

Wärmestrategie

München

Verbesserung der Daten- und Analysegrundlage
für die kommunale Wärmeplanung
(Abschlussbericht)

Wärmestrategie München

Verbesserung der Daten- und
Analysegrundlage für die kommunale
Wärmeplanung (Abschlussbericht)

Herausgeber:



Forschungsgesellschaft für
Energiewirtschaft mbH

80995 München
+49 (0) 89 158121-0

Mail: info@ffe.de
Web: www.ffe.de

Auftraggeber:



Landeshauptstadt
München

Referat für Klima- und Umweltschutz
Bayerstraße 28a
80335 München
+ 49 (0) 89 233 96300

Mail: buergieranfragen.rku@muenchen.de
Web: www.stadt.muenchen.de

Abschlussbericht zum Projekt:

Wärmestrategie München

Verbesserung der Daten- und Analysegrundlage für die kommunale Wärmeplanung

Veröffentlicht am:

30.01.2024

FfE-Nummer:

LHM-10

Bearbeiter/in FfE:

■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■

Projektpartner:

Lehrstuhl für Hydrogeologie
der Technischen Universität
München

Bearbeiter SWM:

■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■

Bearbeiter e-think:

██████████

Bearbeiter RKU:

██████████

██████████

██████████

Inhalt

1	Management Summary	1
2	Einleitung	5
3	Vergleich der Rahmenbedingungen mit „Klimaneutrale Wärme München 2035“	8
4	Bestehende Tools zur Wärmeplanung in München	15
4.1	Steckbriefe einzelner bestehender Tools mit Relevanz für die kommunale Wärmeplanung	15
4.1.1	Steckbrief „Modell München“	16
4.1.2	Steckbrief „GEO.KW“	18
4.1.3	Steckbrief „Wärmepumpen-Ampel“	21
4.1.4	Steckbrief „EManager“	23
4.2	Kombinierbarkeit der Tools	26
5	Bestandsanalyse Gebäude und Wärmebedarfe	29
5.1	Gemeinsame Datennutzung zwischen SWM und LHM	29
5.2	Gebäudebestand	30
5.3	Analyse der Wärmeversorgung	34
5.4	Emissionsbilanz	37
6	Potenzial klimaneutraler Wärmequellen	40
6.1	Definition der relevanten Potenzialbegriffe dieser Studie	40
6.2	Umweltwärme zur direkten Nutzung - Solarthermie	41
6.3	Abwärme-Potenziale von Großverbrauchern	41
6.3.1	Methodische Vorgehensweise	41
6.3.2	Ergebnisse der Potenzialanalyse und Einordnung	42
6.3.3	Abgleich Abwärme-Potenziale und Fernwärme	46
6.4	Abwärme aus GHD-Betrieben	46
6.4.1	Abwärme aus Supermärkten	47
6.4.2	Abwärme aus weiteren GHD-Betrieben	50
6.4.3	Fazit der Analysen zur Abwärme aus GHD-Betrieben	52
6.5	Umweltwärme für Wärmepumpen	52
6.5.1	Luft-Wärmepumpe	52
6.5.2	Grundwasser-Wärmepumpe	53
6.6	Erdgekoppelte Wärmepumpen	56
6.7	Sonderfall: Hybrid-Wärmepumpen	57
6.7.1	Einsatzziel und Effekte	57

6.7.2	Anwendbarkeit der bestehenden Potenzialanalysen	59
6.8	Flusswasser	60
6.9	Nicht näher oder nur ergänzend betrachtete Wärmequellen.....	62
6.10	Fazit und Ausblick.....	64
7	Hintergrund zur Bestimmung der Verbrauchs- und Versorgungsszenarien	66
7.1	Verwendetes Modell	66
7.2	Rahmenparameter der Szenarien.....	68
7.2.1	Szenarien der CO ₂ - und Energieträgerpreise	69
7.2.2	Investitions- und Betriebskosten der Wärmeerzeugungstechnologien	79
7.2.3	Anlageneffizienzen.....	83
7.2.4	Sanierungskosten	84
7.2.5	Förderungen für Sanierung der Gebäudehülle und Heizungstausch	91
7.2.6	Entwicklung der Emissionsfaktoren der Energieträger	94
7.3	Differenzierung der Szenarien.....	95
8	Ableitung von Eignungsgebieten und jeweilige energetische Entwicklung	99
8.1	Hintergründe zur Festlegung der Eignungsgebiete.....	99
8.2	Schrittweises Vorgehen zur Definition der Eignungsgebiete	101
8.3	Kartographische Darstellung übergeordneter Eignungsgebiete.....	105
8.4	Detaillierte Beschreibung der Eignungsgebiete und der modellierten Entwicklungen	107
8.4.1	Fernwärme-Verdichtungsgebiet.....	108
8.4.2	Fernwärme-Erweiterungsgebiet	113
8.4.3	Wärmenetz-Untersuchungsgebiete.....	116
8.4.4	Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung (ggf. seriell)	121
8.4.5	Reihenhäuser mit Gebäudenetzen	124
8.4.6	Vertiefte Untersuchung durch ein Energiekonzept notwendig	125
8.4.7	Individuell zu versorgendes Gebiet	127
8.4.8	Individuell zu versorgendes Gebiet mit Sanierung (ggf. seriell).....	130
8.4.9	Wenige Gebäude ohne lokales EE-Potenzial.....	134
8.4.10	Industrie- und große Gewerbegebiete	138
9	Techno-ökonomische Ergebnisse für die gesamte Stadt München	142
9.1	Hintergründe für die Interpretation der Ergebnisse	142
9.2	Entwicklung von Endenergiebedarf und Emissionen	143
9.3	Entwicklung der Sanierungstiefe.....	147
9.4	Analyse der Gebäude mit mehreren Handlungsoptionen.....	148
9.5	Ökonomische Auswertung	150
9.6	Abgleich der Ergebnisse mit denen aus der Vorgängerstudie	156

10	Fachkräftebedarf der Wärmewende in München.....	161
10.1	Erhebung der Personalbedarfe	161
10.2	Abgleich mit Ergebnissen aus der Metastudienanalyse zu Personalbedarfen	164
10.3	Personalsicherung – Hemmnisse und Handlungsempfehlungen	165
10.4	Weiterentwicklung der Analysen und Implikationen für München	171
11	Einordnung der Szenarioergebnisse und abgeleitete Erkenntnisse.....	172
12	Ausblick zur kontinuierlichen Verbesserung der Wärmeplanung.....	174
12.1	Weitere Validierungen und Erhebung von Daten	174
12.2	Möglichkeiten zur gesteigerten Differenzierung der Eignungsgebiete	175
12.3	Aktualisierung, Vertiefung und Variation der Annahmen für die Szenarien	177
13	Literatur	179
14	Anhang.....	188
14.1	Vergleich der Sanierungskosten zwischen e-think und FfE.....	188

