen, Dachfenstern, Schornsteinen etc. reduziert sich die zur Verfügung stehende Dachfläche auf etwa 100 m^2 (Solarkataster der Stadt München: 107 m^2 , e-think-Algorithmus mit generischen Annahmen zu Randabständen und durchschnittlichen Dachein- und -aufbauten: 93 m^2). Damit liegt bei diesem Gebäude das Verhältnis von Aufdach-PVT-Kollektorfläche zu thermischer Wärmepumpenleistung bei etwa $2 \text{ m}^2/\text{kW}$. Somit würde dieses Gebäude im Status quo als nicht geeignet eingestuft, um mit einer PVT-WP versorgt zu werden.

Abbildung 12: Beispielgebäude mit PVT-Eignung und einer abgeschätzten Heizlast von etwa 50 kW (Bildquelle: GoogleEarth)



Zu berücksichtigen ist, dass die thermische Leistung von PVT-Kollektoren in winterlichen Nachtstunden und zu sonnenarmen Zeiten auf die Nutzung der Außenluft als alleinige Wärmequelle reduziert ist, aber auch die generell niedrige Solarstrahlung in den

Wintermonaten kaum Energiebeträge liefern kann⁴. Entsprechend sind ausreichend große Kollektorflächen erforderlich, um auch bei mehrtägig geringer solarer Einstrahlung eine relevante Deckung der Heizlast zu gewährleisten. Weitere Einschränkungen ergeben sich in Gebäuden mit Denkmal- oder Ensembleschutz, da PVT-Module in der Regel gut sichtbar auf Dachflächen installiert werden müssen und damit genehmigungsrechtlich straßenseitig nur eingeschränkt zulässig sind.

In der Bewertung der Wirtschaftlichkeit (siehe Kapitel 5.2.1) wurden PVT-Wärmepumpensysteme näherungsweise mit Kostenansätzen einer Grundwasser-Wärmepumpe ohne Brunnen zuzüglich eines pauschalen Aufschlags für Solarkollektoren (Faktor 1,2) abgebildet. Diese vereinfachte Annahme erfolgt aufgrund von fehlenden verlässlichen Daten zu PVT-Systemen und dient lediglich der Vergleichbarkeit mit anderen Heizsystemen.

In den GIS-basierten Auswertungen wurden die Gebäude der drei untersuchten Quartiere hinsichtlich ihrer Eignung für PVT-Wärmepumpen dargestellt. Eine gute ($3 - 5 \text{ m}^2 \text{ je kW}_{\text{th}}$) und sehr gute ($> 5 \text{ m}^2 \text{ je kW}_{\text{th}}$) Eignung besteht im Quartier Münchner Freiheit für rund 20%, im Quartier Südliches Schlossrondell für rund 16% und im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz für rund 20% der Gebäude.

4.1.2.4 Containerbasierte Luft-WP für größere MFH

Für größere Mehrfamilienhäuser mit ausreichend verfügbaren Außenflächen stellen containerbasierte Luft-Wärmepumpensysteme eine praktikable und vergleichsweise schnell realisierbare Option zur klimaneutralen Wärmeversorgung dar. Die Systeme bündeln Wärmepumpe, Hydraulik und Regelungstechnik in einem industriell vorgefertigten Container und benötigen dadurch keine größeren Innenaufstellflächen. Sie eignen sich insbesondere für Leistungsbereiche von mehreren zehn bis mehreren hundert Kilowatt und können abhängig von der Auslegung sowohl bestehende Heizsysteme mit höheren Vorlauftemperaturen als auch Niedertemperaturnetze versorgen.

Ein wesentlicher Vorteil liegt in der außenliegenden Aufstellung, wodurch Eingriffe in die Gebäudesubstanz minimiert und Umsetzungsrisiken im Bestand reduziert werden. Schallemissionen können durch eine geeignete Positionierung, Einhausung und zusätzliche Schallschutzmaßnahmen gezielt begrenzt werden. Viele Systeme bieten zudem eine optionale Kühlfunktion. In Bestandsgebäuden mit Heizkörpern ist diese jedoch in der Regel auf eine moderate Temperierung beschränkt und ersetzt keine vollwertige Raumkühlung.

Als Beispiel wurde die Einbindung eines Energiemoduls untersucht, das Vorlauftemperaturen von bis zu 70 °C bereitstellt und mit einer Leistung von bis zu $120 \text{ kW}_{\text{th}}$ je Modul mit Abmaßen

⁴ Die Globalstrahlungssumme lag für München im Dezember 2025 bei $25\text{--}30 \text{ kWh/m}^2$ (https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_sum.html). Zur Abschätzung der Größenordnung möglicher Solarbeiträge im Winter wird mit einem thermischen Wirkungsgrad des PVT-Kollektors von 60% gerechnet. Dies ergibt somit einen möglichen solaren Wärmegegewinn von etwa $0.5 \text{ kWh/m}^2/\text{Tag}$. Bei einer tagesdurchschnittlichen Außentemperatur von 4 °C liegt der Leistungsbedarf bei etwa 50% der Heizlast. Somit liegt der Energiebedarf bei etwa $12 \text{ kWh/kW}/\text{Tag}$. Werden 4 m^2 PVT-Kollektorfläche je kW Heizlast installiert, so können $2 \text{ kWh/kW}/\text{Tag}$ durch solare Einstrahlung bereitgestellt werden, die verbleibende Energiemenge muss entweder der Luft entzogen, oder als Strom bereitgestellt werden.

von maximal 13 m x 2,3 m und einem Gewicht von bis zu 12 t ausgeführt werden kann. Durch modulare Kombination lassen sich auch höhere Leistungen realisieren. Laut Herstellerangaben können mit Schallschutzelementen die Schallemissionsgrenzwerte für allgemeine Wohngebiete (nachts maximal 40 dB(A)) in 5 m Abstand zu schützenswerten Räumen eingehalten werden. Durch umliegende Wartungs- und Luftströmungsbereiche beträgt der Platzbedarf eines solchen Moduls in etwa 90 m².

Durch den hohen Grad an Vorfertigung lassen sich Container-Wärmepumpen vergleichsweise kurzfristig installieren und bieten eine hohe Flexibilität bei der Standortwahl. Sie können in bestehenden Hausinstallationen integriert werden und stellen insbesondere für größere Wohnblöcke oder verdichtete Mehrfamilienhausstrukturen eine realistische Alternative dar, wenn konventionelle Außenaufstellungen von Luft-Wärmepumpen aus Platz- oder Schallschutzgründen nicht möglich sind. Voraussetzung ist in der Regel das Vorhandensein zusammenhängender Freiflächen sowie idealerweise ein zentraler Akteur, der mehrere Gebäude verantwortet und die Umsetzung koordiniert. Diese Voraussetzungen werden beispielsweise in einem Wohnblock im Norden des Quartiers Münchner Freiheit erfüllt.

Weitere Liegenschaften, die voraussichtlich gut durch containerbasierte Wärmepumpensysteme versorgt werden könnten, sind Schulen. Diese verfügen häufig über ausreichend große Außenflächen (z. B. Schulhöfe), die als Aufstellflächen genutzt werden können. Gleichzeitig weisen Schulgebäude aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Heizlasten oft Einschränkungen für andere dezentrale klimaneutrale Lösungen auf, sodass Container-Wärmepumpen hier eine Umsetzungsoption darstellen können.

Abbildung 13 zeigt mit der Grundschule an der Haimhauserstraße ein Beispiel. Die aktuell installierte Heizleistung ließe sich mit weiteren Effizienzmaßnahmen bspw. durch drei Module mit jeweils 120 kW_{th} bereitstellen. Die Container könnten sowohl auf dem Schulhofgelände als auch auf dem Flachdach des Neubaus untergebracht werden, wenn eine entsprechende Lastverteilung vorgenommen wird.

Abbildung 13: Synthetisches Luftbild der Grundschule an der Haimhauserstraße (Google Earth) im Quartier Münchner Freiheit mit möglichen Aufstellorten für Container-Wärmepumpen



4.1.2.5 Etagen-WP als Ersatz für bisherige Gasetagenheizungen

Etagen-Wärmepumpen stellen eine dezentrale Einzelraum- bzw. wohnungsweise Versorgungsoption dar, bei der jede Wohneinheit über eine eigene Wärmepumpe verfügt. Sie werden insbesondere als Alternative zu klassischen Etagen-Gasthermen diskutiert, da sie eine schrittweise Dekarbonisierung des Gebäudebestands ermöglichen, ohne dass eine zentrale Heizungsanlage oder umfangreiche Eingriffe in das Gesamtsystem erforderlich sind.

Technisch kommen bei Etagen-Wärmepumpen in der Regel Luft-Luft- oder kompakte Luft-Wasser-Systeme zum Einsatz. Als Wärmequelle dient die Außenluft, die über kleine Außeneinheiten an Fassaden, Balkonen oder in Innenhöfen erschlossen wird. In Einzelfällen sind auch innen aufgestellte Geräte mit Luftführung über Dach oder Fassade möglich. Aufgrund der vergleichsweise geringen Geräteleistungen lassen sich solche Systeme grundsätzlich flexibel in Bestandsgebäude integrieren. Gleichzeitig multiplizieren sich jedoch mit der Anzahl der installierten Einheiten die Anforderungen an Schall-, Brand- und Genehmigungsschutz, was insbesondere in dicht bebauten Quartieren eine wesentliche Einschränkung darstellt.

Außengeräte wie beispielsweise die Systeme des deutschen Startups HeatPump23 GmbH erreichen laut Herstellerangaben Schalldruckpegel von rund 45 dB(A) in 1 m Abstand und liegen damit in einer ähnlichen Größenordnung wie gängige Klimageräte. Ohne zusätzliche schallmindernde Maßnahmen führen diese Pegel jedoch insbesondere in engen, schalltechnisch ungünstigen Innenhofsituationen, wie sie etwa im Quartier Münchner Freiheit vorliegen, voraussichtlich zu einer Überschreitung der zulässigen Immissionsrichtwerte. In solchen Fällen ist der Einsatz von Etagen-Wärmepumpen entweder nur mit dem Zusatzaufwand für eine Schallschutzeinhausung der Außengeräte oder gar nicht realistisch. Die Nutzung von Etagen-WP ist aufgrund der Verbreitung von Gasetagenheizungen vor allem für einzelne Gebäude in den Quartieren Münchner Freiheit und Südliches Schloßbrondell interessant.

Ein wesentlicher Vorteil von Etagen-Wärmepumpen liegt in der geringen Koordinationsanforderung zwischen den Eigentümern. Insbesondere in Gebäuden mit vielen einzelnen Eigentümern oder ohne Einigkeit über eine zentrale Lösung können Etagen-Wärmepumpen eine realistische Übergangslösung darstellen. Der Austausch kann wohnungsweise erfolgen und lässt sich gut mit individuellen Sanierungsschritten kombinieren.

4.1.3 Oberflächennahe Geothermie

Die Prüfung der oberflächennahen Geothermiefpotenziale zeigt, wie die Ergebnisse des Münchner Wärmeplans, dass die Potenziale für eine dezentrale Nutzung in den drei untersuchten Gebieten nur sehr begrenzt sind. Erdwärmesonden können aufgrund der hydrogeologischen Rahmenbedingungen in München in der Regel lediglich bis etwa 15 m Tiefe eingebracht werden. Bei derart geringen Sondenlängen und den typischen Grundstücksgrößen im Bestand ist eine Vollversorgung der Gebäude in allen drei Quartieren nicht erreichbar. Selbst unter günstigen Annahmen lassen sich lediglich im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz aufgrund der möglichen Bohrlängen von bis ca. 30 m auf den größten Parzellen und ohne Berücksichtigung des Baumbestands maximal etwa 50 % der Heizleistung abdecken.

Erdkollektoren, Grabenkollektoren und Energiekörbe scheiden aufgrund der sehr geringen verfügbaren Freiflächen in allen drei Gebieten aus. Auch für Grundwasser-Wärmepumpen ergeben sich keine flächendeckenden Erschließungspotenziale. Die verfügbaren Grundwassermengen reichen nur in Teilen der Gebiete aus, um relevante Deckungsanteile bereitzustellen.

Für die gebäudescharfe Bewertung der Grundwassernutzung wurde der mögliche Deckungsanteil als Quotient aus der im Wärmeplan ausgewiesenen potenziellen Heizleistung einer Grundwasser-Wärmepumpe und der aktualisierten Wärmeerzeugerleistung im unsanierten bzw. sanierten Zustand berechnet. Zwar kann eine Teilversorgung durch Grundwasser-Wärmepumpen aufgrund ihrer deutlich höheren Jahresarbeitszahlen (typischerweise ca. 4 gegenüber ca. 2,6 bei Luftwärmepumpen bei 70/55 °C) energetisch attraktiv sein, jedoch wäre für die Erreichung der Klimaneutralität in den meisten Fällen eine ergänzende klimaneutrale Wärmequelle erforderlich. Insbesondere in den Quartieren Münchner Freiheit und Südliches Schloßbrondell erscheint die Nutzung als Teil einer Hybridlösung für manche Gebäude aufgrund mangelnder Alternativen zur klimaneutralen Vollversorgung als sinnvoll. Ab einem Anteil von etwa 25-30 % der installierten Wärmeleistung ist eine Grundwasser-WP zur Deckung der Grundlast in einem hybriden Heizsystem voraussichtlich energetisch und ökonomisch sinnvoll (siehe Kapitel 4.4).

4.1.3.1 Grundwasser-WP im Quartier Münchner Freiheit

Im Quartier bestehen begrenzte Potenziale für eine Vollversorgung mittels Grundwasser-Wärmepumpen für einzelne Gebäude, insbesondere im nördlichen Bereich, am Ostrand sowie im äußersten Süden des Quartiers in unmittelbarer Nähe zum Englischen Garten.

Zwischen unsaniertem und saniertem Gebäudezustand zeigen sich hinsichtlich der grundsätzlichen Eignung zur monovalenten Versorgung nur geringe Unterschiede. Im sanierten Zustand können jedoch insgesamt fünf zusätzliche Gebäude vollständig durch eine Grundwasser-Wärmepumpe versorgt werden.

Gebäude, bei denen die potenziell installierbare Leistung einer Grundwasser-Wärmepumpe mindestens etwa 50 % der bestehenden Heizleistung abdecken kann, sind für eine hybride Versorgungslösung (vgl. Kapitel 4.1.4) geeignet. Eine energetische Sanierung erhöht den Anteil der Gebäude, für die eine solche Teilversorgung sinnvoll realisierbar ist.

4.1.3.2 Grundwasser-WP im Quartier Südliches Schloßbrondell

Auch in diesem Quartier finden sich nur vereinzelte Gebäude, bei denen das vorhandene Grundwasserpotenzial im unsanierten Zustand für eine vollständige Versorgung durch eine Grundwasser-Wärmepumpe ausreicht.

Durch eine energetische Sanierung erhöht sich die Anzahl der vollständig versorgbaren Gebäude deutlich. Gleichzeitig steigt auch die Zahl der Gebäude, die für eine hybride Versorgung mit Grundwasser-Wärmepumpe geeignet sind. Der Anteil der Gebäude, bei denen ein Deckungsanteil von mehr als 50 % der installierten Heizleistung erreicht werden kann, ist im sanierten Zustand in etwa so hoch wie die Anzahl der vollversorgbaren Gebäude im unsanierten Zustand.

4.1.3.3 Grundwasser-WP im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

Im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz ist aufgrund der hydrologischen Gegebenheiten wenig Potenzial für eine Versorgung mit Grundwasser-WP vorhanden. Die möglichen Entzugsleistungen reichen weder für eine Vollversorgung noch eine sinnvolle Teilversorgung der Gebäude aus.

4.1.3.4 Genehmigungsfähigkeit von Grundwasser-Wärmepumpen

Grundwasserbetriebene Wärmepumpen sind im Stadtgebiet München (mit Ausnahme des Wasserschutzgebiets Waldtrudering) grundsätzlich genehmigungsfähig. Die tatsächliche Umsetzbarkeit ist jedoch stark standortabhängig und wird maßgeblich durch die hydrogeologischen Rahmenbedingungen bestimmt. Die Errichtung von Förder- und Schluckbrunnen muss frühzeitig beim RKU (Wasserrecht) angezeigt werden. Für Bohrungen, die ausschließlich die quartären Kiese erschließen, kann mit den Arbeiten einen Monat nach Eingang der vollständigen Anzeige begonnen werden, sofern die Durchführung innerhalb dieser Frist nicht untersagt wird. Bohrungen, die mehrere Meter in die tiefen liegenden tertiären Schichten (z. B. Ton, Schluff oder Sand) eindringen, unterliegen strengerer Anforderungen. In diesen Fällen ist neben der Bohranzeige zusätzlich eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich.

Für den Betrieb einer Grundwasser-WP ist eine separate wasserrechtliche Erlaubnis durch das RKU notwendig, in der unter anderem Fördermengen, Temperaturänderungen sowie Auflagen zum Betrieb festgelegt werden.

4.1.4 Hybride Systeme mit WP als Grundlast

Hybride Wärmeerzeugungssysteme, bei denen eine Wärmepumpe die Grundlast abdeckt und ein konventioneller Spitzenlastkessel (Gas oder perspektivisch Biomasse) die Lastspitzen bereitstellt, können insbesondere in eng bebauten Quartieren mit denkmalpflegerischen Einschränkungen eine wirtschaftlich realistische Brückentechnologie sein, wenn eine vollständig erneuerbare Wärmeversorgung bspw. über Luft-, PVT- oder Grundwasser-Wärmepumpen nicht oder noch nicht umsetzbar ist.

In solchen Fällen können hybride Systeme einen möglichen Transformationspfad zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung darstellen, deren Eignung muss jedoch jeweils im Einzelfall untersucht werden. Die Wärmepumpe kann abhängig von der möglichen installierten Leistung zwischen 50 % und 90 % des Jahreswärmebedarfs und des Trinkwarmwassers bereitstellen, während das vorhandene fossile Heizsystem als Spitzenlastkessel nur an sehr kalten Tagen zugeschaltet wird. Künftige Sanierungsmaßnahmen können diesen Anteil weiter erhöhen, bis eine vollständige Versorgung durch die Wärmepumpe möglich oder der bestehende Gas-Spitzenlastkessel durch einen Biomassekessel ersetzt wird.

Vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren stark gestiegenen Kosten für energetische Sanierungen zeigt sich in der Praxis zunehmend, dass viele Eigentümer und Wohnungsunternehmen zunächst den Energieträger wechseln, ohne gleichzeitig eine umfassende Gebäudehüllensanierung umzusetzen. Hybride Systeme tragen dieser Realität Rechnung, da sie den Einbau einer Wärmepumpe auch bei weiterhin hohen Vorlauftemperaturen ermöglichen und damit kurzfristig erhebliche CO₂-Einsparungen erzielen, ohne die Wirtschaftlichkeit durch hohe Investitionen in Dämmmaßnahmen zu gefährden.

Der Zusammenhang zwischen installierter Wärmepumpenleistung und erzieltm jährlichen Deckungsanteil im hybriden Heizsystem lässt sich für typische Heizlastprofile näherungsweise analytisch beschreiben. Unter der vereinfachenden Annahme einer linearen Lastdauerlinie lässt sich für den Deckungsanteil der Wärmepumpe am Jahreswärmebedarf für Raumwärme herleiten:

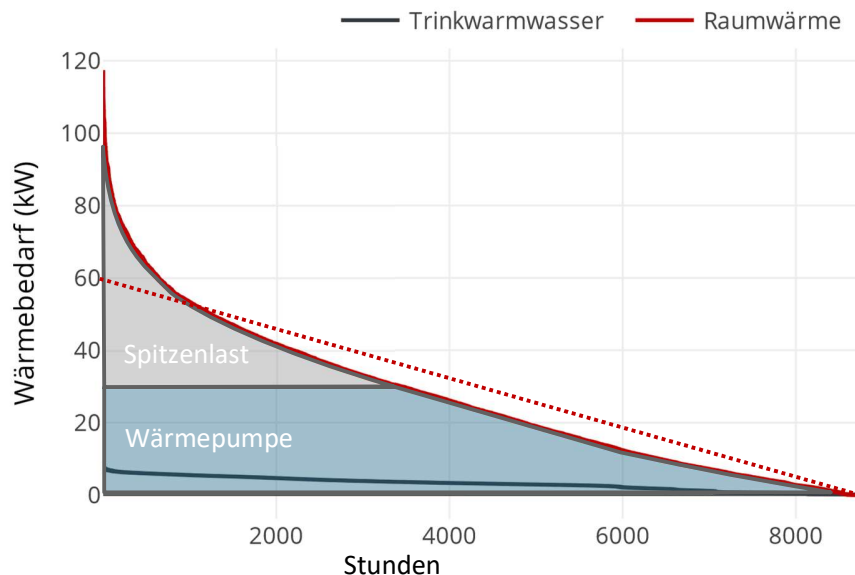
$$s_{WP,Raumwärme} = 1 - (1 - x_{WP})^2$$

wobei $x_{WP} = P_{WP}/P_{max}$ die installierte Wärmepumpenleistung relativ zur Spitzenheizlast darstellt. Unter Einbeziehung eines über das Jahr konstanten, durch die WP gedeckten Trinkwarmwasseranteils am Heizenergiebedarf f_{TWW} ergibt sich der gesamte Wärmepumpenanteil am Jahreswärmebedarf:

$$s_{WP,gesamt} = 1 - \frac{(1 - x_{WP})^2}{1 + f_{TWW}}$$

Damit lässt sich quantifizieren, wie hoch der Deckungsanteil des Gesamtwärmebedarfs durch die Wärmepumpe abhängig vom Anteil der installierten WP-Leistung ist.

Abbildung 14: Jahresdauerlinie eines typischen unsanierten Mehrfamilienhauses im Quartier Münchner Freiheit (Quelle: nPro Software) mit linearer Approximation (gestrichelt)



Beispielsweise können in einem unsanierten fünfgeschossigen Mehrfamilienhaus mit rund 120 kW installierter Heizleistung und einem Warmwasseranteil am Jahreswärmebedarf von etwa 15 % (typisch für größere denkmalgeschützte Mehrfamilienhäuser im Zentrum des Quartier Münchner Freiheit) bei einer installierten WP-Leistung von nur 30 kW über 50 % des jährlichen Wärmebedarfs gedeckt werden. Wird eine reale Jahresdauerlinie, wie in Abbildung 14 exemplarisch zu sehen, durch eine lineare (gestrichelte) Kurve approximiert, liegt die maximale Leistung der Approximationskurve sogar nur bei der Hälfte der installierten Leistung, da das reale Heizsystem meist deutliche Reserven aufweist und nur in wenigen Stunden des Jahres annähernd voll ausgenutzt wird. Damit erhöht sich der Deckungsanteil bei gleicher installierter WP-Leistung von 30 kW auf etwa 80 % des jährlichen Wärmebedarfs.

Hybride Systeme können überschlägig ab einem jährlichen Deckungsanteil von 50 % energetisch und wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden, wenn der bisherige Kessel als Spitzenlastkessel dient. Ab Deckungsanteilen von 70–80 % arbeitet das System weitgehend monovalent, da der Spitzenlastkessel nur noch wenige Stunden im Jahr benötigt wird.

4.1.4.1 Erdgas-Spitzenlastkessel

In hybriden Heizsystemen können bestehende Erdgas-Zentralheizungen als Spitzenlastkessel zur Abdeckung von Lastspitzen eingesetzt werden, während die Grundlast durch eine Wärmepumpe bereitgestellt wird. Das gilt insbesondere so lange, wie die bestehende Gaszentralheizung nicht ersetzt werden muss. Neue Gas-Spitzenlastkessel sind nach dem noch geltenden Gebäudeenergiegesetz (GEG) nur zulässig, wenn das Gesamtsystem mindestens 65 % erneuerbare Wärme bereitstellt. Maßgeblich hierfür ist der Jahresenergieanteil, nicht die installierte Leistung. Voraussichtlich wird diese Regelung jedoch nach den bisher

veröffentlichten Eckpunkten von SPD und CDU/CSU in einer Novelle des Gesetzes als Gebäudemodernisierungsgesetz (GModG) in den nächsten Monaten entfallen.

Aus planerischer Sicht stellen Gas-Spitzenlastkessel eine Übergangslösung dar. Sie ermöglichen eine kurzfristige Reduktion der CO₂-Emissionen durch hohe Wärmepumpenanteile bei gleichzeitig geringer Anfangsinvestition. Langfristig bleibt jedoch ein Restrisiko hinsichtlich regulatorischer Anforderungen, CO₂- und Netzentgelt-Preisentwicklung und Klimazielfunkompatibilität. In vielen Fällen bietet sich daher perspektivisch der Ersatz des Gas-Spitzenlastkessels durch einen Biomassekessel oder eine andere erneuerbare Spitzenlastlösung an.

4.1.4.2 Biomasse-Spitzenlastkessel

Biomasse-Spitzenlastkessel sind in hybriden Heizsystemen eine erneuerbare Option zur Abdeckung von Lastspitzen und gelten im Rahmen des GEG als voll anrechenbarer erneuerbarer Wärmeherzeuger. Sie ermöglichen es, die Wärmepumpe auf die Grundlast auszuliegen und dennoch hohe Spitzenlasten abzudecken.

Planerisch bietet sich bei fehlender Möglichkeit der Vollversorgung durch Wärmepumpen ein Transformationspfad an, bei dem ein zunächst eingesetzter Gas-Spitzenlastkessel perspektivisch durch einen Biomassekessel ersetzt wird. So kann die Wärmeversorgung schrittweise dekarbonisiert werden, ohne grundlegende Änderungen an Systemaufbau und Wärmepumpenauslegung. Genehmigungsrechtlich sind insbesondere die Vorgaben der 1. BImSchV sowie bau- und ggf. denkmalrechtliche Anforderungen zu beachten. Einschränkungen ergeben sich vor allem aus dem Platzbedarf für Brennstofflager und Logistik, diese sind bei einem reinen Spitzenlastbetrieb jedoch begrenzt. Eine erhöhte Taktung der Biomassekessel im Spitzenlastbetrieb kann jedoch zu einem erhöhten Verschleiß und Einbußen in Wirkungsgrad und Emissionswerten führen.

4.1.5 Zusammenfassung der dezentralen Wärmeversorgungsoptionen

Auf Grundlage der beschriebenen Analysen zeigt sich, dass für die meisten Gebäude dezentrale Wärmeversorgungslösungen realisierbar sind. In allen drei Quartieren ist hierfür ein Technologiemark notwendig, der von den lokalen Rahmenbedingungen abhängt.

Luft-Wärmepumpen stellen in vielen Fällen die wirtschaftlichste Option dar. Ihre Umsetzbarkeit ist insbesondere durch verfügbare Aufstellflächen, Schallschutzanforderungen und den energetischen Zustand der Gebäude begrenzt. Im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz sind unter Einbezug von Kaskadenlösungen grundsätzlich alle Gebäude versorgbar, während in dichterem Quartieren wie Münchner Freiheit oder Südliches Schloßbrunn nur ein Teil des Gebäudebestands geeignet ist. In Mehrfamilienhäusern liegen die Jahresarbeitszahlen von Luft-Wärmepumpen dabei aufgrund der höheren Vorlauftemperaturen und Trinkwasseranforderungen mit etwa 2,7 etwas unter denen von Einfamilienhäusern (ca. 3,0) (Kjell Bettgenhäuser et al., 2024).

Grundwasser-Wärmepumpen sind aufgrund begrenzter Potenziale nur punktuell einsetzbar und reichen meist nicht für eine Vollversorgung aus. Ab einem Leistungsanteil von etwa 50 % können sie jedoch sinnvoll zur Grundlastdeckung in hybriden Systemen beitragen.

Wo keine Vollversorgung durch Wärmepumpensysteme realisierbar ist, können Pelletkessel eine ergänzende Alternative zur klimafreundlichen Wärmeversorgung darstellen, sofern geeignete Lagerräume vorhanden sind. Besonders im innerstädtischen Kontext sind biomassebasierte Verbrennungssysteme aber aufgrund der emittierten Feinstaub- und Stickoxydemissionen nur sparsam einzusetzen. Daher bieten sich für Gebäude, bei denen keine eindeutige Lösung zur vollständigen Versorgung mit erneuerbaren Energien möglich ist, zunächst hybride Systeme aus kleineren Wärmepumpen und konventionellem oder Pelletkessel als Spitzenlastkessel an. Während Hybrid-Systeme im Einfamilienhausbereich meist keinen ökologischen oder ökonomischen Vorteil bieten, können sie im Mehrfamilienhausbereich eine Lösung für hohe Vorlauftemperaturen darstellen, gehen jedoch mit höheren Servicekosten einher. Nur dort, wo auch Hybridlösungen nicht infrage kommen, also keine Teilversorgung von etwa 50 % der Heizleistung durch Wärmepumpen gedeckt werden kann, sollten Pelletkessel zur alleinigen Wärmeversorgung eingesetzt werden

Hybride Systeme auf Basis von Grundwasser-Wärmepumpen wurden analysiert, eine Teilversorgung durch Luft- oder PVT-Wärmepumpen lässt sich jedoch aufgrund der Variantenvielfalt solcher Systeme systematisch nur schwer erfassen und müssen daher im Einzelfall bewertet werden. Sie können jedoch insbesondere in dichten Quartieren wie der Münchner Freiheit als Transformationslösung für Gebäude dienen, die nicht vollständig dezentral versorgt werden können. Das GEG sieht zudem Härtefallregelungen vor, wenn 65 % erneuerbare Energien technisch oder wirtschaftlich nicht umsetzbar sind; der Einsatz konventioneller Gasheizungen bleibt dann zulässig, ist jedoch insbesondere durch absehbar steigende CO₂-Preise und Netzentgelte mit langfristigen Kostenrisiken verbunden.

4.2 Zentrale und Quartierslösungen

Im Fokus dieses Kapitels stehen zentrale Wärmepumpenlösungen auf Basis unterschiedlicher Wärmequellen, insbesondere zum Aufbau von Wärmenetzen. Dazu zählen die Nutzung von Fließgewässern, die Erschließung größerer Abwasserwärmepotenziale sowie quartiersbezogene Luft-Wärmepumpenlösungen. Ergänzend werden mögliche Betreibermodelle betrachtet, da deren Ausgestaltung maßgeblich für die wirtschaftliche und organisatorische Umsetzbarkeit solcher Systeme ist.

Nicht weiter vertieft werden biomethanbasierte Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (BHKW). Zwar können diese bilanziell zur Emissionsminderung beitragen, jedoch sind sie aufgrund begrenzter Biomethanverfügbarkeit, unsicherer langfristiger Kostenentwicklung sowie konkurrierender Nutzungspfade nicht als skalierbare und langfristig tragfähige Hauptlösung einzuordnen. Zudem verbleibt bei ihrem Einsatz eine Abhängigkeit von gasförmigen Energieträgern und entsprechender Infrastruktur. Vor diesem Hintergrund liegt der Schwerpunkt der folgenden Analysen auf effizienten elektrifizierten und auf Umweltwärme basierenden Versorgungslösungen, die eine langfristig robuste und weitgehend klimaneutrale Wärmeversorgung ermöglichen.

4.2.1 Nutzung von Fließgewässern

Mit dem Schwabinger Bach und dem Auer Mühlbach wurden in zwei Untersuchungsgebieten nennenswerte Flusswasser-Wärmepotenziale in direkter Nähe zum Quartier identifiziert. Im Folgenden werden die Erschließung und Nutzung der Potenziale mittels Nahwärmenetzen technisch und ökonomisch analysiert.

4.2.1.1 Schwabinger Bach

Für den Schwabinger Bach wurde in Kapitel 3.3.1 ein nutzbares Wärmequellenpotenzial von rund 7 bis 15 MW_{th} identifiziert, das im Rahmen einer zentralen Lösung über ein quartiersbezogenes Nahwärmenetz erschlossen werden kann. Auf dieser Grundlage wurde ein exemplarischer Verlauf des Wärmenetzes entwickelt, der sowohl technische als auch strukturelle Randbedingungen des Quartiers berücksichtigt. Das dargestellte Konzept ist als Vorplanung auf Grobkonzeptebene zu verstehen und kann eine vertiefende technische und wirtschaftliche Detailplanung nicht ersetzen.

4.2.1.1.1 Verlauf des Nahwärmenetzes

Dem gewählten Netzverlauf liegen mehrere zentrale Annahmen zugrunde. Vorrangig sollen Gebäude angebunden werden, für die keine realistische dezentrale Wärmeversorgungsoption zur klimaneutralen Vollversorgung besteht. Gleichzeitig wurden die angeschlossenen Gebäude in räumlicher Nähe zu einer potenziellen Heizzentrale gewählt, in welcher eine Großwärmepumpe sowie der Fluss-Wärmeübertrager integriert sind. Darüber hinaus wurden insbesondere große Wärmeabnehmer gezielt in das Netzkonzept einbezogen, um eine hohe Wärmelinienichte und damit günstige wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu erreichen. Innerhalb des definierten Netzgebiets wird grundsätzlich von einem Vollanschluss aller Gebäude ausgegangen, unabhängig davon, ob für einzelne Gebäude theoretisch auch dezentrale Versorgungslösungen möglich wären. Als Entscheidungsgrundlage diene die aktuelle Wärmeenergieerzeugungsleistung der Gebäude sowie die möglichen Alternativen für eine dezentrale Versorgung gemäß Kapitel 4.1.

Die Nutzung des Schwabinger Bachs als Wärmequelle erfolgt über indirekte Fluss-Wärmeübertrager, die die Umweltwärme des Gewässers an einen geschlossenen Sekundärkreislauf übertragen und an eine zentrale Großwärmepumpe weiterleiten. Das Flusswasser wird dabei nicht direkt in den Wärmepumpenkreislauf eingebunden, wodurch betriebliche Risiken minimiert und genehmigungsrechtliche Anforderungen leichter erfüllt werden können. Die Erschließung erfolgt über nahe beieinander liegende Entnahme- und Rückgabekanäle oder Uferfiltratbohrungen, die das gewässernahe Grundwasser nutzen.

Der zugrundegelegte Verlauf des Nahwärmenetzes (siehe Abbildung 15) entspricht nach seiner Topologie einem sternförmigen oder Strahlennetz und orientiert sich an dem Ziel, eine möglichst hohe Wärmelinienichte bei gleichzeitig kurzen Leitungslängen zu erreichen. Der Standort der Heizzentrale wurde am Bach direkt nördlich der Gunezrainer Brücke angenommen. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die angeschlossenen Gebäude und voraussichtlich abgenommenen Wärmemengen im geplanten Netzgebiet. Die

Gesamtwärmeleistung liegt derzeit bei rund 6,8 MW_{th}, das Netzgebiet wäre aber noch bis zur Ausschöpfung des abgeschätzten Wärmequellenpotenzials von rund 15 MW_{th} auch über das untersuchte Quartier hinaus erweiterbar, was durch die Struktur des sternförmigen Netzes gewährleistet wäre. Die vorgeschlagene Netzauslegung bleibt an dieser Stelle jedoch auf die Straßenzüge mit hoher Wärmeliniedichte und geringen Anteilen dezentraler Versorgungsmöglichkeiten beschränkt.

Tabelle 5: Schnelle Fakten zum entworfenen Flusswasser-WP-gespeisten Wärmenetz im Quartier Münchner Freiheit

Anzahl versorgte Gebäude	Stk.	131
Anzahl Wohngebäude	Stk.	108
Anzahl Wohneinheiten	Stk.	1068
Beheizte Fläche	m ²	91 896
Wärmeleistung Status Quo	MW _{th}	6,8
Wärmeleistung Status Quo	MW _{th}	5,6
Jahreswärmebedarf Status Quo	MWh _{th} /a	9 696
Jahreswärmebedarf saniert	MWh _{th} /a	7 898

4.2.1.1.2 Dimensionierung des Nahwärmenetzes

Das Netz wurde mithilfe der etablierten Netzberechnungssoftware nPro auf Grundlage der angepassten Wärmebedarfe im unsanierten Zustand der Gebäude für eine Gesamtleistung von 6,8 MW_{th} dimensioniert. Die dafür notwendigen Rohrdimensionen sind in Abbildung 15 dargestellt und reichen von 20 cm Durchmesser für die Transportleitung direkt an der Heizzentrale bis 2,5 cm bei den Hausanschlussleitungen. Die gesamte Trassenlänge beläuft sich auf 2,9 km, wovon 1,3 km auf Verteilleitungen und 1,6 km auf Hausanschlussleitungen entfallen. Die mittlere Wärmeliniedichte des Netzes ist mit 6,6 MWh_{th}/m deutlich im Bereich ökonomisch tragfähiger Netze, welche laut Literatur oberhalb von 1,5 MWh_{th}/m liegen sollte (C.A.R.M.E.N. e.V., o.J.). Aufgrund des Druckverlustes im Netz ergibt sich eine notwendige maximale Pumpenleistung von 12 kW_{el}.

Zur Abschätzung der Verlegekosten für Netztrassen und Hausanschlüsse wurde der Technikkatalog Wärmeplanung des Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende (KWW) in der aktuellen Version von 2025 genutzt (Prewitz, 2025). Die dort angegebenen minimalen und maximalen Kosten nach Rohrdurchmesser für befestigtes Terrain wurden in Tabelle 6 für die geplanten Rohrlängen aufsummiert und ein Mittelwert gebildet, welcher für die weitere Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendet wurde. Die Netzbaukosten belaufen sich demnach auf etwa 3,7 Mio. €.

Abbildung 15: Rohrdurchmesser nach Grobauslegung des Nahwärmenetzes mit Flusswasser-WP im Quartier Münchner Freiheit

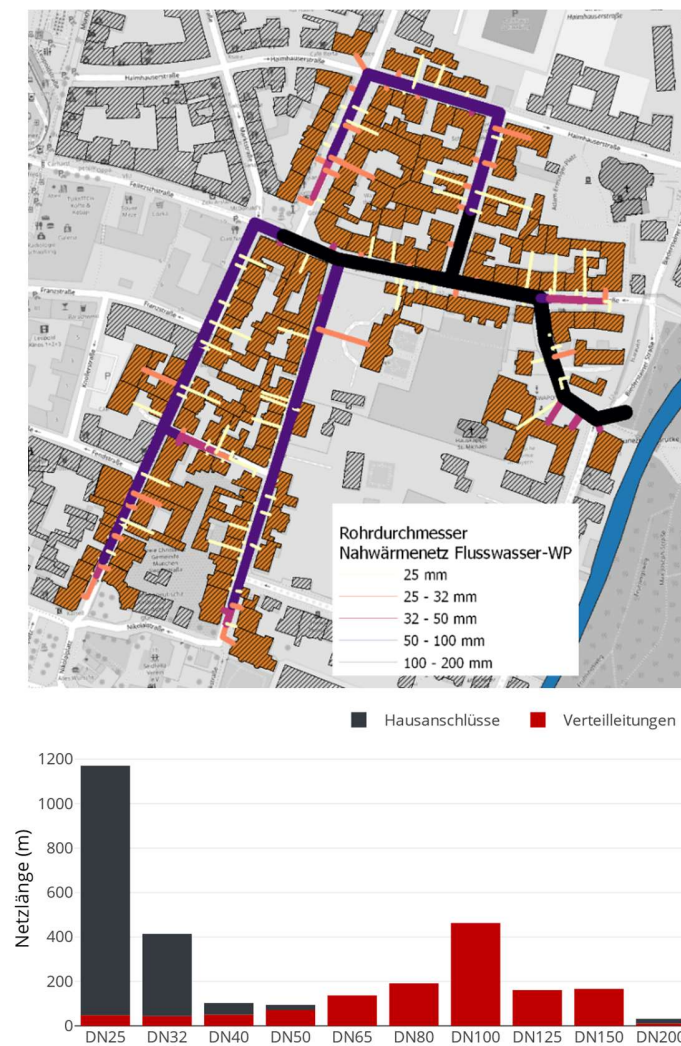


Tabelle 6: Tiefbau- und Materialkosten für Wärmenetzkomponenten im Quartier Münchner Freiheit nach KWW-Technikkatalog 2025 (befestigtes Terrain)

Netzkomponenten				Netzverlegekosten		
Rohrdurchmesser	Rohrlänge in m	Hausanschlüsse		min	max	mittel
DN25	48	90		767,664 €	821,520 €	794,592 €
DN32	44	32		294,320 €	339,200 €	316,760 €
DN40	51			32,640 €	83,640 €	58,140 €
DN50	71	9		157,700 €	228,700 €	193,200 €
DN65	137			118,231 €	306,880 €	212,556 €
DN80	191			172,473 €	435,480 €	303,977 €
DN100	463			581,991 €	1,338,070 €	960,031 €
DN125	161			229,747 €	492,660 €	361,204 €
DN150	166			309,922 €	581,000 €	445,461 €

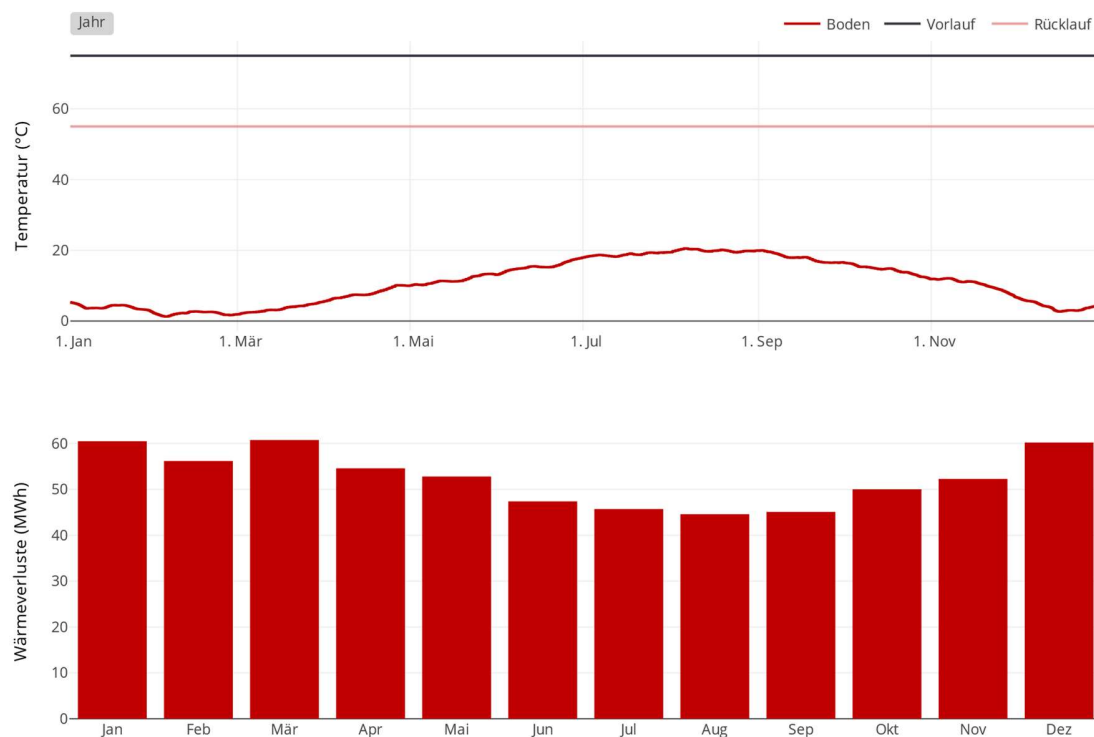
DN200	11		27,247 €	45,210 €	36,229 €
Summe	1343	131	2,664,688 €	4,627,150 €	3,645,919 €

4.2.1.1.3 Netzverluste

Das geplante Nahwärmenetz ist als Netz der 4. Generation mit einer Vorlauftemperatur von 75 °C und einer Rücklauftemperatur von 55 °C konzipiert. Dieses Temperaturniveau stellt einen Kompromiss zwischen einer guten Integrierbarkeit in den bestehenden Gebäudebestand mit unsanierten und teilmodernisierten Gebäuden und der Begrenzung der Netzverluste dar.

Die Höhe der Netzverluste wird maßgeblich durch die Leitungslängen, den Dämmstandard der Rohrleitungen sowie die Wärmeliniendichte im Netzgebiet bestimmt. Die Netz- und Erdbodentemperaturen sowie die daraus resultierenden monatlichen Wärmeverluste bei typischen Rohrdämmungen sind in Abbildung 16 dargestellt. Aufgrund der dichten innerstädtischen Struktur im Quartier und der gezielten Anbindung größerer Wärmeabnehmer liegen die Netzverluste mit 630 MWh_{th}/a im moderaten Bereich von 6 % der jährlich verbrauchten Wärmemenge.

Abbildung 16: Temperaturen und monatliche Wärmeverluste des Flusswasser-WP-versorgten Nahwärmenetzes im Quartier Münchner Freiheit



4.2.1.1.4 Wirtschaftlichkeit

Die wirtschaftliche Bewertung des geplanten Nahwärmenetzes erfolgt auf Basis einer vollständigen Systembetrachtung der zentralen Wärmeversorgung. Berücksichtigt werden

dabei sämtliche relevanten Komponenten der Erzeugungs-, Verteil- und Übergabestruktur. Dazu zählen die Großwärmepumpe, die Erschließung der Wärmequelle einschließlich der Wärmeübertrager, die Pumpen- und Regelstation, die Hausübergabestationen sowie das Nahwärmenetz mit den zugehörigen Hausanschlussleitungen. Hier ist jedoch anzumerken, dass die Kosten der Erschließung des Flusswärmepotenzials mit Ein- und Auslassbauwerken sowie großen Wärmetauschern nicht pauschal quantifizierbar sind und stark von der konkreten Planung und den lokalen Gegebenheiten abhängen. Im Rahmen dieses Projekts konnten die Kosten nur grob geschätzt werden und unterliegen einer gewissen Unsicherheit.

Die Investitionskosten der einzelnen Komponenten werden komponentenspezifisch annualisiert und jeweils auf die typischen technischen Lebensdauern der einzelnen Anlagenteile nach Technikkatalog Wärmeplanung des KWW bezogen. Ergänzend fließen die laufenden Betriebs- und Wartungskosten (O&M) in die Betrachtung ein. Die sich daraus ergebenden jährlichen Fixkosten sind in Tabelle 7 aufgeführt. Dort, wo der Technikkatalog eine Bandbreite der Kosten angibt oder die Kosten sich im unsanierten oder sanierten Zustand der Gebäude unterscheiden, wurden Minimal- und Maximalwerte angegeben.

Tabelle 7: Jährliche Fixkosten für ein Nahwärmenetz zur Flusswassernutzung im Quartier Münchner Freiheit nach KWW-Technikkatalog 2025

Großwärmepumpe + Erschließung	MW_{th}	6,8
Investitionskosten	€	10 886 640 €
Annualisierte Investitionskosten	€/a	772 434 €
O&M	€/a	248 760 €
Pumpenstation	MW_{th}	6,8
Investitionskosten min.	€	467 401 €
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	27 239 €
Investitionskosten max.	€	704 488 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	41 056 €
Hausübergabestationen	Stk.	131
Annualisierte Investitionskosten Status Quo	€/a	116 111 €
O&M Status Quo	€/a	10 814 €
Annualisierte Investitionskosten saniert	€/a	104 361 €
O&M saniert	€/a	9 566 €
Wärmenetz + Hausanschlussleitungen	m	1474
Investitionskosten min.	€	2 664 688 €
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	155 293 €
Investitionskosten max.	€	4 627 150 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	269 662 €
Summen mit BEW-Investitionsförderung		40 %
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	635 596 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	719 558 €
O&M min.	€/a	258 326 €
O&M max.	€/a	259 574 €
Overhead für Energiegenossenschaft pro Jahr		30 %

(Anteilig der annualisierten Investitionskosten)		
Fixkosten Energiegenossenschaft	€/a	190 679 €
Leistungspreis Mittelspannungsnetz SWM	€/a	298 346 €
Gesamtfixkosten min.	€/a	1 382 947 €
Gesamtfixkosten max.	€/a	1 493 345 €

Die Wärmegegostehungskosten werden auf Grundlage der annualisierten Investitionen, der O&M-Kosten sowie der stromseitigen Betriebskosten der Wärmepumpe berechnet. Für den Betrieb der Großwärmepumpe wird eine typische Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3 angesetzt. Dieser Wert ergibt sich aus dem gewählten Netztemperaturniveau von 75/55 °C sowie der im Jahresmittel verfügbaren Temperatur der genutzten Wärmequelle bei einer angenommenen Auskühlung von 4 K. Die zugrunde gelegten Stromkosten für Großwärmepumpen basieren auf den Annahmen des Projektionsberichts 2023 für den Strom-Großhandelspreis für Großwärmepumpen, ergänzt um die aktuellen bundesweiten Netzentgelte der Übertragungsnetzbetreiber („Aufschlag für besondere Netznutzung“ nach Strom-NEV §19), aktuelle Netznutzungsentgelte nach Arbeits- und Leistungspreis für das Mittelspannungsnetz der Stadtwerke München sowie Stromsteuer. Tabelle 8 gibt eine vollständige Übersicht über die jährlichen Stromkosten aufgrund von Wärmebedarf, JAZ und Netzverlusten sowie den sich ergebenden Wärmegegostehungskosten unter Einbeziehung der jährlichen Fixkosten. Die dargestellten Energiemengen und Kosten werden dabei sowohl für das gesamte Quartier einschließlich der Nichtwohngebäude als auch je Wohneinheit (WE) ausgewiesen, wobei Letzteres ausschließlich für Gebäude erfolgt, für die Angaben zur Anzahl der Wohneinheiten vorliegen.

Tabelle 8: Jährliche Betriebskosten und Wärmegegostehungskosten einer Nahwärmenetz-Lösung mit Flusswasser-WP im Quartier Münchner Freiheit nach KWW-Technikkatalog 2025

Anzahl Wohneinheiten	Stk.	1068
Jahreswärmebedarf Status Quo	MWh _{th} /a	9 640
Jahreswärmebedarf saniert	MWh _{th} /a	7 843
Strompreis (inkl. Stromsteuer & NNE)	€/MWh _{el}	137,18 €
Jahresarbeitszahl	-	3,0
spez. Arbeitspreis Wärme	€/MWh _{th}	45,73 €
Stromkosten Status Quo	€/a	440 803 €
Stromkosten saniert	€/a	358 617 €
Stromkosten Status Quo je WE	€/WE/a	376 €
Stromkosten saniert je WE	€/WE/a	308 €
Netzverluste	MWh _{th} /a	630
Kosten Netzverluste	€/a	28 813 €
Summe Betriebskosten Status Quo	€/a	469 616 €
Summe Betriebskosten saniert	€/a	387 430 €
Summe Betriebskosten Status Quo je WE	€/WE/a	403 €
Summe Betriebskosten saniert je WE	€/WE/a	335 €
Wärmegegostehungskosten Status Quo min.	€/MWh_{th}	192 €
Wärmegegostehungskosten Status Quo max.	€/MWh_{th}	250 €

Wärmegestehungskosten Status Quo nur WG min.	€/MWh_{th}	207 €
Wärmegestehungskosten Status Quo nur WG max.	€/MWh_{th}	219 €

Die jährlichen Fixkosten der Nahwärmenetzlösung mit Flusswasser-Wärmepumpe im Quartier Münchner Freiheit liegen bei ca. 1,4-1,5 Mio. €/a. Den größten Kostenanteil stellt die zentrale Wärmeerzeugung dar: Auf die Großwärmepumpe inklusive Flusswassererschließung entfallen rund 50 % der Fixkosten. Weitere wesentliche Kostenblöcke sind die Netzinfrastruktur sowie betriebliche Overheadkosten, wobei insbesondere der angesetzte Overhead von 30 % der jährlichen Investitionskosten bspw. für Personal, Abrechnung, Rücklagenbildung und betriebliche Risiken einen relevanten Einfluss auf die Gesamtkosten hat. Ebenso sind die Stromnetzentgelte (Leistungspreis) des Mittelspannungsnetzbetreibers ein nennenswerter Kostenpunkt.

Die jährlichen Betriebskosten betragen ca. 470 T€/a im Status quo bzw. 387 T€/a im sanierten Zustand und werden überwiegend durch die Stromkosten der Wärmepumpe bestimmt. Daraus ergeben sich Wärmegestehungskosten von etwa 19-25 ct/kWh_{th} im Status quo unter Berücksichtigung einer BEW-Förderung von 40 %. Diese vergleichsweise hohen spezifischen Kosten sind primär auf die hohe Kapitalintensität der Infrastruktur zurückzuführen und sind eher typisch für erneuerbare Nahwärmenetze im innerstädtischen Bestand. Im Vergleich hierzu kostet die gasbasierte Wärmeversorgung im Quartier aktuell im Schnitt etwa 11 ct/kWh_{th}, für eine neue Gasheizung inklusive Betriebskosten ergeben sich Wärmegestehungskosten von 15-16 ct/kWh_{th}. Ein vollständiger wirtschaftlicher Vergleich der dezentralen und zentralen Versorgungsoptionen wird in Kapitel 5.2.1 vorgenommen. Die Wirtschaftlichkeit des Wärmenetzes hängt maßgeblich von Anschlussquote, zusätzlicher Wärmelast, Fördermitteln sowie dem gewählten Betreibermodell ab.

Die vorliegende Betrachtung stellt eine konzeptionelle Abschätzung dar. In einer weiterführenden Planungsphase ist eine detaillierte Investitions- und Betriebskostenrechnung erforderlich, in der unterschiedliche Ausbauphasen, Förderkulissen, Strompreisszenarien sowie potenzielle Erlöse aus Flexibilitätsoptionen vertieft analysiert werden. Für Projekte dieser Art bestehen grundsätzlich Fördermöglichkeiten im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW). Über Modul 1 (Planung) können bis zu 50 % der Kosten für Machbarkeitsstudien bezuschusst werden. Modul 2 (Bau) ermöglicht einen Investitionszuschuss von bis zu 40 % für den Bau des Wärmenetzes sowie der zugehörigen Erzeugungsanlagen. Darüber hinaus kann über Modul 4 (Betrieb) eine Förderung der Betriebskosten abhängig von der Wirtschaftlichkeitslücke über einen Zeitraum von bis zu zehn Jahren erfolgen. Voraussetzung für die Förderfähigkeit ist, dass das Wärmenetz zu mindestens 75 % aus erneuerbaren Energien gespeist wird. Unter Berücksichtigung dieser Fördermöglichkeiten kann die Wirtschaftlichkeit der zentralen Nutzung des Umweltwärmepotenzials deutlich verbessert werden. Eine belastbare Quantifizierung der Fördereffekte ist jedoch erst im Rahmen einer vertieften Planung und Förderprüfung möglich.

4.2.1.1.5 Treibhausgasemissionen

Die Stadt München hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2035 Klimaneutralität zu erreichen. Da für dieses Zieljahr in den meisten Energiesystemstudien keine verlässlichen Daten zur Berechnung der entsprechenden Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger vorliegen, wurden die Treibhausgasemissionen der Wärmenetzlösung für die Jahre 2025 und 2040 ermittelt und in Tabelle 9 sowohl für den Status quo als auch für einen sanierten Gebäudebestand ausgewiesen. Dabei wurde für 2025 mit 0,4447 kg CO_{2äq}/kWh_{el} der Emissionsfaktor von Netzstrom mit dem deutschen Strommix nach (Lauf et al., 2025) angenommen. Für das Jahr 2040 wurde in Anlehnung an die Methodik nach (Majer et al., 2024) ein Emissionsfaktor des Strommixes von 0,03 kg CO_{2äq}/kWh_{el} angenommen. Die Treibhausgasemissionen werden analog zur Kostendarstellung sowohl für das gesamte Quartier einschließlich der Nichtwohngebäude als auch wohneinheitsspezifisch (WE) für Wohngebäude ausgewiesen.

Für das Jahr 2025 zeigt sich, dass durch den Umstieg von einem gasbasierten Heizsystem auf die konzipierte Nahwärmelösung die Emissionen je Wohneinheit um 36 % reduziert werden können. Energetische Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand können die spezifischen Emissionen um weitere 12 Prozentpunkte reduzieren. Die Emissionen bleiben jedoch aufgrund des aktuell noch hohen Anteils an Kohlestrom am Strommix auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Bis zum Jahr 2040 reduziert sich das Emissionsniveau in beiden Sanierungs-Szenarien deutlich auf rund 4 % der Emissionen aktueller Heizsysteme. Der Unterschied zwischen saniertem und unsaniertem Zustand fällt in diesem Zeitraum deutlich geringer aus als im Jahr 2025.

Tabelle 9: Jährliche Treibhausgasemissionen einer Nahwärmenetz-Lösung mit Flusswasser-WP im Quartier Münchner Freiheit, berechnet nach (Lauf et al., 2025) und (Majer et al., 2024)

Treibhausgasemissionen		2025	2040
Emissionen gesamt gasversorgt Status Quo	t CO _{2äq} /a	2240	2240
Emissionen je WE gasversorgt Status Quo	t CO _{2äq} /WE/a	2,10	2,10
Emissionen gesamt Wärmenetz Status Quo	t CO _{2äq} /a	1430	96
Emissionen gesamt Wärmenetz saniert	t CO _{2äq} /a	1163	78
Emissionen je WE Wärmenetz Status Quo	t CO _{2äq} /WE/a	1,22	0,08
Emissionen je WE Wärmenetz saniert	t CO _{2äq} /WE/a	1,00	0,07

4.2.1.1.6 Genehmigungsfähigkeit und Umsetzungshemmnisse

Die Realisierung des geplanten Nahwärmenetzes erfordert die Einhaltung verschiedener genehmigungsrechtlicher Vorgaben und geht mit praktischen Umsetzungshemmnissen einher. Für die Leitungsführung im öffentlichen Raum sind straßenrechtliche Sondernutzungserlaubnisse erforderlich, insbesondere für Aufgrabungen von Fahrbahnen, Gehwegen und öffentlichen Flächen. Diese Genehmigungen sind mit den zuständigen Straßenbaulastträgern abzustimmen und können aufgrund begrenzter Bauzeitfenster sowie der Koordination mit bestehenden Leitungsinfrastrukturen zu zeitlichen Verzögerungen führen.

Für die Nutzung des Schwabinger Bachs als Wärmequelle sind die Anforderungen des Wasserwirtschaftsamts und der unteren Naturschutzbehörde maßgeblich. Dabei sind vor allem

Vorgaben zum Mindestabfluss, zur zulässigen Temperaturänderung des Gewässers sowie zum Schutz ökologisch sensibler Bereiche einzuhalten. Diese Anforderungen begrenzen die maximal entziehbare Wärmeleistung, insbesondere in Niedrigwasserphasen, und machen in der Regel ein Betriebs- und Monitoringkonzept erforderlich. Zusätzlich unterliegt der Schwabinger Bach in den betrachteten Abschnitten entlang des Quartiers dem Schutzstatus als Baudenkmal gemäß Bayerischer Denkmalliste. Bauliche Eingriffe in das Gewässerprofil sowie sichtbare technische Anlagen sind daher nur eingeschränkt zulässig und müssen denkmalverträglich ausgeführt werden. Technische Lösungen sind so zu gestalten, dass das Erscheinungsbild des Gewässers nicht beeinträchtigt wird; die Genehmigung erfolgt im Einzelfall in enger Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde. Die angrenzenden Flächen, einschließlich potenzieller Standorte für eine Heizzentrale im Bereich der Gunezrainer Brücke, liegen zudem innerhalb eines Landschaftsschutzgebiets. Dies schränkt die Errichtung oberirdischer baulicher Anlagen weiter ein und erfordert gegebenenfalls eine naturschutzrechtliche Befreiung. Insbesondere Volumen, Sichtbarkeit und Flächenversiegelung sind zu minimieren, was die Standortwahl und Bauform der Heizzentrale neben technischen Aspekten ebenfalls beeinflusst.

Neben den formalen Genehmigungen bestehen praktische Umsetzungshemmnisse, insbesondere dadurch, dass zunächst Initiatoren, Investoren und Betreiber gefunden werden müssen, sowie durch lange Planungs- und Genehmigungszeiträume, eingeschränkte Bauzeitfenster im innerstädtischen Raum und den hohen Koordinationsaufwand zwischen beteiligten Akteuren. Die Wirtschaftlichkeit des Betriebs hängt zudem sehr stark von der Anschlussquote im vorgesehenen Netzgebiet ab. Die dargestellten Netz- und Erzeugerkonzepte sind daher als konzeptionelle Lösungen zu verstehen, deren konkrete Umsetzbarkeit im Rahmen weiterführender Planungs- und Abstimmungsschritte zu prüfen ist.

4.2.1.2 Auer Mühlbach

In direkter Nähe zum Quartier Hochleite/Theodolindenplatz bietet der Auer Mühlbach ein grundsätzlich nutzbares Wärmequellenpotenzial von 12 bis 24 MW_{th}, wie in Kapitel 3.3.1 festgestellt wurde. Das Potenzial könnte durch eine Großwärmepumpe und eine Entnahmestelle mit Wärmeübertrager nahe des Einlaufbauwerks neben der Isar erschlossen werden. Auf Basis des identifizierten Wärmequellenpotenzials wurde ein konzeptionelles Nahwärmenetz entworfen, das die Nutzung des Potenzials im Rahmen einer zentralen Lösung für das gesamte Quartier ermöglichen könnte. Die Überwindung des Steilufers bis zum Quartier birgt jedoch sowohl technische als auch erhebliche naturschutzrechtliche Herausforderungen. Das dargestellte Konzept ist als Vorplanung auf Grobkonzeptebene zu verstehen und kann eine vertiefende technische und wirtschaftliche Detailplanung nicht ersetzen.

4.2.1.2.1 Verlauf des Nahwärmenetzes

Das Nahwärmenetz wurde konzeptionell so ausgelegt, dass alle Gebäude im Quartier angebunden werden und eine Gesamtwärmeerzeugerleistung von rund 2,5 MW_{th} bereitgestellt werden kann. Die Nutzung des Flusswassers erfolgt, analog zum Konzept am Schwabinger Bach, über indirekte Fluss-Wärmeübertrager. Die Erschließung der Wärmequelle kann über räumlich

nahe beieinander liegende Entnahme- und Rückgabekanäle im Einlaufbecken des Auer Mühlbachs realisiert werden.

Für den Standort der Heizzentrale wurden zwei grundsätzliche Varianten betrachtet. Eine Möglichkeit ist die Anordnung direkt am Einlaufbauwerk des Auer Mühlbachs in Isarnähe, wo ausreichend freie Flächen zur Verfügung stehen. In diesem Fall müsste das Nahwärmenetz den Höhenunterschied des Steilufers von etwa 22 m überwinden, was mit einem entsprechenden zusätzlichen Pumpenaufwand und Wärmeverlusten entlang dieser Transportleitung verbunden wäre. Alternativ könnte die Heizzentrale zusammen mit dem Flusswasser-Wärmeübertrager auf Höhe der Hochleite oberhalb der Marienklausen angeordnet werden. In dieser Variante wäre das Flusswasser gegen den Höhenunterschied bis zum Wärmeübertrager zu fördern und anschließend wieder in das Gewässer zurückzuführen, was aufgrund der größeren Volumenströme einen noch höheren Pumpenaufwand bedeuten würde. Zudem sind für diesen Standort voraussichtlich naturschutzrechtliche Restriktionen zu berücksichtigen.

Unabhängig von der gewählten Variante ist das Nahwärmenetz als nicht vermaschtes, sternförmiges Netz konzipiert, das von der Hochleite ausgehend alle Gebäude im Quartier erschließt. Die dargestellte Trassenführung stellt eine konzeptionelle Lösung dar und dient der Abschätzung von Leitungslängen, Pumpaufwand und grundsätzlicher Umsetzbarkeit. Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die angeschlossenen Gebäude und voraussichtlich abgenommenen Wärmemengen im Quartier.

Tabelle 10: Schnelle Fakten zum entworfenen Flusswasser-WP-gespeisten Wärmenetz im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

Anzahl versorgte Gebäude	Stk.	75
Anzahl Wohngebäude	Stk.	68
Anzahl Wohneinheiten	Stk.	231
Beheizte Fläche	m ²	31 602
Wärmeleistung Status Quo	MW _{th}	2,5
Wärmeleistung Status Quo	MW _{th}	1,9
Jahreswärmebedarf Status Quo	MWh _{th} /a	3 876
Jahreswärmebedarf saniert	MWh _{th} /a	2 762

4.2.1.2.2 Dimensionierung des Nahwärmenetzes

Das Netz wurde ebenfalls mithilfe des Netzberechnungstools nPro zur Versorgung der angepassten Wärmebedarfe im unsanierten Zustand der Gebäude für eine Gesamtleistung von 2,5 MW_{th} dimensioniert. Der Netzverlauf mit den entsprechenden Rohrdimensionen und dem möglichen Standort der Entnahmestelle sind in Abbildung 17 dargestellt. Die Rohrdurchmesser liegen zwischen 12,5 cm direkt an der Heizzentrale und 3,2 bzw. 2,5 cm bei den Hausanschlussleitungen. Das gesamte Netz umfasst eine Trassenlänge von 2,5 km, wovon 1,6 km Verteilleitungen und 0,9 km auf Hausanschlussleitungen sind. Aus der Dimensionierung ergibt sich eine mittlere Wärmelinien-dichte von etwa 2,0 MWh_{th}/m, die damit leicht oberhalb des häufig verwendeten Benchmarks von 1,5 MWh_{th}/m liegt und grundsätzlich günstige Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Netzbetrieb signalisiert.

Tabelle 11: Tiefbau- und Materialkosten für Wärmenetzkomponenten im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz nach KWW-Technikkatalog 2025 (befestigtes Terrain) summiert die Tiefbau- und Materialkosten beim Bau des Wärmenetzes für die verschiedenen Rohrdurchmesser und befestigtes Terrain nach (Prewitz, 2025). Die mittleren Netzbaukosten werden demnach auf etwa 3,1 Mio. € prognostiziert.

Abbildung 17: Möglicher Netzverlauf und Rohrdurchmesser nach Grobauslegung des Nahwärmenetzes mit Flusswasser-WP im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

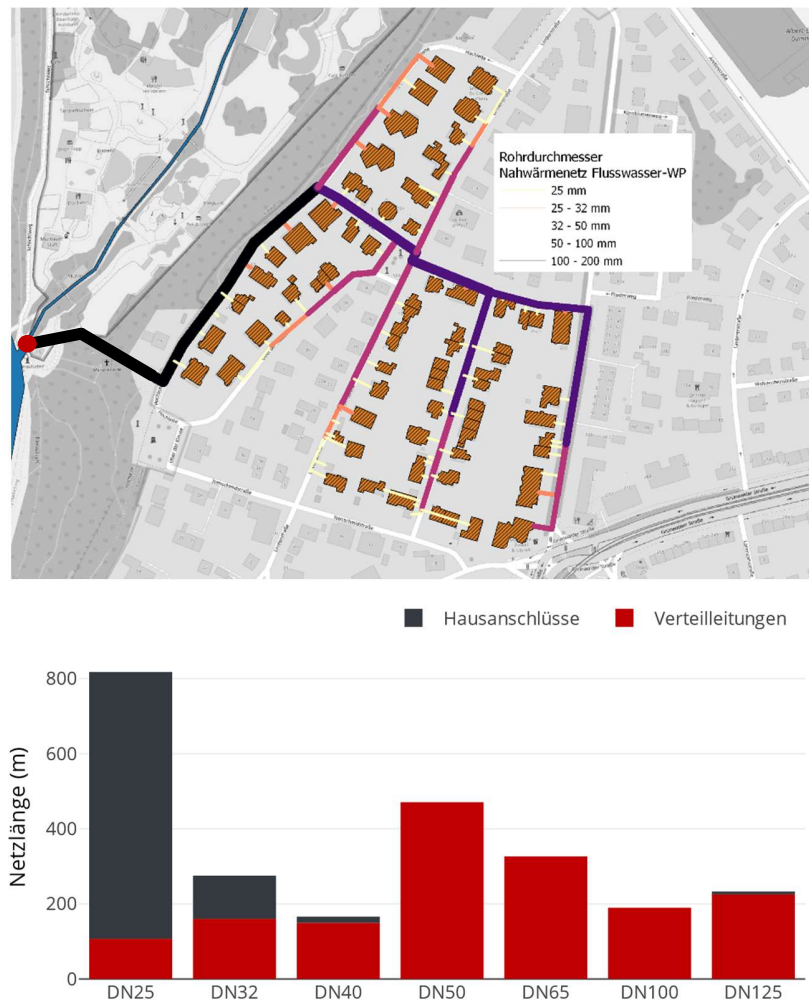


Tabelle 11: Tiefbau- und Materialkosten für Wärmenetzkomponenten im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz nach KWW-Technikkatalog 2025 (befestigtes Terrain)

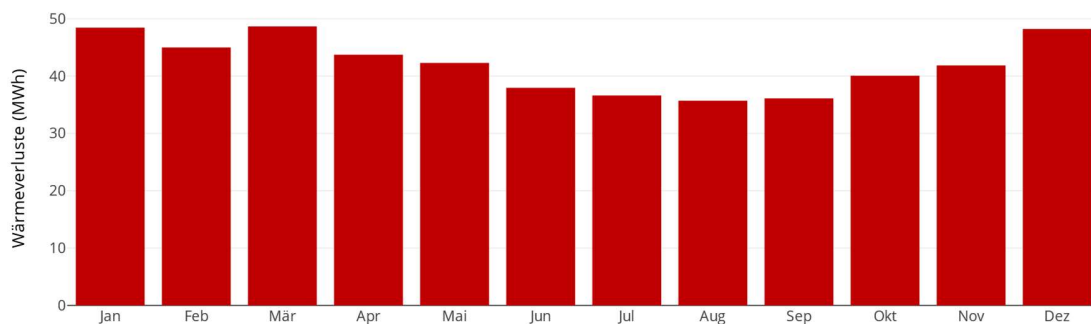
Netzkomponenten			Netzverlegekosten		
Rohrdurchmesser	Rohrlänge in m	Hausanschlüsse	min	max	mittel
DN25	107	64	579,996 €	700,050 €	640,023 €
DN32	160	10	176,800 €	340,000 €	258,400 €
DN40	150		96,000 €	246,000 €	171,000 €
DN50	471		329,700 €	800,700 €	565,200 €

DN65	326		281,338 €	730,240 €	505,789 €
DN80			- €	- €	- €
DN100	190		238,830 €	549,100 €	393,965 €
DN125	226		322,502 €	691,560 €	507,031 €
Summe	1630	74	2,025,166 €	4,057,650 €	3,041,408 €

4.2.1.2.3 Netzverluste

Das Nahwärmenetz im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz ist aufgrund des Gebäudebestands ebenfalls mit einer konstanten Vorlauftemperatur von 75 °C und einer Rücklauftemperatur von 55 °C konzipiert. Die Netz- und Erdbodentemperaturen entsprechen daher den Profilen des Netzes im Quartier Münchner Freiheit. Die daraus resultierenden monatlichen Wärmeverluste bei typischen Rohrdämmungen sind in Abbildung 18 dargestellt. Aufgrund der geringeren Wärmelinienendichte liegen die Netzverluste mit 504 MWh_{th}/a höher als im Quartier Münchner Freiheit und bei 13 % der jährlich verbrauchten Wärmemenge.

Abbildung 18: Monatliche Wärmeverluste des Flusswasser-WP-versorgten Nahwärmenetzes im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz



4.2.1.2.4 Wirtschaftlichkeit

Analog zur Analyse des Flusswasser-Wärmenetzes im Quartier Münchner Freiheit wurden für die Berechnung der jährlichen Fixkosten die Investitionskosten der einzelnen Komponenten annualisiert und jeweils auf die typischen technischen Lebensdauern der einzelnen Anlagenteile bezogen und durch die laufenden Kosten für Wartung und Betrieb (O&M) ergänzt. Die sich daraus ergebenden jährlichen Fixkosten sind in Tabelle 12 aufgeführt. Auch hier sind die angenommenen Kosten für die Erschließung des Flusswärmepotenzials mit Ein- und Auslassbauwerken und Wärmetauschern mit Unsicherheiten verbunden.

Tabelle 12: Jährliche Fixkosten für ein Nahwärmenetz zur Flusswassernutzung im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz nach KWW-Technikkatalog 2025

Großwärmepumpe + Erschließung	MW_{th}	2,5
Investitionskosten	€	6 316 076 €
Annualisierte Investitionskosten	€/a	448 141 €

O&M	€/a	192 311 €
Pumpenstation	MW_{th}	2,5
Investitionskosten min.	€	173 695 €
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	10 123 €
Investitionskosten max.	€	261 801 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	15 257 €
Hausübergabestationen	Stk.	74
Annualisierte Investitionskosten Status Quo	€/a	47 407 €
O&M Status Quo	€/a	4 180 €
Annualisierte Investitionskosten saniert	€/a	53 890 €
O&M saniert	€/a	4 855 €
Wärmenetz + Hausanschlussleitungen	m	1904
Investitionskosten min.	€	2 310 566 €
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	134 656 €
Investitionskosten max.	€	4 669 650 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	272 139 €
Summen mit BEW-Investitionsförderung		40 %
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	384 196 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	473 656 €
O&M min.	€/a	196 492 €
O&M max.	€/a	197 166 €
Overhead für Energiegenossenschaft pro Jahr (Anteilig der annualisierten Investitionskosten)		30 %
Fixkosten Energiegenossenschaft	€/a	115 259 €
Leistungspreis Mittelspannungsnetz SWM	€/a	110 871 €
Gesamtfixkosten min.	€/a	806 817 €
Gesamtfixkosten max.	€/a	923 791 €

Die Wärmegestehungskosten werden auf Grundlage der annualisierten Investitionen, der O&M-Kosten sowie der stromseitigen Betriebskosten der Wärmepumpe berechnet. Es gelten dieselben Annahmen zu Temperaturniveaus, Jahresarbeitszahl und Stromkosten wie bei Nutzung des Schwabinger Bachs (siehe Kapitel 4.2.1.1.4). Tabelle 13 schlüsselt die jährlichen Stromkosten und die sich daraus ergebenden Wärmegestehungskosten unter Berücksichtigung der jährlichen Fixkosten auf. Die Ergebnisse sind wieder sowohl für das Quartier insgesamt (einschließlich Nichtwohngebäuden) als auch wohnheitsspezifisch ausgewiesen, wobei die WE-bezogene Darstellung nur für Gebäude mit bekannter Wohneinheitenzahl erfolgt.

Tabelle 13: Jährliche Betriebskosten und Wärmegestehungskosten einer Nahwärmenetz-Lösung mit Flusswasser-WP im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz nach KWW-Technikkatalog 2025

Anzahl Wohneinheiten	Stk.	226
Jahreswärmebedarf Status Quo	MWh _{th} /a	38756
Jahreswärmebedarf saniert	MWh _{th} /a	2762

Energieversorgungskonzepte in Prüfgebietsclustern – Abschlussbericht

Strompreis (inkl. Stromsteuer & NNE)	€/MWh _{el}	137,18 €
Jahresarbeitszahl	-	3,0
spez. Arbeitspreis Wärme	€/MWh _{th}	45,73 €
Stromkosten Status Quo	€/a	177 218 €
Stromkosten saniert	€/a	126 277 €
Stromkosten Status Quo je WE	€/WE/a	691 €
Stromkosten saniert je WE	€/WE/a	488 €
Netzverluste	MWh _{th} /a	505
Kosten Netzverluste	€/a	23 074 €
Summe Betriebskosten Status Quo	€/a	200 291 €
Summe Betriebskosten saniert	€/a	149 351 €
Summe Betriebskosten Status Quo je WE	€/WE/a	789 €
Summe Betriebskosten saniert je WE	€/ WE/a	585 €
Wärmegestehungskosten Status Quo min.	€/MWh_{th}	260 €
Wärmegestehungskosten Status Quo max.	€/MWh_{th}	407 €
Wärmegestehungskosten Status Quo nur WG min.	€/MWh_{th}	278 €
Wärmegestehungskosten Status Quo nur WG max.	€/MWh_{th}	311 €

Die jährlichen Fixkosten der Nahwärmenetzlösung mit Flusswasser-Wärmepumpe im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz liegen bei ca. 0,8-0,9 Mio. €/a. Den größten Kostenanteil stellt ebenfalls die zentrale Wärmeherzeugung dar: Auf die Großwärmepumpe einschließlich Flusswassererschließung entfallen jährliche Kosten von rund 450 T€/a zuzüglich 192 T€/a für Betrieb und Instandhaltung. Weitere wesentliche Kostenblöcke sind die Netzinfrastruktur sowie der betriebliche Overhead.

Die jährlichen Betriebskosten betragen ca. 200 T€/a im Status quo bzw. 149 T€/a im sanierten Zustand und werden maßgeblich durch die Stromkosten der Wärmepumpe bestimmt. Trotz der geringeren absoluten Wärmemengen liegen die spezifischen Stromkosten je Wohneinheit deutlich höher als in größeren Quartieren, was auf die geringere Anschlussdichte und den höheren Fixkostenanteil je Wohneinheit zurückzuführen ist.

Aus Fix- und Betriebskosten resultieren Wärmegestehungskosten von etwa 26-41 ct/kWh_{th} im Status quo bei Berücksichtigung einer BEW-Investitionsförderung von 40 %. Die deutlich höheren spezifischen Kosten im Vergleich zu dichter bebauten und größeren Quartieren sind strukturell bedingt und spiegeln die ungünstigere Wärmedichte und Skalierung bei geringer Wärmelast angeschlossener Wohneinheiten wider. Im Vergleich kostet die gasbasierte Wärmeversorgung im Quartier aktuell im Schnitt etwa 11 ct/kWh_{th}, für eine neue Gasheizung inklusive Betriebskosten ergeben sich Wärmegestehungskosten von 20-23 ct/kWh_{th}. Ein vollständiger wirtschaftlicher Vergleich der dezentralen und zentralen Versorgungsoptionen wird in Kapitel 5.2.1 vorgenommen.

Weitere Förderinstrumente, insbesondere im Rahmen der Betriebsförderung der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW), können die Wirtschaftlichkeit deutlich verbessern (siehe Kapitel 4.2.1.1.4), sind in der vorliegenden Betrachtung jedoch nicht berücksichtigt. Insgesamt zeigt sich, dass die zentrale Wärmenetzlösung unter den gegebenen Rahmenbedingungen zwar technisch umsetzbar ist, ihre wirtschaftliche Attraktivität jedoch

insbesondere vor dem Hintergrund bestehender umweltrechtlicher Umsetzungshürden gering ist.

4.2.1.2.5 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen der untersuchten Wärmenetzlösung wurden für die Betrachtungsjahre 2025 und 2040 bilanziert und in Tabelle 14 für unterschiedliche Gebäudestandards dargestellt. Für die Emissionsbewertung wurden die in Kapitel 4.2.1.1.5 genannten Emissionsfaktoren angesetzt. Die Emissionsergebnisse werden analog sowohl quartiersbezogen, einschließlich der Nichtwohngebäude, als auch wohneinheitsspezifisch ausgewiesen.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Umstieg auf eine Wärmenetzlösung im Quartier aktuell zu einer durchschnittlichen Reduktion der Emissionen je Wohneinheit um 36 % gegenüber einer gasbasierten Wärmeversorgung führen würde. Durch energetische Sanierungsmaßnahmen könnten die spezifischen Emissionen im Jahr 2025 um weitere 19 % reduziert werden. Gleichzeitig verbleiben die spezifischen Emissionen je Wohneinheit auf einem vergleichsweise hohen Niveau, was im Wesentlichen auf die großen Wohnflächen je Wohneinheit und die derzeitige Emissionsintensität des Strommixes zurückzuführen ist. Mit zunehmender Dekarbonisierung des Stromsystems sinken die Emissionen bis zum Jahr 2040 in beiden Szenarien deutlich auf rund 4 % der heutigen Emissionen. Der zusätzliche Effekt von Sanierungsmaßnahmen fällt dabei im Vergleich zu 2025 relativ gering aus, da die Emissionsbilanz zunehmend durch den Strommix und weniger durch den absoluten Wärmebedarf bestimmt wird.

Tabelle 14: Jährliche Treibhausgasemissionen einer Nahwärmenetz-Lösung mit Flusswasser-WP im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz, berechnet nach (Lauf et al., 2025) und (Majer et al., 2024)

Treibhausgasemissionen		2025	2040
Emissionen gesamt gasversorgt Status Quo	t CO ₂ _{äq} /a	900	900
Emissionen je WE gasversorgt Status Quo	t CO ₂ _{äq} /WE/a	3,82	3,82
Emissionen gesamt Wärmenetz Status Quo	t CO ₂ _{äq} /a	575	39
Emissionen gesamt Wärmenetz saniert	t CO ₂ _{äq} /a	409	28
Emissionen je WE Wärmenetz Status Quo	t CO ₂ _{äq} /WE/a	2,24	0,15
Emissionen je WE Wärmenetz saniert	t CO ₂ _{äq} /WE/a	1,58	0,11

4.2.1.2.6 Genehmigungsfähigkeit und Umsetzungshemmnisse

Die Realisierung eines Nahwärmenetzes unter Nutzung des Auer Mühlbachs als Wärmequelle ist mit erheblichen genehmigungsrechtlichen und umsetzungsbezogenen Einschränkungen verbunden. Die Verlegung von Versorgungsleitungen quer zum Steilhang würde voraussichtlich bauliche Eingriffe in unbefestigten Hangbereichen erfordern. Sofern die unter- oder oberirdische Leitungsverlegung mit Aufgrabungen verbunden ist, sind diese Maßnahmen aus naturschutzfachlicher Sicht voraussichtlich nicht genehmigungsfähig.

Der Auer Mühlbach sowie Teile des angrenzenden Steilhangs sind zudem als Bodendenkmal in der Bayerischen Denkmalliste geführt. Darüber hinaus liegt der gesamte Bereich in einem Landschaftsschutzgebiet, was zusätzliche Einschränkungen hinsichtlich Bauform, Sichtbarkeit und Eingriffstiefe mit sich bringt. Bauliche Maßnahmen müssen in diesen Bereichen denkmal- und landschaftsverträglich ausgeführt werden und sind im Einzelfall genehmigungspflichtig. Besonders restriktiv wirkt sich der naturschutzrechtliche Schutzstatus des Steilhangs und des Isarufers aus. Diese Bereiche sind Teil des Fauna-Flora-Habitat-Gebiets „Oberes Isartal“ und damit Bestandteil des EU-weiten Schutzgebietsnetzes NATURA 2000. Große Teile sind dem prioritären Lebensraumtyp der Waldmeister-Buchenwälder zuzuordnen. Projekte, die mit den Erhaltungszielen eines FFH-Gebiets nicht vereinbar sind, sind grundsätzlich unzulässig. Zwar sind Ausnahmen aus zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses rechtlich möglich, sie erfordern jedoch umfangreiche Kohärenzmaßnahmen, für die im betrachteten Raum kaum geeignete Flächen zur Verfügung stehen.

Unabhängig von den rechtlichen Restriktionen sind Steilhangquerungen auch bautechnisch äußerst anspruchsvoll. Die hierfür notwendigen Baustellen, Sicherungsmaßnahmen und Erdarbeiten bergen insbesondere im Bereich des Tierparks erhebliche Risiken hinsichtlich Erosion, Hangstabilität und Hangsicherheit. Vergleichbare Projekte aus den Bereichen Fernwärme, Abwasserinfrastruktur und Wegebau zeigen, dass derartige Maßnahmen nur mit sehr hohem planerischem und technischem Aufwand realisierbar sind. Grundsätzlich wäre es denkbar, Nahwärmeleitungen ausschließlich über bestehende Wegeflächen zu führen, um zusätzliche Eingriffe in das FFH-Gebiet zu vermeiden. Im Bereich der Marienklausen ist jedoch auch dies aufgrund der topographischen Verhältnisse und der dort vorhandenen hangquerenden Wege mit Sonderbauweisen nur eingeschränkt möglich.

Insgesamt erscheint eine Wärmenutzung des Auer Mühlbachs aus naturschutz- und denkmalfachlicher Sicht eher für bachabwärts gelegene Wohngebiete unterhalb der Hangkante nördlich des Tierparks Hellabrunn realisierbar. Zwar sind auch dort potenzielle Standorte für Wärmeübertrager bzw. Entnahmestellen begrenzt, jedoch liegen diese überwiegend in Landschaftsschutzgebieten, in denen im Vergleich zu FFH-Gebieten ein weniger strenges Schutzregime gilt.

4.2.2 Nutzung größerer Abwasserwärmepotenziale

Die Informationen der MSE und dem einbezogenen Technologieanbieter (siehe Kapitel 3.3.2) zeigen, dass in zwei der betrachteten Prüfgebiete größere Abwasserkanäle eine der wenigen flächenunabhängigen und ganzjährig verfügbaren Umweltwärmequellen darstellen. Insbesondere in dicht bebauten Innenstadträumen, in denen der Einsatz dezentraler Luftwärmepumpen aus schalltechnischen oder denkmalpflegerischen Gründen stark eingeschränkt ist, kann die zentrale Nutzung von Abwasserwärme eine technisch erprobte Option für eine klimaneutrale Wärmeversorgung darstellen. Durch den Einsatz von Kanalwärmeübertragern in Kombination mit Großwärmepumpen kann das ganzjährige Potenzial erschlossen und Gebäude im Gebiet über ein Nahwärmenetz versorgt werden, ohne dass eine energetische Sanierung der Gebäude zwingend notwendig ist.

Zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit ist dabei voraussichtlich eine redundante Besicherung der gesamten Wärmeleistung erforderlich. Diese kann durch einen Spitzenlastkessel erfolgen, der insbesondere bei außergewöhnlichen Lastspitzen oder während Wartungsphasen des Kanals oder der Wärmepumpe einspringt. Abhängig von den langfristigen Dekarbonisierungszielen kann dieser Spitzenlastkessel zunächst gasbasiert ausgeführt und perspektivisch durch einen erneuerbaren Spitzenlastkessel, etwa auf Biomassebasis, ersetzt werden. Auf diese Weise lässt sich ein Transformationspfad realisieren, der eine schrittweise Umstellung auf eine vollständig klimaneutrale Wärmeversorgung ermöglicht.

4.2.2.1 Quartier Münchner Freiheit

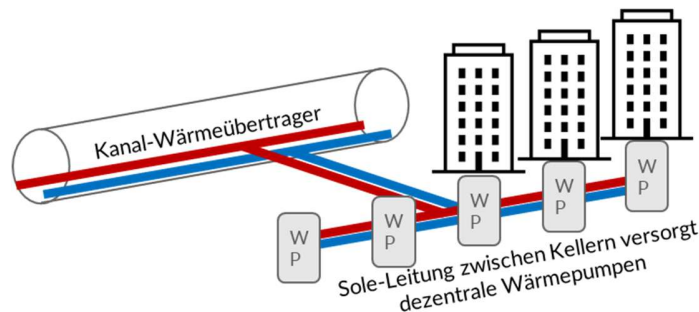
Bei vollständiger Nutzung des identifizierten Wärmequellenpotenzials ergibt sich wie in Kapitel 3.3.2.1 beschrieben ein Heizleistungspotenzial von rund $4,2 \text{ MW}_{\text{th}}$ für abwasserbasierte Wärmepumpen. Dieses Potenzial kann theoretisch durch eine zentrale Großwärmepumpe oder mehrere verteilte Wärmepumpen in Wärmeverbünden entlang eines Häuserblocks realisiert werden. Das dargestellte Konzept ist als Vorplanung auf Grobkonzeptebene zu verstehen und kann eine vertiefende technische und wirtschaftliche Detailplanung nicht ersetzen.

4.2.2.1.1 Quellennutzung über Wärmeverbünde

Eine Möglichkeit stellt die Nutzung der Abwasserwärme in kleineren, kanalnahen Wärmeverbünden entlang des Abwasserkanals in der Ungererstraße dar. Diese Lösung könnte die dort gelegenen Gebäude, für die keine weiteren klimaneutralen Vollversorgungsoptionen bestehen, ohne umfangreiche Tiefbaumaßnahmen versorgen. Vorgesehen wäre, je Baublock einen Kanalwärmeübertrager einzubinden, der über eine Soleleitung an einen lokalen Sekundärkreislauf angeschlossen wird. Dieser Sekundärkreislauf würde innerhalb der Kellergeschosse der angrenzenden Gebäude der Blockrandbebauung verlaufen und dort dezentrale Wärmepumpen versorgen (vgl. Abbildung 19).

Nach Einschätzung der MSE ist diese Variante jedoch nur eingeschränkt umsetzbar. Um die erforderliche Heizleistung bereitzustellen, müssten die Kanalwärmeübertrager über größere Längen in unmittelbarer Abfolge im Kanal angeordnet werden. Eine solche Anordnung ist aufgrund der gegenseitigen thermischen Beeinflussung direkt hintereinanderliegender Wärmeübertrager nicht zulässig, da sie zu einer unzulässigen Abkühlung des Abwassers führen kann. Zudem kann die Entzugsleistung jedes dieser Wärmeübertrager durch die gegenseitige Beeinflussung voraussichtlich nicht gewährleistet werden. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Umsetzung dieser Variante nur in sehr begrenztem Umfang und nicht als flächendeckende Lösung für das Quartier geeignet.

Abbildung 19: Konzept einer dezentralen Nutzung des größeren Abwasserkanals im Quartier Münchner Freiheit



4.2.2.1.2 Quellennutzung über ein Nahwärmenetz

Eine zweite und im Folgenden näher betrachtete Möglichkeit ist die zentrale Nutzung der Abwasserwärme über einen großdimensionierten Kanalwärmeübertrager in Kombination mit einem zusammenhängenden quartiersbezogenen Wärmenetz. Die gewonnene Wärme wird über eine zentrale Großwärmepumpe auf das erforderliche Temperaturniveau angehoben und anschließend über ein Nahwärmenetz an die angeschlossenen Gebäude verteilt. Diese Variante ermöglicht eine gebündelte Erschließung des Abwasserwärmepotenzials ohne gegenseitige thermische Beeinflussungen mehrerer Wärmeübertrager und stellt die gängige technische Lösung zur Nutzung größerer Abwasserpotenziale dar. Gleichzeitig können auch größere Verbraucher erschlossen und Lastspitzen zentral über einen Spitzenlastkessel abgesichert werden. Demgegenüber steht ein erhöhter Investitions- und Koordinationsaufwand, insbesondere für den Bau des Wärmenetzes und die Errichtung der zentralen Erzeugungsanlage.

4.2.2.1.3 Verlauf des Nahwärmenetzes

Der Verlauf des Nahwärmenetzes wurde so konzipiert, dass vorrangig Gebäude erschlossen werden, für die keine dezentrale Wärmepumpenlösung zur klimaneutralen Vollversorgung in Betracht kommt. Hierzu zählen insbesondere dicht bebaute Bereiche mit schalltechnischen Einschränkungen, denkmalpflegerischen Restriktionen oder fehlenden geeigneten Aufstellflächen. Ein zentrales Kriterium bei der Trassenführung war zudem die räumliche Nähe zum Abwasserkanal, um die Leitungswege zwischen Wärmequelle, Heizzentrale und Netz möglichst kurz zu halten und zusätzliche Tiefbaumaßnahmen zu minimieren. Die Zahl der angeschlossenen Gebäude orientiert sich an der möglichen Gesamtwärmeleistung des Kanal-Wärmeübertragers von $4,2 \text{ MW}_{\text{th}}$. Gleichzeitig wurde bei der Auswahl des Erzeugerstandorts darauf geachtet, dass ausreichend Flächen für die Errichtung einer Heizzentrale zur Verfügung stehen und eine technisch sinnvolle Einbindung in das Wärmenetz möglich ist. Tabelle 15 gibt eine Übersicht über die angeschlossenen Gebäude und voraussichtlich abgenommenen Wärmemengen im geplanten Netzgebiet.

Tabelle 15: Schnelle Fakten zum entworfenen Abwasser-WP-gespeisten Wärmenetz im Quartier Münchner Freiheit

Anzahl versorgte Gebäude	Stk.	67
Anzahl Wohngebäude	Stk.	62
Anzahl Wohneinheiten	Stk.	643
Beheizte Fläche	m ²	61 366
Wärmeleistung Status Quo	MW _{th}	4,2
Wärmeleistung Status Quo	MW _{th}	3,5
Jahreswärmebedarf Status Quo	MWh _{th} /a	6 416
Jahreswärmebedarf saniert	MWh _{th} /a	5 085

Der auf dieser Grundlage entworfene Netzverlauf (siehe Abbildung 20) stellt eine konzeptionelle Lösung dar und dient der Abschätzung von Leitungslängen, Anschlussdichten und der grundsätzlichen Umsetzbarkeit. Anpassungen im weiteren Planungsverlauf, etwa aufgrund detaillierterer Bestandsaufnahmen oder genehmigungsrechtlicher Anforderungen, sind zu erwarten.

Ein möglicher Standort für die Heizzentrale des Nahwärmenetzes ist auf einem Teil des Parkplatzes an der Münchner Freiheit, unmittelbar oberhalb des zu nutzenden Abwasserkanals. In der Heizzentrale sind die Großwärmepumpe sowie die Pumpen- und Regelstation des Nahwärmenetzes untergebracht; zugleich bildet sie die Schnittstelle zum Kanalwärmeübertrager.

4.2.2.1.4 Dimensionierung des Nahwärmenetzes

Die Auslegung des abwasserbasierten Nahwärmenetzes erfolgte auf Grundlage der angepassten Wärmebedarfe im unsanierten Gebäudebestand und wurde mithilfe der Software nPro durchgeführt. Die dimensionierten Rohrdurchmesser variieren zwischen rund 12,5 cm direkt an der Heizzentrale und den zentralen Transportleitungen und 2,5 bis 3,2 cm bei den Hausanschlüssen. Insgesamt ergibt sich eine Trassenlänge von etwa 1,5 km, bestehend aus Verteilleitungen und Hausanschlussleitungen. Die resultierende mittlere Wärmeliniedichte liegt mit etwa 6,8 MWh_{th}/m deutlich oberhalb des üblichen Richtwertes von 1,5 MWh_{th}/m und weist damit auf grundsätzlich sehr günstige Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Netzbetrieb hin.

Die auf Basis aktueller Kostensätze abgeschätzten Tiefbau- und Materialkosten für das Wärmenetz sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Insgesamt werden die mittleren Netzbaukosten auf rund 1,8 Mio. € prognostiziert (vgl. Prebitz, 2025).

Abbildung 20: Möglicher Netzverlauf und Rohrdurchmesser nach Grobauslegung des Nahwärmenetzes mit Abwasser-WP im Quartier Münchner Freiheit

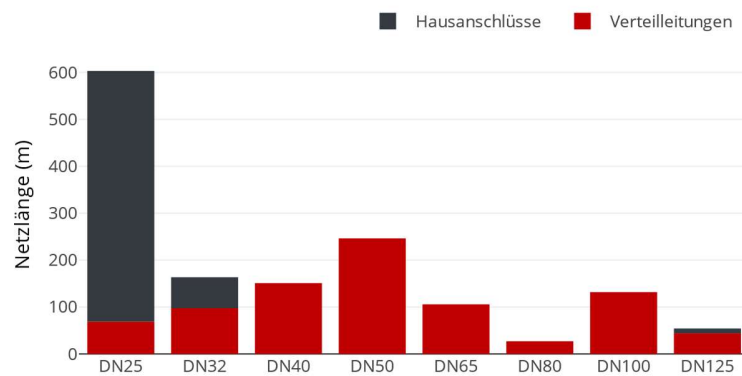
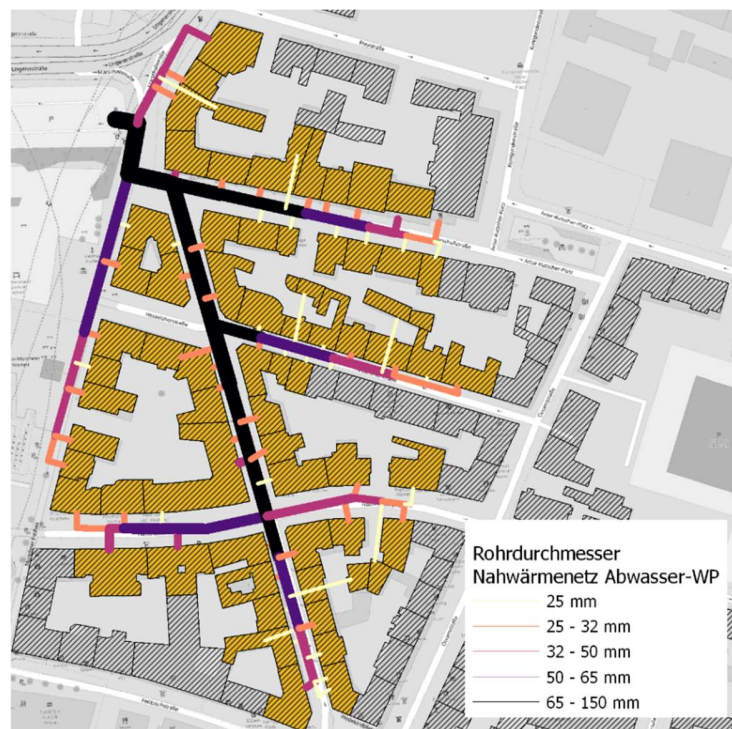


Tabelle 16: Tiefbau- und Materialkosten für Netzkomponenten nach KWW-Technikkatalog 2025 (befestigtes Terrain)

Netzkomponenten			Netzverlegekosten		
Rohrdurchmesser	Rohrlänge in m	Hausanschlüsse	min	max	mittel
DN25	69	27	255,852 €	333,270 €	294,561 €
DN32	97	33	333,460 €	432,400 €	382,930 €
DN40	151	7	175,600 €	326,600 €	251,100 €
DN50	246		172,200 €	418,200 €	295,200 €
DN65	106		91,478 €	237,440 €	164,459 €
DN80	27		24,381 €	61,560 €	42,971 €

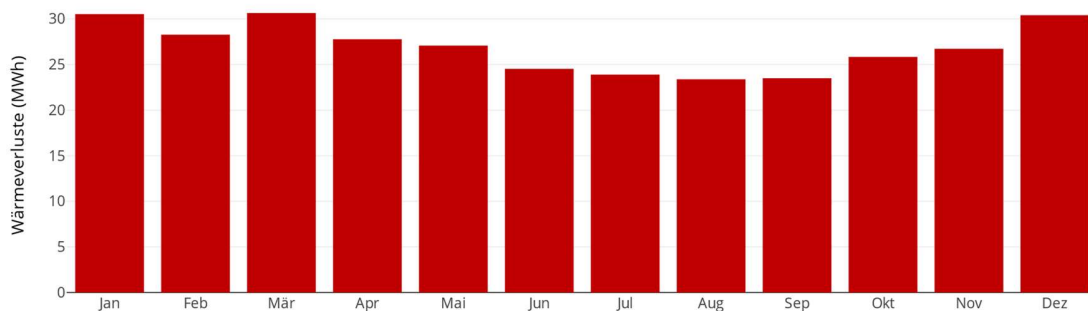
DN100	132		165,924 €	381,480 €	273,702 €
DN125	44		62,788 €	134,640 €	98,714 €
Summe	872	67	1,281,683 €	2,325,590 €	1,803,637 €

4.2.2.1.5 Netzverluste

Das Nahwärmenetz zur Nutzung der Abwasserwärme im Quartier ist prinzipiell auf ähnliche Temperaturen ausgelegt wie das Wärmenetz zur Flusswassernutzung im selben Quartier (75/55 °C). Die Netz- und Erdbodentemperaturen entsprechen daher denselben Profilen aus Kapitel 4.2.1.1. Die daraus resultierenden monatlichen Wärmeverluste sind in Abbildung 21 dargestellt.