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Visualisierung der Eignungsgebiete inklusive Fernwärme-Verdichtungsgebiet.....	2
Abbildung 1-2:	Aufteilung Entwicklung des wärmebedingten Endenergiebedarfes im Zielszenario	3
Abbildung 4-1:	Auszug aus Tableau des Modells München für individuelle Dashboards mit Karten, Diagrammen, Statistiken	18
Abbildung 4-2:	Exemplarische Brunnenplanung in GEO.KW	21
Abbildung 4-3:	Schema der methodischen Vorgehensweise der Wärmepumpen-Ampel	23
Abbildung 4-4:	Beispiele für Emanager Funktionen: Gebäudeanalyse, Clusteranalyse	25
Abbildung 4-5:	Zusammenhänge der bestehenden Tools	27
Abbildung 4-6:	Aktuelle Überlegungen zur Verschneidung der Tools.....	28
Abbildung 5-1:	Heatmap der Anzahl Einwohner in einem Baublock (links) und der Anzahl Einwohner je m ² Gesamtfläche pro Baublock (rechts)	30
Abbildung 5-2:	Bebauungsdichte der Baublöcke (rot = nahe 100 %, dunkelgrün = nahe 0 % bzw. unbebaut)	31
Abbildung 5-3:	Baublöcke nach vorhandenen Strukturtypen blau gefärbt (links mit Einfamilienhäusern bzw. Doppelhaushälften, rechts mit Geschossbaukomplexen).....	31
Abbildung 5-4:	Anzahl Gebäude nach Baujahr und gruppiert nach Anzahl Wohneinheiten	32
Abbildung 5-5:	Anzahl Gebäude nach Baujahr und gruppiert nach der Nutzungsart	33
Abbildung 5-6:	Baublöcke mit dem Median der Baujahre (rot = älter; grün = neuer)	33
Abbildung 5-7:	Vergleich von berechnetem und gemessenem Lieferenergiebedarf für Wohngebäude in verschiedenen Altersklassen mit Fernwärme und Erdgasversorgung nach beheizter Fläche (n=18.449)	35
Abbildung 5-8:	Aufteilung der Lieferenergie von Erdgas und Fernwärme und gruppiert nach der Anzahl an Wohneinheiten	36
Abbildung 5-9:	Aufteilung der Lieferenergie von Erdgas (gelb) und Fernwärme (orange) nach Baujahren...36	
Abbildung 5-10:	Dampfnetz und Heizwassernetze sowie Standorte der Heizkraftwerke und Geothermieanlagen	37
Abbildung 5-11:	Lieferenergie (Brennwert) aufgeteilt nach Gebäudenutzungsart und Endenergieträger	38
Abbildung 5-12:	Emissionen der Wärmeerzeugung aufgeteilt nach Gebäudenutzungsart und Endenergieträger mit Emissionsfaktoren nach /UBA-08 21/ bzw. /FFE-79 21/	38
Abbildung 5-13:	Emissionen der Wärmeerzeugung aufgeteilt nach Gebäudenutzungsart und Endenergieträger bei Einbindung der Emissionsfaktoren nach BSKO-Standard.....	39
Abbildung 6-1:	Visualisierung und Ergänzung der Potenzialarten aus /FFE-79 21/.....	40
Abbildung 6-2:	Mächtigkeit des quartären Grundwassers im April 2014 /TUM-01 23/.....	54
Abbildung 6-3:	Technisches Potenzial der thermischen Entzugsleistung von Brunnenpaaren pro Baublock bei einer 5 K-Temperaturspreizung zwischen Förder- und Schluckbrunnen	55
Abbildung 6-4:	Messwerte von Isar, Eisbach, Schwabinger Bach und Würm für Tagesmittelwerte der Wassertemperatur und die mittlere verfügbare Abflussmenge – Eigene Darstellung nach /LFU-05 23/.....	61
Abbildung 7-1:	Ablaufschema des Modells Invert/EE-Lab.....	68
Abbildung 7-2:	Prozentuale Änderung des Verbraucherpreisindex zum Vorjahr, eigene Darstellung nach /DESTATIS-03 23/	69
Abbildung 7-3:	Szenarien der CO ₂ -Preise im BEHG und EU ETS.....	70
Abbildung 7-4:	Szenarien des Börsen-Strompreises.....	71
Abbildung 7-5:	Szenario des Börsen-Erdgaspreises.....	73
Abbildung 7-6:	Szenario des Heizöl-Gesamtpreises.....	74
Abbildung 7-7:	Szenarien für Hackschnitzelpreise.....	75

Abbildung 7-8: Szenarien für Pelletpreise.....	75
Abbildung 7-9: Szenario des Wasserstoff-Preises.....	76
Abbildung 7-10: Gegenüberstellung der Preisszenarien für Energieträger und Emissionen der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ (Stand 2021) /FFE-79 21/ und Wärmestrategie München (Stand 2023)...	78
Abbildung 7-11: Gegenüberstellung der spezifischen Investitionen (ohne MwSt.) nach Technologie, Jahr und Leistung nach dem Katalog der KEA-BW.....	80
Abbildung 7-12: Investitionen der Technologien in München für 2023 inklusive MwSt. in Abhängigkeit von der thermischen Leistung.....	81
Abbildung 7-13: Effizienz der Wärmepumpe in Abhängigkeit vom Temperaturhub.....	84
Abbildung 7-14: Spezifische energiebedingte Mehrkosten der Sanierung bezogen auf die Energiebezugsfläche für EZFH bzw. MFH und NWG für das Jahr 2022 inklusive MwSt. (Eigene Darstellung nach /FFE-79 21/)	85
Abbildung 7-15: Vollkosten der Sanierung bezogen auf die Energiebezugsfläche für EZFH bzw. MFH und NWG für das Jahr 2022 inklusive MwSt. (Eigene Darstellung nach /FFE-79 21/)	86
Abbildung 7-16: Energiebedingte Mehrkosten von e-think nach Sanierungspaket und Baualtersklassen für EFH, Jahr 2022, angepasst auf Wärmebedarf und Energiebezugsfläche der Gebäude (inkl. MwSt.)	88
Abbildung 7-17: Vollkosten der Sanierung von e-think nach Sanierungspaket und Baualtersklassen für EFH, Jahr 2022, angepasst auf Wärmebedarf und Energiebezugsfläche der Gebäude (inkl. MwSt.)	88
Abbildung 7-18: Energiebedingte Mehrkosten von e-think nach Sanierungspaket und Baualtersklassen für MFH, Jahr 2022, angepasst auf Wärmebedarf und Energiebezugsfläche der Gebäude (inkl. MwSt.)	89
Abbildung 7-19: Vollkosten der Sanierung von e-think nach Sanierungspaket und Baualtersklassen für MFH, Jahr 2022, angepasst auf Wärmebedarf und Energiebezugsfläche der Gebäude (inkl. MwSt.)	89
Abbildung 8-1: Visualisierung der Eignungsgebiete inklusive Fernwärme-Verdichtungsgebiet.....	105
Abbildung 8-2: Visualisierung der Eignungsgebiete ohne das Fernwärme-Verdichtungsgebiet, Fernwärme-Erweiterungsgebiet und Wärmenetz-Untersuchungsgebiet.....	106
Abbildung 8-3: Wärmebedarfe nach Eignungsgebiet in der Stadt München.....	107
Abbildung 8-4: Aufteilung des Gebäudebestandes im Fernwärme-Verdichtungsgebiet im Status Quo.....	110
Abbildung 8-5: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im FW-Verdichtungsgebiet	112
Abbildung 8-6: Aufteilung des Gebäudebestandes im Fernwärme-Erweiterungsgebiet im Status Quo	114
Abbildung 8-7: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Fernwärme-Erweiterungsgebiet.....	115
Abbildung 8-8: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im Fernwärme - Erweiterungsbereich	116
Abbildung 8-9 Status Quo für das Wärmenetz-Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Anzahl an Gebäuden.	118
Abbildung 8-10: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet.....	120
Abbildung 8-11: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet.....	120
Abbildung 8-12: Aufteilung des Gebäudebestandes im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung (ggf. seriell) im Status Quo	122
Abbildung 8-13: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung	123
Abbildung 8-14: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung.....	123
Abbildung 8-15: Aufteilung des Gebäudebestandes mit benötigter vertiefter Untersuchung des Energiekonzepts im Status Quo	126
Abbildung 8-16: Aufteilung des Gebäudebestandes im individuell zu versorgenden Gebiet im Status Quo	128
Abbildung 8-17: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet.....	129

Abbildung 8-18:	Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet	130
Abbildung 8-19:	Aufteilung des Gebäudebestandes im individuell zu versorgenden Gebiet mit Sanierung (ggf. seriell) im Status Quo	132
Abbildung 8-20:	Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet mit Sanierung	133
Abbildung 8-21:	Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet mit Sanierung	134
Abbildung 8-22:	Aufteilung des Gebäudebestandes für Gebäude ohne lokales EE-Potenzial im Status Quo.....	136
Abbildung 8-23:	Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Gebiet der wenigen Gebäude ohne lokales Potenzial klimaneutraler Wärmequellen	137
Abbildung 8-24:	Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im Gebiet der wenigen Gebäude ohne lokales Potenzial klimaneutraler Wärmequellen.....	138
Abbildung 8-25:	Aufteilung des Gebäudebestandes in Industrie- und große Gewerbegebiete im Status Quo...	140
Abbildung 9-1:	Aufteilung Entwicklung des wärmebedingten Endenergiebedarfes im Zielszenario	143
Abbildung 9-2:	Aufteilung Entwicklung des wärmebedingten Endenergiebedarfes im Basisszenario	144
Abbildung 9-3:	Aufteilung der Wärmebereitstellung nach beheizter Fläche in beiden Szenarien	145
Abbildung 9-4:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in beiden Szenarien	146
Abbildung 9-5:	Entwicklung der gesamten sowie der pro Kopf CO ₂ -Emissionen in beiden Szenarien.....	146
Abbildung 9-6:	Aufteilung der Sanierungstiefe der Gebäude nach Endenergiebedarf im Zielszenario.....	147
Abbildung 9-7:	Aufteilung der Sanierungstiefe der Gebäude nach Anzahl Fläche im Basisszenario	148
Abbildung 9-8:	Potenzialausnutzung der Wärmepumpen (erstellt von e-think).....	149
Abbildung 9-9:	Potenzialausnutzung der Fernwärme (erstellt von e-think).....	150
Abbildung 9-10:	Kumulierte Investitionen in Heizsysteme in den Bestandsgebäuden	151
Abbildung 9-11:	Kumulierte Investitionen in Heizsysteme und Anteil der Förderung	151
Abbildung 9-12:	Kumulierte Investitionen in die Sanierung der Bestandsgebäude	152
Abbildung 9-13:	Kumulierte Investitionen in die Sanierung der Bestandsgebäude und Anteil der Förderung ...	153
Abbildung 9-14:	Jährliche Betriebskosten aller Wärmeerzeuger	153
Abbildung 9-15:	Entwicklung des wärmebedingten Endenergiebedarfes in den Zielszenarien aus „Klimaneutrale Wärme München 2035“ und „Wärmestrategie München“	157
Abbildung 9-16:	Vergleich der resultierenden Emissionen in den Studien „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ bzw. „Wärmestrategie München“	158
Abbildung 9-17:	Vergleich der angesetzten Investitionen in Luft-Wärmepumpe in den Studien „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ bzw. „Wärmestrategie München“	160
Abbildung 9-18:	Vergleich der angesetzten Investitionen in Grundwasser-Wärmepumpe in den Studien „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ bzw. „Wärmestrategie München“	160
Abbildung 10-1:	Angestrebte Differenzierung der erarbeiteten Kennzahlen.....	161
Abbildung 10-2:	Angestrebtes Vorgehen zur Ermittlung der Kennzahlen	162
Abbildung 10-3:	Anzahl gefundener Hemmnisse und Lösungsansätze zur Bereitstellung des benötigten Fachkräftebedarfes – enthält keine Priorisierung!.....	166
Abbildung 14-1:	Gegenüberstellung der Vollkosten der Sanierung von e-think und FfE für Ein- und Zweifamilienhäuser	188
Abbildung 14-2:	Gegenüberstellung der energiebedingten Mehrkosten der Sanierung von e-think und FfE für Ein- und Zweifamilienhäuser	189

Abbildung 14-3: Gegenüberstellung der Vollkosten der Sanierung von e-think und FfE für Mehrfamilienhäuser	190
Abbildung 14-4: Gegenüberstellung der energiebedingten Mehrkosten der Sanierung von e-think und FfE für Mehrfamilienhäuser	191