Das Versorgungsgebiet wurde mit dem dicht bebauten zentralen Bereich des Quartiers so gewählt, dass die Netzverluste mit 323 MWh_{th}/a und rund 5 % der jährlich verbrauchten Wärmemenge im Quartier sehr gering ausfallen.

Abbildung 21: Monatliche Wärmeverluste des Abwasser-WP-versorgten Nahwärmenetzes im Quartier Münchner Freiheit



4.2.2.1.6 Wirtschaftlichkeit

Die wirtschaftliche Bewertung des abwasserbasierten Nahwärmenetzes erfolgt analog zum Flusswasser-Wärmenetz im Quartier Münchner Freiheit. Zur Ermittlung der jährlichen Fixkosten wurden die Investitionskosten der einzelnen Systemkomponenten annualisiert, auf die jeweils typischen technischen Lebensdauern bezogen und um die laufenden Kosten für Betrieb und Wartung (O&M) ergänzt. Die daraus resultierenden jährlichen Fixkosten sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Jährliche Fixkosten für ein Nahwärmenetz zur Abwassernutzung im Quartier Münchner Freiheit nach KWW-Technikkatalog 2025

Großwärmepumpe + Kanal-WÜ		MW_{th}	4,2
Investitionskosten	€		6 457 114 €
Annualisierte Investitionskosten	€/a		490 550 €
O&M	€/a		98 699 €

Pumpenstation	MW_{th}	4,2
Investitionskosten min.	€	289 090 €
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	16 848 €
Investitionskosten max.	€	435 730 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	25 394 €
Hausübergabestationen	Stk.	67
Annualisierte Investitionskosten Status Quo	€/a	106 815 €
O&M Status Quo	€/a	9 827 €
Annualisierte Investitionskosten saniert	€/a	117 073 €
O&M saniert	€/a	10 928 €
Wärmenetz + Hausanschlussleitungen	m	939
Investitionskosten min.	€	1 281 683 €
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	74 694 €
Investitionskosten max.	€	2 325 590 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	135 531 €
Summen mit BEW-Investitionsförderung		45 %
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	413 344 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	461 129 €
O&M min.	€/a	108 526 €
O&M max.	€/a	109 627 €
Overhead für Energiegenossenschaft pro Jahr (Anteilig der annualisierten Investitionskosten)		30 %
Fixkosten Energiegenossenschaft	€/a	124 000 €
Leistungspreis Mittelspannungsnetz SWM	€/a	184 529 €
Gesamtfixkosten min.	€/a	830 402 €
Gesamtfixkosten max.	€/a	893 624 €

Die Wärmegestehungskosten des abwasserbasierten Nahwärmenetzes werden aus den annualisierten Investitionskosten, den Betriebs- und Wartungskosten (O&M) sowie den stromseitigen Betriebskosten der Großwärmepumpe ermittelt. Dabei werden dieselben systemischen Annahmen zu Temperaturniveaus, Jahresarbeitszahl und Stromkosten zugrunde gelegt wie bei der Nutzung des Schwabinger Bachs (vgl. Kapitel 4.2.1.1.4).

Die daraus resultierenden jährlichen Stromkosten und Wärmegestehungskosten unter Einbeziehung der Fixkosten sind in Tabelle 18 dargestellt. Die Ausweisung erfolgt analog zum bisherigen Vorgehen sowohl für das gesamte Quartier einschließlich der Nichtwohngebäude als auch wohneinheitsspezifisch. Die

Tabelle 18: Jährliche Betriebskosten und Wärmegestehungskosten einer Nahwärmenetz-Lösung mit Flusswasser-WP im Quartier Münchner Freiheit nach KWW-Technikkatalog 2025

Anzahl Wohneinheiten	Stk.	643
Jahreswärmebedarf Status Quo	MWh _{th} /a	6416
Jahreswärmebedarf saniert	MWh _{th} /a	5085
Strompreis (inkl. Stromsteuer & NNE)	€/MWh _{el}	137,18 €

Jahresarbeitszahl	-	3,0
spez. Arbeitspreis Wärme	€/MWh _{th}	45,73 €
Stromkosten Status Quo	€/a	293 401 €
Stromkosten saniert	€/a	232 524 €
Stromkosten Status Quo je WE	€/WE/a	438 €
Stromkosten saniert je WE	€/WE/a	346 €
Netzverluste	MWh _{th} /a	323
Kosten Netzverluste	€/a	14 750 €
Summe Betriebskosten Status Quo	€/a	308 151 €
Summe Betriebskosten saniert	€/a	247 274 €
Summe Betriebskosten Status Quo je WE	€/WE/a	461 €
Summe Betriebskosten saniert je WE	€/ WE/a	369 €
Wärmegestehungskosten Status Quo min.	€/MWh_{th}	177 €
Wärmegestehungskosten Status Quo max.	€/MWh_{th}	236 €
Wärmegestehungskosten Status Quo nur WG min.	€/MWh_{th}	183 €
Wärmegestehungskosten Status Quo nur WG max.	€/MWh_{th}	193 €

Für das Quartier Münchner Freiheit ergeben sich bei Nutzung von Abwasser als Wärmequelle jährliche Fixkosten in Höhe von rund 0,8 Mio. €/a. Den wesentlichen Anteil daran hat die zentrale Erzeugung: Die Großwärmepumpe mit Kanal-Wärmeübertrager verursacht jährliche von etwa 490 T€/a, ergänzt um Betriebs- und Instandhaltungskosten von rund 99 T€/a. Der angesetzte betriebliche Overhead von 30 % führt zu zusätzlichen jährlichen Fixkosten von rund 124 T€/a und beeinflusst die Gesamtkosten ebenso wie die Stromnetzentgelte (Leistungspreis Mittelspannungsnetz) deutlich.

Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich auf ca. 308 T€/a im Status quo bzw. 247 T€/a im sanierten Zustand und werden maßgeblich durch die Stromkosten der Wärmepumpe bestimmt. Die Netzverluste von rund 323 MWh_{th}/a liegen aufgrund der vergleichsweise kurzen Netzlängen auf einem niedrigen Niveau. Zwar ist die Wärmelinienichte bei der Abwassernutzung etwas höher als beim flusswasserbasierten Wärmenetz im selben Quartier, der Erschließungsaufwand der Wärmequelle fällt jedoch deutlich höher aus. Dies führt insgesamt zu höheren spezifischen Kosten.

In der Folge ergeben sich Wärmegestehungskosten von rund 17-24 ct/kWh_{th}, mit einer BEW-Investitionsförderung von 40%. Damit liegt die Abwasserlösung auf ähnlichem Niveau wie die geschätzten Kosten einer flusswasserbasierten Versorgung im selben Quartier von etwa 19-25 ct/kWh_{th}. Ein systematischer Vergleich der zentralen und dezentralen Versorgungsoptionen erfolgt in Kapitel 5.2.1.

4.2.2.1.7 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen der abwasserbasierten Wärmenetzlösung sind in Tabelle 19 für unterschiedliche Gebäudestandards und sowohl quartiersbezogen (einschließlich Nichtwohngebäude) als auch je Wohneinheit aufgeführt. Für die Emissionsbewertung wurden die in Kapitel 4.2.1.1.5 genannten Emissionsfaktoren angesetzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch den heutigen Umstieg von einer Gasversorgung auf das vorgeschlagene Nahwärmenetz eine Emissionsreduktion von 36 % und durch zusätzliche energetische Sanierung eine weitere Einsparung von rund 13 % erreicht werden kann. Mit zunehmender Dekarbonisierung des Stromsystems sinken die Emissionen bis zum Jahr 2040 sowohl bei sanierten als auch bei gleichbleibendem Gebäudebestand auf rund 4 % der heutigen Emissionen. Der zusätzliche Effekt von Sanierungsmaßnahmen fällt langfristig gering aus, da die Emissionsbilanz zunehmend durch den Strommix und weniger durch den absoluten Wärmebedarf bestimmt wird.

Tabelle 19: Jährliche Treibhausgasemissionen einer Nahwärmenetz-Lösung mit Abwasser-WP im Quartier Münchner Freiheit, berechnet nach (Lauf et al., 2025) und (Majer et al., 2024)

Treibhausgasemissionen		2025	2040
Emissionen gesamt gasversorgt Status Quo	t CO ₂ _{äq} /a	1491	1491
Emissionen je WE gasversorgt Status Quo	t CO ₂ _{äq} /WE/a	2,32	2,32
Emissionen gesamt Wärmenetz Status Quo	t CO ₂ _{äq} /a	951	64
Emissionen gesamt Wärmenetz saniert	t CO ₂ _{äq} /a	754	51
Emissionen je WE Wärmenetz Status Quo	t CO ₂ _{äq} /WE/a	1,42	0,10
Emissionen je WE Wärmenetz saniert	t CO ₂ _{äq} /WE/a	1,12	0,08

4.2.2.1.8 Genehmigungsfähigkeit und Umsetzungshemmnisse

Die Umsetzbarkeit einer zentralen Nutzung von Abwasserwärme mittels Großwärmepumpe und Nahwärmenetz hängt insbesondere von den Vorgaben der Münchner Stadtentwässerung (MSE) ab. Für den Einsatz von Kanalwärmeübertragern ist nachzuweisen, dass der ordnungsgemäße Betrieb des Abwassersystems jederzeit gewährleistet bleibt. Dazu zählt die Einhaltung einer zulässigen Abkühlung des Abwassers von 2 K im Tagesmittel, der Ausschluss hydraulischer Beeinträchtigungen sowie die Vermeidung gegenseitiger thermischer Beeinflussungen mehrerer Wärmeübertrager.

Mögliche Umsetzungshemmnisse sind der hohe Planungs- und Koordinationsaufwand, notwendige Durchflussmessungen sowie die Voraussetzung, dass in den betreffenden Kanalabschnitten mittelfristig keine Sanierungsmaßnahmen anstehen. Daneben bestehen auch hier praktische Umsetzungshemmnisse durch das Suchen und Finden von Initiatoren, Investoren und Betreibern, sowie durch lange Planungs- und Genehmigungszeiträume, eingeschränkte Bauzeitfenster im innerstädtischen Raum und den hohen Koordinationsaufwand zwischen beteiligten Akteuren. Die Wirtschaftlichkeit des Betriebs hängt zudem sehr stark von der Anschlussquote im vorgesehenen Netzgebiet ab. Insgesamt ist die Lösung technisch etabliert, ihre Umsetzung im innerstädtischen Kontext jedoch mit genehmigungsrechtlichen und organisatorischen Hürden verbunden.

4.2.2.2 Quartier Südliches Schloßrondell

Im Quartier Südliches Schloßrondell kann wie in Kapitel 3.3.2.2 gezeigt in Summe ein Heizleistungspotenzial von rund 3,2 MW_{th} durch Abwasser-Wärmeübertrager realisiert werden. Ähnlich wie für das Quartier Münchner Freiheit diskutiert, kann dieses Potenzial auch hier

entweder zentral oder in kleineren, kanalnahen Wärmeverbünden erfolgen. Aufgrund der in Kapitel 4.2.2.1.1 festgestellten Einschränkungen für mehrere Wärmeübertrager innerhalb eines Abwasserkanals werden im Folgenden nur zentrale Nutzungsoptionen diskutiert. Das dargestellte Konzept ist als Vorplanung auf Grobkonzeptebene zu verstehen und kann eine vertiefende technische und wirtschaftliche Detailplanung nicht ersetzen.

4.2.2.2.1 Verlauf des Nahwärmenetzes

Der Verlauf des Nahwärmenetzes zur Nutzung des Abwasserkanals wurde auch in diesem Quartier auf Grundlage mehrerer Kriterien entwickelt. Maßgeblich war zunächst die räumliche Nähe zum Abwasserkanal, um die Leitungswege zwischen Wärmequelle, Heizzentrale und Netz möglichst kurz zu halten und den baulichen Aufwand zu begrenzen. Darüber hinaus wurden gezielt jene Gebäude berücksichtigt, für die keine dezentrale Wärmepumpenlösung zur klimaneutralen Vollversorgung möglich ist. Gleichzeitig sollten mit den angeschlossenen Gebäuden möglichst hohe Wärmedichten erzielt werden, um eine wirtschaftlich tragfähige Auslegung des Nahwärmenetzes zu ermöglichen. Diese wurden aus den derzeit installierten Erzeugerleistungen abgeleitet. Das vorgeschlagene Wärmenetz versorgt daher drei der zentralen Wohnblöcke im Quartier und wird durch eine Wärmezentrale in oder an einem der Gebäude entlang der Wotanstraße versorgt. Der Netzverlauf stellt somit eine konzeptionelle Optimierung zwischen technischer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit dar. Das Netz ist als nicht vermaschtes, sternförmiges Nahwärmenetz konzipiert.

Tabelle 20 gibt eine Übersicht über die angeschlossenen Gebäude und voraussichtlich abgenommenen Wärmemengen im geplanten Netzgebiet.

Tabelle 20: Schnelle Fakten zum entworfenen Abwasser-WP-gespeisten Wärmenetz im Quartier Südliches Schloßbrondell

Anzahl versorgte Gebäude	Stk.	43
Anzahl Wohngebäude	Stk.	36
Anzahl Wohneinheiten	Stk.	490
Beheizte Fläche	m ²	43 989
Wärmeleistung Status Quo	MW _{th}	2,8
Wärmeleistung Status Quo	MW _{th}	1,9
Jahreswärmebedarf Status Quo	MWh _{th} /a	4 290
Jahreswärmebedarf saniert	MWh _{th} /a	2 695

Alternativ käme eine Einbindung des Krankenhauses Barmherzige Brüder als großer Einzelverbraucher für die Nutzung der Abwasserwärme in Betracht. Wie in Kapitel 3.3.2.2 dargestellt, verläuft der Abwasserkanal in direkter räumlicher Nähe zum Krankenhaus. Nach weiteren Effizienzmaßnahmen könnte dort eine vollständige Wärmeversorgung über eine Abwasser-Wärmepumpe realisiert werden. Da für Krankenhäuser ohnehin eine redundante Wärmeversorgung erforderlich ist, könnte durch diese Besicherung eine volle Ausschöpfung des identifizierten Wärmequellenpotenzials von bis zu 3,2 MW_{th} ermöglicht werden.

4.2.2.2.2 Dimensionierung des Nahwärmenetzes

Die hydraulische Auslegung wurde mithilfe der Netzberechnungssoftware nPro vorgenommen und orientiert sich an einer erforderlichen Gesamtwärmeleistung der angeschlossenen, größtenteils unsanierten Gebäude von $2,8 \text{ MW}_{\text{th}}$. Das Wärmequellenpotenzial ist damit nicht voll ausgeschöpft, das Wärmepumpensystem weist aber eine höhere Sicherheit gegenüber Ausfällen der Wärmequelle durch extreme Trockenperioden auf. Die Rohrdimensionen variieren wie in Abbildung 22 zu sehen entlang des Netzes in Abhängigkeit von der jeweils transportierten Leistung und nehmen vom Bereich der Heizzentrale zu den Hausanschlussleitungen kontinuierlich ab. Das Netz hat eine gesamte Trassenlänge von 1,5 km, von denen jeweils etwa die Hälfte auf Verteil- und Hausanschlussleitungen entfällt.

Die resultierende mittlere Wärmelinienichte liegt mit $5,2 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{m}$ im wirtschaftlich günstigen Bereich deutlich oberhalb der Marke von $1,5 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{m}$ und bestätigt die grundsätzliche Eignung des Quartiers für eine zentrale Wärmeversorgung.

Die dargestellte Dimensionierung stellt eine konzeptionelle Auslegung dar. In einer weiterführenden Planungsphase sind detaillierte hydraulische Nachweise, eine Feinabstimmung der Rohrdimensionen sowie die Berücksichtigung von Ausbauphasen und Redundanzkonzepten erforderlich.

Auf Grundlage aktueller Kostensätze wurden die Tiefbau- und Materialkosten für das Wärmenetz abgeschätzt und in Tabelle 19 zusammengefasst. Insgesamt werden die mittleren Netzbaukosten nach (Prewitz, 2025) auf rund 1,5 Mio. € geschätzt.

Abbildung 22: Möglicher Netzverlauf und Rohrdurchmesser nach Grobauslegung des Nahwärmenetzes mit Flusswasser-WP im Quartier Südliches Schloßbrondell

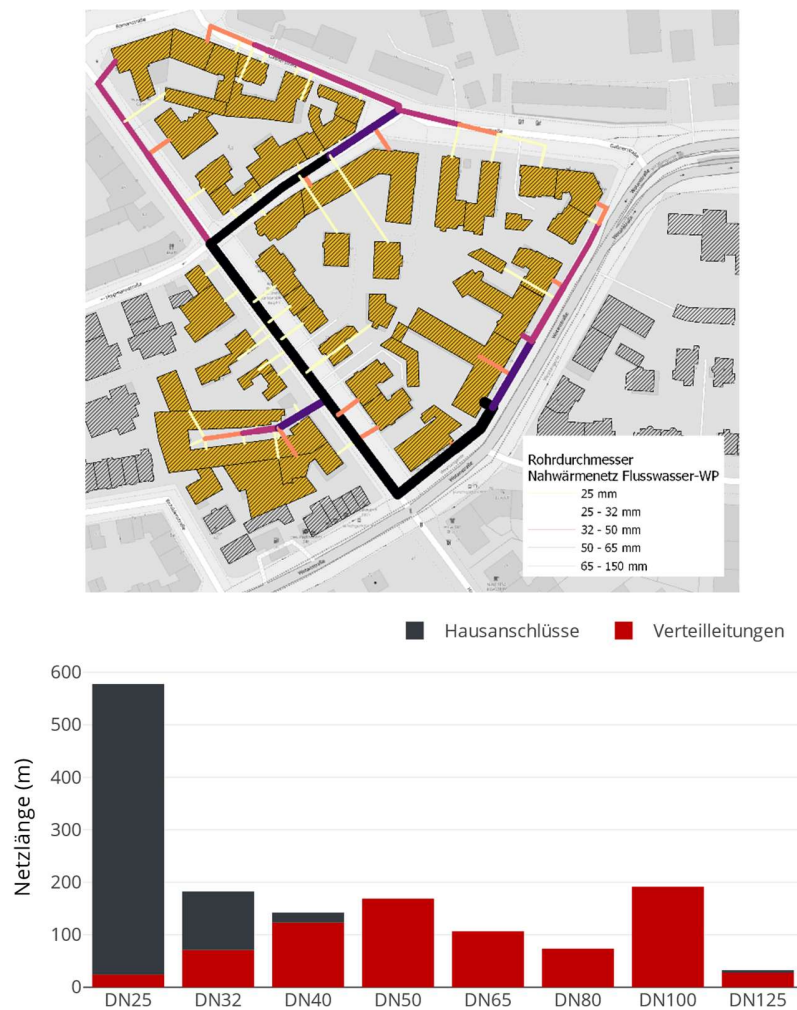


Tabelle 21: Tiefbau- und Materialkosten für Netzkomponenten nach KWW-Technikkatalog 2025 (befestigtes Terrain)

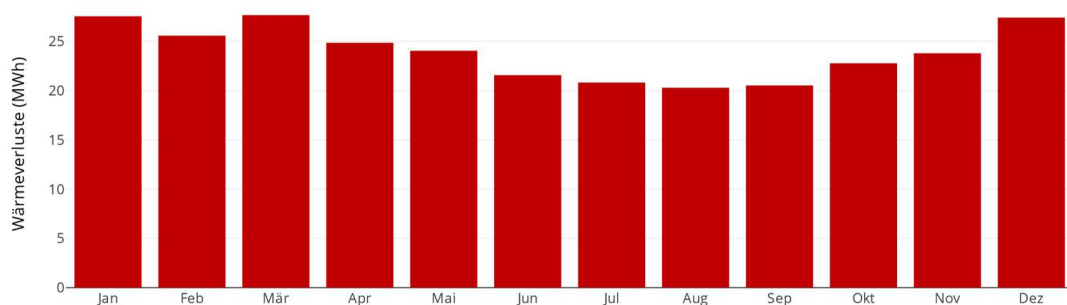
Netzkomponenten			Netzverlegekosten		
Rohrdurchmesser	Rohrlänge in m	Hausanschlüsse	min	max	mittel
DN25	24	32	276,192 €	303,120 €	289,656 €
DN32	71	10	125,180 €	197,600 €	161,390 €
DN40	123	1	90,000 €	213,000 €	151,500 €
DN50	169		118,300 €	287,300 €	202,800 €
DN65	107		92,341 €	239,680 €	166,011 €
DN80	73		65,919 €	166,440 €	116,180 €
DN100	192		241,344 €	554,880 €	398,112 €
DN125	28		39,956 €	85,680 €	62,818 €
Summe	787	43	1,049,232 €	2,047,700 €	1,548,466 €

4.2.2.2.3 Netzverluste

Die thermische Auslegung des Nahwärmenetzes erfolgt analog zum Abwasser-Wärmenetz im Quartier Münchner Freiheit mit einer Vorlauftemperatur von 75 °C und einer Rücklauftemperatur von 55 °C. Die Netz- und Erdbodentemperaturen entsprechen daher denselben Profilen aus Kapitel 4.2.1.1. Die daraus resultierenden monatlichen Wärmeverluste sind in Abbildung 23 zu sehen.

Die angeschlossenen Gebäude im zentralen Bereich des Quartiers wurden so gewählt, dass die Netzverluste mit 287 MWh_{th}/a nur rund 7 % der jährlich verbrauchten Wärmemenge im Quartier ausmachen.

Abbildung 23: Monatliche Wärmeverluste des Abwasser-WP-versorgten Nahwärmenetzes im Quartier Südliches Schloßbrondell



4.2.2.2.4 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit des abwasserbasierten Nahwärmenetzes wurde analog zur Betrachtung der anderen Nahwärmenetze analysiert. Die jährlichen Fixkosten wurden auf Grundlage der Investitionskosten und der jeweils typischen technischen Lebensdauern und laufenden Kosten (O&M) berechnet. Die daraus resultierenden jährlichen Fixkosten sind in Tabelle 22 zusammengefasst.

Tabelle 22: Jährliche Fixkosten für ein Nahwärmenetz zur Abwassernutzung im Quartier Südliches Schloßbrondell nach KWW-Technikkatalog 2025

Großwärmepumpe + Kanal-WÜ	MW_{th}	2,8
Investitionskosten	€	4 406 736 €
Annualisierte Investitionskosten	€/a	334 782 €
O&M	€/a	73 171 €
Pumpenstation	MW_{th}	2,8
Investitionskosten min.	€	194 177 €
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	11 316 €
Investitionskosten max.	€	292 673 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	17 056 €
Hausübergabestationen	Stk.	43
Annualisierte Investitionskosten Status Quo	€/a	35 613 €
O&M Status Quo	€/a	3 258 €
Annualisierte Investitionskosten saniert	€/a	43 221 €
O&M saniert	€/a	4 077 €
Wärmenetz + Hausanschlussleitungen	m	830
Investitionskosten min.	€	1 049 232 €
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	61 147 €
Investitionskosten max.	€	2 047 700 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	119 336 €
Summen mit BEW-Investitionsförderung		40 %
Annualisierte Investitionskosten min.	€/a	265 715 €
Annualisierte Investitionskosten max.	€/a	308 637 €
O&M min.	€/a	76 429 €
O&M max.	€/a	77 248 €
Overhead für Energiegenossenschaft		30%
Fixkosten Energiegenossenschaft	€/a	79 714 €
Leistungspreis Mittelspannungsnetz SWM	€/a	123 945 €
Gesamtfixkosten min.	€/a	545 804 €
Gesamtfixkosten max.	€/a	602 422 €

Aus den jährlichen Fixkosten und den in Tabelle 23 aufgeführten stromseitigen Betriebskosten der Großwärmepumpe wurden die Wärmegestehungskosten im entworfenen Wärmenetz berechnet. Dabei wurden dieselben systemischen Annahmen zu Temperaturniveaus, Jahresarbeitszahl und Stromkosten zugrunde gelegt wie bei der Nutzung des Schwabinger Bachs (vgl. Kapitel 4.2.1.1.4). Die Tabelle zeigt analog zum bisherigen Vorgehen die Betriebs- und Wärmegestehungskosten sowohl für das gesamte Quartier einschließlich Nichtwohngebäude als auch je Wohneinheit.

Tabelle 23: Jährliche Betriebskosten und Wärmegestehungskosten einer Nahwärmenetz-Lösung mit Abwasser-WP im Quartier Südliches Schloßbrondell nach KWW-Technikkatalog 2025

Anzahl Wohneinheiten	Stk.	490
Jahreswärmebedarf Status Quo	MWh _{th} /a	4290
Jahreswärmebedarf saniert	MWh _{th} /a	2695
Jahreswärmebedarf Status Quo WE	MWh _{th} /WE/a	3129
Jahreswärmebedarf saniert WE	MWh _{th} /WE/a	2114
Strompreis (inkl. Stromsteuer & NNE)	€/MWh _{el}	137,18 €
Jahresarbeitszahl	-	3,0
spez. Arbeitspreis Wärme	€/MWh _{th}	45,73 €
Stromkosten Status Quo	€/a	196 163 €
Stromkosten saniert	€/a	123 245 €
Stromkosten Status Quo je WE	€/WE/a	292 €
Stromkosten saniert je WE	€/WE/a	197 €
Netzverluste	MWh _{th} /a	287
Kosten Netzverluste	€/a	13 121 €
Summe Betriebskosten Status Quo	€/a	209 283 €
Summe Betriebskosten saniert	€/a	136 366 €
Summe Betriebskosten Status Quo je WE	€/WE/a	319 €
Summe Betriebskosten saniert je WE	€/ WE/a	224 €
Wärmegestehungskosten Status Quo min.	€/MWh_{th}	176 €
Wärmegestehungskosten Status Quo max.	€/MWh_{th}	301 €
Wärmegestehungskosten Status Quo nur WG min.	€/MWh_{th}	224 €
Wärmegestehungskosten Status Quo nur WG max.	€/MWh_{th}	242 €

Für das Quartier Südliches Schloßbrondell ergeben sich bei einer Wärmeversorgung auf Basis von Abwasser jährliche Fixkosten von rund 0,5-0,6 Mio. €/a. Den größten Anteil daran hat die zentrale Wärmeerzeugung durch eine Großwärmepumpe und Kanal-Wärmeübertrager mit jährlichen Fixkosten von etwa 335 T€/a, ergänzt um 73 T€/a für Betrieb und Instandhaltung. Der angesetzte betriebliche Overhead in Höhe von 30 % entspricht jährlichen Fixkosten von rund 136 T€/a und wirkt sich ebenso wie der Leistungspreis des Mittelspannungsnetzbetreibers von rund 124 T€/a deutlich auf die Gesamtkosten aus.

Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich auf rund 206 T€/a im Status quo bzw. 136 T€/a im sanierten Zustand und werden maßgeblich durch die Stromkosten der Wärmepumpe bestimmt. Aufgrund der kompakten Netzstruktur mit vergleichsweise kurzen Leitungslängen fallen die Netzverluste mit etwa 287 MWh_{th}/a gering aus. Zwar weist das Quartier eine relativ hohe Wärmeliniendichte auf, der zusätzliche technische Aufwand für die Erschließung der Abwasserwärme führt jedoch zu erhöhten spezifischen Kosten.

Insgesamt ergeben sich Wärmegestehungskosten von rund 17-30 ct/kWh_{th}, unter Berücksichtigung einer BEW-Investitionsförderung von 40%. Damit liegt die Abwasserlösung in diesem Quartier in einer ähnlichen Spannweite wie die Kosten der Nahwärmelösungen im Quartier Münchner Freiheit. Eine vertiefte Gegenüberstellung zentraler und dezentraler Versorgungsoptionen erfolgt in Kapitel 5.2.

4.2.2.2.5 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen der betrachteten Wärmenetzlösung wurden für die Jahre 2025 und 2040 bilanziert und in Tabelle 24 für unterschiedliche Gebäudestandards ausgewiesen. Die Emissionsberechnung basiert auf den in Kapitel 4.2.1.1.5 beschriebenen Annahmen zum Strommix. Die Ergebnisse werden sowohl für das Quartier insgesamt einschließlich der Nichtwohngebäude als auch wohneinheitsspezifisch dargestellt.

Für das Jahr 2025 zeigt sich, dass der Umstieg von einer gasbasierten Wärmeversorgung auf die Wärmenetzlösung zu einer deutlichen Reduktion der spezifischen Emissionen je Wohneinheit führt. Energetische Sanierungsmaßnahmen verstärken diesen Effekt zusätzlich, wenngleich die Emissionen aufgrund der aktuellen Stromemissionsfaktoren weiterhin auf einem vergleichsweise hohen Niveau verbleiben. Bis zum Jahr 2040 sinken die Treibhausgasemissionen in beiden Szenarien stark ab. Der Einfluss zusätzlicher Sanierungsmaßnahmen wird dabei deutlich geringer, da die Emissionsentwicklung zunehmend durch die Dekarbonisierung des Stromsystems geprägt ist.

Tabelle 24: Jährliche Treibhausgasemissionen einer Nahwärmenetz-Lösung mit Abwasser-WP im Quartier Südliches Schloßbrondell, berechnet nach (Lauf et al., 2025) und (Majer et al., 2024)

Treibhausgasemissionen		2025	2040
Emissionen gesamt gasversorgt Status Quo	t CO ₂ _{äq} /a	997	997
Emissionen je WE gasversorgt Status Quo	t CO ₂ _{äq} /WE/a	2,03	2,03
Emissionen gesamt Wärmenetz Status Quo	t CO ₂ _{äq} /a	636	43
Emissionen gesamt Wärmenetz saniert	t CO ₂ _{äq} /a	400	27
Emissionen je WE Wärmenetz Status Quo	t CO ₂ _{äq} /WE/a	0,95	0,06
Emissionen je WE Wärmenetz saniert	t CO ₂ _{äq} /WE/a	0,64	0,04

4.2.2.2.6 Genehmigungsfähigkeit und Umsetzungshemmnisse

Die genehmigungsrechtlichen Anforderungen für eine zentrale Abwasser-Wärmepumpenlösung entsprechen im Wesentlichen den bereits für das Quartier Münchner Freiheit dargestellten Rahmenbedingungen. Maßgeblich sind insbesondere die Vorgaben der Münchner Stadtentwässerung (MSE), wonach der ordnungsgemäße Betrieb des Abwassersystems sicherzustellen ist, einschließlich der Einhaltung zulässiger Abkühlungen, hydraulischer Randbedingungen und der Vermeidung thermischer Wechselwirkungen zwischen Wärmeübertragern.

Als wesentliches Umsetzungshemmnis wirkt darüber hinaus, dass es keinen geeigneten Standort für die Heizzentrale auf öffentlichen Flächen nahe dem Abwasserkanal gibt und somit private Flächen in Hinterhöfen oder ausreichend großen Kellern genutzt werden müssten.

4.2.3 Quartiers-Luft-Wärmepumpen

Quartiers-Luft-Wärmepumpen stellen eine zentrale, gebäudeunabhängige Versorgungsoption für dicht bebaute Quartiere dar. Ziel dieses Ansatzes ist es, die typischen Herausforderungen

konventioneller Luft-Wärmepumpen, insbesondere Schallemissionen, Flächenbedarf und ungünstige Aufstellbedingungen, durch eine spezielle konstruktive Ausführung zu überwinden.

Die Wärmepumpentechnik ist bei diesem Konzept in einem vertikalen, kompakten Baukörper (Turm) gebündelt, der innerhalb des Quartiers positioniert werden kann. Die Anlage arbeitet mit Außenluft als Wärmequelle und erreicht laut Datenblatt Vorlauftemperaturen bis zu 95 °C, sodass auch Bestandsgebäude mit Heizkörpersystemen angebunden werden können. Die vertikale Luftführung mit Abführung der ausgekühlten Abluft über die Turmspitze reduziert sowohl das Risiko von Kurzschlüssen zwischen Zu- und Abluft als auch die Schallabstrahlung in den umgebenden Stadtraum. Nach Herstellerangaben lassen sich dadurch sehr niedrige Schallpegel von etwa 30 dB(A) in 10 m Abstand erreichen, was den Einsatz auch in schalltechnisch sensiblen innerstädtischen Lagen ermöglichen kann. Die Heizleistung liegt bei einer Außentemperatur von -10 °C im Bereich von rund 300 bis 1.000 kW_{th} und erlaubt abhängig vom Gebäudestandard die Versorgung von etwa 125 Wohneinheiten im Altbau. Die Wärmeabgabe erfolgt über ein quartiersbezogenes Verteilnetz mit typischen Netztemperaturen von 75/40 °C, sodass sowohl unsanierte als auch teil- oder vollsanierte Bestandsgebäude eingebunden werden können. Für den Betrieb werden je nach Auslegung Jahresarbeitszahlen im Bereich von etwa 2,5 bis 3,0 angegeben, was für eine Luftwärmequelle im Hochtemperaturbetrieb als vergleichsweise günstig einzuordnen ist.

Der Flächenbedarf beträgt nach Herstellerangaben etwa 12 × 6 m für das Fundament zuzüglich einer umlaufenden Revisionsfläche von 3 m, was insgesamt eine Mindestfläche von rund 18 × 12 m (216 m²) erfordert. Zusätzlich sind das hohe Anlagengewicht und die erforderliche Gründung zu berücksichtigen, was den Einsatz auf wenige geeignete Standorte mit tragfähigem Untergrund begrenzt. Damit kann das Konzept insbesondere in Quartieren wie Münchner Freiheit und Südliches Schloßbrondell dort interessant sein, wo ausreichende Wärmelinien dicht vorliegen, flächenunabhängige Umweltwärmequellen wie Abwasser oder Fließgewässer nicht verfügbar sind und dennoch begrenzte öffentliche Flächen genutzt werden können. Darüber hinaus kann die Lösung auch für einzelne größere Liegenschaften mit hoher Wärmelast und geeigneten Aufstellflächen eine realistische Option darstellen. Im Quartier Münchner Freiheit wären dies beispielsweise die Grundschule an der Haimhauser Straße, die Katholische Akademie, die Klinik und Poliklinik für Dermatologie oder der Wohnblock der Münchner Zentralbaugenossenschaft im nördlichen Quartiersbereich. Im Quartier Südliches Schloßbrondell kämen insbesondere das Krankenhaus Barmherzige Brüder oder gegebenenfalls die Grundschule an der Südlichen Auffahrtsallee in Betracht.

Das Konzept sieht zusätzlich einen integrierten Großwärmespeicher (typisch mehrere 100 m³ je MW thermischer Leistung) in Kombination mit einem KI-basierten Last- und Betriebsmanagement vor. Ziel ist ein bevorzugter Betrieb der Wärmepumpe in Zeiten mit hohem Angebot an erneuerbarem Strom, um sowohl systemdienlich als auch potenziell kostengünstig zu agieren. Der Anbieter tritt dabei auch als Wärmecontractor, häufig in Joint Ventures mit lokalen Energieversorgern, auf. Eine belastbare Aussage zur Wirtschaftlichkeit ist zum jetzigen Zeitpunkt jedoch nur eingeschränkt möglich, da bislang lediglich eine Pilotanlage in Betrieb ist. Vor diesem Hintergrund erscheint der Ansatz als innovativ, aber noch nicht validiert und sollte im Rahmen weiterer Prüfungen vertieft betrachtet werden. Das Konzept

kann ähnlich wie die von der Wärmeleistung etwas kleineren Container-Wärmepumpen (siehe Kapitel 4.1.2.4) vor allem dort zum Einsatz kommen, wo ausreichend Fläche im Außenraum vorhanden ist und eine hohe Wärmelast durch möglichst einen oder wenige entscheidende Akteure besteht. Der Flächenbedarf für Container-WP liegt bei rund 30 m², für das System der vertikalen Großwärmepumpe bei rund 75 m². Infrage kommen hier insbesondere der Standort des Krankenhauses Barmherzige Brüder im Quartier Südliches Schloßbrondell, der Baublock der Münchner Zentralbaugenossenschaft im Norden des Quartiers Münchner Freiheit sowie die Schulen an der Haimhauser Str. oder an der Südlichen Auffahrtsallee.

4.2.4 Betreibermodelle

Tragfähige Betreibermodelle für Wärme- und Gebäudenetze müssen frühzeitig parallel zur technischen Planung entwickelt werden, da ihre Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit maßgeblich von organisatorischen und vertraglichen Rahmenbedingungen abhängen. Zunächst ist eine klare Rollenverteilung zwischen den beteiligten Akteuren festzulegen. Dabei sind insbesondere die Zuständigkeiten für Projektentwicklung, Investition, Betrieb und Abrechnung zu definieren. In der Praxis kommen hierfür Modelle mit kommunalen Versorgern, Contracting-Anbietern oder kooperative Ansätze mit Wohnungsunternehmen in Betracht.

Eine zentrale Voraussetzung für die Tragfähigkeit ist die frühzeitige Sicherung von Ankerkunden. Größere und kontinuierliche Wärmeabnehmer müssen möglichst früh identifiziert und über Absichtserklärungen oder Vorverträge eingebunden werden, um eine ausreichende Grundauslastung der Systeme sicherzustellen. Darauf aufbauend muss ein wirtschaftliches Zielmodell entwickelt werden, das die Wärmepreisstruktur, Anschlusskosten und Vertragslaufzeiten definiert und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dezentralen Alternativen gewährleistet.

Parallel dazu muss die Finanzierungsstruktur ausgearbeitet werden, die Förderprogramme wie die Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) und landesspezifische Förderungen (bspw. „Energiekredit Wärme“ der LfA Förderbank Bayern) integriert. Sensitivitätsanalysen, etwa hinsichtlich Anschlussquote, Energiepreisentwicklung und Investitionskosten sind notwendig, um die Robustheit des Geschäftsmodells abzusichern. Für die Umsetzung ist zudem eine Anschlussstrategie erforderlich, die bspw. preisliche Anreize, Kundenwerbung oder quartiersbezogene Kommunikationsformate zur Erhöhung der Anschlussquote beinhaltet. Gleichzeitig muss die rechtliche Struktur des Betreibermodells bspw. als Energiegenossenschaft, kommunal-privatwirtschaftliche Projektgesellschaft oder rein privates Energie-Contracting definiert werden.

Ein weiterer zentraler Schritt ist die Sicherung der notwendigen Flächen und Nutzungsrechte, insbesondere für Energiezentralen und Wärmequellen. Dies erfordert eine frühzeitige Abstimmung mit Eigentümern und Genehmigungsbehörden, da insbesondere wasserrechtliche, umweltschutzrechtliche, baurechtliche oder denkmalrechtliche Anforderungen die Realisierung beeinflussen.

Das Betreibermodell sollte zudem so ausgelegt werden, dass eine schrittweise Erweiterung möglich ist. Eine modulare Netzstruktur und flexible Organisationsformen ermöglichen es,

zusätzliche Gebäude oder Wärmequellen zu integrieren und das System langfristig weiterzuentwickeln.

4.3 Liegenschaften mit besonderen Herausforderungen: Krankenhaus Barmherzige Brüder (Quartier Südliches Schloßrondell)

Die CO₂-neutrale Energieversorgung des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder stellt eine besondere Herausforderung dar. Das Krankenhaus hat, wie viele andere Krankenhäuser, einen verglichen mit anderen Gebäudenutztypen sehr hohen Wärmeenergiebedarf pro Gebäudegeschossfläche. Dies liegt typischerweise in den drei folgenden Faktoren begründet:

- Hohe Innenraumtemperatur
- Sehr hohe Lüftungsraten
- Die Luftbefeuchtung erfolgt aus Hygienegründen mittels (Satt-)Dampf
- Prozesswärme für Sterilisation, etc.

Insbesondere die Dampferzeugung ist in Krankenhäusern ein sehr großer Energietreiber – sofern diese über ein zentrales System erfolgt. Im vorliegenden Fall wird für die Dampferzeugung mehr Erdgas eingesetzt als in den Heißwasserkesseln.

Die erarbeiteten Analysen und Versorgungsoptionen finden aufgrund der standortspezifischen Daten keinen Eingang in diese Veröffentlichung, sondern wurden Vertretern des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder erörtert und zur weiteren Verwendung übergeben.

5 Vergleich und Bewertung der Versorgungsoptionen

5.1 Bewertungsrahmen und Kriterien

Für den Vergleich der untersuchten dezentralen und zentralen Wärmeversorgungsoptionen wird ein einheitlicher Bewertungsrahmen angewendet, der sowohl quantitative als auch qualitative Kriterien umfasst. Ziel ist eine ganzheitliche und umsetzungsrelevante Einordnung der Versorgungsoptionen.

Die quantitative Bewertung erfolgt anhand der Treibhausgasemissionen sowie der jährlichen Kosten. Diese Kennzahlen erlauben eine vergleichbare Einschätzung der klima- und kostenseitigen Wirkungen der unterschiedlichen Systeme bei derzeitiger Umsetzung und im Zieljahr 2040.

Ergänzend werden im Rahmen einer qualitativen Bewertung rechtliche und organisatorische Umsetzbarkeit, Akzeptanz im Quartier, Versorgungssicherheit sowie Aspekte der Verteilungsgerechtigkeit betrachtet. Diese Kriterien sind insbesondere für innerstädtische Bestandsquartiere entscheidend, da sie die praktische Realisierbarkeit und langfristige Tragfähigkeit der Lösungen maßgeblich beeinflussen.

Alle Kriterien werden sowohl für dezentrale als auch für zentrale Wärmeversorgungs-lösungen angewendet, um die jeweiligen Stärken, Schwächen und Zielkonflikte transparent gegenüberzustellen. Eine grobe Gewichtung der Kriterien erfolgt anhand der Befragungsergebnisse unter Teilnehmenden der ersten Beteiligungsphase (s. Kapitel 6.1) in allen drei Quartieren. Die Teilnehmenden wurden gebeten, anzugeben, wie sie persönlich die Abwägung zwischen den Bewertungskriterien treffen würden, um ein Stimmungsbild im jeweiligen Quartier abzubilden. Es gab 6 Kriterien, die von 1 (oberste Priorität) bis 6 (unterste Priorität) bewertet wurden.⁵

⁵ Wenn die gleiche Zahl für mehrere Kriterien vergeben wurde (z. B. zweimal die 1 als oberste Priorität), wurde für die statistische Auswertung der Mittelwert der jeweiligen Rangplätze vergeben (z. B. 1.5 als Mittelwert von 1 und 2, da diese zwei Kriterien die oberen zwei Plätze belegen) und alle restlichen Zahlen entsprechend angepasst, damit die Bewertungen aller Teilnehmenden auf die gleiche 1-6 Skala passen und damit vergleichbar sind.

Tabelle 25: Priorisierung der Bewertungskriterien aus den Beteiligungsveranstaltungen.

Kriterium	Gesamt			Münchner Freiheit			Hochleite/Theodolindenplatz			Südliches Schloßbrondell		
	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n
Betriebskosten	2.29	1.07	56	2.38	1.02	16	2.57	1.25	22	1.89	0.76	18
Investitionskosten	2.54	1.27	56	2.88	1.45	16	2.34	1.20	22	2.47	1.18	18
THG-Emissionen	3.05	1.81	56	2.81	2.01	16	3.02	1.69	22	3.31	1.83	18
Zukunftsrisiken (Versorgungssicherheit)	3.74	1.41	56	3.56	1.50	16	3.45	1.41	22	4.25	1.26	18
Dauer (inkl. rechtlichen und Genehmigungshürden)	4.27	1.41	56	4.38	1.41	16	4.64	1.26	22	3.72	1.48	18
Akzeptanz	5.04	1.36	56	4.75	1.48	16	4.98	1.53	22	5.36	1.00	18

1 = oberste Priorität, 6 = unterste Priorität, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl

Die höchste Priorität wurde durchgängig den beiden Kostenkriterien eingeräumt. Nur im Quartier Münchner Freiheit wurden THG-Emissionen als leicht wichtiger bzw. ähnlich wichtig wie Investitionskosten eingestuft (aber weniger wichtig als die Betriebskosten). THG-Emissionen wurden im Schnitt als dritte Priorität eingestuft. Danach folgten erst Versorgungssicherheit und dann Dauer der Umsetzung bzw. Umsetzbarkeit (nur in Nymphenburg war diese Reihenfolge umgekehrt). Die Akzeptanz im Quartier wurde von den Teilnehmenden durchgängig als niedrigste Priorität bewertet.

5.2 Quantitative Bewertung

5.2.1 Jährliche Gesamtkosten

Die jährlichen Kosten stellen ein zentrales quantitatives Kriterium zur ökonomischen Bewertung der untersuchten Wärmeversorgungsoptionen dar. Sie ermöglichen einen technologieübergreifenden Vergleich der langfristigen spezifischen Kosten der Wärmeerzeugung für dezentrale und zentrale Lösungen im Quartierskontext.

Die Berechnung der jährlichen Kosten erfolgt auf Basis der annualisierten Investitionskosten der jeweils relevanten Systemkomponenten, ergänzt um laufende Betriebs- und Wartungskosten (O&M) sowie die energieträgerabhängigen Betriebskosten. Bei elektrisch betriebenen Wärmepumpensystemen sind dies insbesondere die Strom- und Netznutzungskosten, bei Wärmenetzlösungen zusätzlich die Kosten für Erzeugungsanlagen, Netzinfrastruktur und Hausübergabestationen. Die Investitionskosten der in den einzelnen Quartieren möglichen Versorgungsoptionen werden gemäß dem aktuellen Technikkatalog Wärmeplanung des Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende (Stand Oktober 2025) angesetzt. Die Berechnung der Wärmeversorgungssysteme erfolgt gebäudescharf für jedes Gebäude, für das die entsprechende Lösung zur Verfügung steht und basiert auf den aktualisierten Jahresnutzenenergieverbräuchen für Raumwärme und Trinkwarmwasser sowie der jeweils erforderlichen installierten Heizleistung. Die Annuitätenberechnung berücksichtigt

einen einheitlichen Kalkulationszins von 5 % sowie die im Technikkatalog hinterlegten systemspezifischen technischen Lebensdauern.

Die jährlichen Kosten werden sowohl quartiersbezogen für alle Gebäude inklusive Nichtwohngebäude als auch wohneinheitsspezifisch ausgewiesen. Die wohneinheitsspezifische Darstellung erfolgt ausschließlich für Gebäude, für die Angaben zur Anzahl der Wohneinheiten vorliegen. Auf diese Weise lassen sich neben der übergreifenden Perspektive auch potenzielle Verteilungswirkungen zwischen unterschiedlichen Gebäudetypen und Eigentümerstrukturen abbilden. Biomassekessel wurden nur für Gebäude berechnet, für die nach unserer Analyse keine anderen WP-basierten dezentralen oder zentralen Lösungsoptionen zur Verfügung stehen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass es sich um konzeptionelle Abschätzungen handelt. Die tatsächlichen Kosten können in der Umsetzung je nach Ausführungsvariante, Förderkulissen, Strompreisentwicklung und Betriebsstrategie abweichen. Dennoch bieten die berechneten Kosten eine robuste Vergleichsgröße zur Einordnung der Gesamtkosten der untersuchten Wärmeversorgungsoptionen.

In den Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden überregionale, zum Zeitpunkt der Analyse relevante Förderinstrumente berücksichtigt⁶. Für dezentrale Wärmepumpensysteme wird die Heizungsförderung im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) angesetzt, bestehend aus einer Grundförderung von 30 % sowie einem zusätzlichen Effizienzbonus von 5 % für Wärmepumpensysteme. Maßnahmen an der Gebäudehülle werden im Rahmen der BEG-Einzelmaßnahmen mit einem Fördersatz von 20 % berücksichtigt. Für zentrale Wärmenetzlösungen wird eine Investitionsförderung nach der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) in Höhe von 40 % der förderfähigen Investitionskosten angesetzt. Die Förderungen werden jeweils investitionsseitig berücksichtigt und reduzieren entsprechend die annualisierten Fixkosten der betrachteten Systeme.

Für die Ermittlung der jährlichen Kosten wurden technologiespezifische Preisannahmen für Energieträger und Netzentgelte zugrunde gelegt, die sich an aktuellen Markt- und Referenzdaten orientieren. Die Stromkosten für dezentrale Wärmepumpensysteme im Jahr 2025 wurden mit 25,9 ct/kWh_{el} angesetzt und basieren auf den Rahmendaten des Projektionsberichts 2025 (Förster et al., 2025). Für zentrale Großwärmepumpen wurde ein differenzierter Strompreis angenommen, der sich aus dem Großhandelspreis für 2025 in Höhe von 98,1 €/MWh_{el} (Kreidelmeyer & Kemmler, 2025), einem Arbeitspreis für das Mittelspannungsnetz von 3 €/MWh_{el} (SWM-Preisblatt Netzentgelte Strom 2026, Nutzung ≥ 2.500 h/a (SWM Infrastruktur, 2026)), der Stromsteuer von 20,5 €/MWh_{el} sowie den Netzentgelten des Übertragungsnetzes gemäß Strom-NEV § 19 in Höhe von 15,6 €/MWh_{el} zusammensetzt.

Für Biomassekessel wurde ein Pelletpreis von 72 €/MWh_{th} angesetzt. Dieser entspricht dem günstigsten Preisniveau für Lieferungen in der Münchner Innenstadt gemäß Vergleichsportalen im November 2025.

⁶ Daneben existiert ein kontinuierlich angepasstes städtisches Förderprogramm der LH München: [Förderung Klimaneutrale Gebäude \(FKG\) - Sachgebiet Förderprogramm Klimaneutrale Gebäude – Landeshauptstadt München](#)

Die Kosten für eine Versorgung über Fernwärme wurden auf Grundlage des Preisblatts der M-Fernwärme (Stand Oktober 2025) berücksichtigt. Hierbei wurden ein Arbeitspreis von 129,48 €/MWh_{th} sowie jährliche Fixkosten bestehend aus einem Grundpreis von 56,43 €/kW Anschlusswert, Kosten für einen Wärmemengenzähler in Höhe von 438 €/a und Auslesekosten von 55,56 €/a angesetzt.

Für gasbasierte Referenzsysteme wurde ein neuer Gastarif der Stadtwerke München gemäß Website-Informationen vom Oktober 2025 zugrunde gelegt. Dieser umfasst einen Arbeitspreis von 100,2 €/MWh_{th} sowie einen jährlichen Grundpreis von 128 €.

Die Wirtschaftlichkeit wurde im Rahmen der Untersuchungen nur statisch für den aktuellen Zeitpunkt (2025) betrachtet. Die THG-Emissionen wurden jedoch auch für das Jahr 2040 abgeschätzt, um der Dekarbonisierung der Stromgestehung Rechnung zu tragen und die Versorgungsoptionen im Kontext der Zielerreichung der Klimaneutralität zu bewerten.

5.2.1.1 Quartier Münchner Freiheit

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten dezentralen und zentralen Wärmeversorgungstechnologien sowie zwischen unsaniertem und saniertem Gebäudebestand. Die Auswertung erfolgt sowohl gebäudebezogen als auch wohneinheitsspezifisch, wobei für die Wohneinheiten eine durchschnittliche Wohnungsgröße von 79 m² zugrunde gelegt wird. Tabelle 26 gibt einen Überblick über die Anzahl der grundsätzlich geeigneten Gebäude und Wohneinheiten je Technologie und Sanierungszustand, wobei mehrfache Eignungen der Gebäude vorkommen können.

Tabelle 26: Zusammenfassung der geeigneten Gebäude und Wohneinheiten für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand im Quartier Münchner Freiheit

	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	Grundwasser-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Flusswasser	Wärmenetz Abwasser
Anzahl Gebäude Status Quo	78	175	62	31	7	48	87	131	67
Anzahl Wohneinheiten Status Quo	381	1082	663	657	76	453	1360	1068	643
Anzahl Gebäude saniert	156	195	62	31	10	100	87	131	67
Anzahl Wohneinheiten saniert	933	1351	663	657	89	745	1360	1068	643

5.2.1.1.1 Gebäudebezogene Betrachtung

In Abbildung 24 und Abbildung 25 sind die jährlichen Gesamtkosten je Gebäude im Quartier für unsanierte Gebäude und sanierte Gebäude jeweils für die zur Verfügung stehenden Technologien dargestellt. Die Darstellung umfasst damit sowohl Wohn- als auch Nichtwohngebäude im Quartier und integriert sowohl Sanierungskosten als auch gängige Fördersätze der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) und Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW). Die Gesamtkosten sind je Technologie sowohl ohne Förderung (breite Balken), als auch unter Berücksichtigung der genannten Förderungen (schmale Balken) dargestellt. Dabei gilt zu beachten, dass die gezeigten Kosten keinen direkten Vergleich der Optionen je Gebäude darstellen, sondern einen Gesamtvergleich der Optionen im Quartier. Als Referenz wurden die Kosten für eine neue Gasheizung mit aktuellen Gastarif der SWM sowie eine neue Hausübergabestation mit aktuellem Fernwärmetarif jeweils im Mittel über alle Gebäude mit aufgeführt.

Bei dieser gebäudebezogenen Betrachtung liegen im unsanierten Zustand (Abbildung 24) die jährlichen Gesamtkosten für dezentrale Grundwasser-WP am niedrigsten, gefolgt von Luft-WP mit Einzelgeräten und Kaskaden. Dachintegrierte und Aufdach-WP weisen in diesem Quartier aufgrund der Investitionskostenannahmen und der Struktur der hierfür geeigneten Gebäude die höchsten jährlichen Kosten auf. Bemerkenswerterweise liegen die Nahwärmelösungen mit Flusswasser- und Abwasser-WP in einem ähnlichen Bereich wie Pelletkessel und deutlich unterhalb der Kosten von dachintegrierten oder Aufdach-WP.

Die Referenzoptionen Gasversorgung und Fernwärmeversorgung zeichnen sich durch niedrige Invest- und vergleichsweise hohe Betriebskosten aus, während zentrale Lösungen wie das Wärmenetz auf Basis von Flusswasserwärme im Wesentlichen durch die Infrastruktur- und Erschließungskosten geprägt sind.

Mit Berücksichtigung von BEG- und BEW-Förderungen reduzieren sich die annualisierten Kosten der meisten Technologien deutlich. Energetische Sanierungsmaßnahmen führen auf Gebäudeebene zu einer weiteren Kostenreduktion im Betrieb, stehen jedoch erhöhten annualisierten Sanierungskosten gegenüber. Der wirtschaftliche Effekt ist daher technologiespezifisch und in allen Fällen im betrachteten Zeitraum von 30 Jahren nicht kostensenkend.

Abbildung 24: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Gebäude im Quartier Münchner Freiheit (unsanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung

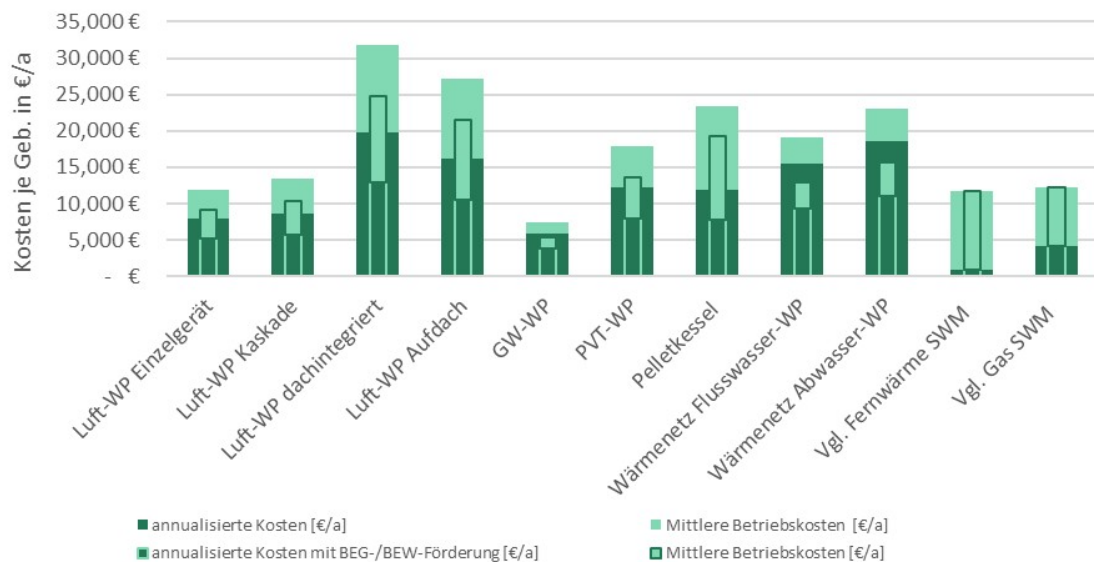
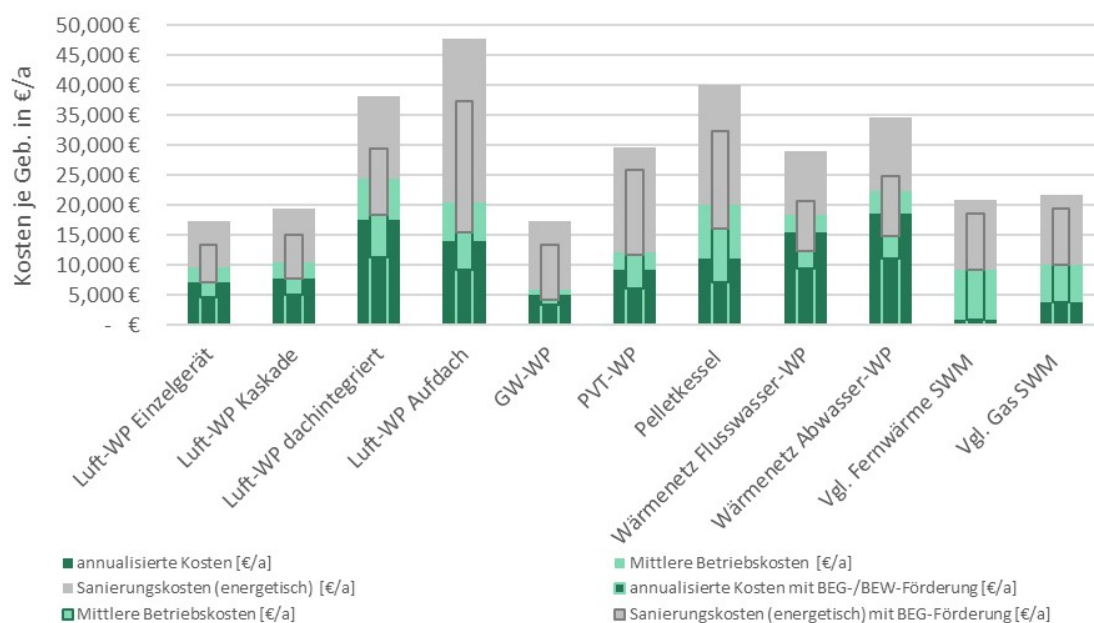


Abbildung 25: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Gebäude im Quartier Münchner Freiheit (sanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung



5.2.1.1.2 Wohneinheitsspezifische Betrachtung

In Abbildung 26 und Abbildung 27 sind die jährlichen Gesamtkosten in gleicher Weise wie zuvor, allerdings je Wohneinheit dargestellt. Die Darstellung umfasst damit nur Wohngebäude und berücksichtigt ebenfalls Investitionsförderungen für Heizsysteme, Sanierung und Wärmenetze. Diese wohneinheitsspezifische Betrachtung bietet eine bessere Vergleichbarkeit, da Einflüsse der Gebäudegröße weitgehend keine Rolle spielen und die ausgewiesenen Kosten den

voraussichtlich tatsächlich anfallenden jährlichen Kosten je Haushalt entsprechen. Jedoch stellen auch diese Kosten keinen Vergleich von Alternativen für ein Gebäude dar (weil nicht alle zur Verfügung stehen), sondern den Durchschnitt der Gesamtkosten im Quartier.

In dieser Betrachtung heben sich ebenfalls Grundwasser-Wärmepumpen als die kostengünstigste Versorgungsoption ab. Sie kombinieren vergleichsweise niedrige Investitionskosten mit sehr geringen Betriebskosten und weisen sowohl im unsanierten als auch im sanierten Zustand die niedrigsten Gesamtkosten je Wohneinheit auf.

Eine flächendeckende energetische Sanierung führt in der wohneinheitsspezifischen Betrachtung insgesamt zu einer deutlichen Angleichung der Gesamtkosten über nahezu alle Technologien hinweg. Nach Berücksichtigung von Fördermitteln liegen die meisten Versorgungsoptionen in einem ähnlichen Kostenkorridor von etwa 2.000 bis 2.500 € pro Wohneinheit und Jahr. Ausnahmen bilden Aufdach- und Grundwasser-WP mit niedrigeren Gesamtkosten im Bereich von 1500 €/a.

Auch in dieser Betrachtung wird deutlich, dass energetische Sanierungsmaßnahmen zwar die Betriebskosten reduzieren, aber im betrachteten Zeitraum von 30 Jahren nicht zu einer Reduktion der jährlichen Gesamtkosten führen. Gleichzeitig bringt eine Steigerung der Gebäudeeffizienz zwar nicht zwingend direkte wirtschaftliche Vorteile, aber einen Zugewinn an thermischem Komfort und damit auch eine Steigerung des Immobilienwertes. Diese Ergebnisse verdeutlichen jedoch auch eine Diskrepanz zwischen energiepolitischen Zielen und der aktuellen Praxis: In der Realität zeigt sich aufgrund der starken Preisanstiege für energetische Sanierungsmaßnahmen der letzten Jahre häufig eine Präferenz für den reinen Energieträgerwechsel ohne umfassende energetische Sanierung.

Abbildung 26: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Wohneinheit im Quartier Münchner Freiheit (unsanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung

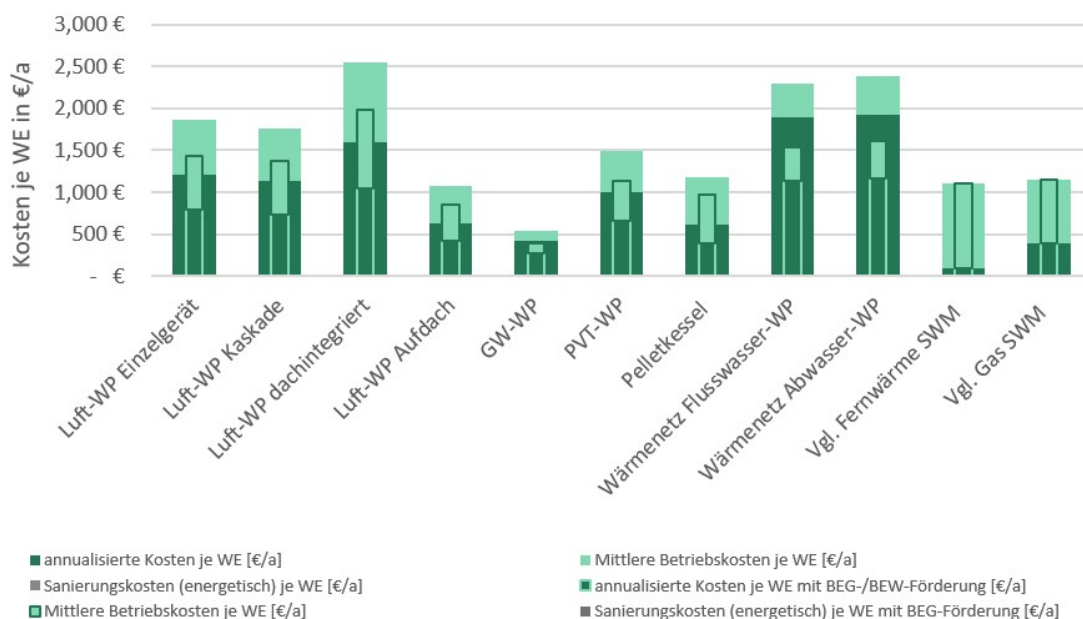
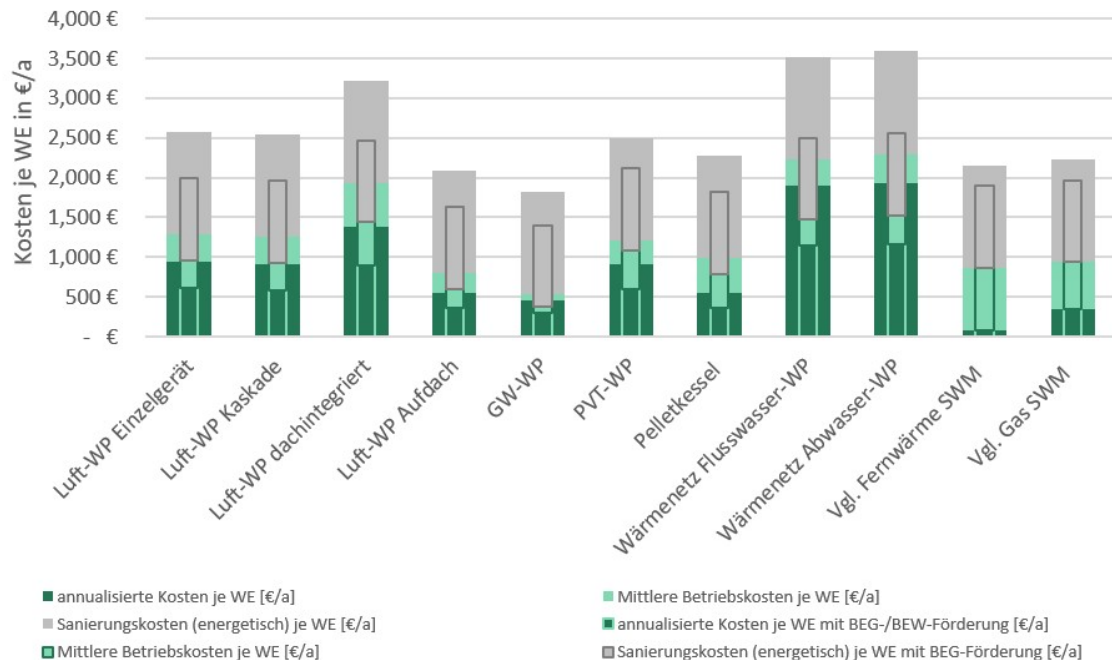


Abbildung 27: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Wohneinheit im Quartier Münchner Freiheit (sanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung



5.2.1.1.3 Wärmegestehungskosten

Um einen direkten Vergleich der im Quartier Münchner Freiheit grundsätzlich möglichen Versorgungsoptionen zu ermöglichen, wurden die Energiemengen-bezogenen Wärmegestehungskosten technologieübergreifend für ein einheitliches Beispielgebäude berechnet. Als Referenz dient ein viergeschossiges Mehrfamilienhaus mit einer Wärmeerzeugerleistung von 85 kW_{th} und Einzeldenkmalschutz. Die Berechnungen wurden für den Status quo und einen moderaten energetischen Sanierungszustand (Reduktion der Jahresenergiemengen um 20 %) durchgeführt, wobei die Sanierungskosten in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt wurden. Eine mögliche Verbesserung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpensystemen infolge energetischer Sanierungsmaßnahmen wurde aufgrund der nur eingeschränkt pauschalisierbaren Auswirkungen nicht berücksichtigt. Tabelle 27 zeigt die Wärmegestehungskosten in ct/kWh_{th} unter Berücksichtigung von BEG- bzw. BEW-Förderung bei förderfähigen Technologien und im Vergleich zu den Kosten bei neuem Fernwärmeanschluss und neuer Gasheizung.

Die niedrigsten Wärmegestehungskosten weisen auch im unsanierten Status Quo Grundwasser-Wärmepumpen mit rund 12 ct/kWh_{th} und Pelletkessel mit rund 13 ct/kWh_{th} auf. Die konventionellen Vergleichstechnologien mit neuer Gasheizung und neuem Fernwärmeanschluss liegen mit rund 14-15 ct/kWh_{th} etwas höher, aber dennoch am unteren Ende des Technologievergleichs. Diese dienen allerdings lediglich als ökonomischer Referenzrahmen. Unter den klimaneutralen Einzelgebäudelösungen liegen Grundwasser-Wärmepumpen und Pelletkessel mit etwa 12-13 ct/kWh_{th} im Status quo am günstigsten. Durch energetische Sanierung sinken die Kosten bei Grundwasser-Wärmepumpen weiter auf rund

12 ct/kWh_{th}, während die spezifischen Kosten von Pelletkesseln aufgrund der geringen Leistungsabhängigkeit der Investitionskosten leicht ansteigen.

Die Luft-Wärmepumpenlösungen liegen bei den Wärmegestehungskosten alle relativ nah beieinander. Als Einzelgeräte oder Kaskaden liegen sie bei rund 17-18 ct/kWh_{th} im Status quo und sinken im sanierten Zustand auf etwa 15-16 ct/kWh_{th}. Aufdach- und dachintegrierte Lösungen liegen leicht darüber, bleiben jedoch ebenfalls unter 20 ct/kWh_{th}. PVT-Wärmepumpen weisen vergleichbare Kosten auf, profitieren jedoch weniger stark von der Sanierung.

Die zentralen Wärmenetzlösungen auf Basis von Flusswasser- und Abwasserwärmenutzung liegen mit etwa 21-22 ct/kWh_{th} über den dezentralen Wärmepumpenlösungen. Durch energetische Sanierung sinken die Wärmegestehungskosten moderat, insbesondere beim Abwasserwärmenetz.

Insgesamt zeigt der Vergleich am Beispielgebäude, dass sich die klimaneutralen Versorgungsoptionen in einer vergleichsweise engen Kostenbandbreite bewegen und im sanierten Zustand teilweise deutlich näher an die Kosten konventioneller Neuanlagen heranrücken. Dezentrale Lösungen liegen bei den Wärmegestehungskosten unterhalb der zentralen Lösungen, allerdings stehen diese nicht überall zur Verfügung und sie sind für die Einzelakteure mit höheren Investitionskosten, dafür aber wesentlich niedrigeren Betriebskosten verbunden.

Tabelle 27: Wärmegestehungskosten für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand mit BEG-/BEW-Förderung für ein typisches Gebäude im Quartier Münchner Freiheit

[ct/ kWh _{th}]	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	Grundwasser-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Flusswasser	Wärmenetz Abwasser	Vgl. neue Fernwärme	Vgl. neue Gasheizung
Wärmegestehungskosten Status Quo	17,7	17,7	19,6	18,3	12,4	17,4	12,7	22,1	20,7	14,5	13,8
Wärmegestehungskosten saniert	15,8	15,8	17,9	16,5	11,5	16,0	13,4	21,2	19,6	14,6	14,3

5.2.1.2 Quartier Südliches Schloßbrondell

Für das Quartier Südliches Schloßbrondell wurden die jährlichen Gesamtkosten der betrachteten Versorgungsoptionen auf Grundlage der jeweils geeigneten Gebäude und Wohneinheiten ermittelt, welche in Tabelle 28 aufgelistet sind. Hierbei können Gebäude für

mehrere Technologien geeignet sein. Die durchschnittliche Wohnungsgröße im Quartier beträgt rund 75 m² und liegt damit etwas unter derjenigen im Quartier Münchner Freiheit.

Tabelle 28: Zusammenfassung der geeigneten Gebäude und Wohneinheiten für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand im Quartier Südliches Schloßbrondell

	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	Grundwasser-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Abwasser
Anzahl Gebäude Status Quo	29	88	20	23	23	16	17	43
Anzahl Wohneinheiten Status Quo	78	405	249	128	81	65	251	490
Anzahl Gebäude saniert	78	105	20	23	14	47	17	43
Anzahl Wohneinheiten saniert	367	548	249	128	31	264	251	490

5.2.1.2.1 Gebäudebezogene Betrachtung

Analog zum Vorgehen im Quartier Münchner Freiheit werden auch für dieses Quartier zunächst die jährlichen Gesamtkosten je Gebäude betrachtet. Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen die Gesamtkosten für Wohn- und Nichtwohngebäude im unsanierten und sanierten Zustand, jeweils im Vergleich der grundsätzlich verfügbaren Versorgungstechnologien. Als Referenz sind zudem die Kosten für eine neue Gasheizung sowie für eine neue Hausübergabestation mit aktuellem Fernwärmetarif jeweils im Mittel über alle Gebäude dargestellt.

Auffällig sind die vergleichsweise hohen gebäudebezogenen jährlichen Gesamtkosten für Aufdach-Luft-Wärmepumpen. Der Wert von fast 35 T€/a wird vor allem durch einen großen Apartmentblock im Quartier verursacht, der aufgrund seines hohen Wärmebedarfs die Kostenverteilung dominiert. Gerade bei großen Gebäuden mit hohen gebäudespezifischen Gesamtkosten zeigt sich, dass eine energetische Sanierung zu einer deutlichen Reduktion der jährlichen Kosten führen kann. Demgegenüber steigen bei kleineren Gebäuden mit vergleichsweise geringen gebäudespezifischen Kosten analog zu den Ergebnissen im Quartier Münchner Freiheit die jährlichen Gesamtkosten größtenteils an. Ursache hierfür sind die zusätzlichen Investitionskosten der Sanierung im betrachteten Zeitraum von 30 Jahren, die bei geringem absoluten Einsparpotenzial nicht vollständig durch reduzierte Betriebskosten kompensiert werden. Diesem erheblichen Einsparpotenzial steht das bekannte Mieter-Vermieter-Dilemma gegenüber: Während Mieterinnen und Mieter im unsanierten Zustand von

hohen laufenden Betriebskosten betroffen sind, müssen Vermieter zunächst die Investitionen für energetische Sanierungen tragen und haben wenig Anreiz, diese umzusetzen.

Wie bereits im Quartier Münchner Freiheit zeigen vor allem Grundwasser-WP und klassische Luft-WP strukturell vergleichsweise günstige gebäudebezogene Kosten. Der Grund hierfür ist, dass diese Technologien dort zum Einsatz kommen, wo kleinere Gebäude vollständig mit diesen Technologien versorgt werden können. In diesen Fällen führen die geringeren installierten Leistungen und Wärmemengen zu niedrigeren jährlichen Gesamtkosten.

Abbildung 28: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Gebäude im Quartier Südliches Schloßbrondell (unsanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung

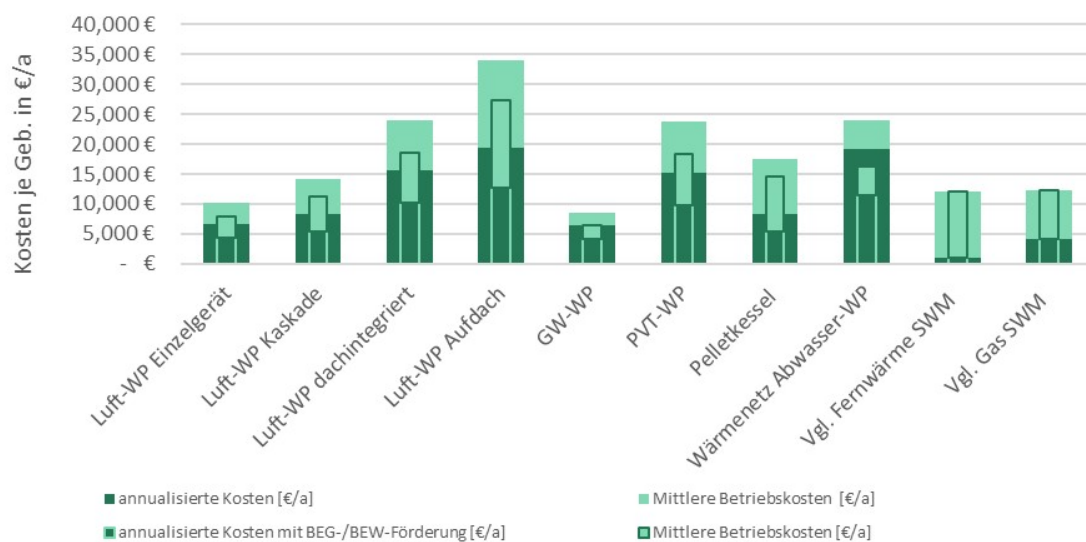
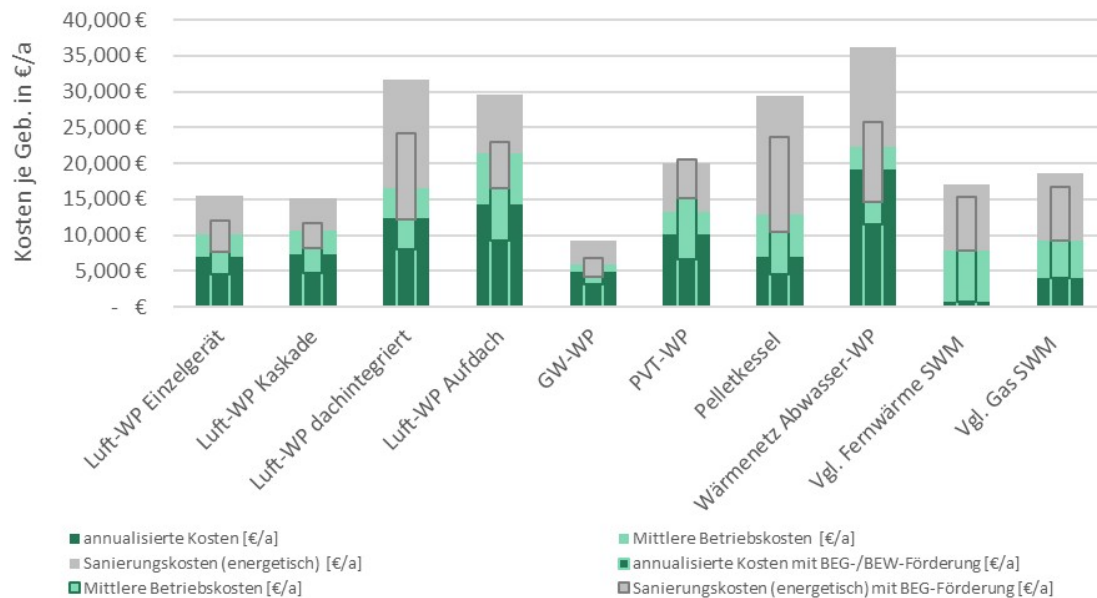


Abbildung 29: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Gebäude im Quartier Südliches Schloßbrondell (sanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung



5.2.1.2.2 Wohneinheitsspezifische Betrachtung

Ergänzend zur gebäudebezogenen Analyse zeigen Abbildung 30 und Abbildung 31 die jährlichen Gesamtkosten je Wohneinheit und somit nur für Wohngebäude. Diese Betrachtung erlaubt eine bessere Einordnung der Kostenbelastung auf Ebene der einzelnen Haushalte.

In der wohneinheitsspezifischen Betrachtung weisen Pelletkessel in den entsprechenden Gebäuden die niedrigsten jährlichen Gesamtkosten auf. Mit etwa 1.000 €/a je Wohneinheit liegen sie deutlich unter den Kosten einer neuen Gasheizung und stellen damit aus rein ökonomischer Sicht die günstigste Versorgungsoption dar.

Das Abwasser-Nahwärmenetz weist ohne Berücksichtigung von Fördermitteln jährliche Kosten von rund 2.000 €/a je Wohneinheit auf und liegt damit auf einem ähnlichen Kostenniveau wie ein neuer Fernwärmeanschluss. Auch die betrachteten Wärmepumpensysteme bewegen sich in einer vergleichbaren Größenordnung. Innerhalb der Wärmepumpenlösungen zeigen sich leichte Unterschiede, wobei dachintegrierte Systeme in den jeweils geeigneten Gebäuden die niedrigsten wohneinheitsspezifischen Kosten aufweisen.

Im sanierten Zustand ist analog zu den vorherigen Betrachtungen eine Annäherung der jährlichen Kosten über alle Technologien hinweg zu beobachten. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Versorgungsoptionen nehmen ab, da der reduzierte Wärmebedarf die Betriebskosten senkt, während die Investitions- und Sanierungskosten einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten haben.

Abbildung 30: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Wohneinheit im Quartier Südliches Schloßbrondell (unsanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung

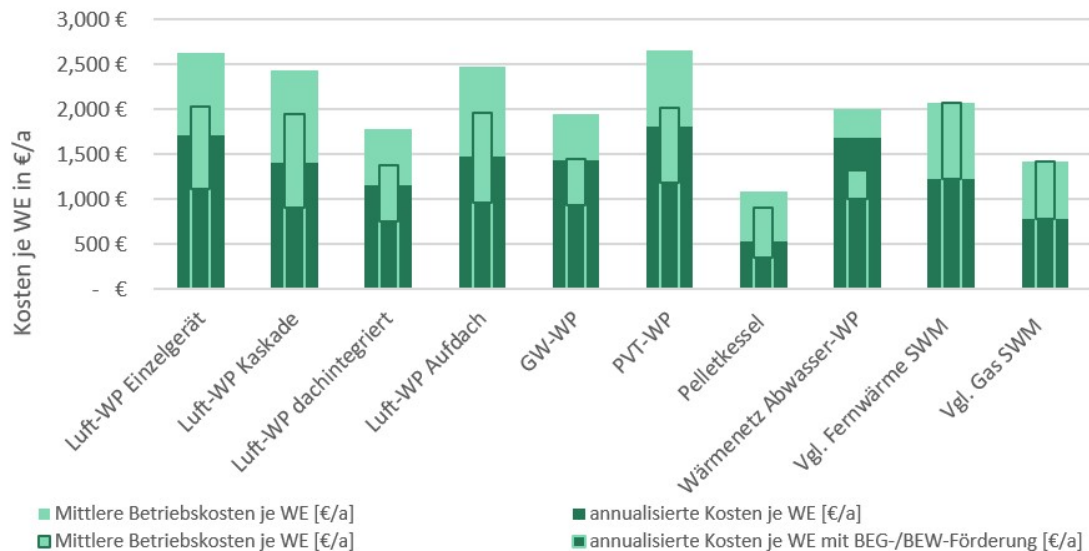
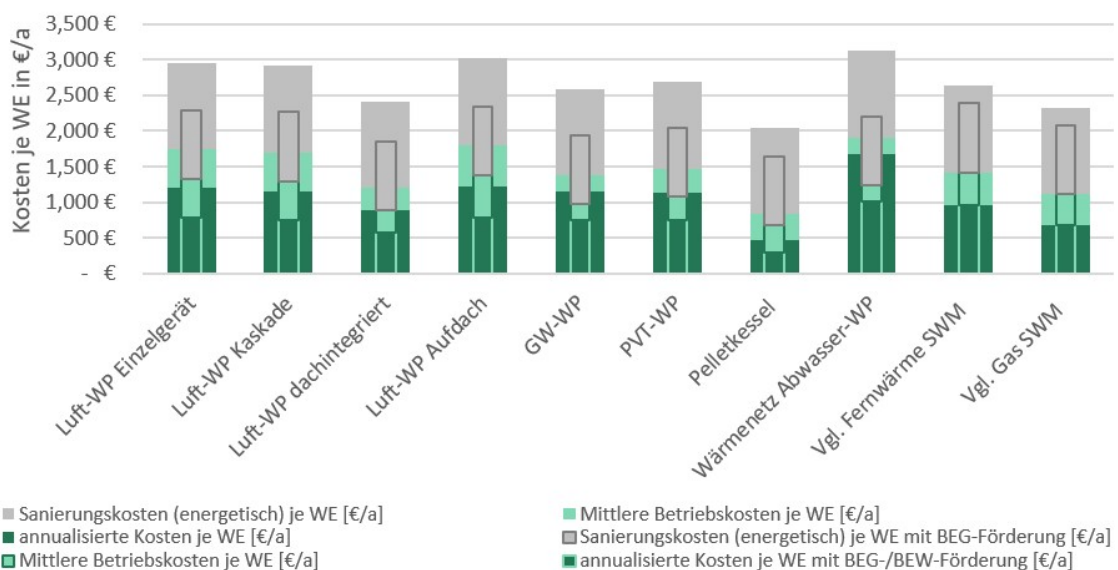


Abbildung 31: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Wohneinheit im Quartier Südliches Schloßbrondell (sanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung



5.2.1.2.3 Wärmegestehungskosten

Zur Einordnung der Wärmegestehungskosten im Quartier wurden diese analog zur vorherigen Betrachtung für ein einheitliches Beispielgebäude ermittelt. Betrachtet wird ein dreigeschossiges Wohngebäude ohne Denkmal-Schutzstatus mit einer Wärmeerzeugerleistung von 55 kW_{th}. Die Berechnungen erfolgen für den Status quo sowie für einen sanierten Zustand unter Berücksichtigung von BEG- bzw. BEW-Förderung (Tabelle 29).

Im Unterschied zum Quartier Münchner Freiheit zeigen sich im Quartier Südliches Schloßrondell bei allen dezentralen Versorgungsoptionen steigende Wärmegestehungskosten im sanierten Zustand. Ursache hierfür ist der stark reduzierte Jahresenergiebedarf infolge der Sanierung, der sich bei diesem Gebäude im Durchschnitt nahezu halbiert. Die weitgehend konstanten Investitionskosten werden dadurch auf eine deutlich geringere Wärmemenge umgelegt, was zu höheren spezifischen Kosten führt.

Im Status quo liegen die Wärmegestehungskosten dezentraler Wärmepumpenlösungen überwiegend zwischen rund 20 und 22 ct/kWh_{th}. Grundwasser-Wärmepumpen und Pelletkessel weisen mit etwa 15 ct/kWh_{th} die niedrigsten Kosten auf und liegen damit auf einem Niveau mit der Vergleichsoption neue Fernwärme. Die Wärmenetzlösung mit Abwassernutzung stellt mit fast 24 ct/kWh_{th} die teuerste Option im unsanierten Zustand dar.

Im sanierten Zustand steigen die Wärmegestehungskosten dezentraler Lösungen deutlich an. Luftbasierte Wärmepumpen liegen dann bei etwa 22-26 ct/kWh_{th}, PVT-Wärmepumpen bei rund 23 ct/kWh_{th}. Auch Grundwasser-Wärmepumpen und Pelletkessel verzeichnen einen Anstieg auf rund 18 ct/kWh_{th}. Im Gegensatz dazu sinken die Wärmegestehungskosten des Abwasserwärmenetzes im sanierten Zustand leicht auf etwa 22 ct/kWh_{th}, da die Netzinfrastruktur weitgehend unabhängig vom individuellen Gebäudeenergiebedarf ist.

Insgesamt zeigt sich, dass energetische Sanierungen im Quartier Südliches Schloßrondell zwar zu einer Reduktion der absoluten jährlichen Kosten führen, jedoch bei dezentralen Versorgungsoptionen mit steigenden spezifischen Wärmegestehungskosten einhergehen. Zentrale Lösungen wie das Abwasserwärmenetz gewinnen dadurch im sanierten Zustand relativ an ökonomischer Attraktivität, während die Rangfolge der dezentralen Technologien untereinander weitgehend erhalten bleibt.

Tabelle 29: Wärmegestehungskosten für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand mit BEG-/BEW-Förderung für ein typisches Gebäude im Quartier Südliches Schloßrondell

[ct/ kWh _{th}]	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	Grundwasser-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Abwasser	Vgl. neue Fernwärme	Vgl. neue Gasheizung
Wärmegestehungskosten Status Quo	19,9	19,9	22,4	20,7	14,8	20,1	14,8	23,9	14,8	15,3
Wärmegestehungskosten saniert	22,3	22,3	25,8	23,5	17,6	22,9	18,7	21,7	15,5	18,3

5.2.1.3 Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

Für das Quartier Hochleite/Theodolindenplatz wurden die jährlichen Gesamtkosten der betrachteten Versorgungsoptionen auf Basis der jeweils geeigneten Gebäude und Wohneinheiten berechnet. Die Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten je Versorgungstechnologie ist in Tabelle 30 zusammengefasst. Mit einer durchschnittlichen Wohnungsgröße von rund 118 m² liegt das durch Vorstadtvillen geprägte Quartier deutlich über den anderen Quartieren, was bei der Bewertung der absoluten Kosten zu berücksichtigen ist.

Tabelle 30: Zusammenfassung der geeigneten Gebäude und Wohneinheiten für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	PVT-WP	Wärmenetz Flusswasser
Anzahl Gebäude Status Quo	27	70	16	11	4	74
Anzahl Wohneinheiten Status Quo	52	210	17	43	15	226
Anzahl Gebäude saniert	151	226	17	43	70	74
Anzahl Wohneinheiten saniert	51	74	16	6	15	226

5.2.1.3.1 Gebäudebezogene Betrachtung

In Abbildung 32 und Abbildung 33 sind die jährlichen Gesamtkosten je Gebäude im Quartier für unsanierte Gebäude und sanierte Gebäude jeweils für die zur Verfügung stehenden Technologien dargestellt. Als Referenz sind wieder die Kosten für eine neue Gasheizung sowie für eine neue Hausübergabestation mit aktuellem Fernwärmetarif jeweils im Mittel über alle Gebäude dargestellt.

Abbildung 32: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Gebäude im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz (unsanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung

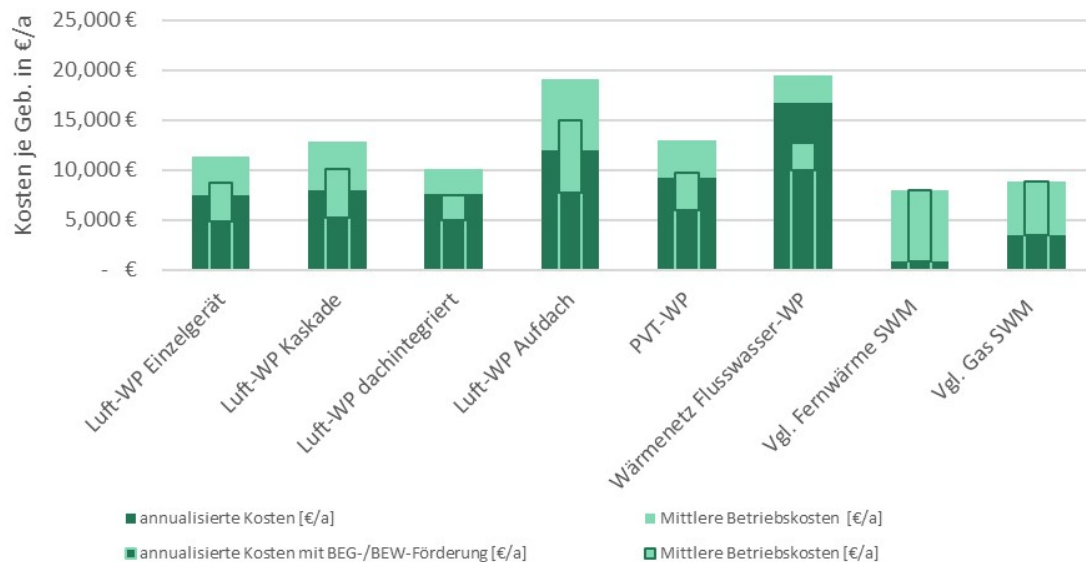
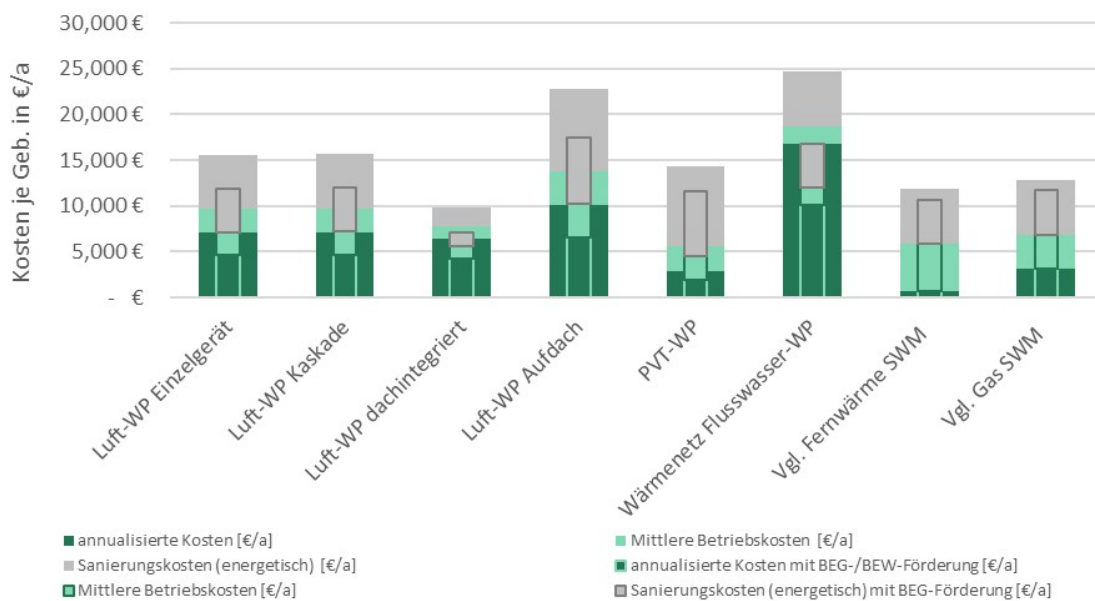


Abbildung 33: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Gebäude im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz (sanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung



5.2.1.3.2 Wohneinheitsspezifische Betrachtung

Zur besseren Vergleichbarkeit der jährlichen Kostenbelastung je Haushalt zeigen Abbildung 34 und Abbildung 35 die jährlichen Gesamtkosten je Wohneinheit und beziehen sich damit ausschließlich auf Wohngebäude. Die Darstellung erfolgt jeweils für den unsanierten sowie den sanierten Zustand.

In der wohneinheitsspezifischen Betrachtung erweisen sich dachintegrierte Luft-Wärmepumpen in den jeweils geeigneten Gebäuden mit Abstand als kostenintensivste Versorgungsoption. Die zentrale Lösung auf Basis einer Flusswasser-Wärmepumpe weist im Vergleich hierzu zwar geringere Kosten auf, liegt jedoch im Mittel über alle Gebäude bei etwa dem Doppelten der jährlichen Kosten der konventionellen Referenztechnologien Erdgas und Fernwärme.

PVT-Wärmepumpen stellen dort, wo sie technisch umsetzbar sind, die mit Abstand kostengünstigste Versorgungsoption dar. Dieses Ergebnis ist jedoch auch strukturell bedingt, da diese Technologie überwiegend bei Gebäuden mit vergleichsweise niedrigen Heizlasten bei großen Dachflächen eingesetzt werden kann.

Auch in diesem Quartier zeigt sich der in den anderen Quartieren beobachtete Trend, dass energetische Sanierungen bei einer Annualisierung der Kosten über einen Zeitraum von 30 Jahren nur dann zu einer Reduktion der jährlichen Gesamtkosten führen, wenn zuvor die Betriebskosten auf sehr hohem Niveau waren. Dies ist insbesondere bei Gebäuden mit dachintegrierten Luft-Wärmepumpen der Fall. In den übrigen Fällen überwiegen die zusätzlichen Investitionskosten der Sanierung die Einsparungen bei den Betriebskosten, sodass die jährlichen Kosten je Wohneinheit tendenziell ansteigen.

Abbildung 34: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Wohneinheit im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz (unsanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung

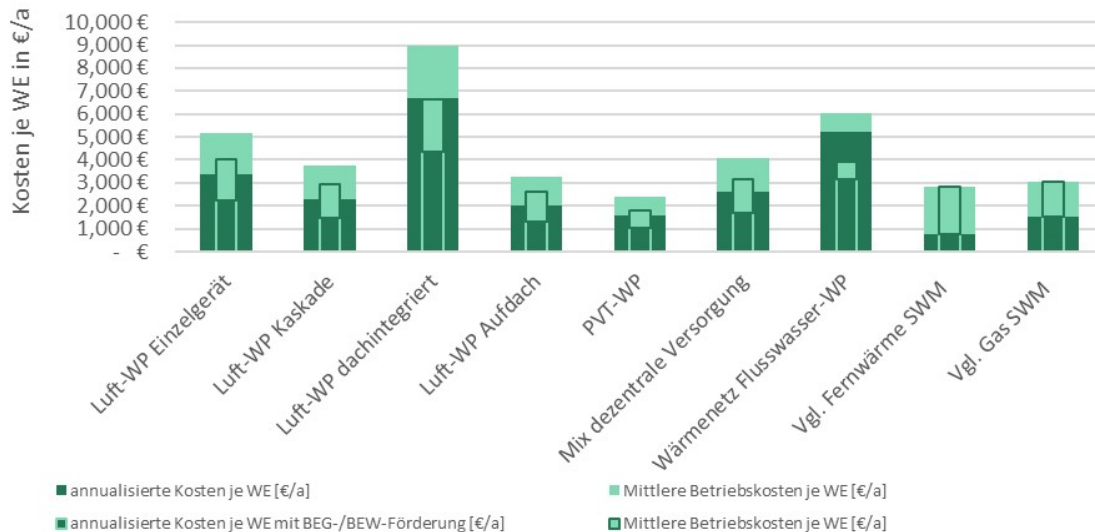
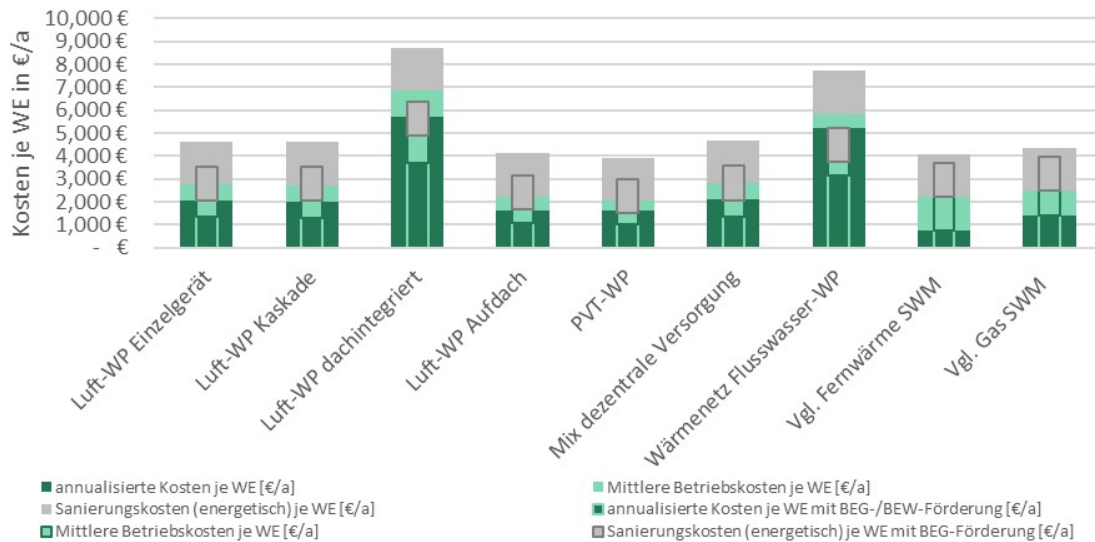


Abbildung 35: Annualisierte Investitions- und Betriebskosten je Wohneinheit im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz (sanierter Zustand), mit und ohne BEG-/BEW-Förderung



5.2.1.3.3 Wärmegestehungskosten

Zur vergleichenden Einordnung der im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz möglichen Versorgungsoptionen wurden die Wärmegestehungskosten für ein einheitliches Beispielgebäude ermittelt. Betrachtet wird ein dreigeschossiges Wohngebäude mit einer Wärmeerzeugerleistung von 60 kW_{th} und Ensembleschutz. Die Berechnungen wurden für den Status quo sowie für einen sanierten Zustand unter Berücksichtigung von BEG- bzw. BEW-Förderung durchgeführt und die Ergebnisse in Tabelle 31 aufgelistet.