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Auswahl geänderter politischer und rechtlicher Rahmenbedingungen.....	9
Tabelle 3-2:	Auswahl geänderter Rahmenbedingungen relevanter Märkte und jeweilige Effekte	11
Tabelle 3-3:	Auswahl geänderter Rahmenbedingungen des Förderregimes	12
Tabelle 3-4:	Auswahl geänderter Rahmenbedingungen für die Stadt München.....	13
Tabelle 3-5:	Auswahl zum geänderten Umfeld bei der Landeshauptstadt München.....	13
Tabelle 3-6:	Auswahl zum geänderten Umfeld bei den SWM	14
Tabelle 6-1:	Externe Abwärmepotenziale der befragten Unternehmen in München.....	44
Tabelle 6-2:	Kennwerte von exemplarischen Supermärkten mit Abwärmenutzung	48
Tabelle 6-3:	Nutzbare Abwärmequellen im Dienstleistungssektor.....	51
Tabelle 6-4:	Theoretisches und abgeleitetes praktisches Flusswasser-Potenzial in München.....	62
Tabelle 7-1:	Festgelegte Entwicklung der Emissionsbepreisung im BEHG	70
Tabelle 7-2:	Komponenten des Strompreises nach /BDEW-01 20/ ¹ und /SWM-01 23/ ² , /SWM-03 22/ ³ , /SWM-02 23/ ⁴ , /EEEA-01 23/ ⁵ und angenommene Entwicklung.....	72
Tabelle 7-3:	Komponenten des Erdgaspreises nach /BDEW-01 20/ ¹ , /SWM-04 22/ ² , /BMF-04 22/ ³ , /THE-02 22/ ⁴ , /TIM-01 23/ ⁵ , /EEX-03 23/ ⁶ /EEX-04 23/ ⁷ und angenommene Entwicklung.....	73
Tabelle 7-4:	Komponenten des Heizölpreises nach /SHELL-01 23/ ¹ und /BAYWA-01 23/ ² , /BMJ-01 23/ ³ und angenommene Entwicklung.....	74
Tabelle 7-5:	Zusammenstellung der für München ausgewählten Kostenfunktionen der Investitionskosten und prozentualen fixen Betriebskosten je Wärmeerzeugeraus den Quellen /IWU-01 21/ ¹ , /HSW-01 11/ ² , /VDI-04 12/ ³ , Herstellerangaben und Expertenbefragungen vom Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU München ⁴ und Herleitung durch e-think anhand /IWU-01 21/ ⁵	82
Tabelle 7-6:	Zusammenstellung der für München für das Jahr 2022 berechneten Kostenfunktionen der Investitionskosten inklusive MwSt. (Mindestleistung und durchschnittliche Lebensdauer sind von e-think im Tool hinterlegt)	83
Tabelle 7-7:	Angesetzte Nutzungsgrade verschiedener Wärmeerzeuger nach Vorlauftemperatur des Heizsystems und zur Warmwassererzeugung.....	84
Tabelle 7-8:	Umschlüsselung der Sanierungspakete von e-think auf die verschiedenen energetischen Standards nach Gebäudeart.....	87
Tabelle 7-9:	Vergleich der angesetzten Förderungen der Sanierung in der Vorgängerstudie und unter aktuellen Rahmenbedingungen	92
Tabelle 7-10:	Vergleich der angesetzten Förderungen für Technologien in der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ und unter aktuellen Rahmenbedingungen	93
Tabelle 7-11:	Abgleich der aktuell vorliegenden und zukünftigen Emissionsfaktoren (bezogen auf den Heizwert) nach BSKO-Standard /IFEU-05 19/ ¹ , direkte Emissionen gemäß /UBA-08 21/ ² , Szenarien aus /ÖKO-03 22/ ³ und einer aktualisierten Expertenschätzung ⁴	95
Tabelle 7-12:	Je betrachtetem Zeitraum und Gebäudetyp ansetzbare Sanierungsraten in Gebäude pro Jahr	97
Tabelle 7-13:	Anteil der bis zum jeweiligen Stützjahr sanierten Gebäude	97
Tabelle 7-14:	Angestrebte Sanierungstiefen je Zeitraum und Verortung des Gebäudetyps im Zielszenario	98
Tabelle 8-1:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand in München insgesamt	108
Tabelle 8-2:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im Fernwärme-Verdichtungsgebiet.....	109
Tabelle 8-3:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im Fernwärme-Erweiterungsgebiet	113
Tabelle 8-4:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet	117
Tabelle 8-5:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung (ggf. seriell)	121

Tabelle 8-6:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand, für den eine vertiefte Untersuchung des Energiekonzepts notwendig ist	125
Tabelle 8-7:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im individuell zu versorgenden Gebiet	127
Tabelle 8-8:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im individuell zu versorgenden Gebiet mit Sanierung (ggf. seriell)	131
Tabelle 8-9:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand für Gebäude ohne lokales EE-Potenzial.....	135
Tabelle 8-10:	Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand in Industrie- und großen Gewerbegebieten.	139
Tabelle 9-1:	Übersicht zu den entstehenden Investitionen im Zielszenario	155
Tabelle 10-1:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Arbeitsumfeld	166
Tabelle 10-2:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Vorurteile des Berufsbildes	167
Tabelle 10-3:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich monetäre Hemmnisse.....	167
Tabelle 10-4:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Ausbildung	168
Tabelle 10-5:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich bestehende Strukturen und Weiterbildung	168
Tabelle 10-6:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Personalerhaltung	169
Tabelle 10-7:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Prozesse der Rekrutierung	169
Tabelle 10-8:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Personalrekrutierung im Ausland	169
Tabelle 10-9:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Effizienz im Umsetzungsprozess.....	170
Tabelle 10-10:	Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Gesamtgesellschaftlicher Wandel	170
Tabelle 10-11:	Umschlüsselung der Quellen in den Tabellen zu Hemmnissen und Lösungsansätzen	171

1 Management Summary

Bereits seit mehreren Jahren laufen in der Landeshauptstadt München (LHM) und bei den Stadtwerken München (SWM) Vorhaben, um auf das gesetzte Ziel der Klimaneutralität der Stadt München hinzuwirken. Vor dem Hintergrund der verstärkten politischen Diskussionen steigt aktuell die Aufmerksamkeit für den Wärmesektor im Rahmen der Energiewende. Im Folgenden wird zunächst das übergeordnete Projektkonsortium vorgestellt, bevor die Details der Studie „Wärmestrategie München“ dargestellt werden.

Übergeordnetes Projektkonsortium

Um die Möglichkeiten zur Reduktion der Emissionen in diesem Bereich zielgerichtet analysieren zu können, wurden vier Teilstudien durchgeführt. Im Rahmen der hier dargestellten Studie „Wärmestrategie München“ wurde die Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung des Referats für Klima- und Umweltschutz (RKU) und der SWM vorbereitet und begleitet.

Der Lehrstuhl Hydrogeologie der Technischen Universität München wurde beauftragt, die vorliegenden Grundwasser-Potenzialdaten mit dem Modell München der SWM zu koppeln. In der Studie „Wärmewendestrategie München“ der HIC Hamburg Institut Consulting GmbH wurden die Erkenntnisse wiederum in Maßnahmen und Handlungsempfehlungen übersetzt und in der Studie „Ausgewählte Rechtsfragen einer Wärmewendestrategie“ der AVR – Andrea Verstejl Rechtsanwältinnen Partnerschaftsgesellschaft mbB gegenüber dem aktuellen Rechtsrahmen gespiegelt.

Inhalte von „Wärmestrategie München“

Im Rahmen der Analysen wurden zunächst durch die FfE die Rahmenbedingungen der von 2020 bis 2021 durchgeführten Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ mit jenen im aktuellen Jahr 2023 verglichen. Weiterhin wurden in Absprache mit den jeweiligen Experten Steckbriefe zu bereits genutzten Tools für die Umsetzung von Wärmewende-Projekten in München aufbereitet und deren sinnvolle Verschneidung im Rahmen der Wärmeplanung abgeleitet. Der Kern der Modellierung wird künftig weiterhin im Modell München der SWM stattfinden. Hier wurde von den SWM vor Beginn der Studie ein Tool von e-think integriert, welches Szenarien zur Entwicklung der Wärmeversorgung berechnen kann.

Die im Modell München vorhandenen und dem RKU zur Verfügung gestellten Daten zum Gebäudebestand und Endenergieverbrauch sowie zu Energieträgern und Wärmenetzen für die Stadt wurden zum grundlegenden Verständnis für diesen Bericht durch die SWM aufbereitet und mit allgemeinen Kennzahlen durch die FfE plausibilisiert. Auch die im Modell München bereits vorliegenden Daten zu den Potenzialen klimaneutraler Wärmequellen wurden, wo möglich, durch die FfE reflektiert und beschrieben. Zu den Potenzialen der industriellen Abwärme hat das Industrieteam der FfE Diskussionen mit hierfür potenziell relevanten Betrieben geführt. Hierdurch wurden zwar Potenziale ermittelt, die insgesamt als interessant für die lokale Versorgung einzuschätzen sind, jedoch im Verhältnis zum gesamten Wärmebedarf in München von untergeordneter Relevanz sind. Gleiches gilt für Abwärme aus Betrieben des Bereiches Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, für dessen überschlägige Abschätzung durch die FfE primär auf Literaturdaten zurückgegriffen wurde.