Im Status quo weisen Pelletkessel mit etwa 15 ct/kWh_{th} die niedrigsten Wärmegestehungskosten unter den klimaneutralen Einzelgebäudelösungen auf und liegen damit auf einem ähnlichen Niveau wie die Vergleichsoptionen neue Fernwärme und neue Gasheizung. Luftbasierte Wärmepumpenlösungen bewegen sich überwiegend in einem Kostenbereich von rund 20-22 ct/kWh_{th}, wobei dachintegrierte Systeme die höchsten spezifischen Kosten aufweisen. PVT-Wärmepumpen liegen mit etwa 21 ct/kWh_{th} im oberen Bereich der dezentralen Lösungen.

Das zentrale Wärmenetz auf Basis von Flusswasser weist im Status quo mit rund 32 ct/kWh_{th} erwartungsgemäß deutlich höhere Wärmegestehungskosten auf als alle dezentralen Optionen. Ursache hierfür sind die hohen spezifischen Kosten der Netzinfrastruktur bei gleichzeitig begrenzter Wärmedichte im Quartier.

Im sanierten Zustand sinken die Wärmegestehungskosten der meisten dezentralen Wärmepumpenlösungen leicht. Demgegenüber steigen die Wärmegestehungskosten von Pelletkesseln auf etwa 16 ct/kWh_{th}, was auf die geringere jährliche Wärmemenge bei nahezu konstanten Investitionskosten zurückzuführen ist. Auch die Vergleichsoptionen neue Fernwärme und neue Gasheizung verzeichnen einen moderaten Anstieg. Das

Flusswasserwärmenetz bleibt auch im sanierten Zustand mit rund 30 ct/kWh_{th} die kostenintensivste Option, profitiert jedoch leicht von der reduzierten Wärmenachfrage.

Tabelle 31: Wärmegestehungskosten für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand mit BEG-/BEW-Förderung für ein typisches Gebäude im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

[ct/ kWh _{th}]	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Flusswasser	Vgl. neue Fernwärme	Vgl. neue Gasheizung
Wärmegestehungskosten Status Quo	19,9	19,9	22,4	20,7	20,6	14,6	31,9	14,8	15,2
Wärmegestehungskosten saniert	18,7	18,7	21,5	19,6	20,2	16,4	30,3	15,1	16,5

5.2.2 THG-Emissionen

Die Landeshauptstadt München verfolgt das Ziel, bis zum Jahr 2035 Klimaneutralität zu erreichen. Da für dieses Zieljahr in den meisten Energiesystemstudien keine belastbaren Emissionsfaktoren vorliegen, wurden die Treibhausgasemissionen der untersuchten Wärmenetzlösung sowie der dezentralen Versorgungsoptionen für die Jahre 2025 und 2040 bilanziert. Betrachtet werden ausschließlich Betriebsemissionen, Emissionen aus Herstellung, Errichtung, Wartung oder Rückbau der Anlagen (Life-Cycle-Assessment) sind nicht Bestandteil der Analyse.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Zieljahr 2040 auch ein alleiniger Energieträgerwechsel ohne zusätzliche Verbesserung der energetischen Gebäudequalität zu einer nahezu klimaneutralen Wärmeversorgung führen kann. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass in diesem Fall die kumulierten Treibhausgasemissionen bis 2040 deutlich höher ausfallen als bei einer kombinierten Strategie aus Wärmenetzlösung und energetischer Sanierung der Gebäude. Aus klimapolitischer Sicht ist daher nicht allein das Emissionsniveau im Zieljahr maßgeblich, sondern auch das bis dahin ausgeschöpfte Emissionsbudget.

5.2.2.1 Quartier Münchner Freiheit

Für das Quartier Münchner Freiheit wurden die Treibhausgasemissionen exemplarisch für ein viergeschossiges Mehrfamilienhaus mit einer Wärmeerzeugerleistung von 85 kW_{th} und Einzeldenkmalschutz ermittelt. Berücksichtigt werden ausschließlich die THG-Emissionen der Wärmebereitstellung; Emissionen aus Luftschadstoffen wie Stickoxiden oder Feinstaub, insbesondere aus Biomassefeuerungen, sind nicht Bestandteil der Bewertung.

Tabelle 32 stellt die jährlichen Treibhausgasemissionen möglicher dezentraler und zentraler Wärmeversorgungstechnologien im Quartier für den Status quo sowie für einen sanierten Gebäudestandard gegenüber. Die Ergebnisse zeigen, dass im Jahr 2025 unter den Wärmepumpensystemen Grundwasser-WP aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Jahresarbeitszahl die niedrigsten Emissionen aufweist. Erwartungsgemäß liegen die Gebäude-Emissionen beim gasbasierten Referenzsystem um etwa ein Drittel höher. Die Fernwärmeversorgung der SWM hat derzeit nach Informationen der SWM-Kennzeichnung⁷ einen Emissionsfaktor von 66 g CO₂äq/kWh_{th}, weshalb die THG-Emissionen des Beispielgebäudes sehr gering ausfallen. Pelletkessel weisen ebenfalls vergleichsweise niedrige CO₂-Emissionen auf, wobei auf den Faktor von 0,036 auf den Angaben des BAFA⁸ zurückgegriffen wurde und nicht-klimarelevante Emissionen unberücksichtigt bleiben. Den aktuell niedrigen THG-Emissionen von Pelletkesseln und anderen Biomassefeuerungen stehen höhere Emissionen im Jahr 2040 gegenüber, in dem die Emissionen von strombasierten Systemen deutlich geringer ausfallen.

Im Jahr 2040 sinken die Emissionen der strombetriebenen Wärmepumpensysteme sowie der Wärmenetzlösungen auf Basis von Fluss- oder Abwasser nahezu auf null. Auch hier zeigt sich, dass eine energetische Sanierung der Gebäude den verbleibenden Emissionsausstoß weiter reduziert, während ein Verzicht auf Sanierungsmaßnahmen zwar klimaneutrale Zielwerte im Jahr 2040 ermöglicht, jedoch mit höheren kumulierten Emissionen bis zum Zieljahr verbunden ist.

Tabelle 32: Treibhausgasemissionen für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand für ein typisches Gebäude im Quartier Münchner Freiheit

[t CO ₂ äq]	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	Grundwasser-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Flusswasser	Wärmenetz Abwasser	Vgl. Fernwärme	Vgl. Gasheizung
Emissionen Status Quo 2025	25,5	25,5	25,5	25,5	16,8	22,1	6,0	22,1	22,1	10,4	34,6
Emissionen saniert 2025	15,3	15,3	15,3	15,3	9,9	13,3	4,8	17,7	17,7	8,3	27,7
Emissionen Status Quo 2040	1,7	1,7	1,7	1,7	1,1	1,5	6,0	1,5	1,5	0,0	34,6

⁷ <https://www.swm.de/dam/doc/geschaeftskunden/fernwaerme/kennzeichnung-fernwaerme.pdf>

⁸ https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2025.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Emissionen saniert 2040	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	4,8	1,2	1,2	0,0	27,7
----------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

5.2.2.2 Quartier Südliches Schloßbrondell

Für das Quartier Südliches Schloßbrondell werden die THG-Emissionen analog zum Quartier Münchner Freiheit exemplarisch für eine gebietstypisches dreigeschossiges Wohngebäude ohne Denkmalschutzstatus mit einer Wärmeerzeugerleistung von 55 kW_{th} betrachtet. Auch hier werden ausschließlich die THG-Emissionen der Wärmebereitstellung betrachtet. Tabelle 33 listet die jährlichen Treibhausgasemissionen der untersuchten Wärmeversorgungstechnologien im Quartier für den Status quo und einen sanierten Zustand auf. Insgesamt liegen die Emissionen aufgrund der geringeren Gebäudegröße deutlich unter den für das Quartier Münchner Freiheit gezeigten typischen Emissionen. Die relative Verteilung der Emissionen zwischen den Wärmeversorgungsoptionen ist allerdings sehr ähnlich, wobei der Einfluss energetischer Sanierung deutlich größer ausfällt. Grundwasser- und PVT-Wärmepumpen fallen aufgrund der höheren Jahresarbeitszahlen im Vergleich zu anderen Wärmepumpensystemen besonders günstig aus. Die THG-Emissionen für das typische Gebäude können durch Sanierungsmaßnahmen im Schnitt der Versorgungsoptionen auf rund die Hälfte reduziert werden. Im Jahr 2040 sinken die Emissionen der strombetriebenen Wärmepumpensysteme sowie der Wärmenetzlösung ebenfalls auf nahezu null.

Tabelle 33: Treibhausgasemissionen für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand für ein typisches Gebäude im Quartier Südliches Schloßbrondell

[t CO ₂ äq]	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	Grundwasser-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Abwasser	Vgl. Fernwärme	Vgl. Gasheizung
Emissionen Status Quo 2025	14,5	14,5	14,5	14,5	9,6	12,6	3,4	12,6	5,9	19,7
Emissionen saniert 2025	6,1	6,1	6,1	6,1	3,6	4,8	1,7	6,5	3,0	10,1
Emissionen Status Quo 2040	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	3,4	0,8	0,0	19,7
Emissionen saniert 2040	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,3	1,7	0,4	0,0	10,1

5.2.2.3 Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

Im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz wurden die THG-Emissionen für ein gebietstypisches dreigeschossiges Wohngebäude unter Ensembleschutz mit einer Wärmeerzeugerleistung von 60 kW_{th} berechnet. Wie zuvor wurden ausschließlich die THG-Emissionen der Wärmebereitstellung betrachtet. Wie in Tabelle 34 zu erkennen, liegt die Höhe der Emissionen aufgrund der etwas höheren Wärmelast leicht über den Werten für das Quartier Südliches Schloßbrondell. Aufgrund der denkmalpflegerischen Einschränkungen fällt die Reduktion der THG-Emissionen durch energetische Sanierung hier jedoch etwas geringer aus. Die Emissionen der Wärmenetzlösung liegen wie in den anderen Quartieren etwas unter denen dezentraler Wärmepumpensysteme. Pelletkessel weisen auch hier aktuell vergleichsweise geringe Emissionen auf, während im Jahr 2040 die strombasierten Systeme von einer weitgehend dekarbonisierten Stromgestehung profitieren.

Tabelle 34: Treibhausgasemissionen für dezentrale und zentrale Wärmeversorgungstechnologien je nach Sanierungszustand für ein typisches Gebäude im Quartier Hochleite/Theodolindenplatz

[t CO ₂ äq]	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Flusswasser	Vgl. Fernwärme	Vgl. Gasheizung
Emissionen Status Quo 2025	15,5	15,5	15,5	15,5	14,4	3,6	13,4	6,3	21,1
Emissionen saniert 2025	7,5	7,5	7,5	7,5	7,2	2,5	9,4	4,4	14,8
Emissionen Status Quo 2040	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,6	0,9	0,0	21,1
Emissionen saniert 2040	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,6	0,0	14,8

5.3 Qualitative Bewertung

5.3.1 Versorgungssicherheit

Die Versorgungssicherheit der Lösungsoptionen basiert auf zwei Faktoren: der ausreichenden Verfügbarkeit des jeweiligen Wärmeträgers und der ausreichenden Verfügbarkeit von Strom zum Betrieb.

Luftwärmepumpen schneiden hier sehr gut ab: Luft wird auch in Zukunft ausreichend verfügbar sein. Die Hauptlimitierung liegt hier im zukünftigen Verlauf des Stromnetzausbaus, der

erforderlich wird, wenn viele Endverbraucher viele dezentrale Wärmepumpen betreiben. Dezentrale Grundwasserwärmepumpen sind in ähnlicher Weise vom Stromnetzausbau betroffen, zusätzlich aber auch von möglichen Veränderungen des Grundwasserspiegels. Teile Deutschlands sahen sich bereits in den letzten Jahren mit Dürre und Wasserstress konfrontiert und durch den Klimawandel wird dieses Risiko zukünftig zunehmen (z. B. Stein et al., 2024).

Biomassekessel haben keinen hohen Strombedarf, benötigen aber ausreichend Biomasse in einem Kostenrahmen, den sich die jeweiligen Haushalte leisten können. Aufgrund einer fixen Obergrenze von nachhaltig bewirtschafteter Biomasse und dem prognostizierten Nachfrageanstieg aus anderen Branchen wie der Chemieindustrie sind zukünftige Preisanstiege zu erwarten. Voraussichtlich wird nicht genug Biomasse verfügbar sein, um die Nachfrage dieser großen, ggf. zahlungsstärkeren Verbraucher und vieler einzelner Heizungsbesitzer gleichzeitig und zu einem angemessenen Preis zu decken (Vgl. *(Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS), o. J.; Luderer et al., 2025)*). Die Versorgungssicherheit mit Biomasse ist daher als schlecht einzustufen.

Ein zentrales Nahwärmenetz mit einer Abwasserwärmepumpe wird voraussichtlich eine eher hohe Versorgungssicherheit aufweisen. Auch hier kann Dürre zu niedrigeren Abflüssen führen; wenn die Wärmeversorgung aber wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben mit einer Besicherung durch Gas-/Biomassekessel für den Fall von Ausfällen, Wartungsarbeiten, o. Ä. versehen wird, spielt dieses Risiko nur eine sehr geringe Rolle. Nahwärmenetze mit Flusswärmepumpen wären in ähnlicher Weise von Dürre betroffen; könnten aber auch in ähnlicher Weise mit einer Besicherung ausgestattet werden, um dieses Risiko zu minimieren.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass auch das Beibehalten von Heizungen auf Basis von Gas oder Öl durch prognostizierte Kostensteigerungen mit Zukunftsrisiken verbunden ist.

5.3.2 rechtliche Umsetzbarkeit / Dauer

Die identifizierten Optionen unterscheiden sich hinsichtlich der Komplexität der erforderlichen Genehmigungsprozesse, die sich sowohl auf die grundlegende Umsetzbarkeit (ist die Maßnahme möglich?) als auch deren Dauer (wie lange dauert der Genehmigungsprozess?) auswirkt.

Biomassekessel mit modernen Feinstaubfiltern gestalten sich rechtlich unproblematisch; das 1. BImSchV sowie baurechtliche Anforderungen sind hier ebenso wie für die anderen dezentralen Versorgungsoptionen einzuhalten (s. Abschnitt 4.1.4.2). Bei Luftwärmepumpen können die Immissionsschutzanforderungen zum Schallschutz schwieriger einzuhalten sein, wenn hohe Bebauungsdichte und/oder ein hoher Wärmebedarf nur geringe Abstände oder groß dimensionierte Wärmepumpen erfordern. Wenn anhand der Potenzialanalysen bzw. einer gebäudeindividuellen Energieberatung aber ein geeigneter Aufstellort identifiziert wurde, ist die rechtliche Umsetzbarkeit von Luftwärmepumpen ebenso wie von Biomassekesseln mit „sehr gut“ zu bewerten.

Dezentrale Grundwasserwärmepumpen sind rechtlich ebenfalls gut umsetzbar, müssen aber einige zusätzliche Anforderungen erfüllen. Für den Betrieb ist eine wasserrechtliche Genehmigung notwendig; für die initiale Bohrung ist eine Bohrgenehmigung sowie, je nach

Tiefe, evtl. ebenfalls eine wasserrechtliche Genehmigung notwendig (s. Abschnitt 4.1.3.4). Diese Genehmigungsprozesse führen voraussichtlich zu einer etwas längeren Umsetzungsdauer als bei Luftwärmepumpen oder Biomassekesseln.

Die zentralen Versorgungsoptionen unterliegen durch den Netzbau und die notwendigen Flächen für die Heizzentrale höheren genehmigungsrechtlichen Herausforderungen. Der Bau von Leitungen, die durch den öffentlichen Raum führen, benötigt straßenrechtliche Sondernutzungserlaubnisse. Auch bei Vorliegen der relevanten Genehmigungen kann die zeitliche Abstimmung, um einen geeigneten Bauzeitpunkt zu finden, zu weiteren Verzögerungen führen.

Unter den zentralen Versorgungsoptionen ist die Umsetzbarkeit bei einer Abwassergroßwärmepumpe am höchsten, aber dennoch herausfordernd. Die Münchner Stadtentwässerung muss dem Vorhaben zustimmen, weiterhin sind Durchflussmessungen und Nachweise über die Abkühlung des Abwassers nötig (s. Abschnitt 4.2.2.1.8). Wenn in den betreffenden Abwasserkanälen Sanierungsarbeiten anstehen, kann die Umsetzung sich zeitlich weiter verzögern. Grundsätzlich ist die Umsetzung also möglich, würde aber Zeit in Anspruch nehmen.

Die Genehmigungslage für Flusswärmepumpen hingegen gestaltet sich in den zwei betrachteten Gebieten (Schwabinger Bach entlang des Quartiers Münchner Freiheit, Auer Mühlbach entlang des Quartiers Hochleite/Theodolindenplatz) als schwierig (s. Abschnitte 4.2.1.1.6 und 4.2.2.2.6). Insbesondere naturschutzrechtliche Auflagen erschweren die Nutzung des identifizierten energetischen Potenzials dieser Gewässer. Die Flächen um den Schwabinger Bach haben den Status als Landschaftsschutzgebiet; beim Auer Mühlbach handelt es sich um einen Teil eines Fauna-Flora-Habitat-Gebiets, dessen Schutz auf EU-Richtlinien basiert. Durch den Status als Bau- bzw. Bodendenkmal entstehen in beiden betrachteten Gebieten zusätzliche denkmalschutzrechtliche Auflagen. Unter aktueller natur- und denkmalschutzrechtlicher Rechtsprechung und Genehmigungspraxis ist die Umsetzbarkeit dieser zwei Flusswärmepumpen als sehr langwierig bis unwahrscheinlich zu betrachten. Falls der Zielkonflikt zwischen Klimaschutz, Naturschutz und Denkmalschutz in Zukunft politisch neu verhandelt werden sollte (wie z. T. in der Abwägung von Denkmalschutz und erneuerbaren Energien in den Novellen des Bayerischen Denkmalschutzgesetzes von 2023 und 2025 geschehen), könnte die Umsetzbarkeit dieser Versorgungsoptionen erneut betrachtet werden.

Zentrale Lösungen mit Wärmenetzen sind, zusätzlich zu den genehmigungsrechtlichen Aspekten, durch die Komplexität der Organisationsform in Umsetzungswahrscheinlichkeit bzw. -dauer eingeschränkt. Die Akteure im jeweiligen Gebiet müssen sich zusammenschließen, Nachbarn und Nachbarinnen überzeugen, eine rechtliche Organisationsform finden und gründen, Machbarkeitsstudien organisieren und Bauunternehmen sowie ggf. Betreiber finden. All das erfordert erhebliche Selbstorganisation und Zeitaufwand, der im Regelfall unentgeltlich und in der Freizeit erfolgt. Selbst im besten Fall erhöht diese akteursbezogene Komplexität die Umsetzungsdauer; im schlechtesten Fall kann die Umsetzung entlang dieser Schritte komplett scheitern.

Für alle Lösungsoptionen ergeben sich beim Vorliegen von Denkmal- oder Ensembleschutz weitere rechtliche Anforderungen und ein zusätzlicher Genehmigungsprozess, so dass die Umsetzbarkeit und Dauer verschiedener Maßnahmen hier weiter eingeschränkt sein kann (s. Abschnitt 2.2.4). Im Einzelfall kann dies die Auswahl und Umsetzbarkeit geeigneter Maßnahmen für das jeweilige Gebäude sehr stark einschränken. Auch hier kann eine zukünftige politische Richtungsänderung im Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Denkmalschutz zu einer Neubewertung dieses Kriteriums führen.

5.3.3 Nutzerakzeptanz

Neben den ökologischen und ökonomischen Kriterien ist die soziale Akzeptanz wichtig, um Lösungsoptionen zu wählen, die auch umgesetzt werden. Dabei geht es auch um passive Akzeptanz (bspw. den Anschluss an ein Nahwärmenetz zu tolerieren, das jemand anders initiiert und organisiert), mehr aber noch um aktive Akzeptanz, die ins eigene Handeln führt: Eigentümer und Eigentümerinnen müssen die Lösungen ausreichend befürworten, um dafür aktiv zu werden, bspw. eine dezentrale Lösung im eigenen Gebäude einzubauen oder sich an der Erschließung eines Nahwärmenetzes zu beteiligen.

Aus größer angelegten Akzeptanzstudien ist bekannt, dass Luftwärmepumpen aktuell die beliebteste dezentrale erneuerbare Heizungslösung sind, die von 35-40 % der Hauseigentümer:innen gewählt würde, wenn sie sich jetzt entscheiden müssten (Initiative Klimaneutrales Deutschland, 2024; Steinfeldt, 2025; thermondo, 2025b). Biomassebasierte Heizungen sind deutlich weniger beliebt (European Commission, 2013; Initiative Klimaneutrales Deutschland, 2024; Römer & Rode, 2025). Zur relativen Beliebtheit von dezentralen und zentralen Lösungen, wenn beide Optionen zur Verfügung stehen, liegen bisher weniger Daten vor. Nahwärmelösungen werden meist von Haushalten präferiert, denen durch einen Netzanschlussvertrag ein geringer organisatorischer Aufwand besonders wichtig ist, während andere Lösungen eher von Haushalten präferiert werden, denen Unabhängigkeit und geringe Investitionskosten wichtig sind (Deuchert et al., 2025). In vergangenen Jahren, als Öl- und Gasheizungen noch nicht durch gesetzliche Vorgaben in ihrer Eignung als Heizungslösung eingeschränkt waren, spielte regelmäßig zusätzlich zu den Kosten auch das ökologische Interesse der Eigentümer:innen eine Rolle bei der Heizungswahl (Decker & Menrad, 2015; Michelsen & Madlener, 2012); bei der Wahl zwischen ausschließlich erneuerbaren Heizungslösungen sind typischerweise die Kosten der Hauptfaktor (z. B. Octopus Energy, 2024; thermondo, 2025b).

Um die erwartete Akzeptanz in den Prüfgebieten abzuschätzen, wurden die Teilnehmenden der ersten drei Beteiligungsveranstaltungen (s. Kapitel 6.1) gebeten, die Frage „Was denken Sie, wie sehr die Menschen im Quartier die Lösung akzeptieren würden?“ für jede Lösungsoption auf einer Skala von 5-Punkt-Skala von „gar nicht“ bis „sehr stark“ zu bewerten. Diese Antworten wurden für die statistische Auswertung in Zahlen von 1 („gar nicht“) bis 5 („sehr stark“) überführt. Es wurden nur die Lösungen zur Auswahl gestellt, die in dem jeweiligen Quartier als potenziell sinnvoll identifiziert wurden. In jedem der Workshops war naturgemäß nur eine kleine und nicht für das Quartier repräsentative Gruppe von Menschen vertreten ($n_s = 12, 20, 17$, die die Fragebögen ausgefüllt haben). Dennoch sind ihre Antworten die besten Daten, die

zur Akzeptanz innerhalb des jeweiligen Quartiers verfügbar sind. Die Daten sind aber aufgrund der mangelnden Repräsentativität als Anhaltspunkte und nicht als sicher generalisierbare Fakten zu verstehen.

Zur Interpretation der Ergebnisse ist es weiterhin wichtig zu wissen, dass *deskriptive soziale Normen* (also die Einschätzung von Personen, wie sehr *andere* Personen in ihrer Umgebung zu etwas zustimmen würden) in anderen Studien regelmäßig deutlich unterschätzt werden. Verglichen mit der tatsächlichen Akzeptanz unterschätzen Menschen beispielsweise, wie sehr andere Menschen Klimaschutz befürworten, die Energiewende unterstützen, und den Bau von Windkraftanlagen am Wohnort akzeptieren (Andre et al., 2024; Wolf et al., 2023). Da nicht die tatsächliche Akzeptanz bei allen Personen und Organisationen im Quartier abgefragt wurde, sondern die kleine Gruppe der Veranstaltungsteilnehmenden um ihre Einschätzung der sozialen Normen im Quartier gebeten wurden, ist es wahrscheinlich, dass die absoluten Werte die tatsächliche Akzeptanz auch hier z. T. unterschätzen. Die absoluten Werte sind also weniger aussagekräftig als die relativen Unterschiede zwischen den Werten, die wir hier zum Vergleich der Lösungsoptionen nutzen.

Tabelle 35: Bewertungen der Akzeptanz pro Lösungsoption aus den Beteiligungsveranstaltungen.

Typ	Lösungsoption	Gesamt			Münchner Freiheit			Hochleite/Theodolindenplatz			Südliches Schloßbrondell		
		M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n
zentral	Nahwärme + Abwasser-WP	3.59	0.95	29	3.83	0.72	12				3.41	1.06	17
dezentral	Luft-WP	3.37	0.93	49	3.25	0.75	12	3.65	0.99	20	3.12	0.93	17
zentral	Nahwärme + Fluss-WP	3.34	1.12	32	3.67	1.07	12	3.15	1.14	20			
dezentral	Grundwasser-WP	3.18	1.11	36				2.84	1.26	19	3.56	0.79	17
dezentral	Pelletkessel	2.27	0.86	49	2.33	0.65	12	2.10	1.07	20	2.41	0.71	17

1 = gar nicht, 5 = sehr stark, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl

Über die drei Workshops hinweg zeigen sich drei klare Muster: (1) Biomasse wurde mit Abstand als am unbeliebtesten eingestuft. Dieses Ergebnis ist konsistent mit bundesweiten Umfragen (z. B. thermondo, 2025a). (2) Im Quartier Münchner Freiheit wurden zentrale Wärmenetzlösungen als beliebter angesehen als dezentrale Lösungen, was zu der besonders dichten Bebauungsstruktur in dem Quartier passt. (3) Im Quartier Südliches Schloßbrondell bestand ausgeprägtes Interesse an Grundwasserwärmepumpen, die z. B. in Harlaching als weniger beliebt eingeschätzt wurden.

5.3.4 Verteilungsgerechtigkeit

Verteilungsgerechtigkeit bezieht sich auf die gerechte Verteilung von Ressourcen: wer trägt die Kosten, wer profitiert vom Nutzen? Die zwei wichtigsten Aspekte von Verteilungsgerechtigkeit unterscheiden sich nicht zwischen den Lösungsoptionen, sondern beziehen sich auf die Prüfgebiete allgemein: Die Abwesenheit von Fernwärme sowie die Abhängigkeit von Mietenden.

Dass keine Fernwärmeversorgung für die drei untersuchten Prüfgebiete geplant ist, war unter den Teilnehmenden der Beteiligungsveranstaltungen der am häufigsten angesprochene Gerechtigkeitsaspekt. Mehrere Teilnehmende nahmen diese Abwesenheit von Fernwärme als ungerecht war, da z. T. anliegende Gebiete oder sogar einzelne Gebäude im Gebiet ans Fernwärmenetz angeschlossen sind oder werden, oder da Erzeugungsanlagen geografisch näher am Prüfgebiet liegen als an Fernwärmegebieten (Geothermie in Grünwald, nahe Harlaching). Vollständig vermeiden lässt sich diese Ungerechtigkeitswahrnehmung nicht: jedes Nah- und jedes Fernwärmenetz muss an einer Stelle enden und jede Grenzziehung wird daher Gebäude ausschließen, obwohl benachbarte Gebäude eingeschlossen sind. Darüber hinaus variiert die Verteilungs(un)gerechtigkeit jedoch je nach Kontext. Besonders im Quartier Münchner Freiheit war die Wahrnehmung von Ungerechtigkeit ausgeprägt, da das Quartier von Fernwärmeeignungsgebieten umgeben ist, eine ähnliche Bebauungsstruktur aufweist wie diese Fernwärmeeignungsgebiete, und alternative Lösungsoptionen sich aufgrund dieser Bebauungsstruktur für einige Gebäude herausfordernd gestalten.

Die Abhängigkeit von Mietenden zieht sich ebenfalls durch alle hier identifizierten Versorgungsoptionen: Die Entscheidung für bzw. gegen eine bestimmte Lösungsoption (oder auch das Aufschieben einer Entscheidung und die Beibehaltung fossiler Energieträger) sowie die initiale Auslage der Investitionskosten tragen die Vermietenden. Die direkten Konsequenzen dieser Entscheidung (Betriebskosten, Mietumlage, Raumkomfort, ggf. Belastung durch Baustellen / Feinstaub- / Schallemissionen, ggf. Betriebsaufwand wie Reinigung einer Pelletheizung) tragen hingegen die Mietenden. Hieraus ergibt sich eine inhärente Ungleichverteilung von Machtressourcen, Kosten und Nutzen.

Neben diesen zwei übergeordneten Aspekten gibt es weitere gerechtigkeitsrelevante Aspekte, die sich zwischen den Versorgungsoptionen unterscheiden.

Potenzielle negative Begleiterscheinungen, die nicht nur von den Nutzenden, sondern auch von Anwohnenden in der Nähe getragen werden, liegen sowohl bei Luftwärmepumpen als auch bei Biomassekesseln vor: Außengeräusche bei Luftwärmepumpen und Feinstaubbelastung bei Biomassekesseln. Erstere betreffen nur unmittelbare Nachbarn und können als Einschränkung empfunden werden, auch wenn sie unter die Grenzwerte der TA Lärm fallen. Feinstaubbelastung dagegen kann auch Menschen in der erweiterten Nachbarschaft betreffen. In beiden Fällen summiert sich die Belastung, wenn mehr entsprechende Geräte in der (unmittelbaren oder erweiterten) Nachbarschaft verbaut werden. Dezentrale Grundwasserwärmepumpen verursachen im Gegensatz dazu wenige Einschränkungen für andere Akteure. Wenn nur begrenztes thermisches Potenzial des Grundwassers vorliegt, kann es aber zu Verteilungskonkurrenz mit anderen Haushalten bzw. Institutionen kommen, die ebenfalls Grundwasserwärmepumpen betreiben oder dies zukünftig tun möchten.

Zentrale Lösungen bieten Nutzen für viele Haushalte im Vergleich zu dezentralen Lösungen, die nur je ein Gebäude abdecken: Zentrale Lösungen verringern somit Recherche-, Entscheidungs- und Beschaffungsaufwand (Kosten) für die angeschlossenen Haushalte. Umgekehrt ergibt sich, parallel zu Fernwärmenetzen, die Wahrnehmung von Ungerechtigkeit für die Haushalte, die an das Netz angrenzen, aber selbst nicht angeschlossen werden können. Je nach Standort des Netzes betreffen vorübergehende Einschränkungen durch Baustellen (Kosten) nicht nur die

angeschlossenen Haushalte (Nutzen), sondern ggf. auch andere Menschen oder Institutionen im Quartier (kein Nutzen). Wird eine Wärmezentrale errichtet, kommt es zu ähnlichen Ungleichverteilungen, wenn einige Anwohnende nicht selbst vom Netz profitieren, aber z. B. Sichteinschränkungen oder Platzeinbußen hinnehmen müssen. Überirdische Flussläufe haben zudem meist Naherholungscharakter; die Einschränkungen durch Wärmezentralen können hier zusätzlich auch Spaziergänger:innen betreffen. Sowohl für Fluss- als auch für Abwasserwärmepumpen könnte es weiterhin zu Verteilungskonflikten mit externen Akteuren kommen, wenn die gleiche Wärmequelle auch in anderen Quartieren flussab-/aufwärts genutzt werden soll und das thermisch nutzbare Potenzial an den verschiedenen Standorten in Konkurrenz zueinander steht.

5.4 Gesamtvergleich der Optionen

In diesem Kapitel werden die untersuchten dezentralen und zentralen Wärmeversorgungsoptionen für die drei betrachteten Quartiere vergleichend gegenübergestellt. Der quantitative Vergleich zeigt, dass dezentrale Luft-Wärmepumpensysteme unabhängig von ihrer konkreten Ausprägung durch moderate Investitionskosten, jedoch vergleichsweise hohe Betriebskosten gekennzeichnet sind. Im Jahr 2025 sind ihre Treibhausgasemissionen aufgrund der Stromemissionsfaktoren noch erhöht, sinken jedoch bis 2040 auf ein niedriges Niveau. Unterschiede zwischen Einzelgeräten, Kaskadenlösungen sowie dachintegrierten- oder Aufdach-Varianten ergeben sich vor allem aus baulichen und betrieblichen Randbedingungen, weniger aus grundsätzlichen Kosten- oder Emissionsunterschieden. Grundwasser-Wärmepumpen sind aufgrund ihrer typischerweise hohen Jahresarbeitszahlen besser bewertet als andere Systeme. Sie vereinen niedrige Betriebskosten mit guten THG-Bilanzen sowohl jetzt als auch zukünftig. Einschränkungen ergeben sich vor allem aus der nur punktuellen Umsetzbarkeit, was sich in einer etwas geringeren Bewertung der Versorgungssicherheit widerspiegelt.

Grundwasser- und PVT-Wärmepumpen können im quantitativen Vergleich aufgrund der typischerweise hohen Jahresarbeitszahlen besonders gut bewertet werden. Sie kombinieren niedrige Betriebskosten mit sehr guten THG-Bilanzen sowohl aktuell als auch in Zukunft. Ihre Anwendung ist jedoch auf geeignete Standorte beschränkt, sodass sie keine flächendeckende Lösung darstellen. Pelletkessel weisen im Jahr 2025 vergleichsweise niedrige THG-Emissionen auf, verlieren jedoch im langfristigen Vergleich an Attraktivität, da sich der Emissionsfaktor kaum ändert. Im Jahr 2040 verbleiben vergleichsweise hohe Emissionen, und auch die Betriebskosten müssen aufgrund eines voraussichtlichen Preisanstiegs bei gleichzeitig fallenden prognostizierten Strompreisen zunehmend kritisch bewertet werden. Die zentralen Wärmenetzlösungen auf Basis von Fluss- und Abwasserwärme sind mit hohen Investitionskosten auf Systemebene verbunden, zeichnen sich jedoch durch niedrige Betriebskosten und sehr geringe Treibhausgasemissionen im Zieljahr 2040 aus. Insbesondere aus langfristiger Klimaschutzperspektive schneiden sie damit sehr gut ab.

Tabelle 36 bewertet die Optionen anhand technischer, ökonomischer und umsetzungsrelevanter Kriterien auf Basis der bisherigen Ergebnisse der quantitativen Bewertung (Kapitel 5.2) sowie der qualitativen Bewertung (Kapitel 5.3). Die dargestellten Bewertungen der quantitativen Kriterien beruhen auf gewichteten Mittelwerten für typische Gebäude je Quartier und sind relativ, d. h. vergleichend zwischen den einzelnen Versorgungsoptionen, zu verstehen. Für die zentralen Wärmenetzlösungen werden die Investitions- und Betriebskosten aus einer Systemperspektive betrachtet. Eine direkte Endkundensicht ist nicht Gegenstand der Analyse, da diese von spezifischen Geschäfts- und Tarifmodellen abhängen würde. In der Praxis beschränken sich die Investitionen der angeschlossenen Gebäude in der Regel auf Hausanschlussleitungen und Übergabestationen, während die hohen Investitionen in Netzinfrastruktur und Erzeugung über die Betriebskosten refinanziert werden.

Der quantitative Vergleich zeigt, dass dezentrale Luft-Wärmepumpensysteme unabhängig von ihrer konkreten Ausprägung durch moderate Investitionskosten, jedoch vergleichsweise hohe Betriebskosten gekennzeichnet sind. Im Jahr 2025 sind ihre Treibhausgasemissionen aufgrund der Stromemissionsfaktoren noch erhöht, sinken jedoch bis 2040 auf ein niedriges Niveau. Unterschiede zwischen Einzelgeräten, Kaskadenlösungen sowie dachintegrierten- oder Aufdach-Varianten ergeben sich vor allem aus baulichen und betrieblichen Randbedingungen, weniger aus grundsätzlichen Kosten- oder Emissionsunterschieden. Grundwasser-Wärmepumpen sind aufgrund ihrer typischerweise hohen Jahresarbeitszahlen besser bewertet als andere Systeme. Sie vereinen niedrige Betriebskosten mit guten THG-Bilanzen sowohl jetzt als auch zukünftig. Einschränkungen ergeben sich vor allem aus der nur punktuellen Umsetzbarkeit, was sich in einer etwas geringeren Bewertung der Versorgungssicherheit widerspiegelt.

Grundwasser- und PVT-Wärmepumpen können im quantitativen Vergleich aufgrund der typischerweise hohen Jahresarbeitszahlen besonders gut bewertet werden. Sie kombinieren niedrige Betriebskosten mit sehr guten THG-Bilanzen sowohl aktuell als auch in Zukunft. Ihre Anwendung ist jedoch auf geeignete Standorte beschränkt, sodass sie keine flächendeckende Lösung darstellen. Pelletkessel weisen im Jahr 2025 vergleichsweise niedrige THG-Emissionen auf, verlieren jedoch im langfristigen Vergleich an Attraktivität, da sich der Emissionsfaktor kaum ändert. Im Jahr 2040 verbleiben vergleichsweise hohe Emissionen, und auch die Betriebskosten müssen aufgrund eines voraussichtlichen Preisanstiegs bei gleichzeitig fallenden prognostizierten Strompreisen zunehmend kritisch bewertet werden. Die zentralen Wärmenetzlösungen auf Basis von Fluss- und Abwasserwärme sind mit hohen Investitionskosten auf Systemebene verbunden, zeichnen sich jedoch durch niedrige Betriebskosten und sehr geringe Treibhausgasemissionen im Zieljahr 2040 aus. Insbesondere aus langfristiger Klimaschutzperspektive schneiden sie damit sehr gut ab.

Tabelle 36: Gesamtvergleich der Versorgungsoptionen für alle drei Quartiere (quantitative Kriterien: Gewichtete Mittelwerte für typische Gebäude je Quartier)

	Dezentrale Lösungen							Zentrale Lösungen	
Kriterium	Luft-WP Einzelgerät	Luft-WP Kaskade	dachintegrierte Luft-WP	Aufdach-Luft-WP	Grundwasser-WP	PVT-WP	Pelletkessel	Wärmenetz Flusswasser	Wärmenetz Abwasser
Investitionskosten je WE	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Betriebskosten je WE	●	●	●	●	●	●	●	●	●
THG-Emissionen 2025	●	●	●	●	●	●	●	●	●
THG-Emissionen 2040	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Versorgungssicherheit	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Umsetzbarkeit / Dauer	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nutzerakzeptanz	●	● *	● *	● *	●	● *	●	●	●
Verteilungsgerechtigkeit im Cluster	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● niedrige Emissionen/Kosten bzw. hohe Sicherheit/Umsetzbarkeit/Akzeptanz/Gerechtigkeit

● mittlere Emissionen/Kosten bzw. mittlere Sicherheit/Umsetzbarkeit/Akzeptanz/Gerechtigkeit

● hohe Emissionen/Kosten bzw. niedrige Sicherheit/Umsetzbarkeit/Akzeptanz/Gerechtigkeit

* Diese Wärmepumpenvarianten wurden in der Beteiligung nicht abgefragt. Wir gehen davon aus, dass die Akzeptanz gleich oder besser als die der Luftwärmepumpe im Außenraum ausfällt.

Ergänzend zu den quantitativen Ergebnissen sind die qualitativen Bewertungskriterien von zentraler Bedeutung für die Einordnung der praktischen Umsetzbarkeit. Betrachtet werden die Kriterien Versorgungssicherheit, rechtliche und organisatorische Umsetzbarkeit, Nutzerakzeptanz sowie Aspekte der Verteilungsgerechtigkeit. Im Vergleich der qualitativen Kriterien ergibt sich für Pelletkessel das ungünstigste Gesamtbild. Ausschlaggebend hierfür sind die geringe Nutzerakzeptanz, der hohe logistische Aufwand sowie ausgeprägte

Zukunftsrisiken hinsichtlich der langfristigen Verfügbarkeit und Bezahlbarkeit von Biomasse. Vor dem Hintergrund einer begrenzten nachhaltig verfügbaren Biomasse und steigender Konkurrenz aus anderen Sektoren wird diese Option als wenig robust eingeschätzt. Ebenfalls vergleichsweise kritisch werden Nahwärmenetze auf Basis von Flusswärme bewertet. Zwar weisen sie Vorteile hinsichtlich Versorgungssicherheit und Emissionsminderung auf, ihre rechtliche und praktische Umsetzbarkeit wird jedoch insbesondere im innerstädtischen Kontext als unsicher eingeschätzt. Abwasserbasierte Wärmenetze schneiden in dieser Hinsicht etwas besser ab. Die dezentralen Lösungsoptionen, insbesondere Luft-Wärmepumpen, Grundwasser-Wärmepumpen und PVT-Wärmepumpen, schneiden in der qualitativen Gesamtbewertung überwiegend mittel bis gut ab. In diesem Bereich ist der Vergleich maßgeblich von der Priorisierung der Bewertungskriterien abhängig. Auf Grundlage der Gewichtung, die von den Teilnehmenden der Beteiligungsveranstaltungen vorgenommen wurde (vgl. Abschnitt 5.1), erweisen sich Luft-Wärmepumpen anhand der qualitativen Kriterien insgesamt als attraktivste Lösungsoption. Ausschlaggebend sind ihre hohe rechtliche Umsetzbarkeit, die gute Versorgungssicherheit sowie eine insgesamt vergleichsweise breite Akzeptanz im Quartier.

In der Gesamtschau zeigt sich, dass keine einzelne Versorgungsoption alle betrachteten Kriterien gleichermaßen optimal erfüllt. Dezentrale Lösungen bieten dort, wo sie möglich sind, insbesondere kurzfristig und gebäudespezifisch Vorteile, während zentrale Wärmenetzlösungen aus langfristiger, quartiers- und klimapolitischer Perspektive deutliche Stärken aufweisen.

6 Akteursbeteiligung

Damit diese möglichen Versorgungsoptionen Realität werden können, ist eine zentrale Voraussetzung nötig: Die Akteure in den Prüfgebieten müssen diese annehmen und aktiv umsetzen. Sowohl dezentrale als auch zentrale Lösungen in Nahwärmenetzen oder auch Sanierungen setzen voraus, dass die einzelnen Eigentümer und Eigentümerinnen sich über Möglichkeiten informieren, Entscheidungen treffen, Planungen und schließlich Baumaßnahmen in die Wege leiten. Für diesen Prozess ist neben Eigentümern und Eigentümerinnen auch die kooperative Zusammenarbeit mit bspw. Hausverwaltungen, Handwerk, lokalen Initiativen, Bezirksausschüssen, Genehmigungsbehörden und nicht zuletzt Mietenden nötig. Das vorliegende Projekt hat die Einbindung dieser verschiedenen Akteure, ihre Information und ihre Mitsprache, daher von Anfang an mitgedacht, um Konzepte zu erarbeiten, die den Bedürfnissen der Akteure entsprechen und sie auf dem Weg in die Wärmewende mitzunehmen. Die Erfahrungen sind in Kapitel 8 eingeflossen.

6.1 Erste Beteiligungsphase

Dafür wurden in einer ersten Phase die Akteursgruppen in den Prüfgebieten über das Projekt informiert, über die Bandbreite möglicher Versorgungsoptionen aufgeklärt und nach ihren lokalen Bedürfnissen, Erfahrungen und besonderen Umständen befragt. Die Ziele waren zweierlei: (1) Information und (2) Mitsprache. Der Zeitpunkt dieser Entwicklungsdialoge war so gelegt, dass bereits Daten vorlagen, die mit den Teilnehmenden besprochen werden konnten, aber noch keine konkreten Versorgungskonzepte ausgewählt waren, so dass Ideen, Bedenken und Anregungen der Teilnehmenden noch in den weiteren Prozess aufgenommen werden konnten.

Im Juli 2025 wurden insgesamt 3 Entwicklungsdialoge durchgeführt, einer in jedem Prüfgebiet. Die Einladung erfolgte über das RKU mit einer Doppelstrategie der direkten Ansprache relevanter Anwohnender und Einzelakteure über Emails und z. T. Postwurfsendungen einerseits und der Ansprache eines breiten Publikums über bspw. Aushänge im Quartier und Anzeigen in Lokalzeitungen andererseits. Pro Workshop fanden sich 15 bis 25 Teilnehmende ein, deren Zusammensetzung sich je nach Prüfgebiet leicht unterschied, in allen 3 Workshops war aber die größte Personengruppe die der Privateigentümer und -eigentümerinnen.

Im ersten Teil des Entwicklungsdialogs ging es zuerst um die Information der Teilnehmenden; IREES und das RKU stellten dafür das Projekt, seine Ziele, und die bisher gesammelten Gebäudedaten vor. Im Anschluss wurden Rückfragen der Teilnehmenden beantwortet. Danach standen die Mitsprachemöglichkeiten im Vordergrund, beispielsweise über die Abfrage lokalen Wissens zu einzelnen Gebäuden, die unter anderem zur Datenplausibilisierung diente, und über die Möglichkeit, allgemeine Bedürfnisse und Bedenken mit dem Projektteam zu teilen und zu diskutieren. In dieser Phase wurden wichtige Informationen für die weiteren Analysen gesammelt, z. B. über schon bestehende oder aktuell geplante Wärmepumpen im Quartier und über den Sanierungsstand einzelner Gebäude (s. Kapitel 3).

Der zweite Teil startete wieder mit einem kurzen Informationsinput zu den technisch möglichen Versorgungsoptionen im jeweiligen Prüfgebiet. Danach waren die Teilnehmenden eingeladen,

sich an im Raum verteilten Stationen weiter zu den Vor- und Nachteilen der verschiedenen Optionen zu informieren und dabei miteinander und mit dem Projektteam ins Gespräch zu kommen. Ihre Rückmeldungen wurden mittels Kommentaren auf Klebezetteln oder im persönlichen Gespräch aufgenommen. Die Teilnehmenden wurden außerdem um Einschätzungen anhand zweier Kurzfragebögen gebeten: Einmal die aus ihrer Sicht sinnvollste Priorisierung der Bewertungskriterien, anhand derer die Versorgungsoptionen verglichen werden sollten (s. Kapitel 5.1), und einmal die Akzeptanz, die sie pro Lösung unter den Anwohnenden des Prüfgebiets erwarten würden (Ergebnisse s. Kapitel 5.3.3). Diese Ergebnisse flossen in den Vergleich und die Bewertung der Versorgungsoptionen im nächsten Schritt des Projektes ein.

6.2 Zweite Beteiligungsphase

Die zweite Phase folgte im November 2025 in Form von Ergebnisdialogen, wieder einer je Prüfgebiet. Zu diesem Zeitpunkt lagen genauere Berechnungen zur Eignung jedes Gebäudes sowie zu den verschiedenen Bewertungskriterien, insbesondere Kostenschätzungen, vor und für jedes Gebäude wurden Empfehlungen zu den geeignetsten Versorgungsoptionen ausgesprochen. Das Ziel der zweiten Beteiligungsphase war, die Akteure in den Prüfgebieten über diese Ergebnisse zu informieren und mit ihnen ins Gespräch über die Herausforderungen und Möglichkeiten der Umsetzung zu kommen. Die Einladung erfolgte ähnlich wie in der ersten Beteiligungsphase; außerdem wurden alle vorherigen Teilnehmenden wieder eingeladen und in allen drei Quartieren Postwurfsendungen verteilt. Pro Prüfgebiet fanden sich 25 bis 30 Teilnehmende für den Ergebnisdialog ein.

Der Ablauf begann wieder mit einem Informationsangebot von IREES über die Ergebnisse des Projektes, gefolgt von einer Frage- und Antwortrunde. Anschließend waren die Teilnehmenden eingeladen, sich an Thementischen zu ihren jeweiligen Situationen zusammenzufinden und dort zu diskutieren, tiefergehende Informationsmaterialien zu erhalten, und mit relevanten Ansprechpersonen vernetzt zu werden. Die Themen beinhalteten je nach Prüfgebiet bspw. Einzellösungen wie Luft- oder Grundwasserwärmepumpen, Nahwärmezusammenschlüsse, oder Denkmalschutz als besondere Herausforderung. Die Ansprechpersonen, die zum Gespräch zur Verfügung standen, beinhalteten je nach Thema bspw. Experten und Expertinnen des RKU, der Lokalbaukommission, der Unteren Denkmalschutzbehörde, der Gebäudeenergieberatung des Bauzentrums, sowie aus dem Handwerk.

In den Diskussionen und ausliegenden Kommentarmöglichkeiten zeigten sich mögliche nächste Schritte, die die Teilnehmenden angehen könnten, beispielsweise sich zu ihnen bisher unbekannten Technologien zu informieren (z. B. PVT), Angebote wie den Tag des offenen Heizungskellers zu nutzen, Contracting-Modelle zu erkunden, oder das Gespräch mit anderen Eigentümern und Eigentümerinnen im Mehrfamilienhaus zu suchen. Auch der Austausch mit umliegenden Gebäuden wurde angeregt, z. B. zur möglichen Gründung eines Nahwärmenetzes oder um Anlagentechnik gemeinsam in mehreren Gebäuden zu nutzen (z. B. eine Gastherme zur Spitzenlastabdeckung). Zur Umsetzung wurde der Wunsch nach einem Fahrplan oder einer Checkliste für Eigentümer:innen geäußert.

Stufe 1: Basiskommunikation (alle Prüfgebiete)

Prüfgebiete, in denen die Analyse ergeben hat, dass mit passend gewählten Aufstellorten mindestens 80% der Gebäude mit Wärmepumpen versorgt werden können, können bzgl. der Kommunikation ebenso behandelt werden wie die Wärmepumpeneignungsgebiete im ursprünglichen Wärmeplan. Die einzige zusätzliche Komponente hier ist, dass die Anwohnenden darüber informiert werden sollten, dass sich die Einstufung ihres Gebiets gegenüber der Erstveröffentlichung des Wärmeplans geändert hat und ggf. auf nicht-offensichtliche Aufstellungsorte und -methoden (z. B. Kaskadenschaltung) aufmerksam gemacht werden sollten. Dies kann über die gleichen Kanäle geschehen wie die ursprüngliche Kommunikation des Wärmeplans, also z. B. die Aktualisierung des Geoportals, Kommunikation auf der Re:think-Webseite und ggf. die sozialen Medienkanäle der Stadt, die auf das Update hinweisen.

Auf der Re:think-Webseite können vertiefende Informationen hinterlegt werden, z. B. unter „besondere Quartiere“ (<https://rethink-muenchen.de/quartiere-muenchen/besondere-quartiere/>) mit einzelnen Unterseiten pro Prüfgebiet oder auf einer zentralen, neu einzurichtenden Unterseite, die alle Prüfgebiete anspricht. Das Geoportal sollte in den Pop-Up-Informationen zu Prüfgebieten dann auf diese Seite(n) verlinken. Geeignete Informationsmaterialien auf diesen Seiten wären:

- Zusammenfassung der für das Gebiet identifizierten Lösungsoptionen (quartiersspezifisch, aber in standardisierter Form).
- Klares Erwartungsmanagement: Die Prüfgebietsanalyse bietet Lösungsoptionen, ersetzt aber keine individuelle Energieberatung und keinen Sanierungsfahrplan.
- Verweis auf weitere Angebote der Re:think-Webseite und das Bauzentrum München.
- Optional: Infoblatt zu Aufstellungsorten und -methoden, die über ein Einzelgerät an der Außenwand hinausgehen – wäre auch in Nicht-Prüfgebieten hilfreich und könnte zentral auf der Re:think-Webseite hinterlegt und in den Prüfgebiets-Informationen verlinkt werden.
- Optional: Planungsfahrplan und/oder weitere Informationsmaterialien (s. u.) – wäre auch in Nicht-Prüfgebieten hilfreich und könnte zentral auf der Re:think-Webseite hinterlegt und in den Prüfgebiets-Informationen verlinkt werden

Einige Teilnehmende äußerten den Wunsch nach Fahrplänen oder Checklisten, die eine Kommunikations- und/oder Beteiligungskampagne im jeweiligen Quartier sinnvoll begleiten könnten. Denkbar wäre, zusätzlich zu themenspezifischen Umsetzungsfahrplänen (z. B. für Luftwärmepumpenaufstellung oder Gründung eines Nahwärmenetzes), ein vorgelagerter Planungsfahrplan in Form eines Flussdiagramms, anhand dessen die einzelnen Optionen geprüft werden können: bspw. „Energieberatung suchen → Luftwärmepumpe als Außengerät möglich? → wenn nein: wäre dies mit Schallabdeckung möglich? → wenn nein: wäre eine Aufstellung auf dem Dach möglich? → ...“ Wer aktuell keine Möglichkeit für das eigene Gebäude sieht, kann hiermit systematisch Lösungsoptionen prüfen und evtl. bis dato unbekannte

Optionen entdecken. Werden alle Schritte mit „nein“ beantwortet, wird auf Härtefallregelungen im GEG hingewiesen.

Besonders hilfreich wären Hinweise, wie geeignete Dienstleister (Energieberatung, Handwerk) gefunden werden können oder die direkte Vermittlung von Kontakten (z. B. über das Bauzentrum). Nicht alle Energieberatenden kennen sich mit Nischenoptionen aus, die in solch herausfordernden Gebäuden nötig werden könnten, und Teilnehmende berichteten von Energieberatenden, die z. T. sehr unterschiedliche Einschätzungen abgaben. Da die Landeshauptstadt aber selbst keine Einzelempfehlungen abgeben kann, könnte die direkte Nennung von bestimmten Dienstleistern gegebenenfalls über eine externe Stelle, wie z. B. ein eigenständiges Qualitätsnetzwerk wie das Klimaschutznetzwerk der HWK Schwaben oder einen Bürgerverein erfolgen. Umgekehrt können die hier vorliegenden Erkenntnisse über die Prüfgebiete in Schulungs- und Informationsmaterialien für Energieberatung und Handwerk eingebettet werden, um den Dienstleistern den Zugriff auf neue Forschungsergebnisse zu bieten.

Diese Materialien können einmalig erstellt und über alle Stufen hinweg eingesetzt werden.

Stufe 2: Einbettung in bestehende Strukturen (Prüfgebiete mit Quartiersarbeit oder besonders motivierten Akteuren)

Die Landeshauptstadt München verfolgt bereits einen Quartiersansatz mit integrierten Quartierskonzepten und aufsuchender Energieberatung in ausgewählten Gebieten. Wo sich Prüfgebiete mit laufender oder geplanter Quartiersarbeit überschneiden, sollten die Ergebnisse der Prüfgebietsanalyse von den Quartiersteams vor Ort als Arbeitsgrundlage verwendet werden. Die Kommunikation an die Anwohnenden kann dann über die ohnehin stattfindenden Veranstaltungen und Beratungsangebote der Quartiersarbeit erfolgen, statt einen separaten Beteiligungsprozess aufzusetzen.

Wo möglich bietet sich außerdem die Kooperation mit Bezirksausschüssen und lokalen Initiativen an. Bspw. könnte ein Beteiligungs-Toolkit mit Abläufen, Materialien wie Präsentationsvorlagen und Checklisten angeboten werden, die Umsetzung (insbesondere die Schritte, die lokales Wissen erfordern, wie die Buchung geeigneter Räumlichkeiten und das Einladungsmanagement) aber an lokale Akteure übertragen werden. Zum Beispiel könnte ein engagiertes Mitglied des Bezirksausschusses die Verantwortung für eine lokale Veranstaltung übernehmen, unterstützt vom RKU durch das Toolkit und durch eine:n RKU-Referent:in, die an der Veranstaltung teilnimmt. Da die Materialien und Erfahrungen aus der Pilotphase bereits vorliegen und für ein Toolkit nur noch systematisch aufbereitet werden müssten, wäre der zusätzliche Arbeitsaufwand dafür fast immer geringer als die eigene Planung und Durchführung einer Beteiligungsveranstaltung. Diese Variante wäre also lohnenswert, sofern es im jeweiligen Gebiet einen aufnahmebereiten lokalen Akteur gibt. Das Toolkit müsste nur einmal entwickelt werden und könnte dann in mehreren Gebieten eingesetzt werden.

Stufe 3: Voller Beteiligungsprozess (komplexe Prüfgebiete)

Für die bereits als besonders herausfordernd identifizierten Prüfgebiete (s. Kapitel 7.3.3) empfehlen wir die Durchführung eines Beteiligungsprozesses analog zu den drei Pilotgebieten. Erfahrungen aus der Pilotphase wie zum Erwartungsmanagement (beispielsweise Abgrenzung zur individuellen Energieberatung) können hier einfließen.

Mögliche nächste Schritte

Die Vorstellung eines Energieversorgungskonzepts mit möglichen Lösungsoptionen ist der Anfang, nicht das Ende des Prozesses. In den nächsten Schritten der Planung und Umsetzung bietet sich die Fortführung von Beteiligungs- und Aktivierungsformaten an, die in dieser Phase stärker auf einzelne Zielgruppen zugeschnitten sein können. Dazu gehören:

- Nachfragebündelung für Wärmepumpen in Gebäude(blöcken), die für die gleiche Art von Wärmepumpen geeignet sind
- Anregung zur Zusammenlegung von Energieberatung, Genehmigungsprozessen, Sanierung oder Heizungstausch in bauähnlichen Gebäuden, angelehnt an die Idee einer seriellen Sanierung: Nachbarn können Aufwand in der Kontaktsuche und ggf. Kosten sparen, indem sie ähnliche Fragen (z. B. zu Aufstellorten oder denkmalrechtlichen Anforderungen) im Konvoi klären und die gleichen Dienstleister nutzen.
- Anregung zum Zusammenschluss in Nahwärmenetzen: Erfahrungsgemäß ist hier die Gewinnung engagierter Einzelpersonen als Treiber des Vorhabens besonders wichtig. Diese können bspw. Individuen sein, die sich bereits bei anderen Beteiligungsformaten aktiv eingebracht haben, die über die Re:think-Webseite Interesse geäußert haben, die bereits in Stromgenossenschaften organisiert sind, oder die anderen lokalen Akteuren wie lokalen Initiativen oder dem Bezirksausschuss als engagiert und gut vernetzt bekannt sind. Der Kontakt zur Beratung durch das Nahwärmeteam des RKU (s. <https://rethink-muenchen.de/nahwaerme>; evtl. mit Unterstützung bei der Öffentlichkeitsarbeit) sowie zum Erfahrungsaustausch mit relevanten Initiativen sollte möglichst früh hergestellt werden (z. B. Bürgerwärme for Future in München und private Nahwärmenetze in anderen Großstädten wie Nahwärme Eichkamp und kliQ in Berlin, Energieoffensive Weilimdorf und Energie für Botnang in Stuttgart, oder ErdwärmeDich in Bremen).

7 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Prüfgebiete und auf Eignungsgebiete „Wärmepumpe nach Sanierung“

Ziel der Arbeiten in diesem Kapitel ist es, für weitere Baublöcke, die im Wärmeplan als „Prüfgebiet“ (in Abbildung 36 rot dargestellt) oder „Wärmepumpe nach Sanierung“⁹ (in Abbildung 36 orange dargestellt) gekennzeichnet wurden, aktualisierte Aussagen zu möglichen klimaneutralen Wärmeversorgungslösungen zu treffen. Diese Gebiete wurden ausgewählt, da im Wärmeplan für sie keine Wärmeversorgungslösung ausgewiesen ist („weiße Flecken“) bzw. da für die Gebiete „Wärmepumpe nach Sanierung“ investitionskostenintensive Gebäudesanierungsmaßnahmen als Grundbedingung für eine Versorgung mit Wärmepumpen vorausgesetzt sind.

Um Aussagen zu den betrachteten Gebieten treffen zu können, wurden die auf Basis der oben dargestellten Gebiete gewonnenen Erkenntnisse nun auf diese Baublöcke übertragen.

Abbildung 36: Überblick über Gebiete (Untersuchungsgebiete), für welche eine Übertragbarkeit bewertet wird (Bildquelle: eigene Darstellung, OpenStreetMap)



⁹ Dies sind Gebiete, die gemäß Wärmeplan dann vorrangig mit Wärmepumpen versorgt werden können, wenn die Gebäude zuvor thermisch saniert wurden.

Es wird explizit darauf hingewiesen, dass im Folgenden ausschließlich Gebiete untersucht werden, denen im Wärmeplan die Eignungskategorien „Prüfgebiet“ oder „Wärmepumpe nach Sanierung“ zugewiesen wurden.

Damit werden in diesem Schritt von den etwa 10.000 klassifizierten Baublöcken in München 288 Baublöcke mit der Eignungsklasse „Prüfgebiet“ (mit etwa 5.100 Gebäudeobjekten) sowie 646 Baublöcke (mit etwa 14.900 Gebäudeobjekten), welchen die Eignung „Wärmepumpe nach Sanierung“ zugewiesen wurde, betrachtet (Tabelle 37)¹⁰.

Tabelle 37: Anzahl an Baublöcken, Gebäudeobjekten und Energiebedarf in den Untersuchungsgebieten¹¹

	Untersuchungsgebiete („Prüfgebiete“ & „Wärmepumpe nach Sanierung“)	München
Baublöcke	~1.000	~10.000
Gebäudeobjekte	~20.000	~160.00
Energiebedarf (für Heizen und Warmwasser)	~800 GWh	~10.000 GWh

Durch die große Anzahl an Gebieten bedeutet dies, dass im Gegensatz zur oben dargestellten Vorgehensweise der drei untersuchten Prüfgebietscluster keine manuellen Korrekturen der vorhandenen Daten sowie keine Einschätzungen der Gebiete und/oder Gebäude durch optische Bewertungen wie in den drei Gebieten Nymphenburg, Schwabing und Harlaching vorgenommen werden können. Stattdessen werden algorithmische GIS-Analysen durchgeführt¹².

7.1 Gebäudeverteilung in den zu untersuchenden Gebieten (Untersuchungsgebieten)

Um einen Überblick über die Gebäude in den Untersuchungsgebieten¹³ zu erhalten, wurde eine Verteilung der Gebäude nach rechnerischer Heizlast gemäß dem Wärmeplan München sowie

¹⁰ Der zur Verfügung gestellte Datensatz beinhaltet 710 Gebiete (zumeist Baublöcke, teilweise sind Baublöcke jedoch in mehrere Gebiete unterteilt) mit dem Attribut „Wärmepumpe nach Sanierung“ und 414 Gebiete mit dem Attribut „Prüfgebiet“. Diese ergibt in Summe 1124 Gebiete bzw. 1123 unterschiedliche Baublöcke. Teilweise enthalten diese Gebiete jedoch keine beheizten Gebäude oder Daten konnten nicht zugeordnet werden. Wird der Datensatz um diese Gebiete bereinigt, so verbleiben 646 bzw. 288 Gebiete (934 Gebiete).

¹¹ Die Werte sind gerundet und zeigen die Größenordnungen an. Exakte Werte sind mitunter im Rahmen des Projektes nicht verfügbar (Daten für ganz München) und sind von den gewählten Definitionen abhängig. So hängt beispielsweise die Anzahl der Baublöcke davon ab, ob unbebaute Baublöcke oder Baublöcke mit lediglich unbeheizten Gebäuden ebenfalls gezählt werden oder nicht. Dies gilt auch für die Anzahl der Gebäudeobjekte, die davon abhängt, ob Gebäude, die als unbeheizt definiert wurden, ebenfalls berücksichtigt werden oder nicht. Der Energiebedarf ist wiederum von jeweiligen Klimajahr abhängig.

¹² Algorithmischen GIS-Analysen beziehen sich auf die Anwendung automatisierter Rechenverfahren innerhalb von Geographischen Informationssystemen (GIS), um räumliche Daten systematisch auszuwerten. Dabei kommen Algorithmen zum Einsatz, um Muster, Beziehungen oder Veränderungen in Geodaten zu erkennen. So lassen sich räumliche Fragestellungen effizient und reproduzierbar bearbeiten.

¹³ „Prüfgebiete“ und „Wärmepumpe nach Sanierung“

nach Gebäudegröße (beheiztes Gebäudebruttovolumen und beheizte Gebäudebruttofläche) erstellt und visualisiert (Abbildung 37 und Abbildung 38). In diesen doppel-logarithmischen Diagrammen sind die Gebäude absteigend nach Heizlast (links), Gebäudevolumen (Mitte) und Gebäudefläche (rechts) sortiert aufgetragen. Auf der x-Achse ist die Anzahl der Gebäude dargestellt. Somit lässt sich die Anzahl der Gebäude, die einer bestimmten Größenklasse zugerechnet werden, aus den Diagrammen ablesen.

In den Gebieten befinden sich etwa 15 Gebäude mit einer (rechnerischen) Heizlast von mehr als 500 kW_{th}, etwa 500 Gebäude mit einer Heizlast im Bereich von 100–500 kW_{th} sowie etwa 16.000 Gebäude mit einer Heizlast von unter 25 kW_{th} (gemäß den Daten des Wärmeplans).

Abbildung 37: Größenverteilung der Gebäude in den Untersuchungsgebieten (Bildquelle: eigene Darstellung, Google Earth)

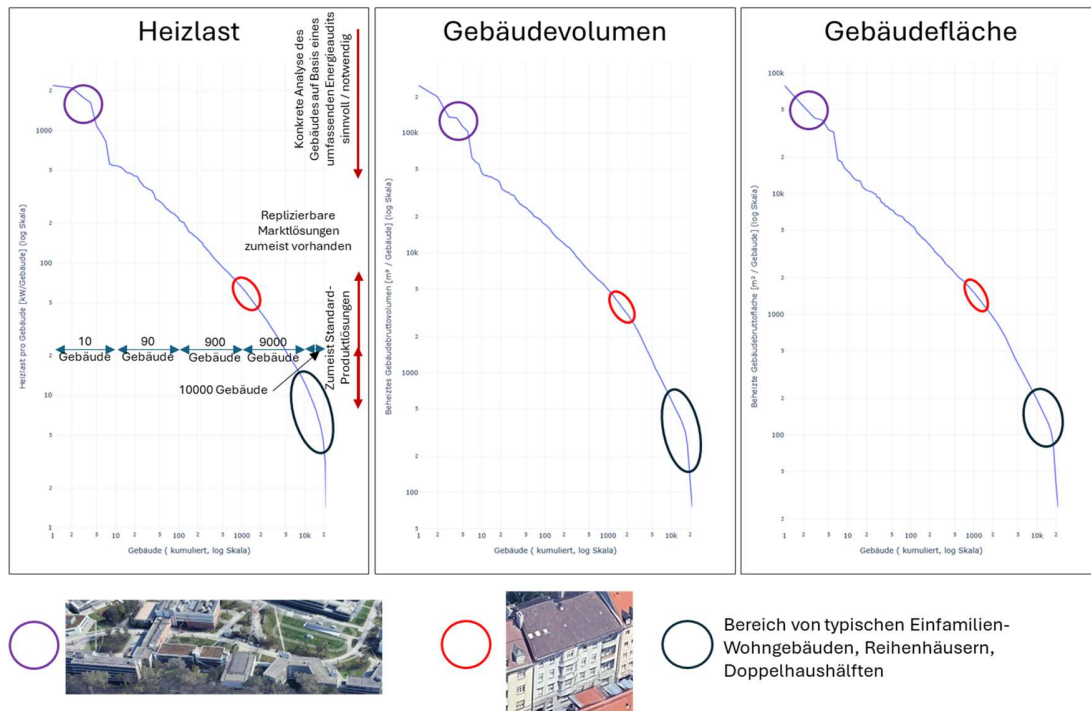
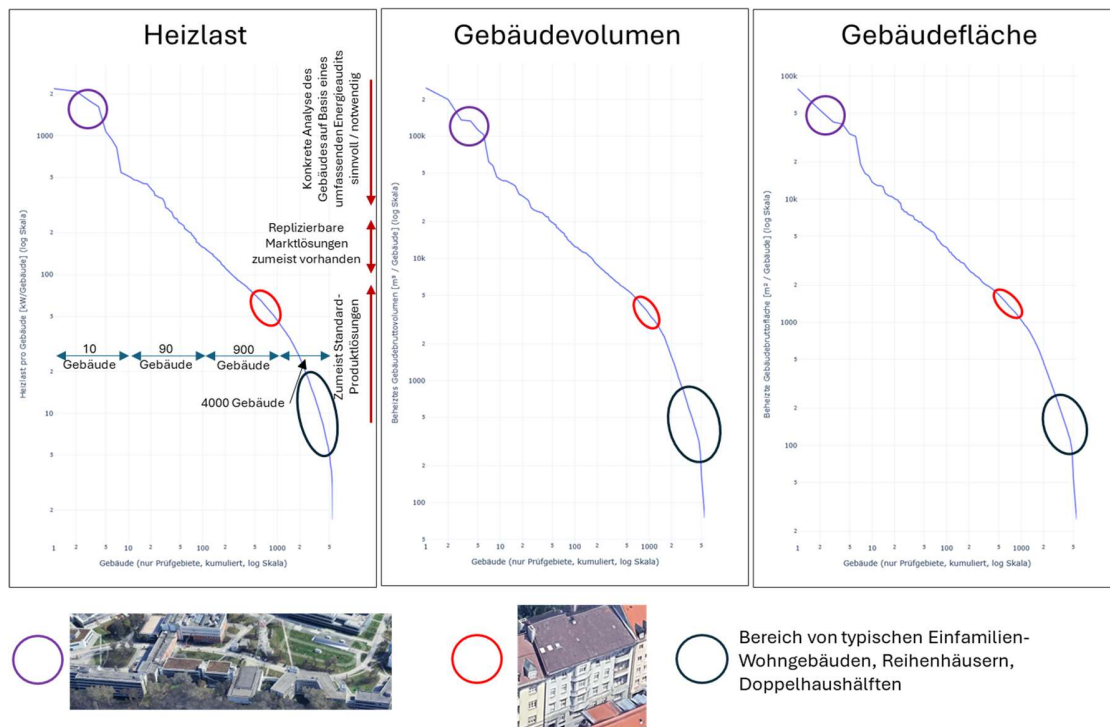


Abbildung 38: Größenverteilung der Gebäude in den als Prüfgebiete ausgewiesenen Zonen (Bildquelle: eigene Darstellung, Google Earth)



Ein tabellarischer Überblick ist in Tabelle 38 dargestellt.

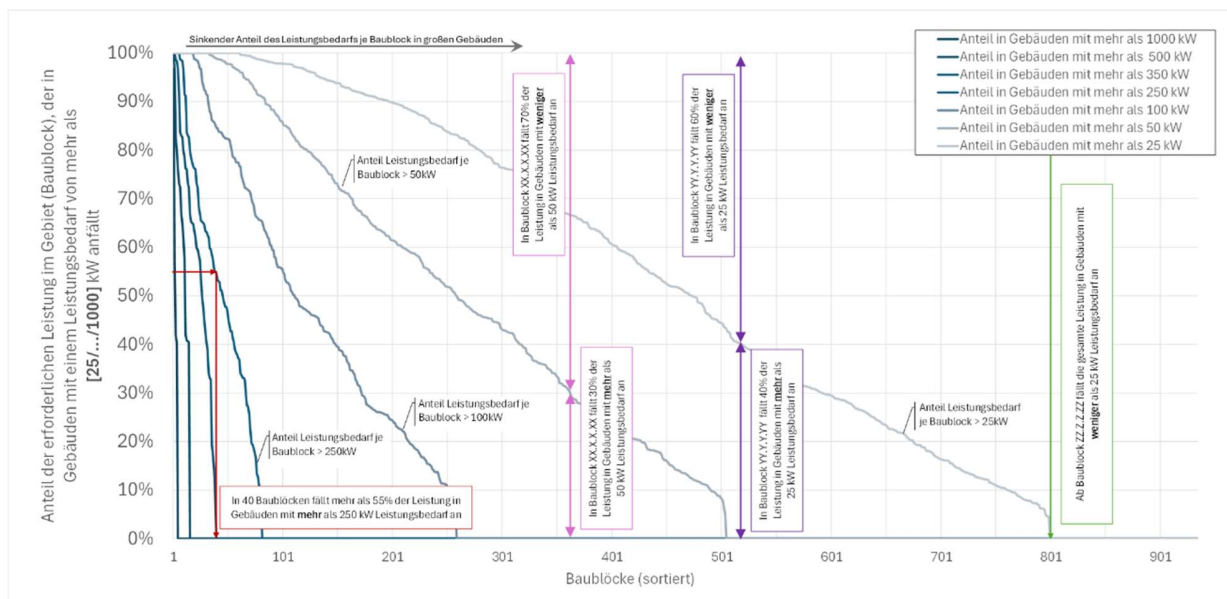
Tabelle 38: Gebäudebestand in den Untersuchungsgebieten nach erforderlicher Wärmepumpenkapazität (Bedarf an installierter Leistung, gerundete Werte)

Gebäude [kW _{th}]	bis 25	25-50	50-100	100-250	>250
Anzahl Gebäude	15.500	2.700	1.280	450	95
Bruttofläche (Mio. m²)	2,8	1,7	1,8	1,4	1,1
Energiebedarf (GWh)	305	165	155	110	75
Leistungsbedarf (MW _{th})	175	95	90	65	42

Abbildung 39 zeigt die Verteilung der Leistungsklassen über die Baublöcke. Zu sehen ist, dass in etwa 40 Baublöcken mehr als 55 % des Leistungsbedarfs in Gebäuden mit einer erforderlichen installierten Kapazität von über 250 kW_{th} anfallen (rote Pfeile). In etwa 360 Baublöcken entfallen mehr als 30 % der Leistung auf Gebäude mit mehr als 50 kW_{th} (rosa Pfeile), bei etwa 530 Baublöcken entfallen mehr als 40 % der Leistung auf Gebäude mit mehr als 25 kW_{th} (violette Pfeile). In etwa 135 von 934 Baublöcken haben alle Gebäude einen Leistungsbedarf von maximal 25 kW_{th} (grüne Pfeile). Zur groben Einordnung kann gesagt werden, dass für Gebäude mit mehr als 250-350 kW_{th} Leistungsbedarf aus den Daten des Wärmeplanes kaum zuverlässige Aussagen zu CO₂-neutralen Versorgungslösungen gemacht werden kann und eine vorausgehende konkrete Analyse des Ist-Zustandes und möglicher Zukunftslösungen durchzuführen ist. Typische innerstädtische Mehrfamilienwohngebäude der Baualtersklasse

bis 1918 liegen typischerweise im Bereich von 50 bis 100 kW_{th} Leistungsbedarf. Als Lesehilfe zur Verwendung des Diagramms sind hier beispielhaft die rosa Pfeile eingezeichnet. Gebäude mit einem Leistungsbedarf von weniger als 25 kW_{th} Leistungsbedarf sind typischerweise Einfamilienwohngebäude, Doppelhäuser(hälften) und Reihenhäuser. Deren Anteil ist durch die oberste Linie im Diagramm abgebildet. Als Lesehilfe sind wiederum (beispielhaft) die violetten und grüne Pfeile eingezeichnet.

Abbildung 39: Anteil des Leistungsbedarfs je Baublock der in Gebäuden mit einem Mindestbedarf anfällt



Die Untersuchungsgebiete werden im Folgenden auf zwei unterschiedliche Arten betrachtet. Die beiden Betrachtungen sind voneinander unabhängig, ihre Aussagen und Auswirkungen sind jedoch übertragbar. In Abschnitt 7.2 wird eine qualitative Kategorisierung der Bebauungsstrukturen vorgenommen. Diese werden beschrieben und es wird angegeben, wie häufig die Kategorien in den Untersuchungen vorkommen. Diese Einteilung soll einerseits dabei helfen, einen gewissen Überblick über die untersuchten Gebiete zu erhalten. Andererseits soll die qualitative Einordnung bei der grundlegenden Bewertung der Möglichkeiten einzelner Baublöcke und Gebiete helfen, da diese vielfach auf Basis einer schnellen optischen Sichtung erfolgt. Eine vollständige Zuordnung aller Untersuchungsgebiete (Baublöcke) in eine der in Abschnitt 7.2 angeführten Gebietstypen ist jedoch im Rahmen des Projektes nicht möglich.

In Abschnitt 7.3 erfolgt eine quantitative Beurteilung der Potenziale einer dezentralen, klimaneutralen Versorgung der Gebäude mittels Wärmepumpen. Diese stützt sich vor allem auf die verfügbaren Daten, lässt aber die in Abschnitt 7.2 getroffenen qualitativen Bewertungen außer Acht. Es ist zu beachten, dass sich die Ergebnisse und Aussagen aus Abschnitt 7.3 durch

geänderte Annahmen und Daten ändern (können), wohingegen die Aussagen aus Abschnitt 7.2 robuster, wenngleich weniger detailliert, sind.

7.2 Gebietstypen

Die verschiedenen Bebauungsstrukturen, die in den hier betrachteten Untersuchungsgebieten vorkommen, werden vorrangig qualitativ eingeordnet. Sie werden als Gebietstypen bezeichnet.

7.2.1 Gebiete mit Sondernutzung oder großvolumigen Gewerbebauten

Für Gebiete, in denen Gebäude mit Sondernutzung bzw. atypischem Energie- und Heizbedarf vorherrschen, lassen sich aus der bestehenden Datenlage (Kommunaler Wärmeplan, Modell München) keine verlässlichen Aussagen über den tatsächlichen Energieverbrauch, die Einsatzbereiche, Lastprofile oder Temperaturniveaus ableiten. Für diese Gebiete ist eine Einzelbetrachtung zwingend notwendig. Selbst das Ableiten des tatsächlichen Energiebedarfs für die Niedertemperaturwärmeversorgung ist methodisch bedingt kaum möglich. Ein Beispiel für ein solches Gebiet, das im Wärmeplan als „Prüfgebiet“ klassifiziert ist, ist das Kraftwerksgebäude Heizkraftwerk Süd). Diesem wird korrekterweise kein Raumwärmebedarf zugewiesen, die kleineren Bürogebäude auf dem Kraftwerksgelände müssen jedoch mit Wärme versorgt werden. In solchen Fällen kann die aktuelle Version des Wärmeplans keine sinnvollen Aussagen treffen und es ist ein konkreter Blick auf die tatsächlichen Gegebenheiten notwendig.

7.2.2 Dicht bebaute Gebiete mit großvolumigem Geschoßbau und geringer Anzahl an Eigentümern oder einheitlicher Eigentümerstruktur

Auch für diese Gebiete wird eine genaue Einzelbetrachtung der zu versorgenden Objekte empfohlen. Sofern es sich vorwiegend um Gebäude mit einem typischen Energieverbrauchsprofil (z. B. Dienstleistungsgebäude) handelt, sind die Daten im Wärmeplan sowie im Modell München ausreichend genau, um eine sinnvolle Größenordnung des jährlichen Wärmebedarfs sowie der erforderlichen Wärmeerzeugerkapazitäten wiederzugeben. Im Einzelfall kann eine Abweichung von +/- 35 % vorkommen. Abhängig von den tatsächlichen örtlichen Gegebenheiten sind sowohl gebäudezentrale Lösungen als auch gebäudeübergreifende Wärmenetze (Gebäudenetze) mit wenigen Energiezentralen möglich.

Aufgrund der geringen Anzahl an Eigentümern und des mit den großen Gebäudestrukturen einhergehenden signifikanten Energiebedarfs ist davon auszugehen, dass der organisatorische Aufwand eines umfassenden Energieaudits zur Ist-Analyse und eine darauf aufbauende Entwicklung eines Energiekonzept für eine klimaneutralen Versorgungslösung vergleichsweise gering sein dürfte. Ein mögliches Beispiel für ein solches Gebiet ist der Baublock, in welchem sich der Bayerische Rundfunk befindet. Es ist durch großvolumige Gebäude geprägt. Auf dem betreffenden Gebiet ist nur ein großflächiges Flurstück ausgewiesen, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass es sich um ein Gebiet mit einer geringen Anzahl an Eigentümern handelt – wenngleich die Anzahl der Flurstücke nicht notwendigerweise mit der Anzahl der Eigentümer einhergehen muss.

Um eine Abschätzung darüber zu erhalten, wie häufig dieser Typ in den Untersuchungsgebieten vorkommen könnte, wird der folgende Filter auf den Datensatz angewendet: „Ein Gebiet (Baublock) umfasst maximal zwei Flurstücke, der Bedarf an installierter Leistung wird überwiegend (zu mehr als 65 %) in Gebäuden mit einer Heizlast von 250 kW_{th} verursacht“ abgeschätzt. Unter diesen Annahmen werden 21 Gebiete (Baublöcke) mit insgesamt 75 Gebäuden gefunden, auf die diese Kriterien zutreffen. Fünf dieser Gebiete (Baublöcke) enthalten nur ein (großes) Gebäude, dem im Wärmeplan ein Energiebedarf zur Raumwärmeversorgung zugewiesen wurde. 13 der 21 Gebiete sind als Prüfgebiete ausgewiesen, die übrigen acht Gebiete sind als „Wärmepumpe nach Sanierung“ klassifiziert.

7.2.3 Dicht bebaute Gebiete mit großvolumigem Geschoßbau / Büro- / Gewerbeparks

Auch hier wird der überwiegende Teil der benötigten Energie in Gebäuden mit einem hohen Leistungsbedarf verursacht. Daher ist auch hier eine konkrete Ist-Bestandsaufnahme sowie eine umfassende Planung einer zukünftig möglichen klimaneutralen Energieversorgung erforderlich. Im Gegensatz zur zuvor skizzierten Gruppe ist in diesen Gebieten mit einer heterogenen Gruppe von Entscheidungsträgern zu rechnen. Gemeinschaftliche, gebäudeübergreifende Lösungen sind daher mit einem höheren Koordinationsaufwand verbunden. Hinzu kommt, dass die verschiedenen Eigentümer eventuell unterschiedliche Präferenzen oder Zeitpläne verfolgen.

Unter den Gebietseinschränkungen „mehr als zwei Flurstücke“ und „der Bedarf an installierter Leistung wird überwiegend (zu mehr als 65 %) in Gebäuden mit einer Heizlast von 250 kW_{th} verursacht“ werden sieben Gebiete identifiziert. Davon sind drei als „Prüfgebiete“ eingeordnet. Wird das Kriterium dahingehend abgeändert, dass mindestens 55 % der Leistung in Gebäuden mit mehr als 250 kW_{th} anfallen, werden 15 Gebiete erfasst.

Wie bereits oben dargestellt, ist die Anzahl der Flurstücke nur ein bedingt aussagekräftiger Parameter hinsichtlich der tatsächlichen Eigentumsverhältnisse und führt zu Unschärfen der Annahmen.

7.2.4 Nichtwohngebäude mit großer Gebäudeaufstandsfläche / Einkaufszentren

Ein weiterer städtebaulicher Bebauungstyp sind Einkaufszentren und ähnliche Nichtwohngebäude mit sehr großer Umrissfläche und überwiegend Flachdächern. Im Datensatz wurden keine Gebiete gefunden (optische Sichtung in QGIS/GoogleSatelite), die diesen Kriterien entsprechen und sich in den Untersuchungsgebieten befinden.

7.2.5 Nichtwohngebäude / Schulen mit Sportplätzen

Schulen und Kindertagesstätten sind häufig mit Sportplätzen ausgestattet. Das bedeutet, dass in der Regel ausreichend Fläche vorhanden ist, auf der sich der Schall von Außenluftwärmepumpen ausbreiten kann, ohne unmittelbar auf benachbarte Gebäude zu treffen. Damit bieten solche Gebiete in der Regel gute Voraussetzungen, um Installationsflächen für größere Wärmepumpen, oder im Falle von lokalen Wärmenetzes Installationsflächen für Wärmezentralen, bereitzustellen.

In den Untersuchungsgebieten wurden acht Baublöcke mit Schulen identifiziert. Von diesen bieten vier potenziell ausreichend Platz für die Installation einer Luftwärmepumpe (Albert-Einstein-Gymnasium, Mittelschule an der Situlistraße, Grundschule Von-der-Pfordten-Straße, Grundschule an der Haimhauserstraße. In den anderen vier Gebieten sind zumeist Grünflächen vorhanden, jedoch keine dezidierten, großflächigen Sportplätze (Fußballfelder) (Städt. Theodolinden-Gymnasium / Rotbuchenschule, Forellenschule, Bilinguale Schulen Phorms, Grundschule Limesstraße). Dadurch sind die Möglichkeiten, diese Gebäude mit Erdkollektorfeldern oder großen Luftwärmepumpen zu versorgen, deutlich eingeschränkt. Zusätzliche Maßnahmen zur Reduktion der Schallimmissionen sind erforderlich.

7.2.6 Vorwiegend Geschoßwohnbau in Punkt / Solitärbebauung

Diese Bebauungsstruktur zeichnet sich durch überwiegend hohe, freistehende Geschosswohnbauten („Hochhäuser“) aus. Zwischen den Gebäuden befinden sich in der Regel größere Grünflächen und der Abstand zwischen den Gebäuden ist erheblich. Die Gebäude sind meist mit Balkonen oder Loggien ausgestattet und wurden vielfach in den 60er- und 70er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts erbaut. Ihr Energiebedarf ist typischerweise erheblich, insbesondere bezogen auf die Gebäudeaufstandsfläche.

Die Gebäude wurden historisch auf hohe Wärmeverteilttemperaturen ausgelegt. Teilweise wurden die Steigleitungen ursprünglich sogar als Dampfleitungen ausgeführt. Aufgrund der langen Leitungen und der hohen benötigten Leistungen pro Steigleitung, die sich aus den großen Gebäudehöhen und dem zumeist zentralen Versorgungsschacht ergeben, ist eine Wärmeversorgung mit niedrigen Verteilttemperaturen ab Wärmeerzeuger vielfach mit zusätzlichen Barrieren verbunden. Gleichzeitig zeichnen sich die Gebiete durch vergleichsweise einheitliche Gebäude- und Eigentümer- oder Gebäudeverwaltungsstrukturen aus, wodurch Maßnahmen einfacher umsetzbar sind. Des Weiteren sind diese Art von Gebäuden in der Regel mit Flachdächern ausgestattet, sodass eine Dachaufstellung von Wärmepumpen geprüft werden sollte, sofern auf den vorhandenen Grünflächen keine geeigneten Standorte gefunden werden.

Bei einer optischen Sichtung wurden in den Untersuchungsgebieten („Prüfgebiete“ und „Wärmepumpe nach Sanierung“) zwei Gebiete identifiziert, die diesem Bebauungstyp entsprechen. Darüber hinaus sind in den Untersuchungsgebieten vereinzelt Gebäude dieses Typs vorhanden.

7.2.7 Vorwiegend Geschoßwohnbau in Linienbauweise / Zeilenbauweise

Anders als bei den zuvor skizzierten Gebieten dominieren bei dieser Bebauungsstruktur Gebäude mit einem großen Längen-zu-Breiten-Verhältnis, mehreren Hauszugängen bzw. Stiegenhäusern und somit auch mehreren Installationsschächten und Steigleitungen. Die Gebäude haben üblicherweise einen geringeren Balkon- bzw. Loggienanteil und ihre Fassade ist thermisch einfacher zu sanieren. Hier können Wärmepumpenlösungen mit Dachaufstellung in Betracht gezogen werden. Alternativ zu gebäudeindividuellen Lösungen können auch Wärmenetzlösungen in Betracht gezogen werden (wie auch bei der vorherigen Bebauungskategorie). Dies setzt allerdings voraus, dass ein geeigneter Standort für eine

Heizzentrale gefunden wird, an dem ausreichend große Wärmeerzeuger installiert werden können bzw. an welchem ausreichend Potenzial an erneuerbaren Energieträgern vorhanden ist.

Diese Bebauungsstruktur kommt außerhalb des Stadtzentrums in München häufig vor. Bei einer Beschränkung auf vor 2000 errichtete Gebäude wurde ein Gebiet im Norden Münchens identifiziert, das an den Lerchenauer See angrenzt.

7.2.8 Vorwiegend innerstädtischer Geschoßwohnbau in offener oder geschlossener Blockrandbebauung ohne Innenhofbebauung

Diese Bebauungsstruktur ist in innerstädtischen Gebieten häufig zu finden. Die Bebauung ist heterogen, die meisten Gebäude wurden vor 1960 errichtet, einige Bestandsgebäude wurden jedoch bereits durch Ersatzneubauten ersetzt. Die Gebäude verfügen zumeist über einen Innenhof mit Grünflächen und haben überwiegend Sattel- bzw. Walmdächer. Die Dachgeschosse sind häufig bewohnt, wodurch eine Dach- oder Dachgeschossaufstellung mit erheblichen Barrieren verbunden ist. Auch für PVT-Kollektoren sind nur begrenzt Potenziale vorhanden. Zudem sind viele Altbauten denkmalgeschützt oder unterliegen dem Ensembleschutz. Dadurch sind thermische Sanierungen oft nur eingeschränkt möglich. Eine Aufstellung von Luft-Wasser-Wärmepumpen ist straßenseitig meist nicht möglich. Für einen Teil der Gebäude bieten die Innenhöfe potenziell Platz für eine Aufstellung. Eine weitgehend gebäudeindividuelle Wärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger ist kaum bzw. nur mit großen Hürden realisierbar, weshalb eine netzgebundene Versorgung vorzuziehen ist.

In den Untersuchungsgebieten kommt dieser Typ vor allem in den Gebieten um die Münchner Freiheit, den Tivoli und Bogenhausen vor.

7.2.9 Vorwiegend innerstädtischer Geschoßwohnbau in offener oder geschlossener Blockrandbebauung mit Innenhofbebauung

Dieser Bautyp ähnelt dem vorherigen, allerdings sind die Innenhöfe teilweise bebaut. Dadurch ist es noch schwieriger, diese Bebauungstypen mit gebäudeindividuellen, netzunabhängigen Lösungen zu versorgen. Diese Bebauungsstruktur tritt in den Untersuchungsgebieten in Schwabing-Freimann im Bereich der Münchner Freiheit, in Neuhausen-Nymphenburg sowie in Laim auf. Bis auf das Gebiet in Schwabing-Freimann überwiegt der Typus mit offener Blockrandbebauung.

7.2.10 Vorwiegend kleine Wohngebäude ohne signifikante Flurstücke

Diese Bebauungsstruktur zeichnet sich durch dicht bebaute Gebiete mit überwiegend kleinen (Wohn-)Gebäuden und sehr kleinen unbebauten Flurstücken aus. Diese Siedlungsstrukturen weisen wahrscheinlich geringe Energiedichten auf, was den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen erschwert. Gleichzeitig sind die Möglichkeiten einer gebäudeindividuellen Wärmeversorgung eingeschränkt. Diese Gebiete erfordern daher eine detaillierte Vor-Ort Bestandserfassung und gezielt darauf abgestimmte Lösungen.

In den Untersuchungsgebieten wurden keine Gebiete identifiziert, die diesem Bebauungstyp entsprechen.

7.2.11 Vorwiegend kleine Reihenhäuser und Doppelhäuser mit schmalen Flurstücken

Der nächste Bebauungstyp zeichnet sich durch eine Reihenhausstruktur mit schmalen, länglichen Flurstücken aus. Die Flurstücke entsprechen in der Regel der Gebäudebreite, die in der Regel zwischen 5 und 7 Metern liegt. Aufgrund der geringen Gebäudebreiten befinden sich Außenluftwärmepumpen, sofern diese direkt am Gebäude errichtet werden, in unmittelbarer Nähe zu den Nachbargebäuden. In der Praxis ist dieser Aufstellungsort häufig zu beobachten. Gleichzeitig bieten die langen Flurstücke aber auch die Möglichkeit, einen Aufstellungsort zu wählen, der weiter von Nachbargebäuden entfernt ist.

Gemeinsam mit Bebauungsstrukturen, die vorwiegend Doppelhäuser umfassen, kommt dieser Bebauungstyp in den Untersuchungsgebieten sehr häufig vor.

7.2.12 Vorwiegend kleine, freistehende Wohngebäude ohne Innenhofbebauung

Bei diesem Bebauungstyp handelt es sich vorwiegend um freistehende Wohngebäude mit einer oder wenigen Wohneinheiten. Die Gebäude stehen auf nicht weiter bebauten Flurstücken. Die Struktur hinsichtlich der Gebäude und Flurstücke ist heterogen. In der Regel ist auf den Flurstücken ausreichend Platz für die Aufstellung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe im Außenbereich vorhanden.

Auch dieser Bebauungstyp kommt in den Untersuchungsgebieten häufig vor; die Mehrheit der Gebäude befindet sich in diesen Gebieten.

7.2.13 Vorwiegend kleine, freistehende Wohngebäude mit substanzieller Hinterlandbebauung

Dieser Bautyp ähnelt dem vorherigen, allerdings gibt es hier Bebauungen in einer zweiten Grundstücksreihe. Ähnlich wie bei der Blockrandbebauung mit Innenhofbebauung kann es bei der gebäudeindividuellen Wärmeversorgung aufgrund der höheren Siedlungsdichte und der geringeren Abstände zu den Nachbargebäuden in den hinteren Flurstücksbereichen zu Schwierigkeiten kommen. Dies kann dazu führen, dass die Schallimmissionsgrenzwerte schwieriger einzuhalten sind.

Dieser Bebauungstyp ist in den Untersuchungsgebieten nicht sehr häufig vertreten, kommt aber in den Bezirken Trudering-Riem, Aubing-Lochhausen-Langwied, Thalkirchen-Obersendling-Forstenried und Schwabing-Freimann vor.

7.3 Potenzial von Luftwärmepumpen zur Versorgung der Gebäude in den Untersuchungsgebieten

In diesem Abschnitt werden die Potenziale des Einsatzes von Luftwärmepumpen in den betrachteten Untersuchungsgebieten untersucht. Netzgebundene Lösungen werden nicht explizit untersucht. Dies ist einerseits der, im gegenständlichen Projekt verfolgten, Prämisse

„dezentrale vor zentralen Lösungen“ geschuldet, sofern diese technisch und wirtschaftlich bei ausreichend vielen Gebäuden umsetzbar sind. Andererseits basiert diese Entscheidung auf der Erkenntnis aus den drei detailliert betrachteten Gebieten, dass Wärmepumpen bei deutlich mehr Gebäuden einsetzbar sind als im Wärmeplan unterstellt. Andererseits erfordert eine fundierte Analyse der Umsetzbarkeit von Wärmenetzlösungen eine detailliertere Vor-Ort-Betrachtung der Möglichkeiten und Einschränkungen, als dies im Rahmen des Projektes für die große Anzahl an Gebieten durchführbar ist.

Im Rahmen der Entwicklung des Wärmeplans wurde die Verfügbarkeit von Technologien zur klimaneutralen Wärmeversorgung von Gebäuden bereits umfassend untersucht. Dies gilt insbesondere für den Ausbau der Fernwärme und größerer Nahwärmenetze sowie für die Potenziale von Erdwärmekollektoren und Grundwasserwärmepumpen. Im Falle von Luftwärmepumpen wurden die Auswirkungen einer Aufstellung in einem Abstand von einem Meter zum Gebäude auf die Schallimmissionen benachbarter Gebäude analysiert. Dabei wurden die möglichen Aufstellorte mit der Weißflächenkartierung abgestimmt und weiter eingeschränkt. Wenn an einem Aufstellungsort die erlaubten Schallpegel bei keinem benachbarten Gebäude überschritten werden, wurde das Gebäude als geeignet für Luftwärmepumpen eingestuft. Als „wärmepumpengeeignet nach vorheriger Sanierung“ wurden Gebäude eingestuft, bei denen durch eine thermische Sanierung die erforderliche Wärmepumpenleistung so weit reduziert werden kann, dass die damit einhergehende Schallreduktion ausreicht, sodass an keinem Nachbargebäude die zulässigen Schallimmissionen überschritten werden.

In unserer Analyse verfolgen wir hinsichtlich der Bewertung der Aufstellmöglichkeiten von Luftwärmepumpen einen ähnlichen, aber erweiterten Ansatz wie im Wärmeplan. Gegenüber den Analysen für den Wärmeplan berücksichtigen wir nicht die konventionelle Außenaufstellung von Luftwärmepumpen in unmittelbarer Gebäudenähe, sondern untersuchen einerseits auch die Platzierung der Wärmepumpen auf einem größeren Teil des Grundstücks. Andererseits erlauben wir unter bestimmten Voraussetzungen die Aufstellung einer Wärmepumpe auf dem Dach des Gebäudes, insbesondere wenn das Gebäude ein Flachdach hat, sowie die Aufstellung im Keller, sofern das Gebäude eine Mindestgröße überschreitet. Darüber hinaus berücksichtigen wir auch kaskadierte Wärmepumpen.

7.3.1 Methode und Annahmen

Dieser Abschnitt beschreibt die Methoden und Annahmen, die bei der Analyse verwendet und getroffen wurden und dient der Dokumentation, Nachvollziehbarkeit und Reproduktion der Ergebnisse. Die Bewertung der möglichen Versorgung von Gebäuden mit Luftwärmepumpen basiert auf den nachfolgenden Daten, Algorithmen und Annahmen.

Die zur Verfügung stehenden Daten beinhalten

- Gebäude aus dem Wärmeplan in den als „Prüfgebiete“ oder „Wärmepumpen nach Sanierung“ gekennzeichneten Gebieten. Es liegen Gebäudegeometrien sowie Gebäudeeigenschaften vor. Diese beinhalten Angaben zur Gebäudenutzung, zum Denkmal- und Ensembleschutz sowie berechnete Größen wie die Anzahl der

Stockwerke, die beheizte Fläche, den Nutzenergiebedarf, den Endenergieverbrauch, die Gebäudeheizlast, die Baualtersklasse, den Energieträger, das verfügbare Dachflächenpotenzial zur Solarnutzung oder Informationen darüber, ob das Gebäude über ein Flachdach verfügt.

- Flurstücke: Ausdehnung der Flurstücke sowie Informationen zu verfügbaren Energiemengen und Entzugsleistungen von Grundwasser- und Kollektorwärmepumpen.
- Baublöcke: Ausdehnung der Baublöcke sowie Informationen zu verfügbaren Energiemengen und Entzugsleistungen von Grundwasser- und Kollektorwärmepumpen.
- Gebäudeumrisse aller Gebäude in München sowie deren Gebäudebruttofläche

7.3.1.1 Mögliche Aufstellorte von Wärmepumpen

In der Analyse werden grundsätzlich drei unterschiedliche Aufstellungsorte unterschieden: eine Außenaufstellung am Gebäudeflurstück, eine Aufstellung im Keller eines Gebäudes mit Ein- und Auslassöffnungen entlang des Gebäudeumringses sowie eine Dach- oder Dachgeschossaufstellung.

Für die Außenaufstellung wurde für jedes Flurstück ein Weißflächenlayer erstellt, auf dem mögliche Aufstellungsorte gesucht werden. Ausgangspunkt hierfür waren die verfügbaren Datensätze. Dabei müssen im eingesetzten Algorithmus folgende Randbedingungen¹⁴ erfüllt sein:

- Mindestabstand zur Flurstücksgrenze sowie zu Gebäuden (inklusive des eigenen Gebäudes): 1,5 Meter: Damit wird eventuellen Begrenzungen (Zäune, Hecken, etc.) zwischen den Flurstücken, der eigentlichen räumlichen Ausdehnung der Wärmepumpe (Platzbedarf) sowie der notwendige Raum für das erforderliche Fundament, eventuellen Gehwegen und anderen Unwägbarkeiten Rechnung getragen.
- Ab einer Leistung von 30 kW_{th} muss der Mindestabstand zum eigenen Gebäude 0,75 m pro (Wärmepumpenleistung [kW_{th}] abzüglich 30 kW_{th}) betragen, maximal jedoch 8 Meter bei Leistungen ab 135 kW_{th}: Damit sollte verhindert werden, dass große Anlagen in unmittelbarer Nähe zu schutzbedürftigen Räumen (z.B. Schlaf- oder Arbeitszimmer) des Gebäudes, welches durch eine solche Wärmepumpe versorgt wird, aufgestellt werden. Diese Anforderung verbessert insbesondere im Geschoßwohnbau die Ergebnisse der Methode
- Maximalabstand vom Gebäude: Gebäudebruttofläche^{0,5} + 3 m (bis maximal 35 m).
- Mindestabstand zu Gebäudeinnenecken (konkave Ecken)
- Nicht innerhalb von Lichtschächten oder Innenhöfen eines einzelnen Gebäudes
- Nicht innerhalb von konkaven Innenbereichen mit einer Breite von unter 10 Metern.
- Mindestabstand zu Nachbargebäuden

¹⁴ Die Randbedingungen sind nicht unmittelbar aus Normen abgeleitet, sondern das Ergebnis eines intensiven, integrativen Prozesses. In diesem wurden die Ergebnisse der Methode überprüft, der Algorithmus und die zugrunde liegenden Annahmen kalibriert und verfeinert. Ziel dieser Anpassungen war es, die „False Positive“-Quote zu reduzieren, also die Anzahl möglicher Aufstellorte, die gemäß des eingesetzten Algorithmus als möglich erachtet wurden, bei einer manuellen Überprüfung jedoch als in der Praxis nicht umsetzbar eingeschätzt wurden.