Basierend auf diesen grundlegenden Daten konnten Eignungsgebiete für unterschiedliche Lösungen abgeleitet werden (siehe Abbildung 1-1). Im Rahmen dieser Studie wird ein Eignungsgebiet als ein räumlich umrissenes Gebiet mit ähnlichen Eigenschaften und somit ähnlichen Lösungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung verstanden. Die Teilgebiete eines Eignungsgebietes müssen nicht zwangsläufig direkt nebeneinander verortet, sondern können auch über München verteilt sein. Diese Gebiete können sich überlagern, da mögliche Optionen aufgezeigt werden und keine direkten Vorgaben zu einer bestimmten Wärmeversorgung gemacht werden.

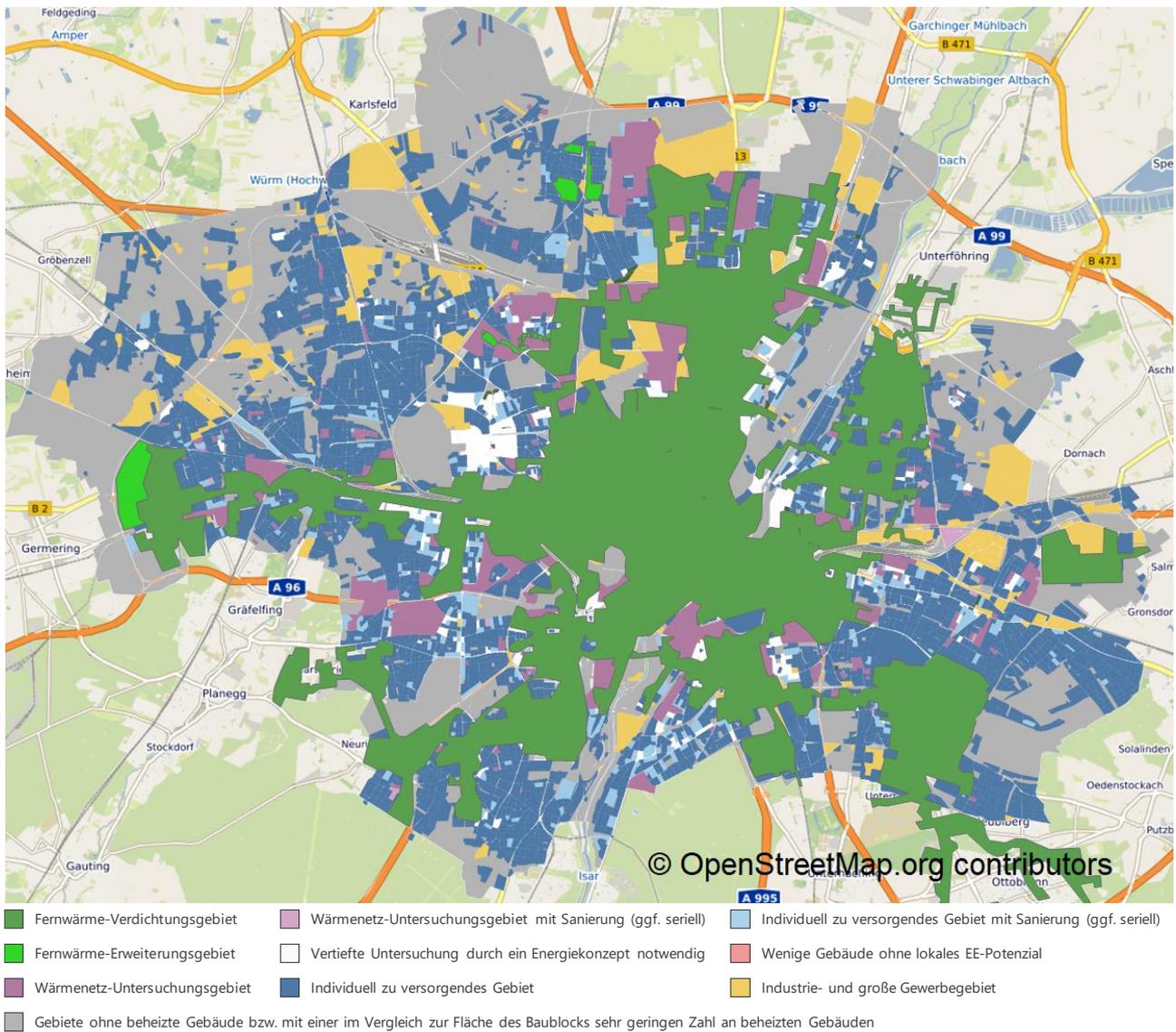


Abbildung 1-1: Visualisierung der Eignungsgebiete inklusive Fernwärme-Verdichtungsgebiet

Im nächsten Schritt wurden gemeinsam relevante Kenndaten (z. B. Kostenfunktionen einzelner Technologien) und Szenarioparameter (z. B. Energiepreise) diskutiert und die jeweiligen Annahmen und Rahmensetzungen der Szenarien festgehalten. Die verfügbare Kapazität der Fernwärme wurde durch die SWM im Rahmen der Erstellung des Transformationsplans Fernwärme ermittelt und somit für die hier dargestellten Analysen vorgegeben.

In den durchgeführten Simulationen wurden folgende Maßnahmen unterschieden:

- Basisszenario: Der aktuelle regulatorische Rahmen bleibt bestehen (inklusive des Gebäudeenergiegesetzes 2024) und es werden keine zusätzlichen Maßnahmen für die Erreichung der Klimaneutralität ergriffen.
- Zielszenario: Es werden zusätzliche Maßnahmen für die zielgerichtete Erreichung der Klimaneutralität ergriffen.

Ziel war hierbei baldmöglichst und doch in einem realistischen Zeitrahmen eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen. Die entsprechenden Szenarioberechnungen im Modell München wurden durch SWM und e-think durchgeführt und dann intensiv mit der FfE und mit dem RKU diskutiert.

Trotz der Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes 2024, dass beim Tausch des Heizsystems mindestens 65 % der Wärme aus klimaneutralen Wärmequellen stammen muss, wird im Basisszenario die Klimaneutralität selbst im Jahre 2045 nicht erreicht. Daher werden im Folgenden nur die Ergebnisse des Zielszenarios dargestellt.

Die ermittelte Entwicklung des Energiebedarfes für die Wärmeversorgung im Zielszenario ist in Abbildung 1-2 visualisiert. Insgesamt sinkt der Endenergiebedarf von ca. 11.330 GWh bis 2045 auf knapp 8.740 GWh (Reduktion um 24 %). Zieht man den jährlichen Wärmebedarf des Neubaus bis 2045 in Höhe von 745 GWh ab, liegt die Reduktion bei 30 %. Die wichtigsten Technologien für die Wärmeversorgung in 2045 sind klar die Fernwärme (ca. 62 % des Endenergiebedarfes) und Wärmepumpen (Umweltwärme und Strom ca. 33 % des Wärmebedarfes).