Für die möglichen Aufstellungsbereiche einer Kellerwärmepumpe müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- Mindestgröße des Gebäudes von 600 m² ist erfüllt. Damit wird berücksichtigt, dass die erforderlichen zusätzlichen Anforderungen an den Installationsort (z.B. Aufstellung in einem Technikraum) im Falle von R290 (Propan), sofern eine Mindestfüllmenge überschritten wird, wahrscheinlich dazu führen wird, dass eine solche Aufstellung zukünftig eher erst bei größeren Gebäudebestands-objekten in Betracht gezogen werden wird.
- Mindestabstand der Luft-Einlass / Ausblas-Öffnung¹⁵ zu Gebäudeecken (konkaven und konvexen Ecken)

Für den Fall einer Dach(geschoß)aufstellung muss

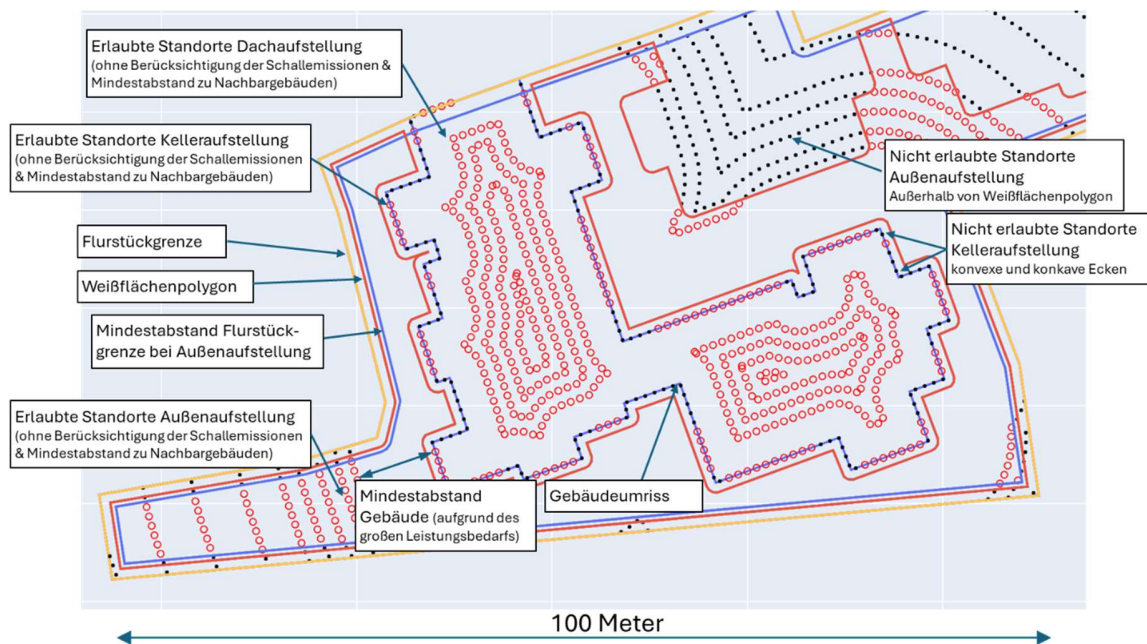
- ein Mindestabstand von 1,5 Meter zum Gebäudeumring im Fall eines Flachdaches eingehalten werden.
- Für andere Dachformen sind eine Mindestgebäudebruttofläche von 600 m² sowie Abstände von mindestens 3,5 m zum Gebäudeumring einzuhalten. Damit wird sichergestellt, dass eine Aufstellung nur bei größeren Dachflächen in Betracht gezogen wird.
- Bei der Dachaufstellung wird nicht berücksichtigt, dass durch entsprechende Lärmschutzmaßnahmen (z.B. Einhausung) der Schallkegel nach oben abgeleitet werden kann und somit die Schallimmissionen für benachbarte Gebäude, die nicht wesentlich höher sind, erheblich reduziert werden kann. Dies bedeutet, dass hier ein konservativer Ansatz gewählt wurde. Gleichzeitig wird jedoch auch nicht berücksichtigt, ob eine Dachaufstellung aus gebäudestatistischen Gründen möglich ist, oder nicht. Hier ist zu beachten, dass bei größeren Systemen mit einem Gewicht von etwa 800 -1200 kg pro 100 kW_{th} Heizleistung der Wärmepumpe zu rechnen ist. Möchte man ein Dach bzw. das tragende Mauerwerk mit nicht mehr als 30 kg/m² zusätzlich belasten, so ist zum Verteilen der Last eine Fläche von 25-40 m² pro 100 kW_{th} Heizleistung erforderlich.

Die angewendete Methode sucht zunächst entlang dieser Kurven um den Gebäudeumriss nach möglichen Aufstellungsorten im Abstand von einem Meter¹⁶. Dies ist für ein beispielhaftes Gebäude in Abbildung 40 dargestellt.

¹⁵ Der Algorithmus berücksichtigt nur einen einzelnen Punkt für beide Öffnungen. Bei einer konkreten Umsetzung muss tatsächlich berücksichtigt werden, dass Maßnahmen ergriffen werden, die einen thermischen Kurzschluss verhindern. Das kann unter anderem einen räumlichen Abstand zwischen beiden Öffnungen erfordern, wodurch sich der effektive Abstand zu schützenswerten Räumen weiter verringert. Dies ist einer der Gründe, weshalb bei dieser Lösung ein zusätzlicher Lärmaufschlag berücksichtigt wurde.

¹⁶ Damit ist der Abstand von möglichen Punkten entlang der jeweiligen Kurvenlinie gemeint, nicht der Abstand zwischen zwei Kurvenlinie bzw. der Abstand vom Gebäude.

Abbildung 40: Ein Beispiel für die Suche nach möglichen Aufstellflächen.



In einem nachfolgenden Schritt wird für alle erlaubten Aufstellorte der Abstand zum nächstgelegenen Gebäudeobjekt sowie die daraus resultierende Schalldämpfung unter Berücksichtigung eines Zuschlags für Tonhaltigkeit KT von $+3 \text{ dB(A)}$ und, abhängig von den Abständen zu Wänden und Ecken, eines Raumwinkelmaßes K_0 von $+3/6/9 \text{ dB(A)}$ sowie einer Abschirmung D_i von $0/5/15 \text{ dB(A)}$ ermittelt. Für die erlaubte Schallimmission werden die Immissionsrichtwerte gemäß TA Lärm zuzüglich $0,5 \text{ dB(A)}$ angesetzt.

Ein Unterschreiten des Beurteilungspegels um mehr als $3/6 \text{ dB(A)}$ ¹⁷ unter dem Immissionsrichtwert (zur Berücksichtigung weiterer Quellen bzw. „Vorbelastung“) wird in der durchgeführten Analyse nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass, sofern notwendig, zusätzliche Schallschutzmaßnahmen getroffen werden können, beispielsweise durch die Verwendung von Wärmepumpen mit einem Zuschlagsfaktor für Tonhaltigkeit von 0 dB(A) oder das Anbringen von Schallschutzhauben.

Als Abstand wird der kürzeste Abstand vom Aufstellungspunkt zum nächsten Gebäudeobjekt abzüglich $1,25$ ¹⁸ Meter herangezogen; dabei ist ein Mindestabstand von 2 Metern einzuhalten. Bei einer Kelleraufstellung wird eine reduzierte Schalldämpfung von 2 dB(A) unterstellt, da bei der Wahl der möglichen Aufstellorte mit größeren Einschränkungen zu rechnen ist und sich die Abstände zu Nachbarobjekten gegenüber den optimierten Varianten verringern. Ist der kürzeste Abstand zwischen Aufstellungsort und einem benachbarten Gebäude durch das

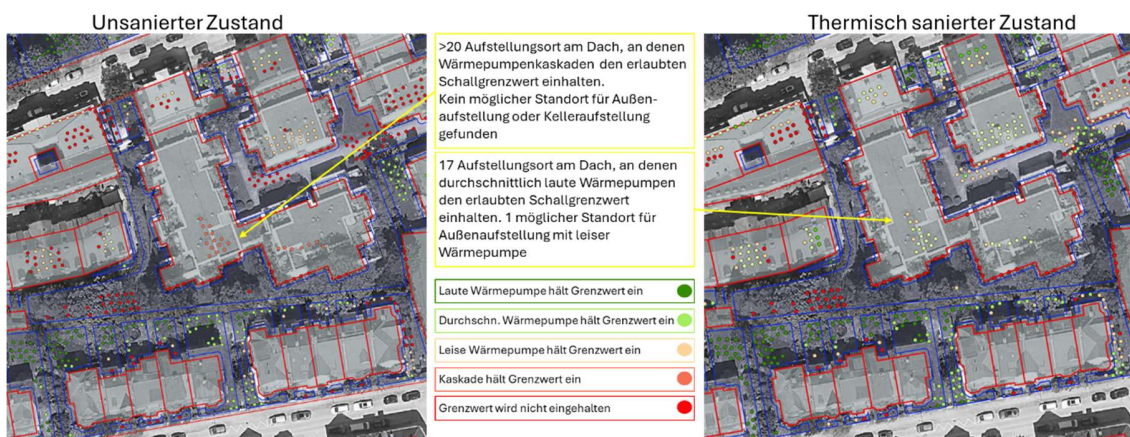
¹⁷ Liegt der Beurteilungspegel der Wärmepumpe um mindestens 6 dB(A) unter dem Immissionsrichtwert nach TA Lärm, so ist die Anlage im Sinne des Immissionsschutzes nicht relevant (TA Lärm 3.2.1). Ansonsten muss ein Nachweis erbracht werden, dass unter Berücksichtigungen allfälliger Vorbelastungen die Anforderung der TA Lärm eingehalten werden.

¹⁸ Dies ergibt aus $0,5$ Meter, um welche der Messpunkt der Schallimmissionen außerhalb von der Mitte des Fensters gesetzt wird, sowie $0,75$ Meter, die eine räumliche Ausdehnungen der Wärmepumpe selbst berücksichtigen.

Gebäude abgeschirmt, werden nicht abgeschirmte Punkte gesucht und es wird untersucht, ob dort mit einer höheren Schallimmission zu rechnen ist. Befindet sich ein benachbartes Gebäude in einem Gebiet mit einem höheren Immissionsrichtwert gemäß TA Lärm, so darf dieser nicht mehr als 4 dB(A)¹⁹ über dem Grenzwert liegen, der für das Gebäude mit der Schallemissionsquelle gilt. Auf Basis dieser Annahmen werden alle möglichen Aufstellungspunkte jeweils getrennt nach Außenaufstellung, Kelleraufstellung und Dachgeschossaufstellung nach der maximal erlaubten Schallemission sortiert. Aufstellorte, die weniger als 1,4 Meter von einem möglichen Aufstellort entfernt sind, an dem ein höherer Emissionspegel möglich ist, werden verworfen. Für die verbleibenden Aufstellorte werden die dort erlaubten Schallemissionen mit den Schallpegeln der für die Versorgung des gesamten Gebäudes erforderlichen Wärmepumpen (unsaniert sowie saniert) verglichen. Für die Lautstärkepegel von Wärmepumpen werden die folgenden Regressionsgeraden verwendet:

- Laute Wärmepumpen: $46,7290 + 6,1460 \cdot \ln(\text{Leistung WP})$
(dunkelgrüne Punkte)
- Mittlere Wärmepumpen: $42,0930 + 6,1934 \cdot \ln(\text{Leistung WP})$
(hellgrüne Punkte)
- Leise Wärmepumpen: $36,6110 + 6,8382 \cdot \ln(\text{Leistung WP})$
(beige Punkte)
- Kaskadisch geschaltete Wärmepumpen
(orange Punkte)
 - Über 100 kW_{th}: $47,3520 + 4,3647 \cdot \ln(\text{Leistung WP})$
 - 40 bis 100 kW_{th}: $39,5300 + 4,3458 \cdot \ln(\text{Leistung WP})$
 - Unter 40 kW_{th}: $39,5300 + 4,3458 \cdot \ln(40)$

Abbildung 41: Ein Beispiel für die Bewertung der möglichen Aufstellorte hinsichtlich der Rahmenbedingungen, unter denen das Aufstellen der erforderlichen Wärmepumpe zur Versorgung des Gebäudes möglich ist. (Bildquelle: eigene Darstellung, Google Satellite)

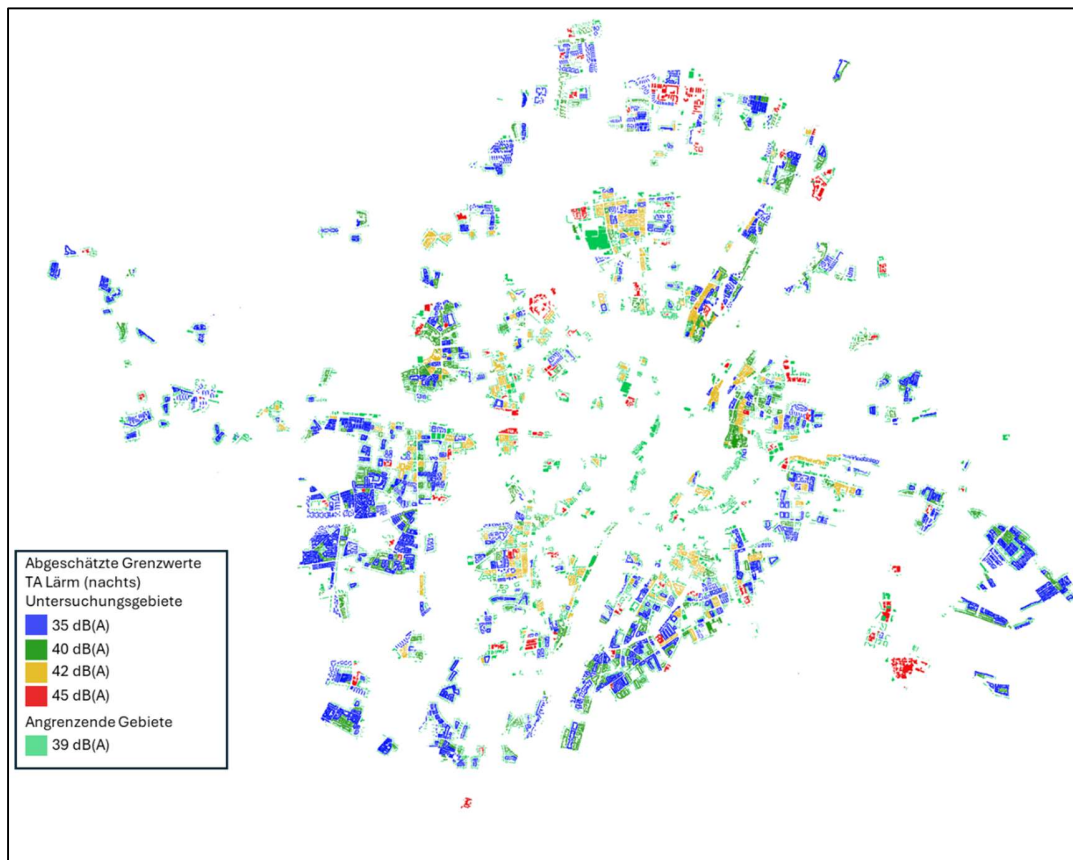


¹⁹ Die Einteilung der Gebiete nach Immissionsschutz-Grenzwerte (nachts) gemäß TA Lärm wurde im Projekt über die Art des Gebäudebestandes in den Baublöcken abgeschätzt und ist mit Unsicherheiten behaftet. Um dieser Unsicherheit Rechnung zu tragen, wurde diese Bedingung eingeführt.

Die Zuordnung der Baublöcke zu den Empfindlichkeitsstufen gemäß TA Lärm (siehe Abbildung 42) und somit zu den zulässigen Schallemissionen wurde anhand der Bebauungsstruktur abgeschätzt. Auf Ebene der Baublöcke wurde folgende Logik für die Immissionsrichtwerte (nachts) angewendet:

1. 45 dB(A) („Gewerbegebiet“ abzüglich 5 dB(A)): 80 % der Gebäudefläche oder des Energiebedarfs ist Nichtwohngebieten zugeordnet.
2. 42 dB(A) („urbanes Gebiet“ abzüglich 3 dB(A)): 75 % der Gebäudefläche oder des Energiebedarfs entfallen auf Nichtwohngebäude oder große Wohngebäude. Der Anteil der überbauten Flächen (Gebäudeaufstands-flächen/Baublockflächen) beträgt mehr als 35 % und die durchschnittliche Geschossanzahl beträgt mehr als drei Stockwerke.
- 35 dB(A) („reine Wohngebiete“): 65 % oder mehr des Energiebedarfs oder der Gebäudefläche sind Wohngebäuden und 45 % (oder mehr) sind kleinen Wohngebäuden zuzuordnen: Die durchschnittliche Geschossanzahl beträgt weniger als drei Stockwerke. ODER 90 % des Energiebedarfes sind Wohngebäuden zugeordnet
3. Sonstige Gebiete innerhalb der Untersuchungsgebiete: 40 dB(A) („Allgemeines Wohngebiet“)
4. Gebäude, an Untersuchungsgebiete angrenzend: 39 dB(A)

Abbildung 42: Abgeschätzte Immissionsschutz-Grenzwerte (nachts) gemäß TA Lärm in den Untersuchungsgebieten



7.3.1.2 Kategorisierung der technologiespezifischen Barrieren

Auf Basis der Anzahl an potenziellen Standorten für Außenluft-Wärmepumpen werden die Gebäudeobjekte verschiedenen Eignungskategorien zugeordnet. Diese Kategorien werden jeweils getrennt für den unsanierten und den sanierten Zustand vergeben. Die technologiespezifischen Barrierenkategorien werden den Gebäuden anhand der folgenden Logik zugewiesen:

- „Sehr gute Eignung“ (es müssen jeweils 2 Bedingungen erfüllt oder 2-5 zusätzliche mögliche Aufstellpunkte (Standorte) gefunden werden, ansonsten „Gute Eignung“):
 - 3 (5 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für eine laute Wärmepumpen oder²⁰

²⁰ Werden auf einem Flurstück nur drei Aufstellpunkte identifiziert, an denen eine Außenluftwärmepumpe aufgestellt werden kann (beispielsweise, weil das Flurstück sehr klein ist), und ist an diesen Aufstellpunkten eine laute Wärmepumpe möglich, so erfolgt eine Einordnung als „Gute Eignung“. Werden jedoch vom Algorithmus noch zwei weitere Aufstellpunkte identifiziert, an denen die Anforderungen für eine durchschnittlich laute Wärmepumpe erfüllt sind, erfolgt die Klassifizierung als „Sehr gute Eignung“.

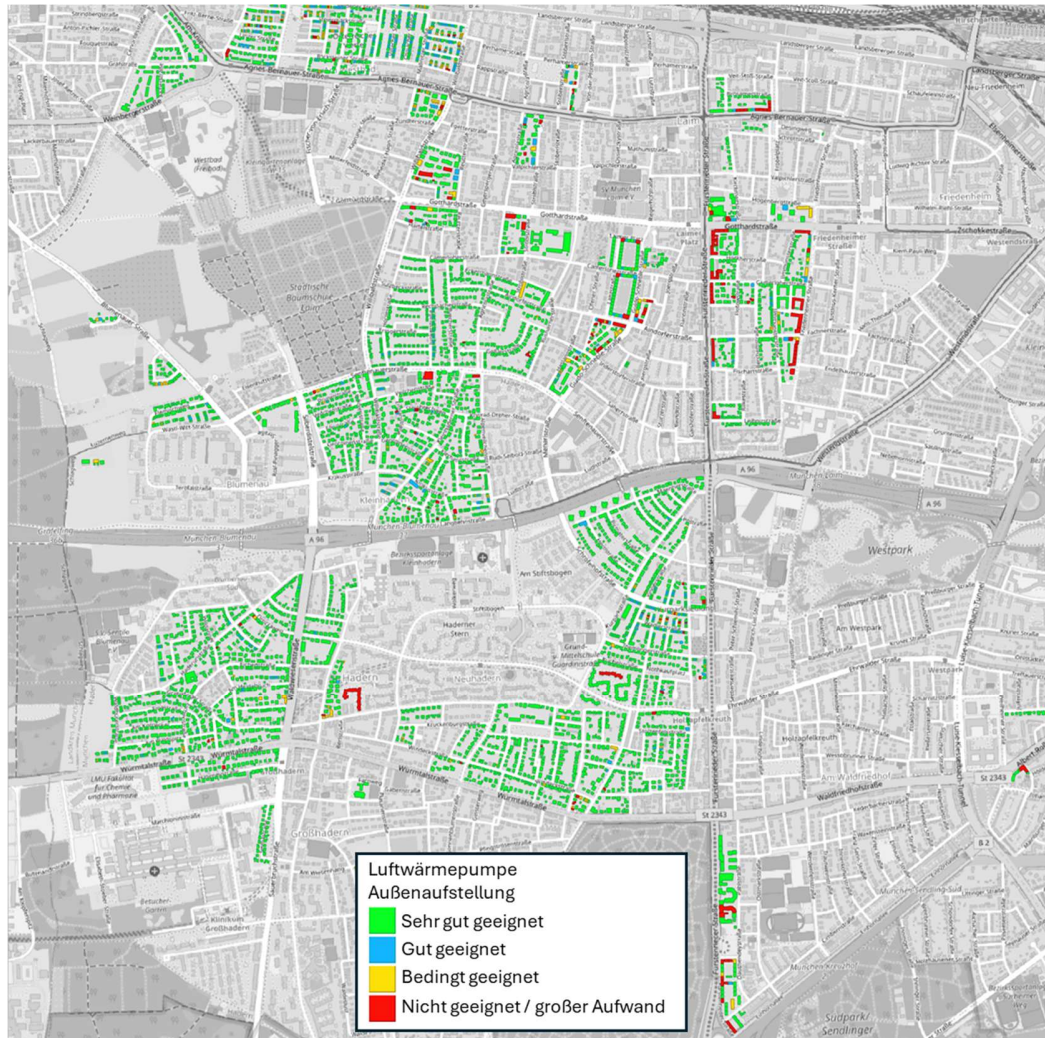
Grundsätzlich würde ein einzelner möglicher Standort, an dem eine Wärmepumpe unter Einhaltung aller Anforderungen aufgestellt werden kann, für den Einsatz einer solchen ausreichen. Da bei konkreten Objekten jedoch häufig Einschränkungen bezüglich der tatsächlichen Aufstellungsmöglichkeiten bestehen, die hier nicht abgebildet werden können, werden mehrere mögliche Aufstellungspunkte als „Sicherheitspuffer“ gefordert.

- 5 (8 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für durchschnittliche Wärmepumpen oder
 - 8 (10 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für leise Wärmepumpen oder
 - 10 (15 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für kaskadische Wärmepumpen
- „Gute Eignung“ (es müssen jeweils 2 Bedingungen erfüllt oder 2-5 zusätzliche Standort gefunden werden, ansonsten eine „Bedingte Eignung“):
 - 1 (3 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete/r Aufstellpunkt/e für eine laute Wärmepumpen oder
 - 3 (5 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für durchschnittliche Wärmepumpen oder
 - 5 (8 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für leise Wärmepumpen oder
 - 8 (10 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für kaskadische Wärmepumpen
- „Bedingte Eignung“ (es müssen jeweils 2 Bedingungen erfüllt oder 2-5 zusätzliche Standort gefunden werden):
 - 1 (1 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete/r Aufstellpunkt/e für eine laute Wärmepumpen oder
 - 1 (3 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete/r Aufstellpunkt/e für durchschnittliche Wärmepumpen oder
 - 3 (5 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für leise Wärmepumpen oder
 - 5 (8 bei Dach- oder Kelleraufstellung) geeignete Aufstellpunkte für kaskadische Wärmepumpen

7.3.2 Ergebnisse: Gebäude nach Barrieren für Luft-Wärmepumpen

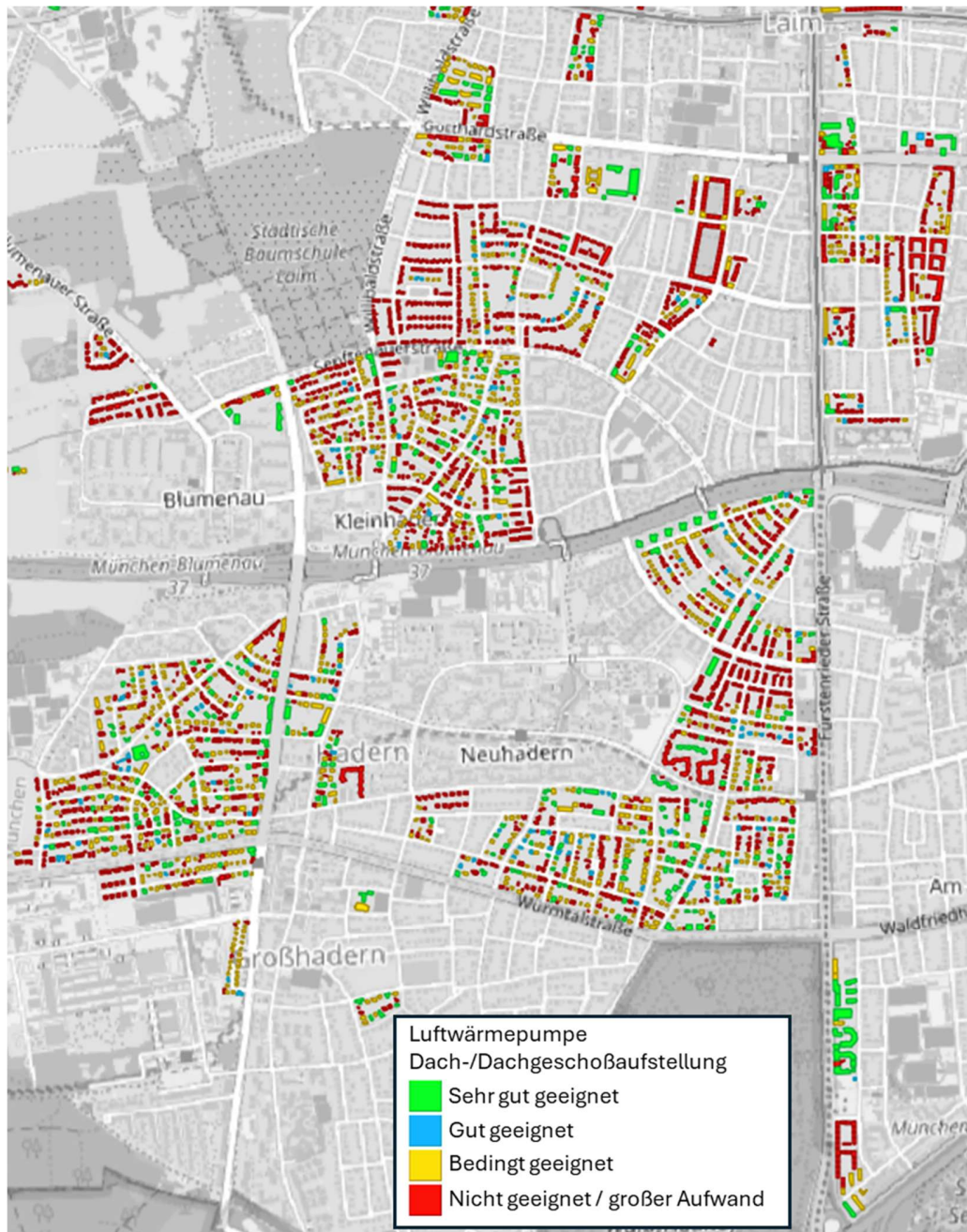
Die Ergebnisse zeigen, dass sich für die meisten Gebäude in den meisten Gebieten eine sehr gute oder gute Eignung für die Aufstellung von Außenluftwärmepumpen ergibt (siehe Abbildung 43).

Abbildung 43: Modellhafte Visualisierung der Eignungskategorien je Gebäude für Außenaufstellung von Wärmepumpen eines Teilgebietes (Bildquelle: eigene Darstellung, OpenStreetMap)



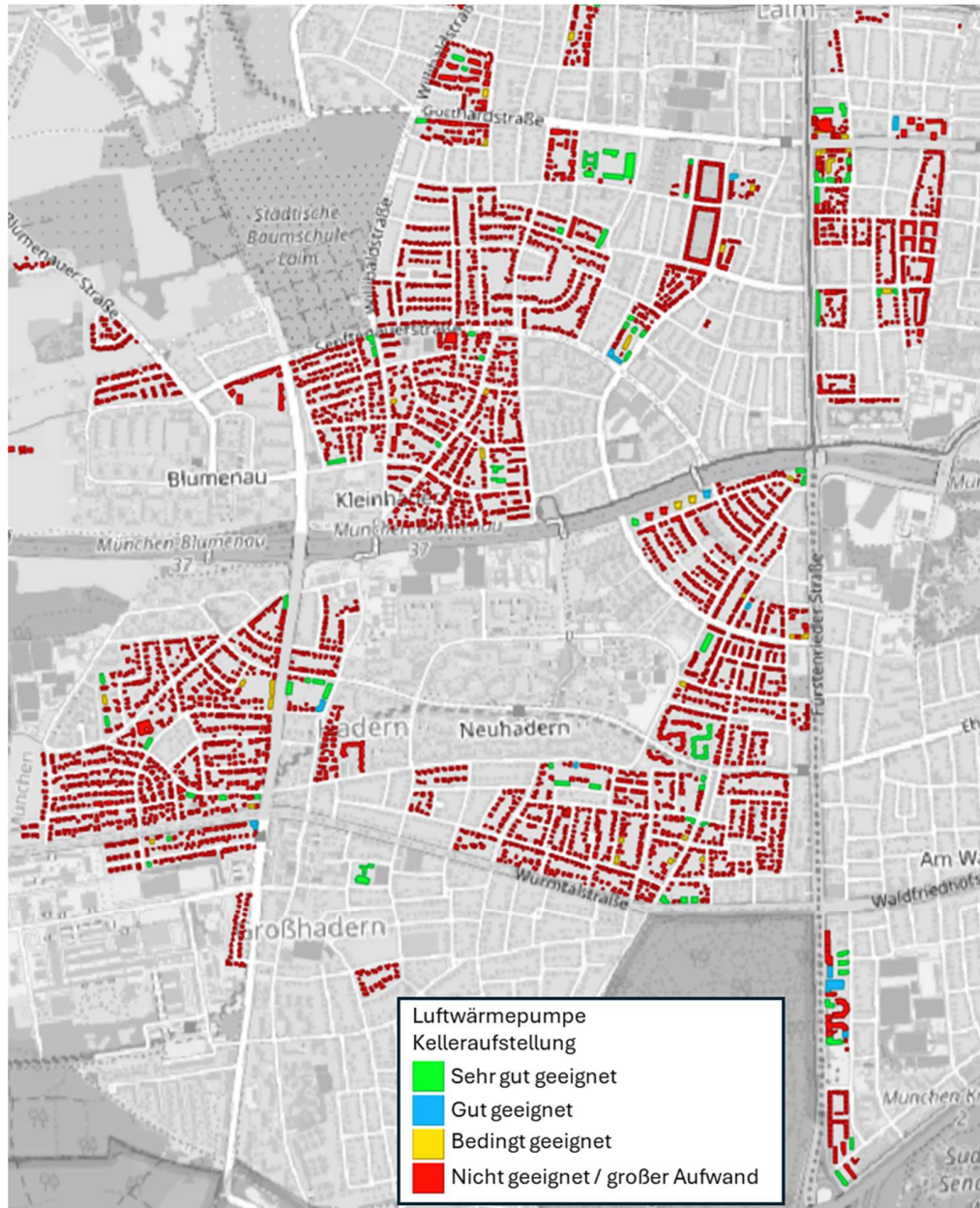
Die Aufstellung von Luftwärmepumpen auf dem Dach stellt insbesondere bei Flächendächern eine mögliche Alternative zur Außenaufstellung auf dem Grundstück dar. Insbesondere bei Geschosswohnbauten der Baualtersklasse ab 1960 sind für diese Aufstellungsvariante erhebliche Potenziale vorhanden – die Aufstellung muss jedoch gebäudeindividuell jedenfalls durch ein Statikgutachten bestätigt werden. Gegenüber der Außenaufstellung ist das Potenzial jedoch deutlich eingeschränkt (Abbildung 44), da sich die guten Potenziale vor allem auf Gebäude mit Flachdächern beschränken und eine Mindestgröße des Daches gegeben sein muss.

Abbildung 44: Modellhafte Visualisierung der Eignungskategorien je Gebäude für Dach(geschoß)-Aufstellung von Wärmepumpen in einem Teilgebiet (Bildquelle: eigene Darstellung, OpenStreetMap)



In unserem Ansatz ist die Kelleraufstellung durch die Anforderung eingeschränkt, dass die Bruttogrundfläche der Gebäude mindestens 600 m² betragen muss. Diese Einschränkung wird durch die erhöhten Anforderungen bei der Aufstellung in Innen- und Kellerräumen, die sich aus der Nutzung von R290 (Propan) als Arbeitsmedium ergeben, begründet. Durch diese Anforderung wird das Potenzial erheblich eingeschränkt (Abbildung 45), kann aber vor allem in dicht bebauten Gebieten durchaus eine Option sein.

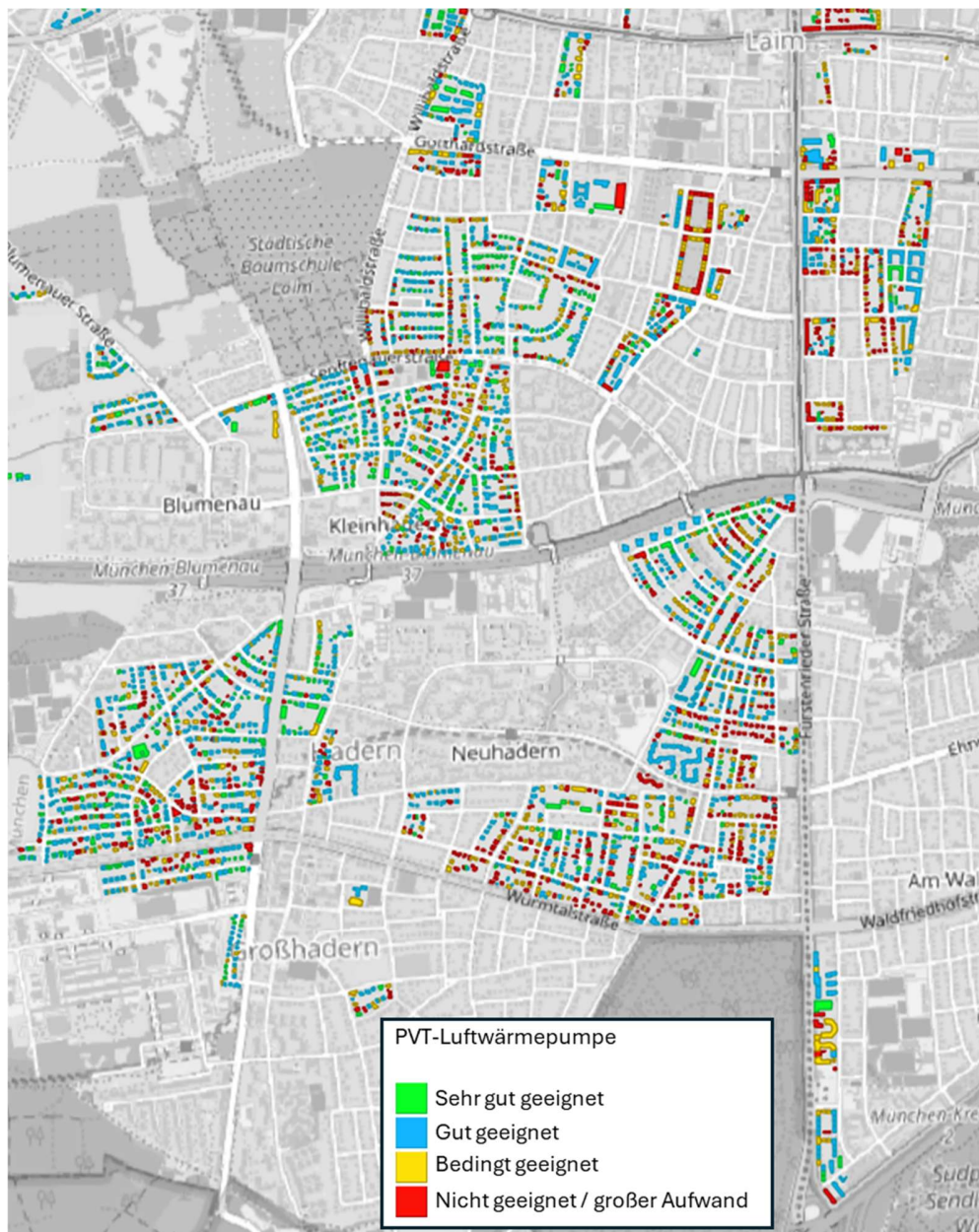
Abbildung 45: Modellhafte Visualisierung der Eignungskategorien je Gebäude für eine Kelleraufstellung von Wärmepumpen in einem Teilgebiet (Bildquelle: eigene Darstellung, OpenStreetMap)



Eine weitere Wärmequelle für Wärmepumpen stellen PVT-Kollektoren dar. Diese bestehen aus PV-Kollektoren, welche auf der Rückseite kühlmitteldurchströmt sind und damit die Wärme, die durch die solare Einstrahlung entsteht, sowie bei rückseitig ungedämmten Kollektoren, die Wärme der vorbeiströmenden Luft einer Wärmepumpe als Anergiequelle zuführen können. Wie in Abbildung 11 gezeigt, hängt die Effizienz der Wärmepumpe und damit die Eignungskategorie vom Verhältnis von PVT-Kollektorfläche zu Wärmepumpenleistung ab. Zur Bestimmung der Eignung wurden die möglichen Solarkollektorflächen je Gebäudeobjekt gemäß des

bereitgestellten Solarkataster der erforderlichen Wärmepumpenleistung gegenübergestellt. Als Grenzwerte für die Eignungskategorien wurden bis $2 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{th}}$ (Nicht geeignet, großer Aufwand, geringe Effizienz), $2\text{-}3 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{th}}$ (bedingt), $3\text{-}5 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{th}}$ (gut) und mehr als $5 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{th}}$ (sehr gut) angesetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass viele Gebäude eine gute Eignungskategorien ($3\text{-}5 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{th}}$) aufweisen (Abbildung 46).

Abbildung 46: Modellhafte Visualisierung der Eignungskategorien je Gebäude für eine Wärmepumpen mit PVT-Kollektoren eines Teilgebietes (Bildquelle: eigene Darstellung, OpenStreetMap)



Auf Basis der Eignungskategorien der einzelnen Möglichkeiten wurde jedem Gebäude nun eine bevorzugte Variante gemäß der folgenden Reihenfolge zugewiesen:

1. Außenaufstellung Luftwärmepumpe, Kategorie „Sehr gute Eignung“
2. Dachaufstellung (Flachdach) Luftwärmepumpe, Kategorie „Sehr gute Eignung“
3. Außenaufstellung Luftwärmepumpe, Kategorie „Gute Eignung“
4. Dachaufstellung (Flachdach) Luftwärmepumpe, Kategorie „Gute Eignung“
5. Kelleraufstellung Luftwärmepumpe, Kategorie „Sehr gute Eignung“
6. Außenaufstellung Luftwärmepumpe, Kategorie „Bedingte Eignung“
7. Kelleraufstellung Luftwärmepumpe, Kategorie „Gute Eignung“
8. PVT-Wärmepumpe, Kategorie „Sehr gute Eignung“
9. PVT-Wärmepumpe, Kategorie „Gute Eignung“
10. Kelleraufstellung Luftwärmepumpe, Kategorie „Bedingte Eignung“
11. Dachaufstellung Luftwärmepumpe, Kategorie „Bedingte Eignung“
12. PVT-Wärmepumpe, Kategorie „Bedingte Eignung“
13. – 24. (Renoviert 1 – 12) Wie oben, jedoch thermisch Sanierung Vorsetzung
25. Keine Lösung

Bis zur Kategorie 9 werden die technologiespezifischen Aufstellungsbarrieren als vergleichsweise gering eingestuft. Ab der Kategorie 10 sind die Aufstellungsmöglichkeiten gemäß unserer Analyse deutlich eingeschränkt, sofern keine thermische Gebäudesanierung vorgesehen ist. Eine tabellarische Auswertung der Gebäude in den Untersuchungsgebieten ist in Tabelle 39 zu finden. Es wird ersichtlich, dass der überwiegende Anteil der Gebäude in die Kategorie mit „sehr guter“ oder „guter“ Eignung für eine Außenaufstellung einer Wärmepumpe fällt. Für etwa 10 % des Energiebedarfs bzw. 5 % der Gebäude in den Untersuchungsgebieten sind Wärmepumpen – sofern keine thermische Sanierung erfolgt – nicht oder nur mit großem Aufwand möglich. Für einen kleinen Anteil (~1 %, siehe Tabelle 39) Abbildung 1: Verortung der drei Untersuchungsgebiete im Wärmeplan der Stadt München (Bildquelle: RKU) von Gebäuden konnte auf Basis der skizzierten Methode keine Lösung mittels Luft- oder PVT-Wärmepumpe gefunden werden.

Tabelle 39: Gebäude in den Untersuchungsgebieten nach Wärmepumpen-eignungskategorie gemäß der oben skizzierten Reihenfolge (exklusive Gebäude mit einem Leistungsbedarf von mehr als 250 kW_{th})

Eignungs-kategorie	Anzahl Gebäude	Bruttogrundfläche [tds. m²]	Energiebedarf [GWh/Jahr]	Leistungsbedarf [MW _{th}]
1	15247	4797	486.5	286.2
2	161	262	21.6	12.7
3	2098	927	85.8	50.5
4	100	173	14.8	8.7
5	11	18	1.5	0.9
6	1466	667	57.6	33.9
7	20	40	3.3	2.0
8	51	13	1.4	0.8
9	182	153	13.0	7.7
Summe 1-9	19336	7050	685.6	403.3
10	64	94	8.1	4.8
11	81	152	12.8	7.5
12	145	92	7.9	4.7
renoviert, 1	-	-	-	-
renoviert, 2	-	-	-	-
renoviert, 3	23	12	1.3	0.8
renoviert, 4	3	8	0.7	0.4
renoviert, 6	71	41	3.6	2.1
renoviert, 9	3	0	0.0	0.0
renoviert, 10	2	4	0.4	0.2
renoviert, 11	9	15	1.3	0.8
renoviert, 12	19	11	1.1	0.6
Keine Lösung	138	107	8.7	5.1
Summe ab Kategorie 10	558	535	45.9	27.0

Diese Ergebnisse können nun auch auf Ebene der Baublöcke zusammengefasst werden. Dabei werden Baublöcke einer bestimmten Eignungskategorie zugeordnet, wenn

- die Gebäudefläche, der Energie- und Leistungsbedarf aller Gebäude (einschließlich der Gebäude mit einem Leistungsbedarf von mehr als 250 kW_{th}) zumindest diese bestimmte Eignungskategorie erreichen und

- wenn diese Gebäude plus die Hälfte²¹ des Grundwasser- oder Erdkollektor-Wärmepumpen gemäß Wärmeplan (auf Ebene des Baublocks) mehr als 90 %²² der Fläche, Energie bzw. Leistung aller Gebäude im Baublock darstellen.

Konkret formuliert bedeutet dies, dass jedem Baublock im Untersuchungsgebiet das 90% Perzentil (90% sind gleich oder besser) der Eignungskategorien („1“ bis „12“, „renoviert 1“ bis „renoviert 12“, sowie „keine Lösung“) zugewiesen wird. Bei diesem Prozess wird jedem untersuchten Baublock eine von 25 Kategorien zugewiesen.

Zur weiteren Vereinfachung unterteilen wir in der nachfolgenden Auswertung die Kategorien in die folgenden vier Gruppen, basierend auf den zuvor dargestellten Kriterien:

- Eignungskategorien 1–5
- Eignungskategorien 6–9
- Eignungskategorien 10–24 (renoviert, 12).
- Keine Lösung

Diese Zusammenfassung (siehe Abbildung 48 und Abbildung 48) zeigt, dass von den 934 untersuchten Baublöcken 794 in die Kategorien 1–5 und 64 in die Kategorien 6–9 fallen. In 64 Baublöcken wurden akzeptable Lösungen ohne thermische Sanierung identifiziert. Für 57 Baublöcke sind netzunabhängige, gebäudeindividuelle Wärmepumpenlösungen nur nach einer vorherigen thermischen Sanierung der Gebäude möglich. Für die verbleibenden 19 Baublöcke konnte keine gebäudeindividuelle Wärmeversorgung mittels Wärmepumpen identifiziert werden. Werden nur die als „Prüfgebiete“ klassifizierten Baublöcke herangezogen, so sind von 288 Baublöcken 234 in den Kategorien 1–5 und 6–9. 39 Baublöcke liegen in der Kategorie 10 – 24, das bedeutet, dass für gebäudeindividuelle Wärmepumpenlösungen zumeist thermische Gebäudesanierungen erforderlich sind. Für weitere 15 Baublöcke wurden keine solchen Lösungen gefunden.

²¹ Wir beschränken uns hier auf 50 % des Grundwasser- und Erdkollektorpotenzials, da in diesem vereinfachten Ansatz nicht sichergestellt werden kann, dass dieses Potenzial genau den Gebäuden zugeteilt wird, die keine Möglichkeit zur Nutzung von Luftwärmepumpen haben.

²² Im Wärmeplan wurde ein Grenzwert von 80 % verwendet, um Gebiete bestimmten Kategorien zuzuweisen. Ein Gebiet wurde dann einer solchen Kategorie zugewiesen, wenn 80 % der Gebäude eine bestimmte Technologie verwenden können. Wir verwenden hier einen Grenzwert von 90 %. Dieser bezieht sich jedoch auf die Summe der Gebäude, der erforderlichen Leistung und der beheizten Fläche, für die eine Lösung gefunden wurde. Somit sind die beiden Grenzwerte nicht direkt vergleichbar und können in manchen Fällen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Beispielsweise wird einem Gebiet, in dem 40 % der Gebäude eine Grundwasserwärmepumpe und 60 % eine Luftwärmepumpe verwenden können, die Kategorie „Prüfgebiet“ zugewiesen, da es keine eindeutig dominante Technologie gibt, obwohl für alle Gebäude eine Lösung identifiziert wurde. Wurde in einem anderen Gebiet für 80 % der Gebäude eine bestimmte Lösung (z. B. Luftwärmepumpen) gefunden, für die übrigen Gebäude jedoch keine, ist diesem Gebiet im Wärmeplan die Kategorie „Luftwärmepumpen“ zugewiesen.