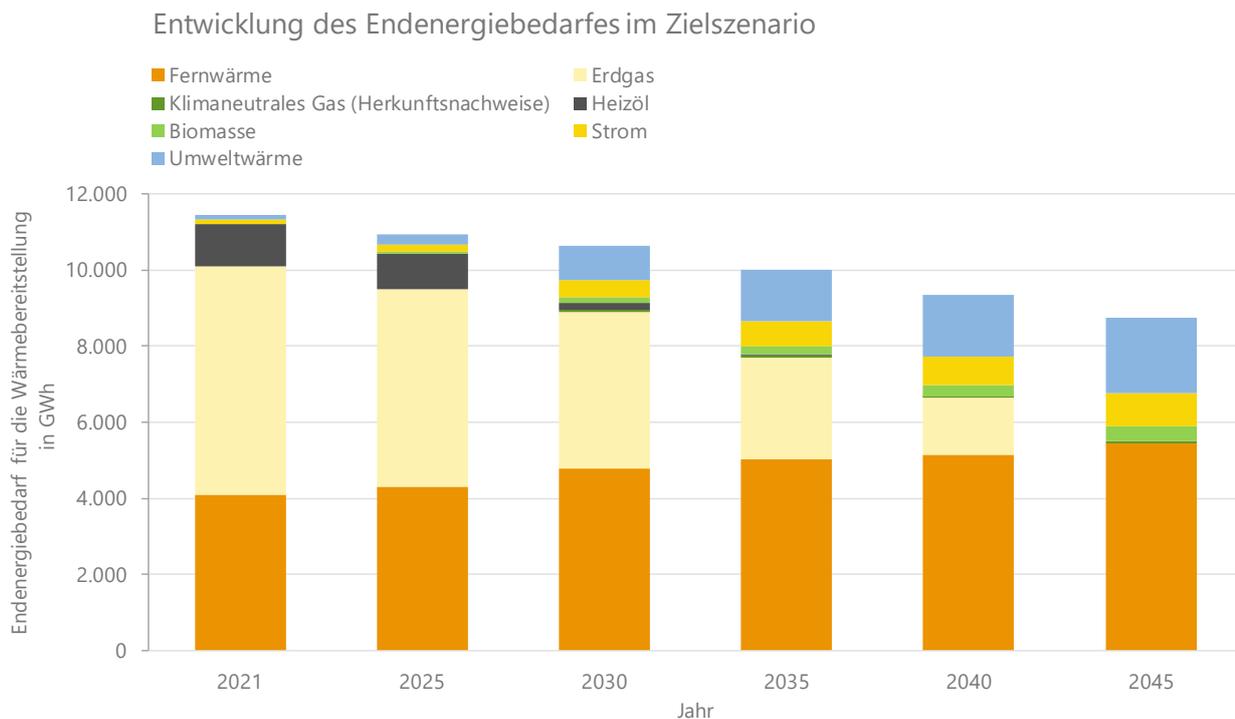


Abbildung 1-2: Aufteilung Entwicklung des wärmebedingten Endenergiebedarfes im Zielszenario

Die im Folgenden dargestellten Kosten verstehen sich alle inklusive Mehrwertsteuer, für das Basisjahr 2022 und ausschließlich für die Transformation des Gebäudebestands (ohne Zubau). Hierbei ist zu beachten, dass die durchschnittlichen Kosten bezogen auf alle Gebäude in München dargelegt sind, allerdings in Summe nur ca. 60 % der Gebäude saniert werden und diese Kosten somit nur für diese Gebäude anfallen.

Während in Kapitel 9.5 genauer auf die Kosten eingegangen wird, werden hier nur die wichtigsten Kenngrößen und deren Verhältnis aufgezeigt. Um das Zielszenario zu erreichen, sind gemäß der Szenarioergebnisse bis 2045 Investitionen in die verbauten Heizsysteme von ca. 3,6 Mrd. € notwendig bzw. ca. 16,6 Tsd. € pro Gebäude in München. Nach Abzug der Bundesförderung Effiziente Gebäude und dem Münchener Förderprogramm Klimaneutrale Gebäude belaufen sich die von den Gebäudeeigentümer:innen zu zahlenden Investitionen auf ca. 2,6 Mrd. € bzw. ca. 11,7 Tsd. € pro Gebäude in München.

Im Basisszenario liegen die Betriebskosten um 319 Mio. € pro Jahr höher als im Zielszenario, wobei im Basisszenario trotzdem energiebedingte Mehrkosten in Höhe von 4,1 Mrd. € entstehen. Zieht man letztere von den energiebedingten Mehrkosten im Zielszenario ab, verbleibt eine Differenz von 10,1 Mrd. € bzw. 252 Mio. € pro Jahr. Die annuitätischen Kosten der Sanierung für ganz München liegen somit unter den Mehrkosten der Betriebskosten im Basisszenario gegenüber dem Zielszenario.

Bereits die Analysen im Rahmen der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ haben gezeigt, dass Gebäudenutzende (Eigentümer:innen, Mieter:innen) spätestens mittelfristig in München i.d.R. von einer Sanierung der Gebäudehülle und dem Umstieg auf eine klimaneutrale Wärmebereitstellung profitieren, wenn dabei die als verfügbar angenommenen – und jetzt noch bzgl. Heizungstausch aufgestockten – Fördermittel des Bundes in Anspruch genommen werden. Umgekehrt können für Mieter:innen mit geringen Einkommen in unsanierten Wohnungen Belastungen entstehen, die zusätzliche soziale Ausgleichsmechanismen erforderlich machen. Die entsprechenden tiefergehenden Analysen wurden im Rahmen dieser Studie zwar nicht wiederholt; die o. g. Vergleiche zwischen den Investitionsmehrkosten und Betriebskosteneinsparungen zwischen den beiden Szenarien weisen jedoch in die gleiche Richtung.

Die durchgeführten Analysen und der hierin etablierte Arbeitsprozess bilden eine gute Grundlage für die kontinuierliche und immer detaillierter werdende kommunale Wärmeplanung in einer gemeinsamen Durchführung durch LHM und SWM.

2 Einleitung

Die Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasser verursacht in Deutschland ca. 40 % der jährlichen Emissionen /FFE-69 22/. Vor dem Hintergrund der verstärkten politischen Diskussionen und der aktuellen geopolitischen Lage inklusive des Effektes auf Gasverfügbarkeit und -preise, steigt aktuell die Aufmerksamkeit für den Wärmesektor im Rahmen der Energiewende. Gemäß der Expertise von Fachleuten ist hier, im Gegensatz zu den anderen Sektoren, eine komplette Reduktion der Emissionen bereits mit den vorhandenen technischen Lösungen möglich. Allerdings ist die Umsetzungsgeschwindigkeit von Maßnahmen im Gebäudesektor aufgrund der Vielzahl beteiligter Akteure und langer Lebensdauern, speziell von Bauteilen, langsamer. Da die meisten Wärmequellen vor Ort gehoben werden müssen, braucht es eine konsistente kommunale Wärmewendestrategie, beispielsweise inklusive der Ausweisung von Vorranggebieten für verschiedene Technologien, damit eine kosteneffiziente Transformation der Wärmeversorgung gelingen kann.

Bestrebungen der Stadt München und Eingliederung in das Projekt

Bereits seit mehreren Jahren laufen in der Landeshauptstadt München (LHM) und bei den Stadtwerken München (SWM) Vorhaben und strategische Entwicklungen, um auf das gesetzte Ziel der Klimaneutralität der Stadt München bis 2035 hinarbeiten. Im Bereich des Wärmesektors wurde im Jahr 2021 vom Öko-Institut e.V. und der FfE die Studie „Klimaneutrale Wärme in München 2035“ /FFE-79 21/, welche gemeinsam mit Vertreter:innen von SWM und LHM erarbeitet wurde, veröffentlicht. Darin wurden zwei zielorientierte Szenarien erarbeitet und Handlungsempfehlungen zur Erreichung der Klimaneutralität der Wärmeversorgung in München gegeben.

Bestrebungen der Stadt München und deren Eingliederung in das Projekt

Die Vollversammlung des Stadtrats der LHM hat am 19. Januar 2022 in ihrem „Grundsatzbeschluss II - Klimaneutrales München“ das Referat für Klima- und Umweltschutz (RKU) beauftragt,

1. dem Stadtrat den Entwurf einer verbindlichen, räumlich ausdifferenzierten Wärmestrategie zur Beschlussfassung als Satzung vorzulegen (siehe Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 05040 /LHM-01 22/).

Weiterhin hat die Vollversammlung des Stadtrats im Beschluss zum von der FfE mit dem Öko-Institut erstellten „Bericht zur Studie Klimaneutrale Wärme München 2035 der Landeshauptstadt München“ (vom 23. Februar 2022)

2. die SWM beauftragt, mit RKU, dem Referat für Arbeit und Wirtschaft (RAW) und im Benehmen mit dem Referat für Stadtplanung und Bauordnung (PLAN) eine Vereinbarung zur kommunalen Wärmeplanung und zur Weiterentwicklung der CO₂-neutralen Fernwärme bis spätestens 2035 zu erarbeiten,
3. das RKU und RAW gebeten, eine Studie in Auftrag zu geben, um die genauen Potenziale der Abwärmenutzung in München zu erfassen und
4. PLAN mit RKU beauftragt, den Einsatz bestehender Instrumentarien der Bauleitplanung und des Städtebaurechts zur Umsetzung der Wärmestrategie zu prüfen, vorzubereiten und dem Stadtrat bis Ende 2022 zu berichten.

Die im Folgenden dargestellten Inhalte beziehen sich primär auf die genannten Aufgaben (1), (2) und (3), welche als Input zur Analyse der Aufgabe (4) dienen. Die genannten Ziele unter (4) werden zeitlich parallel zu der im Folgenden dargestellten Untersuchung durchgeführt und die jeweiligen Erkenntnisse verzahnt.

Ziel der Analysen und Einbindung in die Wärmeplanung

Basierend auf einer vertieften Zusammenarbeit zwischen der LHM und den SWM sollen die Grundlagen für ein digitales Wärmeplanungstool erarbeitet werden, das langfristig zur kontinuierlichen Konkretisierung der Wärmeplanung eingesetzt werden kann. Da sich Rahmenbedingungen wie z. B. Energieträgerpreise und -Verfügbarkeiten stetig ändern können, kann dieses Tool bei Bedarf weiterhin zum Nachjustieren der

Strategie beitragen. Somit wird eine rollierende Wärmeplanung ermöglicht. Das zu erarbeitende Wärmeplanungstool soll außerdem im Nachgang erweiterbar sein (z. B. um noch nicht abgedeckte Potenziale klimaneutraler Wärmequellen) und definierte Schnittstellen zu eigenständigen, bereits vorliegenden Tools / Modellen (z. B. GEO.KW, EManager) aufweisen. Für dieses Tool wurde ein Datennutzungsvertrag zwischen SWM und LHM erarbeitet. Hierauf basierend dürfen sowohl definierte Personen des RKU als auch der SWM auf die erarbeitete Visualisierung in Tableau zugreifen.

Projektkommunikation und Anlehnung an andere Projekte

Zur Bearbeitung des Projektes fanden wöchentlich abwechselnd Regeltermine statt, wobei zwischen dem organisatorischen Kernteam, bestehend aus den Projektbearbeitenden von LHM, SWM und FfE, und dem inhaltlichen Kernteam mit Projektbearbeitenden aus den parallel laufenden Teilprojekten unterschieden wurde. Seit Beginn der Projektlaufzeit gab es Abstimmungen zur Studie des Lehrstuhls für Hydrogeologie der Technischen Universität München (kurz: TUM). Mit dem Start der beiden weiteren Studien „Wärmewendestrategie München“ der HIC Hamburg Institut Consulting GmbH (kurz: Hamburg Institut) und „Ausgewählte Rechtsfragen einer Wärmewendestrategie“ der AVR – Andrea Versteyl Rechtsanwälte Partnerschaftsgesellschaft mbB (kurz: AVR) wurde das inhaltliche Kernteam um die jeweiligen Projektbearbeitenden erweitert, da deren Inhalte eng mit den Ergebnissen aus dem hier genauer dargestellten Teilprojekt zusammenhängen. Eine ausführlichere Beschreibung der Inhalte und Ergebnisse aus diesen beiden Studien kann dem jeweiligen Abschlussbericht entnommen werden.

In Workshops mit interessierten Personen von LHM und SWM wurden die Zwischenergebnisse des Projektes vorgestellt, Input eingeholt und Ergebnisse diskutiert. Weiterhin wurden in gemeinsamen Terminen mit der Referatsleitung des RKU und der Geschäftsführung der SWM strategische Entscheidungen, Annahmen und Methoden diskutiert bzw. abgenommen.

Ein wichtiger Teil des durch den Stadtrat zu verabschiedenden Wärmeplans und der Wärmewendestrategie ist die Kommunikation mit und Einbindung von weiteren interessierten Stakeholdern. Die Durchführung geeigneter Beteiligungsformate und begleitendes Stakeholder-Management wird durch die LHM organisiert und durchgeführt.

Im Folgenden liegt der Fokus auf der Beschaffung und Reflektion der datenseitigen sowie methodischen Grundlagen des Wärmeplanungstools.

Kurzbeschreibung der Arbeitsschritte

Mit der Studie „Klimaneutrale Wärme in München 2035“ /FFE-79 21/ wurde bereits ein guter Grundstein für die Erarbeitung einer kommunalen Wärmeplanung in München erarbeitet. Die Studie wurde jedoch primär in den Jahren 2020 und 2021 erarbeitet und seither haben sich einige Bedingungen geändert. Daher werden in Kapitel 3 zunächst der damals und heute gültige Rahmen für die Erstellung der kommunalen Wärmeplanung miteinander verglichen.