Abbildung 47: Einteilung der Baublöcke in den Untersuchungsgebieten nach Eignungskategorien (Bildquelle: eigene Darstellung)

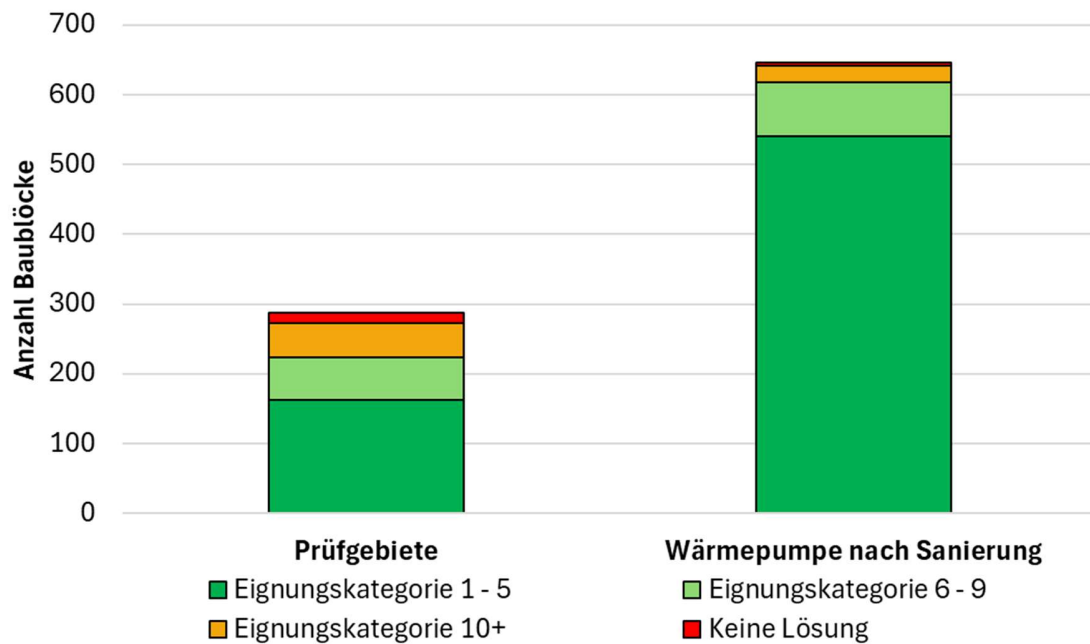
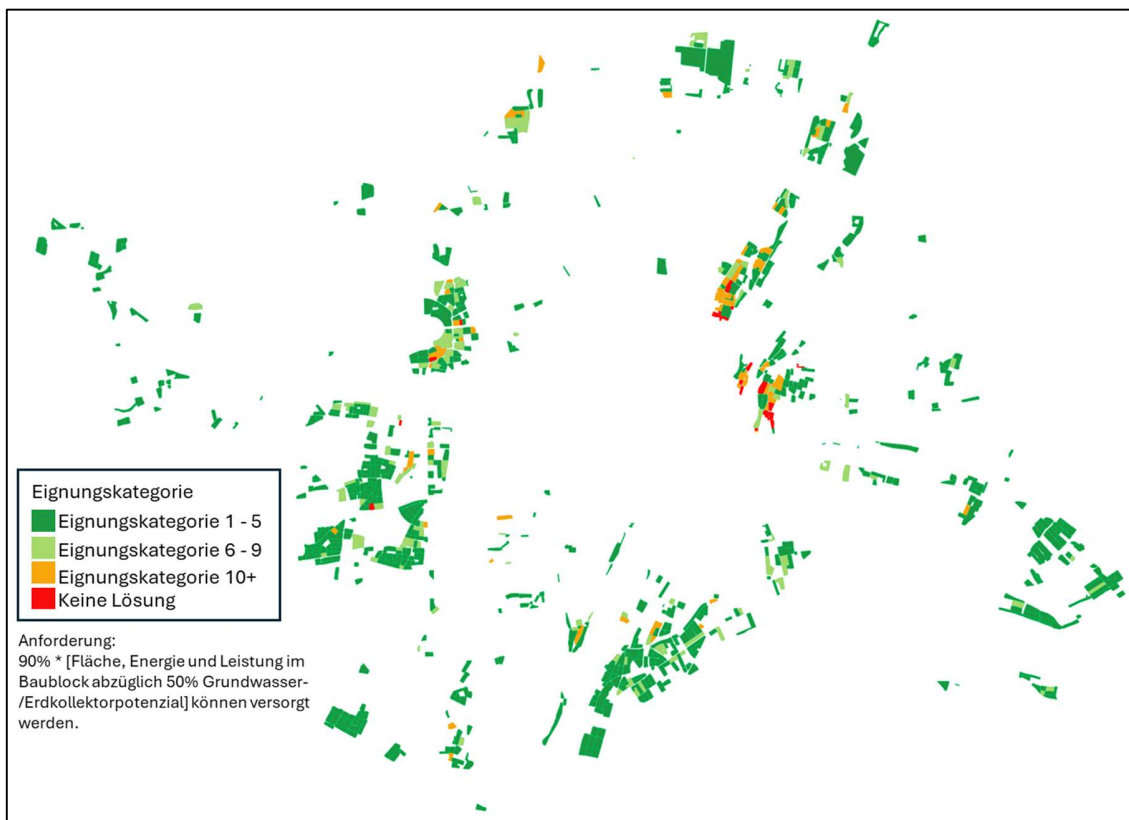


Abbildung 48: Verortung der Baublöcke in den Untersuchungsgebieten nach Eignungskategorien (Bildquelle: eigene Darstellung)

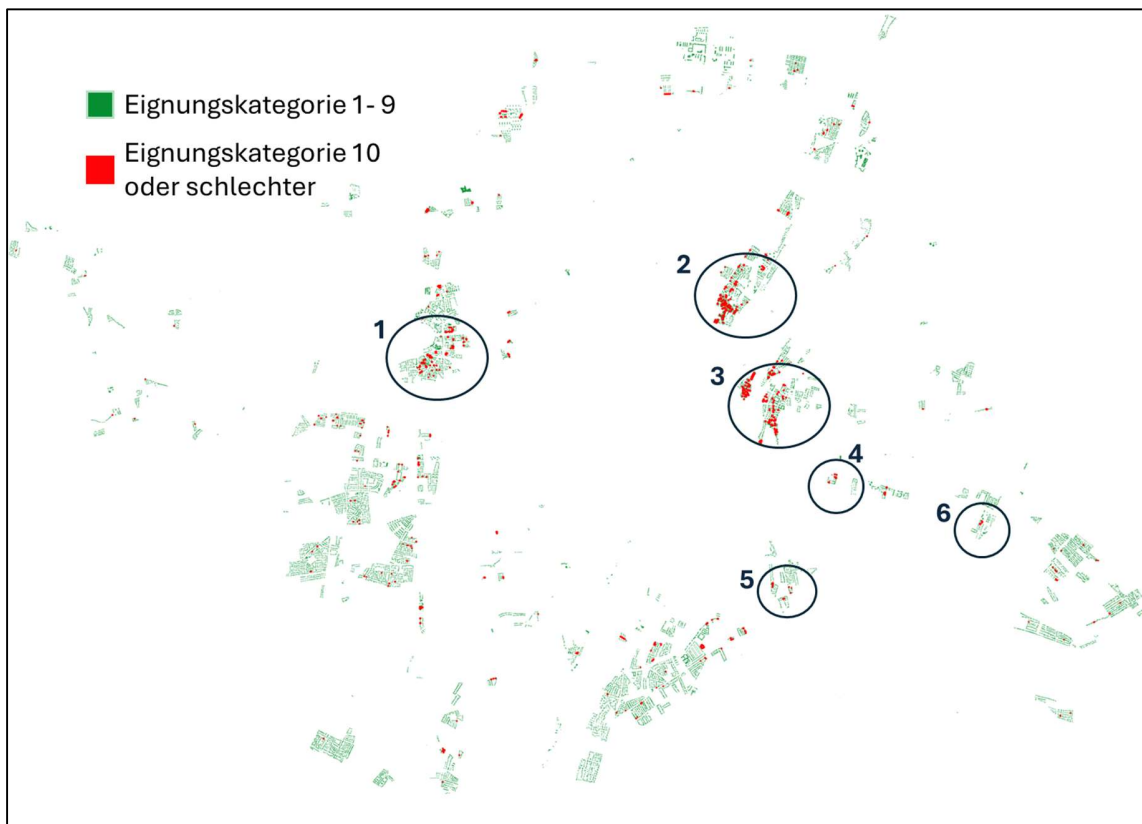


7.3.3 Ausgewählte Gebiete mit erhöhtem Anteil an Gebäuden mit erheblichen Aufstellbarrieren für Luftwärmepumpen

In Abbildung 49 sind die Gebäude, die in der oben dargestellten Bewertung der Kategorie 10 oder schlechter zugeordnet sind, nun rot dargestellt. Die übrigen Gebäude in den Untersuchungsgebieten sind grün visualisiert. Es zeigt sich, dass die Eignung in den meisten Bereichen gut ist, wenngleich sich in den meisten Gebieten Gebäude befinden, für die die Methode erhebliche Barrieren identifiziert hat. Zugleich werden aber auch mehrere Gebiete sichtbar, in denen eine Häufung von Gebäuden mit erheblichen Aufstellungsbarrieren auftritt. Um einen qualitativen Überblick über die Barrieren und Möglichkeiten dieser Gebiete zu geben, werden im Nachfolgendem sechs Gebiete einzeln dargestellt. Dies sind die in der Abbildung 49 identifizierten Gebiete.

- (1) in Neuhausen -Nymphenburg in der Nähe des Schloßrondells,
- (2) in Schwabing-Freimann in der Nähe der Münchner Freiheit,
- (3) in Altstadt-Lehel im Bereich Tivoli und Bogenhausen
- darüber hinaus wurden noch drei weitere Gebiete (4), (5) und (6) ausgewählt, um die dort vorkommenden spezifischen Barrieren kurz zu erläutern.

Abbildung 49: Visualisierung der Gebäude in den Untersuchungsgebieten und Hervorheben jener Gebäude, denen eine Eignungskategorie 10 oder schlechter zugewiesen wurde (exkl. Gebäude über 250 kW_{th}) (Bildquelle: eigene Darstellung)



7.3.3.1 Gebiet (1) in Neuhausen-Nymphenburg in der Nähe des Schloßbrondells

Das erste Gebiet befindet sich im Bereich des Schloßbrondells²³ und umfasst das Prüfgebiet, das im Rahmen des Projekts detailliert untersucht wurde. Ein wesentlicher Anteil der Gebäude mit besonders hohen Barrieren liegt jedoch außerhalb dieses Gebiets. Im Norden des dargestellten Gebiets sind zwei äußerst dicht bebaute Baublöcke zu sehen. Angesichts der kaum verfügbaren unbebauten Grundstücke sind Außenaufstellungen von Luft-Wärmepumpen bei manchen Gebäuden schlicht nicht möglich. Eine Aufstellung im Keller wird von einigen Gebäuden nicht erfüllt, da die von uns gestellte Anforderung, dass die Gebäudebruttofläche 600 m² übersteigen muss, nicht erreicht wird. Eine Dachaufstellung ist aufgrund der Dachform und der in diesem Bereich vorherrschenden Dachgeschossnutzung nicht möglich. Im südlichen Bereich wurden ebenfalls zwei Baublöcke identifiziert, bei denen ein signifikanter Teil der Gebäude ebenfalls keinen geeigneten Standort für eine Außenluft-Wärmepumpe aufweist. Auch hier ist eine Blockrandbebauung mit alten Geschosswohnbauten vorherrschend, die Dachgeschosse sind meist genutzt und die Innenhöfe klein.

Eine gebäudeindividuelle, nicht netzgebundene, CO₂-neutrale Wärmeversorgung ist in all diesen Fällen mit hohen Hürden verbunden. Sofern eine solche Versorgung erforderlich ist, wird für manche Gebäude wahrscheinlich die Nutzung flüssiger, CO₂-neutraler Energieträger („Bioheizöl“) notwendig sein. Alternativ dazu können netzgebundene Lösungen entwickelt werden.

7.3.3.2 Gebiet (2) in Schwabing-Freimann / Nähe der Münchner Freiheit

Die hier durchgeführten Analysen zeigen ein ähnliches Bild wie bereits in Kapitel 4.²⁴ Zusätzlich zu den Gebäuden im untersuchten Prüfgebiet wurden entlang der Kunigundenstraße weitere Gebäude identifiziert, die für die gebäudeindividuelle Versorgung mit Luftwärmepumpen keine geeigneten Aufstellorte aufweisen.

Aus heutiger Sicht erscheint in diesem Gebiet eine netzgebundene Versorgungslösung in manchen Bereichen als notwendig, sofern keine Heizkessel mit CO₂-neutralen flüssigen Energieträgern („Bioheizöl“) eingesetzt werden.

7.3.3.3 Gebiet (3) in Altstadt-Lehel im Bereich Tivoli und Bogenhausen

Auch in diesem Gebiet befinden sich zahlreiche Baublöcke mit Blockrandbebauung und sehr kleinen Innenhofbereichen. Der Gebäudebestand ist alt, die Gebäude sind mit Satteldächern ausgestattet, die in vielen Gebäuden bereits genutzt werden und damit eine Dachaufstellung von Wärmepumpen in vielen Fällen verunmöglichen. Viele Gebäude unterliegen dem Denkmal

²³ Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse basieren auf den Gebäudeenergiebedarfsdaten des Wärmeplans. Im Gegensatz zu den im vorherigen Kapitel dargestellten Ergebnissen wurden sie nicht um Informationen aus Vor-Ort-Besichtigungen ergänzt und angepasst. Dadurch ergeben sich gegenüber den zuvor dargestellten Analysen auf Ebene der Einzelgebäude Abweichungen.

²⁴ Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse basieren auf den Gebäudeenergiebedarfsdaten des Wärmeplans. Im Gegensatz zu den im vorherigen Kapitel dargestellten Ergebnissen wurden sie nicht um Informationen aus Vor-Ort-Besichtigungen ergänzt und angepasst. Dadurch ergeben sich gegenüber den zuvor dargestellten Analysen auf Ebene der Einzelgebäude Abweichungen.

oder Ensembleschutz, eine hohe Energieeinsparung durch thermische Gebäudesanierungen ist nicht zu erwarten. Auch diese Gebiete werden auf eine netzgebundene Energieversorgungslösung zur Wärmeversorgung angewiesen sein. Durch die geographische Nähe zur Isar und dem Eisbach (Tivoli) könnten diese als Wärmequelle für ein lokales Wärmenetz potenziell zur Verfügung stehen.

7.3.3.4 Gebiet (4) in Berg am Laim

Ausgehend von einer Blockrandbebauung wurden in zweiter Reihe Gebäude errichtet. Aufgrund der damit einhergehenden kleinen Flurstücke der Gebäude in der vorderen Reihe kann der Algorithmus für manche Gebäude keine zulässigen Aufstellorte für eine Außen- oder Kelleraufstellung identifizieren. Entlang der Dornbergerstraße ist auf zahlreichen Dächern Platz für ausreichend viele PVT-Kollektoren vorhanden. Die Gebäude entlang der Dornbergerstraße wurden in den 1960er und 1970er Jahren errichtet. Bei diesen Gebäuden können durch thermische Gebäudesanierungen erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden. Weiterhin sind die Fassaden einfach gehalten, sodass keine zusätzlichen besonderen Renovierungsbarrieren zu erwarten sind.

Mit unserem Ansatz werden für die meisten Gebäude Wärmepumpenlösungen für thermisch renovierte Gebäude gefunden. Ein verbleibendes Gebäude müsste im Detail betrachtet werden.

7.3.3.5 Gebiet (5) in Ramersdorf-Perlach

Dieses Gebiet weist eine sehr heterogene Bebauungsstruktur auf. Entlang der Hauptverkehrswege Balanstraße, Chiemgaustraße und Pfälzerwaldstraße wurden Geschossbauten mit drei bis sieben Stockwerken errichtet. Diese wurden vorwiegend in den 1960er und 1970er Jahren errichtet. Südlich der Chiemgaustraße und östlich der Balanstraße befinden sich Gebäude in Blockrandbebauung mit Hinterhofbebauung. Im nördlichen Bereich der Pfälzerwaldstraße wurden Gewächshäuser im Wärmeplan fälschlicherweise als beheizte Gebäude identifiziert.

Die Baublöcke westlich und südwestlich dieses Gebiets (Gewerbeparks und Schulzentrum) wurden im Wärmeplan als „Wärmenetzprüfgebiete“²⁵ identifiziert. Aufgrund der heterogenen Struktur ist eine detaillierte Betrachtung dieser Gebiete erforderlich. Möglicherweise wäre es sinnvoll, die Wärmenetzprüfgebiete auf die Gebäude entlang der hier dargestellten Hauptverkehrswege auszuweiten.

7.3.3.6 Gebiet (6) in Trudering-Riem

Bei dem vorliegenden Gebiet handelt es sich um ein Bauprojekt, das im Zeitraum von etwa 2009 bis 2015 umgesetzt wurde. Für die größeren Objekte konnte der Algorithmus keine geeigneten Aufstellorte für Luft-Wärmepumpen finden. Mögliche Alternativen sind einerseits die Aufteilung der Wärmeversorgung auf mehrere Anlagen pro Gebäude oder die Installation der

²⁵ Wärmenetzprüfgebiete (Wärmenetzuntersuchungsgebiete): Bereiche, in denen die SWM den Ausbau der Fernwärme oder grundwasserversorgte Nahwärmenetze prüfen.

Wärmepumpen in den Tiefgaragen der Gebäude. Aufgrund des geringen Alters der Gebäude ist jedoch davon auszugehen, dass innerhalb der kommenden zehn Jahre kein größerer Umbau der Heizungsanlage zu erwarten ist.

7.4 Fazit zur Übertragbarkeit auf andere Gebiete

In dem Kapitel wurde untersucht, inwieweit sich die Ergebnisse, die für die drei im Detail betrachteten Gebiete erzielt wurden, auf andere Gebiete übertragen lassen, für welche gemäß Wärmeplan keine klimaneutralen Lösungen für zumindest 80 % der Gebäude gefunden wurden, oder für welche solche Lösungen nur nach zuvor durchgeführter thermischer Sanierung der Gebäude gefunden wurden. Grundlage dafür ist eine systematische Analyse von 288 Baublöcken der Kategorie „Prüfgebiet“ und 646 Baublöcken der Kategorie „Wärmepumpe nach Sanierung“. Insgesamt wurden rund 20.000 Gebäudeobjekte mit einem Wärmebedarf von etwa 800 GWh untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Vorgehen, die Methodik und die Bewertungskriterien gut auf weitere Prüfgebiete übertragbar sind. Die Bewertung erfolgte mithilfe algorithmischer GIS-Analysen, wodurch eine konsistente Skalierung der Methodik auf eine große Anzahl von Baublöcken möglich ist.

Dezentrale Wärmepumpenlösungen, insbesondere die Außenaufstellung von Luftwärmepumpen auf den jeweiligen Flurstücken, stellen in den meisten Gebietstypen die Basisoption dar. Die Auswertung zeigt, dass ein sehr großer Anteil der untersuchten Baublöcke in Eignungskategorien liegt, in denen gebäudeindividuelle Wärmepumpenlösungen ohne oder nach moderaten Sanierungsmaßnahmen realisierbar sind. Von den insgesamt 955 untersuchten Baublöcken konnten für 858 geeignete Lösungen identifiziert werden, mit denen sich 90 % der Gebäude ohne vorherige umfassende Sanierungsmaßnahmen mit Wärmepumpenlösungen versorgen lassen.

In den meisten Gebieten, in denen kleine Wohngebäude vorherrschen (siehe 7.2.11, 7.2.12 und 7.2.13), ist eine nahezu vollständige Wärmeversorgung mit Luftwärmepumpen möglich, sodass keine Notwendigkeit für eine netzgebundene Lösung gesehen wird. Dies trifft nicht nur auf eine Bebauung mit freistehenden Einfamilienhäusern zu, sondern auch auf Baublöcke, auf denen vorwiegend Reihen- oder Doppelhäuser mit schmalen Grundstücken stehen, sowie auf Baublöcke, bei denen zur Bauverdichtung im Hinterland der Grundstücke zusätzliche Gebäude errichtet wurden. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Erkenntnissen, die im detailliert untersuchten Gebiet Untergiesing-Harlaching gewonnen wurde.

Einschränkungen zeigen sich insbesondere in dicht bebauten, innerstädtischen Strukturen mit Blockrandbebauung, begrenzten Aufstellflächen oder komplexen Eigentümerstrukturen (siehe 7.2.8 und 7.2.9). Hier können fehlende Freiflächen und genutzte Dachgeschosse die Installation von Luftwärmepumpen erschweren. Dennoch zeigen die Analysen, dass innovative Systemlösungen, alternative Aufstellkonzepte oder ergänzende klimaneutrale Energieträger die identifizierten Restriktionen teilweise überwinden können.

8 Empfehlungen und Umsetzungspfad

Die Analyse der Versorgungsoptionen zeigt erwartungsgemäß, dass eine klimaneutrale Wärmeversorgung in den betrachteten Quartieren weder kurzfristig noch flächendeckend über eine einzelne Technologie erreichbar ist. Stattdessen ergibt sich ein stufenweiser Umsetzungspfad, der technische Machbarkeit, wirtschaftliche Realisierbarkeit sowie rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen berücksichtigt und gleichzeitig Transformationsoptionen offenhält. Dieser Umsetzungspfad ist als dynamischer Prozess zu verstehen, der sich an zeitlich gestaffelten Umsetzungshorizonten zentraler und dezentraler Maßnahmen orientiert.

Über alle Phasen hinweg sind mehrere querschnittliche Aspekte entscheidend für den Erfolg dieses Transformationsprozesses. Dazu zählen die frühzeitige Einbindung relevanter Akteure und deren Wissen, die Entwicklung von Lösungen entsprechend ihren Bedürfnissen und eine transparente und kontinuierliche Kommunikation der verfügbaren Handlungsoptionen. Daher empfehlen wir trotz des erheblichen Arbeitsaufwandes die weitere Durchführung von Kommunikations- und Beteiligungsprozessen. Die Planung und Organisation der Beteiligungsveranstaltungen hat allerdings einen signifikanten Teil der Arbeitszeit in diesem Projekt gebunden, sowohl vonseiten des IREES als auch des RKU, und lässt sich schwieriger automatisieren und parallelisieren als beispielsweise eine Berechnungsmethodik.

Erste mögliche Umsetzungsschritte im Hinblick auf geeignete Akteurskonstellationen sind etwa Bündelungsaktionen oder Sammelanfragen für Wärmepumpensysteme sowie die Bildung lokaler Nahwärmeverbünde. Solche kooperativen Ansätze können insbesondere in Quartieren mit vielen ähnlich strukturierten Gebäuden dazu beitragen, Investitionskosten zu senken, Planungssicherheit zu erhöhen und Umsetzungsprozesse zu beschleunigen.

8.1 Technologische Pfade der Wärmewende

Die Analyse zeigt, dass eine klimaneutrale Wärmeversorgung in vielen Prüfgebieten zu einem signifikanten Anteil über Wärmepumpentechnologien realisiert werden kann. Der Blick in andere europäische Länder zeigt, dass insbesondere Luftwärmepumpen auch in dichter bebauten urbanen Kontexten grundsätzlich flächendeckend eingesetzt werden können, sofern geeignete technische Lösungen und Rahmenbedingungen vorhanden sind.

In den letzten Jahren sind zudem neue Wärmepumpenlösungen für größere Liegenschaften und Mehrfamilienhäuser erprobt worden, etwa Kaskadensysteme, dachintegrierte Anlagen oder größere containerbasierte Lösungen. Diese Entwicklungen erweitern den technologischen Lösungsraum insbesondere in dicht bebauten Quartieren, in denen häufig ein Technologiemix erforderlich sein wird. Neben rein elektrischen Wärmepumpensystemen können hier auch hybride Systeme mit Wärmepumpen als Grundlastsysteme überall dort zum Einsatz kommen, wo größere Wärmepumpensysteme aufgrund von Schallrestriktionen oder nicht ausreichenden Grundwasserpotenzialen nicht möglich sind. In vielen Fällen kann in solchen Systemen der bestehende Gaskessel die Spitzenlast decken und die Grundlast-Wärmepumpe bereits einen Großteil des Jahreswärmebedarfs effizient bereitstellen. Auch in quartiersbezogenen

Nahwärmelösungen bleiben Wärmepumpen in der Regel die zentrale Technologie, etwa in Form von Großwärmepumpen zur Einspeisung in Wärmenetze oder größere Gebäudenetze.

Die Auswertung der Wärmegestehungskosten über alle drei Quartiere sowie der Gesamtvergleich der Versorgungsoptionen zeigen, dass dezentrale Wärmepumpenlösungen als vorrangiger Transformationspfad umgesetzt werden sollten. Insbesondere Luftwärmepumpen weisen im Vergleich der Optionen die höchste Gesamtattraktivität auf und schneiden sowohl hinsichtlich Kosten als auch Umsetzbarkeit und Akzeptanz am besten ab. Daher sollte die kommunale Strategie konsequent auf die breite Umsetzung dezentraler Wärmepumpensysteme ausgerichtet werden. Für Ein- und Mehrfamilienhäuser sollten dabei differenzierte technische Lösungen (Einzelgeräte, Kaskaden, dachintegrierte Systeme, Grundwasser- und PVT-Systeme) aktiv unterstützt und durch konkrete Planungsleitfäden flankiert werden. Die bestehenden Förderprogramme der Stadt für Wärmepumpensysteme (Grundförderung und Zusatzförderung) sowie solarthermische Anlagen und Gebäude- oder Wärmenetze sollten fortgeführt und aktiv, bspw. bei städtischen Veranstaltungen oder durch Plakatwerbekampagnen beworben werden.

Zentrale Wärmenetzlösungen sollten aufgrund der Kosten- und Umsetzungspriorisierung insbesondere dort weiterverfolgt werden, wo die Notwendigkeit aufgrund schlechter Voraussetzungen für dezentrale Wärmepumpensysteme besteht. Die Wärmegestehungskosten von Wärmenetzlösungen liegen in den dicht bebauten Quartieren (Münchner Freiheit und Südliches Schloßrondell) typischerweise im Bereich von etwa 20-24 ct/kWh_{th} mit Förderung und damit auf einem ähnlichen oder etwas höheren Niveau als dezentrale Alternativen. Gleichzeitig führen hohe Erschließungsaufwände der Wärmequellen sowie genehmigungsrechtliche Anforderungen zu zusätzlichen Umsetzungsrisiken, die aber anderen, in dieser Studie nicht quantifizierten Vorteilen, bspw. durch einen geringeren und besser steuerbaren Stromleistungsbedarf und geringere Lärmbelastung, gegenüberstehen. Wärmenetze sollten daher vor allem in Quartieren mit hoher Wärmedichte, geeigneten Ankerkunden und gesichert erschließbaren Umweltwärmequellen weiterverfolgt werden. Parallel sind für diese Gebiete frühzeitig Machbarkeitsanalysen, Genehmigungsvorprüfungen und Betreiberkonzepte zu erarbeiten. Eine strategische Priorität sollte in solchen Gebieten aufgrund der guten Quellenverfügbarkeit auf der Erschließung von Abwasserkanälen und den Stadtbächen der Stadt München liegen.

Die Ergebnisse der Übertragbarkeitsanalyse bestätigen die grundlegende strategische Ausrichtung und zeigen, dass die identifizierten technologischen Pfade auch auf weitere Prüfgebiete übertragbar sind. Die systematische Auswertung einer großen Anzahl von Baublöcken zeigt, dass dezentrale Wärmepumpenlösungen in der Mehrzahl der Gebietstypen die tragfähige Basisoption darstellen und für einen Großteil der Gebäude ohne umfassende energetische Sanierung umsetzbar sind.

Daraus ergibt sich, dass die Herausforderung der Wärmewende in Prüfgebieten weniger in der Identifikation geeigneter Technologien liegt, sondern primär in deren breiter Umsetzung und Aktivierung auf Gebäudeebene. Gleichzeitig zeigt sich, dass zentrale Wärmenetzlösungen vor allem in strukturell geeigneten Gebieten erforderlich sind, insbesondere in dichten innerstädtischen Quartieren mit eingeschränkten Möglichkeiten für dezentrale Systeme. Neben den zwei bereits untersuchten Prüfgebietsclustern in Schwabing-Freimann (Quartier Münchner Freiheit) und Neuhausen-Nymphenburg (Quartier Südliches Schloßbrunnell) zählen auch die Prüfgebiete im Bereich Tivoli und Bogenhausen hierzu.

8.2 Unterstützung der Umsetzung

Neben technologischen Fragen spielen unterstützende Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle für die praktische Umsetzung der Wärmewende in den Quartieren. Ein zentraler Aspekt ist die transparente Kommunikation zukünftiger Kostenentwicklungen. Eigentümerinnen und Eigentümer können fundierte Entscheidungen über Investitionen in neue Heizsysteme nur treffen, wenn sie realistische Annahmen über zukünftige Energiepreise und Betriebskosten treffen können. Dies betrifft insbesondere die Entwicklung von Strom-, Gas-, Biomethan- und Pelletpreisen sowie deren Verfügbarkeit.

Die bestehenden Informationsangebote der Landeshauptstadt München, beispielsweise über die Re:think-Webseite, das Bauzentrum München oder zukünftige Quartiersveranstaltungen, sollten daher systematisch aktuelle Kostenprojektionen und Szenarioannahmen bereitstellen. Ergänzend ist die Einführung eines einheitlichen Bewertungsstandards für Wirtschaftlichkeitsvergleiche sinnvoll, der auf konsistenten Energiepreisprojektionen basiert (beispielsweise unter Nutzung regelmäßig aktualisierter Projektionen wie des UBA-Projektionsberichts). Gleichzeitig ist die Kommunikationsstrategie so auszurichten, dass langfristige Kosten- und Regulierungsrisiken gasbasierter Lösungen klar adressiert werden. Vor dem Hintergrund möglicher Übergangslösungen wie Biomethan ist insbesondere darauf hinzuweisen, dass diese keine wirtschaftlich stabile Langfristoption darstellen. Stattdessen sind verfügbare Wärmepumpenlösungen und deren Fördermöglichkeiten als zentrale Investitionspfade zu kommunizieren.

Darüber hinaus ist eine gezielte Unterstützung für vulnerable Zielgruppen und besonders herausfordernde Situationen zu empfehlen. Unterstützungs- und Förderangebote der Stadt könnten künftig stärker auf spezifische Konstellationen zugeschnitten werden, bspw. einkommensschwache Eigentümerinnen und Eigentümer, für die hohe Investitionskosten eine zentrale Hürde darstellen, sowie einkommensschwache Mietende, bei denen Fragen der Betriebskosten und der Verteilungsgerechtigkeit besonders relevant sind. Ebenfalls betroffen sind Gebäude mit eingeschränktem technischen Lösungsspielraum, etwa aufgrund dichter Bebauung, begrenzter Flächenpotenziale oder denkmalrechtlicher Restriktionen. Für diese Fälle sollten gezielte Beratungsangebote und aufsuchende Informationsformate konzipiert und weiterentwickelt werden. In diesem Rahmen sollte verstärkt auf die Fördermöglichkeiten durch Bund (BEG) und Stadt (Grund- und Zusatzförderung) hingewiesen werden. Ein Förderkostenrechner auf der Website der Landeshauptstadt könnte dabei helfen, die

Fördersummen unter individuellen Voraussetzungen transparent zu machen und dadurch einen Anreiz für den Heizungstausch zu schaffen.

Zur Überwindung praktischer Umsetzungshemmnisse sind ergänzend strukturierte Unterstützungsinstrumente erforderlich. Dazu zählen quartiersbezogene Beratungsangebote und praxisnahe Informationsmaterialien zu geeigneten Systemlösungen und Entscheidungs-Checklisten für Eigentümer:innen (z.B. auf Basis der Plattform Gebäudeforum Klimaneutral der dena). Parallel dazu ist die Qualifizierung relevanter Fachakteure (Planer:innen, Energieberatende und Handwerksbetriebe) gezielt auszubauen, insbesondere für die Planung und Umsetzung von Wärmepumpensystemen in Mehrfamilienhäusern. Für innovative Systeme mit noch begrenzter Praxiserfahrung, wie PVT-Wärmepumpen, sollten Demonstrationsprojekte umgesetzt und systematisch ausgewertet werden, um bestehende Planungsunsicherheiten zu reduzieren.

Um die entwickelten Lösungen in die Quartiere zu tragen und die Umsetzung zu aktivieren ist eine strukturierte Kommunikations- und Beteiligungsstrategie zu empfehlen. Hierfür empfiehlt sich ein abgestuftes Vorgehen: eine Basiskommunikation der Ergebnisse in allen Prüfgebieten in Form von Flyer und Aushängen oder direkten Anschreiben, die Nutzung und Einbindung bestehender Quartiersstrukturen durch Kooperation mit Bezirksausschüssen und lokalen Initiativen, sowie vertiefte Beteiligungsprozesse in besonders komplexen Gebieten. Die Vorstellung der konzeptionellen Ergebnisse dieser Studie stellt dabei den Ausgangspunkt für die weitere Umsetzung dar. Aufbauend darauf sollten gezielte Aktivierungsformate entwickelt werden, die stärker auf konkrete Umsetzungsschritte ausgerichtet sind. Dazu gehören insbesondere die Nachfragebündelung von Wärmepumpensystemen in geeigneten Gebäudestrukturen sowie die Bündelung von Energieberatungs-, Genehmigungs- und Sanierungsprozessen in bauähnlichen Gebäuden. Durch solche koordinierten Vorgehensweisen können Synergien genutzt, Planungsaufwände reduziert und Kosten gesenkt werden.

Für potenzielle Wärmenetzlösungen ist eine frühzeitige Unterstützung der weiteren Planungsschritte sinnvoll. Hierbei kommen der Identifikation und Aktivierung engagierter Einzelpersonen oder lokaler Initiativen eine zentrale Rolle zu, da diese häufig als Treiber entsprechender Projekte fungieren. Solche Akteure können beispielsweise aus bestehenden Beteiligungsprozessen hervorgehen oder bereits in lokalen Initiativen oder Genossenschaften aktiv sein. Eine frühzeitige Vernetzung mit bestehenden Beratungsangeboten sowie mit vergleichbaren Initiativen und Praxisbeispielen kann die Umsetzung zusätzlich erleichtern. Darauf aufbauend kann die Stadt insbesondere mit der Durchführung von Machbarkeitsstudien, der Prüfung geeigneter Standorte für Energiezentralen und Entnahmestellen und der frühzeitigen Abstimmung mit Genehmigungsbehörden unterstützen.

8.3 Stufe 1: Kurzfristige Umsetzung (bis ca. 2030)

In einer ersten Phase stehen Maßnahmen im Vordergrund, die mit vergleichsweise geringem Planungs- und Investitionsaufwand umsetzbar sind und zugleich eine schnelle Reduktion der Treibhausgasemissionen ermöglichen. Im Mittelpunkt stehen dabei dezentrale Wärmepumpenlösungen, sofern diese trotz baulicher, platzbezogener oder schalltechnischer

Restriktionen realisierbar sind. Gleichzeitig müssen Wärmenetzplanungen frühzeitig angegangen und kommuniziert werden. Wo keine dezentrale Vollversorgung möglich und ein Wärmenetz nicht wirtschaftlich oder zeitnah umsetzbar ist, können hybride Systeme zum Einsatz kommen, bei denen Wärmepumpen die Grundlast decken und bestehende Gas-Zentralheizungen weiterhin als Spitzenlastkessel betrieben werden, insbesondere in unsanierten Bestandsgebäuden. Diese Systeme ermöglichen einen frühen Energieträgerwechsel bei begrenzten Investitionskosten und schaffen zugleich einen klaren Transformationspfad, indem die fossilen Spitzenlastkessel perspektivisch durch erneuerbare Alternativen wie Biomasse ersetzt werden können.

In dicht bebauten Gebieten mit hohen Wärmedichten sollten Besitzer von Gebäuden mit älteren Heizsystemen, die eine erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit haben (diese können aus Schornsteinfegerdaten ermittelt werden), gezielt adressiert und miteinander vernetzt werden, um Wärmenetzplanungen frühzeitig anzustoßen. Mögliche Initiator:innen für Wärmenetze aus diesem Akteurskreis und aus Interessensbekundungen über den Wärmeplan sollten aktiv mit erfolgreichen Energiegenossenschaften (bspw. ErdwärmeDich e.V. aus Bremen) und anderen lokalen Initiativen vernetzt werden. Für Gebiete, in denen bereits ein Betreiber bekannt ist, können Contractinglösungen bei Ausfall der fossilen Heizsysteme eine zuverlässige Bindung an den Wärmenetzbetreiber sicherstellen. Mit den ersten konkreten Schritten der Realisierung von Wärmenetzen sollte auch in den betroffenen Gebieten transparent darüber informiert werden, damit Hauseigentümer:innen sich in ihrer Entscheidungsfindung darauf einstellen können und bis zur Umsetzung des Wärmenetzes ausreichend viele Wärmeabnehmer für eine zentrale Lösung zur Verfügung stehen.

Unabhängig von der tatsächlichen Umsetzung sollten die planerischen und genehmigungsrechtlichen Vorarbeiten für zentrale Wärmenetze und Großwärmepumpen frühzeitig begonnen werden. Dies umfasst insbesondere Machbarkeitsstudien, Standortprüfungen und Genehmigungsabklärungen für Abwasser-, Flusswasser- und zentrale Luftwärmepumpen, um die spätere Realisierung abzusichern und Umsetzungshürden frühzeitig zu identifizieren. Dieser Schritt kann erfolgen, wenn eine Gruppe von Bürger:innen mit Interesse für die Initiierung einer Bürgerenergiegenossenschaft oder andere Akteure mit Umsetzungsinteresse (bspw. überregionaler Contractor in Kooperation mit den Stadtwerken) gefunden wurden. Die Beauftragung einer Machbarkeitsstudie erfolgt typischerweise durch Kommunen oder Stadtwerke bzw. Energieversorger und Projektpartner. Die Kosten einer Machbarkeitsstudie von schätzungsweise 1-2 % der Investitionssumme können zu 50 % durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) gefördert werden.

Flankierend tragen energetische Einzelmaßnahmen zur Reduktion des Wärmebedarfs bei. Dazu zählen vorrangig Fassaden- und Dachdämmungen als größte Einsparmaßnahmen, der Austausch von Fenstern sowie Heizungsoptimierungen und hydraulische Abgleiche. Diese Maßnahmen sind weitgehend unabhängig vom gewählten Versorgungssystem wirksam und verbessern zugleich die Voraussetzungen für einen effizienteren Betrieb von Wärmepumpen. Wo energetische Sanierungen Voraussetzung für den Einsatz von Wärmepumpen sind, sollten diese prioritär umgesetzt werden und durch aufsuchende Beratungsangebote motiviert und unterstützt werden.

Auch wenn in dieser Phase noch keine vollständige Klimaneutralität erreicht wird, liegt der Fokus auf pragmatischen Lösungen, die fossile Vollversorgungssysteme schrittweise verdrängen und Investitionsentscheidungen zukunftsweisend gestalten. Das bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Fehlentscheidungen beim Heizungstausch, die zu erhöhten Kosten und THG-Emissionen in der Zukunft führen, vermieden werden sollten, auch wenn die geplante Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes solche Fehlinvestitionen absehbar zulassen wird. Ziel auf Einzelgebäudeebene ist langfristig eine klimaneutrale Wärmeverversorgung bei möglichst hoher Energieeffizienz der Gebäude, wobei die Effizienz im Zieljahr der Klimaneutralität für die THG-Emissionen bei Wärmepumpensystemen kaum eine Rolle spielt. Die kumulierten Emissionen liegen bei reinem Heizsystemwechsel allerdings aufgrund der noch bestehenden fossilen Anteile am Strommix höher und der Transformationsaufwand und somit die Kosten aufseiten der Stromnetzinfrastruktur durch strombasierte Heizsysteme steigen mit geringerer Gebäudeeffizienz. Daneben führen energetische Sanierungen in der Regel zu einer Steigerung des Wohnkomforts und sind teilweise Voraussetzung für einen effizienten Betrieb von Wärmepumpensystemen und damit für günstige Betriebskosten.

Gleichzeitig ermöglichen hybride Systeme bereits frühzeitig einen hohen strombasierten Deckungsanteil der Wärmeerzeugung und damit eine perspektivisch klimaneutrale Versorgung, häufig bei deutlich geringeren Investitionskosten als eine umfassende energetische Sanierung.

8.4 Stufe 2: Mittelfristige Umsetzung (ca. 2030–2040)

Mit fortschreitender Dekarbonisierung des Stromsystems und zunehmender Dringlichkeit von Dekarbonisierungslösungen können im mittelfristigen Zeithorizont komplexere und stärker integrierte Versorgungslösungen umgesetzt werden. Dazu zählen insbesondere zentrale Wärmenetzlösungen, beispielsweise auf Basis von Abwasser- oder Flusswasserwärme, sofern die genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen erfüllt sind und tragfähige Betreibermodelle etabliert werden können. Entscheidende Voraussetzung hierfür ist die frühzeitige Sicherung von Ankerkunden durch Vorverträge, um eine ausreichende Auslastung zu gewährleisten. Auch die Stadt kann hier mit ihren Liegenschaften als Ankerkundin auftreten. Darauf aufbauend kann ein wirtschaftliches Zielmodell mit transparenter Wärmepreisstruktur, Anschlusskosten und Laufzeiten definiert werden, das möglichst gegenüber dezentralen Lösungen konkurrenzfähig ist. Dazu müssen alle zur Verfügung stehenden kommunalen, Landes- und Bundesförderprogramme (bspw. BEW und LfA Energiekredit Wärme) genutzt werden. Parallel muss durch eine geeignete Kommunikationsstrategie und Anreizmodelle die Anschlussquote nach Möglichkeit erhöht werden. Die rechtliche Struktur der Betreibergesellschaft und notwendige Flächen- und Nutzungsrechte sollten frühzeitig geklärt werden. Als Rechtsformen kommen neben Energiegenossenschaften bspw. auch privat-kommunale Projektgesellschaften mit externen Investitionen in Betracht²⁶.

²⁶ Siehe hierzu die Informationen des Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende: <https://www.kww-halle.de/fokusthemen/waermenetze-betreibermodelle-finanzierung/oeffentlich-private-partnerschaft>

Ergänzend kommen Quartierslösungen mit zentralen Großwärmepumpen in Betracht, etwa in Form von Quartiers-Luft-Wärmepumpen, sofern geeignete Standorte, ausreichende Wärmeliniendichten sowie eine entsprechende Akzeptanz vorhanden sind. Neben Beratung und Vernetzung zu Initiierung und Förderung von Wärmenetzprojekten kann die Stadt mittelfristig auch bei den ersten Schritten der Umsetzung unterstützen, bspw. durch direkte finanzielle Beteiligung aus Haushaltsmitteln oder Darlehen oder auch durch kommunale Bürgschaften oder die Bereitstellung von städtischen Flächen.

Parallel dazu können hybride Systeme weiterentwickelt werden, indem fossile Spitzenlastkessel schrittweise durch erneuerbare Alternativen wie Biomasse ersetzt oder infolge steigender Gebäudeeffizienz perspektivisch obsolet werden.

8.5 Stufe 3: Zielbild (ab ca. 2040)

In der langfristigen Zielperspektive steht schließlich die weitgehende oder vollständige Klimaneutralität der Wärmeversorgung im Vordergrund. Kennzeichnend hierfür sind ein deutlich reduzierter Wärmebedarf infolge fortgeschrittener energetischer Sanierungen sowie ein weitgehend dekarbonisierter Strommix, der den Betrieb von Wärmepumpen nahezu emissionsfrei ermöglicht. Bis hier sollte ein vollständiger Rückbau fossiler Komponenten, insbesondere von Gas-Spitzenlastkesseln, oder deren Ersatz durch erneuerbare Systeme erfolgen, auch um inzwischen hohe Betriebskosten durch fossile Brennstoffe und Infrastruktur zu vermeiden. Die konkrete Zielstruktur fällt dabei je nach Quartier unterschiedlich aus: Während in dicht bebauten Bereichen in den Quartieren Münchner Freiheit und Südliches Schloßbrondell voraussichtlich auch zentrale Wärmenetze durch zuvor gefundene Betreibergesellschaften umgesetzt werden, können andernorts dezentrale oder semi-zentrale Lösungen dominieren.

9 Literatur

- Andre, P., Boneva, T., Chopra, F., & Falk, A. (2024). Globally representative evidence on the actual and perceived support for climate action. *Nature Climate Change*, 14(3), 253–259. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01925-3>
- Anna Kallert, Eric Lamvers, & Young Jae Yu. (2021). *Dena-Studie, Thermische Energiespeicher für Quartiere, Überblick zu Rahmenbedingungen, Marktsituation und Technologieoptionen für Planung, Beratung und politische Entscheidungen im Gebäudesektor*. Deutsche Energie-Agentur. https://www.gebaeudeforum.de/fileadmin/gebaeudeforum/Downloads/Studie-Bericht/STUDIE_Thermische_Energiespeicher_fuer_Quartiere.pdf
- Auer Mühlbach. (2025). In *Wikipedia*. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Auer_M%C3%BChlbach&oldid=262306338
- Bongs, C., Wapler, J., Dinkel, A., Miara, M., Auerswald, S., Lämmle, M., Hess, S., Kropp, M., Eberle, R., Rodenbücher, B., Schmidt, F., Ruppert, M., Carbonare, N., Wagner, A., & :unav. (2023). *LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden ("LowEx-Bestand Analyse). Abschlussbericht*. Fraunhofer-Gesellschaft. <https://doi.org/10.24406/PUBLICA-1453>
- C.A.R.M.E.N. e.V. (o. J.). *Nahwärmenetze und Bioenergieanlagen—Ein Beitrag zur effizienten Wärmenutzung und zum Klimaschutz* [C.A.R.M.E.N. Merkblatt]. Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk C.A.R.M.E.N. e.V. Abgerufen 20. Januar 2026, von https://www.energiesystemtechnik.de/images/pdf/Merkblatt_Nahwaerme_CARMEN.pdf
- Clausen, J., Seidel, C., & Ostermann, L. (2025). *An introduction to heat generation from river water*.
- Decker, T., & Menrad, K. (2015). House owners' perceptions and factors influencing their choice of specific heating systems in Germany. *Energy Policy*, 85, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.004>
- Deuchert, E., Fuchs, A., Rygl, D., Sarakbi, M., & Steck, W. (2025). *Akzeptanzfaktoren für den Ausbau von Nahwärmenetzen: Ergebnisse einer Fallstudie aus Neunkirchen*. Ferdinand-Steinbeis-Institut.
- Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS)*. (o. J.).
- European Commission. (2013). *Attitudes of Europeans towards air quality* (Flash Eurobarometer No. 360).
- Ferstl, J., & Wettberg, N. (2024). *Wärmepumpen an Fließgewässern—Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern*.
- Förster, H. et al. (2025). *Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland* (Projektionsbericht 2025), Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- Greif, S. (2023). *Räumlich hoch aufgelöste Analyse des technischen Potenzials von Wärmepumpen zur dezentralen Wärmeversorgung der Wohngebäude in Deutschland*.
- Initiative Klimaneutrales Deutschland. (2024). *Allensbach-Studie: Eigenheimbesitzer treiben die Energiewende voran*. <https://initiative-klimaneutral.de/presse/allensbach-studie-eigenheimbesitzer-treiben-die-energiewende-voran/>

- Kjell Bettgenhäuser, Bernhard von Manteuffel, Markus Offermann, Benjamin Köhler, Veit Bürger, Sibylle Braungardt, & Stefan Klinski. (2024). *Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden*. CLIMATE CHANGE.
- Kleinertz, B., Beierlein, L., Gruber, A., Gruber, K., Limme, T., Günther, M., & Baus, B. (2024). *Wärmestrategie München—Verbesserung der Daten- und Analysegrundlage für die kommunale Wärmeplanung (Abschlussbericht)*.
- LAI. (2023, August 28). *LAI-Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm beim Betrieb von stationären Geräten in Gebieten, die dem Wohnen dienen*. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), Umweltministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland.
- Lauf, T., Memmler, M., & Schneider, S. (with Umweltbundesamt). (2025). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2023* (S. 173). Umweltbundesamt. <https://doi.org/10.60810/OPENUMWELT-7687>
- Luderer, G., Bartels, F., Brown, T., Aulich, C., Benke, F., Fleiter, T., Frank, F., Ganai, H., Geis, J., Gerhardt, N., Gnann, T., Gunemann, A., Hasse, R., Herbst, A., Herkel, S., Hoppe, J., Kost, C., Krail, M., Lindner, M., ... Verpoort, P. C. (2025). *Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045* (S. 106 pages, 33,7 MB) [Application/pdf]. Potsdam Institute for Climate Impact Research. <https://doi.org/10.48485/PIK.2025.003>
- Majer, S., Bothe, S., & Seidel, L. (2024). *Trends bei Emissionsfaktoren der Energieversorgung*.
- Michelsen, C. C., & Madlener, R. (2012). Homeowners' preferences for adopting innovative residential heating systems: A discrete choice analysis for Germany. *Energy Economics*, 34(5), 1271–1283. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.06.009>
- Octopus Energy. (2024). *3 von 4 Hausbesitzer*innen überschätzen die Kosten von Wärmepumpen: Umfrage von Octopus Energy*. <https://octopusenergy.de/newsroom/3-von-4-hausbesitzer-innen-ueberschaetzen-die-kosten-von-waermepumpen-umfrage-von-octopus-energy>
- Prewitz, K. (2025). *Begleitdokument KWW-Technikkatalog*.
- RKU. (2024). *V 14591 Kommunale Waermeplanung fuer Muenchen A03 Aenderungen_im_Waermeplan*. Beschlussvorlage Kommunale Wärmeplanung für München – Verabschiedung des finalen Wärmeplans.
- Römer, D., & Rode, J. (2025). *KfW-Energiewendebarmeter 2025: Zustimmung stabil – jeder dritte Haushalt nutzt Energiewendetechnologie*. KfW. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Energiewendebarmeter/KfW-Energiewendebarmeter-2025.pdf>
- Stein, U., Tröltzsch, J., Vidaurre, R., Schmitt, H., Bueb, B., Reineke, J., Flörke, M., Uschan, T., Herrmann, F., Kollet, S., Wagner, N., McNamara, I., Guggenberger, T., Barjenbruch, M., Dworak, T., & Schmidt, G. (2024). *Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit—Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland (WAD-Klim)*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkung-des-klimawandels-auf-die>
- Steinfeldt, A. (2025, Dezember 11). *Wärmepumpe ist erste Wahl – Mehrheit der Deutschen will erneuerbar heizen*. co2online. <https://www.co2online.de/presse/waermepumpe-ist-erste-wahl/>

thermondo. (2025a). *Umfrage zeigt: Die Wärmepumpe ist 1. Wahl für Hausbesitzer*.
<https://www.thermondo.de/info/rat/waermepumpe/thermondo-monitor/>

thermondo. (2025b). *Wärmepumpen-Monitor: 59% der Hausbesitzer stellen sich gegen Förderkürzungen*.

<https://www.thermondo.de/unternehmen/presse/pressemitteilungen/thermondo-waermepumpen-monitor-hausbesitzer-stellen-sich-gegen-foerderkuerzung/>

Wolf, I., Ebersbach, B., & Huttarsch, J.-H. (2023). *Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende 2023: Was die Menschen in Deutschland bewegt – Ergebnisse einer Panelstudie zu den Themen Energie und Verkehr*. Kopernikus-Projekt Ariadne (Wolf, Huttarsch, Fischer, & Ebersbach). <https://snb.ariadneprojekt.de/start>