Da die Entwicklung des Wärmeplanungstools auf bestehende Datenstrukturen und Tools aufbaut und diese kombinieren soll, wird in Kapitel 4 mit einer Übersicht und Charakterisierung der vorliegenden Tools begonnen und auf eine mögliche Kombinierbarkeit dieser Tools eingegangen. Anschließend wird, angelehnt an den Leitfaden „Kommunale Wärmeplanung“ der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA-BW) /UBW-01 20/, die kommunale Wärmeplanung anhand der nachfolgenden vier Schritte durchgeführt:

1. Bestandsanalyse
2. Potenzialanalyse
3. Aufstellung Zielszenario
4. Wärmewendestrategie

Zur Bestandsanalyse werden regional stärker differenzierte Verbrauchsdaten (gebäudescharf statt PLZ-scharf) herangezogen, als dies im Vorgängerprojekt möglich war, um den Grad der Analysegenauigkeit zu erhöhen. Die Analysen der Bestandsdaten und hierauf aufbauende Simulationen werden zur Ermöglichung einer langfristigen Verfügbarkeit und Anpassbarkeit für das RKU von den SWM im Modell München und dem Szenariotool der TU Wien (im Folgenden zusammengefasst als Modell München) durchgeführt. Die zu Grunde liegenden Analysen und abgeleiteten Abbildungen zur Charakterisierung des Gebäudebestands und der energetischen Verbräuche werden in Kapitel 5 erläutert. Die heutigen CO₂-Emissionen werden ebenfalls betrachtet.

In Kapitel 6 werden die Potenziale der verschiedenen klimaneutralen Wärmequellen der Vorgängerstudie über Datenabfragen bzw. durch neue Analysen aktualisiert. Unter anderem werden regionalisiert differenzierte Grundwasser-Potenziale der Technischen Universität München, welche im Rahmen eines parallel laufenden Projektes verfeinert werden, eingebunden. Im Bereich der potenziellen industriellen Abwärmequellen werden Analysen auf Basis von Unternehmensbefragungen mit der Expertise des Industrieteams der FfE durchgeführt.

Als Basis für die Entwicklung der Szenarien werden in Kapitel 7 zunächst das verwendete Modell beschrieben, die wirtschaftlichen sowie technischen Rahmenparameter (inkl. Förderungen) eingeführt und daraus ein Basis- sowie ein Zielschutzszenario abgeleitet. In Kapitel 8 werden basierend darauf die herausgearbeiteten Eignungsgebiete für verschiedene Versorgungslösungen (bestehend aus Sanierung und Wärmeerzeugungstechnologie) sowie die unterschiedlich angesetzten Annahmen je Eignungsgebiet beschrieben.

Basierend auf den Analysen der vorangehenden Kapitel werden die Szenarien im zuvor beschriebenen Tool modelliert und in Kapitel 9 die techno-ökonomischen Ergebnisse dargestellt, analysiert und reflektiert. In Kapitel 10 erfolgt ein Einblick in die Herausforderungen zur Bestimmung des Fachkräftebedarfes und es werden Hemmnisse sowie Lösungsansätze zur Fachkräftesicherung beschrieben.

3 Vergleich der Rahmenbedingungen mit „Klimaneutrale Wärme München 2035“

Seit der Erstellung der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ haben sich für die Erarbeitung einer kommunalen Wärmeplanung und auch für die Umsetzung der Wärmewende relevante Veränderungen der Rahmenbedingungen vollzogen. Diese werden thematisch sortiert in den folgenden Kategorien dargestellt:

- Politische und rechtliche Änderungen der Rahmenbedingungen
- Geänderte Rahmenbedingungen der Marktbedingungen der Energieträger und Technologien
- Änderungen des nationalen und lokalen Förderregimes
- Übergeordnet geänderte Rahmenbedingungen in der Stadt München
- Geändertes Umfeld bei der Landeshauptstadt München
- Geändertes Umfeld bei den Stadtwerken München

Hierbei wird immer dargestellt, wie sich die Situation während der Erstellung der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ dargestellt hat, wie sich diese in 2023 verändert hat, welchen Effekt diese Änderung auf die Szenarien und das Analyseergebnis bzw. das Umfeld für die Umsetzung hat. Die Auswahl der hier dargestellten Aspekte wurde auf Basis eines Entwurfs der FfE in einem Projekt-Workshop mit Vertreter:innen von LHM und SWM diskutiert sowie erweitert.

Übergeordnet lässt sich festhalten, dass sich die Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Wärmewende primär positiv entwickelt haben.

Politische und rechtliche Änderungen der Rahmenbedingungen

In Tabelle 3-1 sind die Änderungen im politischen und rechtlichen Umfeld enthalten. Übergeordnet ist schon vorab festzuhalten, dass speziell der Krieg in der Ukraine und die hiermit verbundenen Ereignisse ein gesellschaftliches Umdenken und die Stärkung der Wärmewende durch entsprechende rechtliche Eingriffe in relevantem Umfang unterstützt haben.

Tabelle 3-1: Auswahl geänderter politischer und rechtlicher Rahmenbedingungen

Bedingungen in „Klimaneutrale Wärme München 2035“	In 2023 veränderte Bedingungen	Effekt auf das Umfeld zur Umsetzung der Wärmewende
<p>Es bestand eine hohe Abhängigkeit der Erdgas- und Heizölversorgung von Russland. Dies wurde nur in wenigen Fachkreisen kritisch diskutiert. Daher wurde beim Ausfall von Wärmeerzeugern im Bestandsbau primär weiterhin auf Erdgas als Energieträger gesetzt. Der Wechsel der Wärmeerzeuger erfolgte meist nur bei einem notwendigen Ausbau der bestehenden Heizung. So konnte die Heizsystemwechselrate hin zu nicht fossilen Energieträgern maximal in der Höhe des natürlichen Kesseltausches angesetzt werden.</p>	<p>Der Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine und vor allem die hiermit einhergehenden politischen Spannungen zwischen Deutschland und Russland sowie von Russland angegebene technische Probleme führten zu einer reduzierten Gaslieferung an Deutschland, stark angestiegenen Preisen für alle Energieträger sowie dem Aufruf an die Bevölkerung, sparsam mit dem Gaseinsatz zu sein. Nach einem Aussetzen der Inbetriebnahme von North Stream 2 wurde die bestehende Gasleitung beschädigt, wodurch die direkte Gaslieferung Russlands an Deutschland beendet wurde.</p>	<p>Zur Reduktion der Abhängigkeit von russischen Energieträgern lag die Heizsystemwechselrate leicht über der notwendigen Tauschrate für Wärmeerzeuger. Es erfolgten somit auch ohne Notwendigkeit des Austausches Wechsel hin zu Wärmepumpen. Insgesamt setzen sich Bürger:innen intensiver mit der Entscheidung der Wärmeversorgung auseinander. Die Nachfrage nach Fernwärme hat sich landesweit erhöht. Auch die Gebäudedämmung wird verstärkt nachgefragt.</p> <p>Insgesamt hat der Wunsch nach einer abgesicherten Energieversorgung zugenommen.</p>
<p>Die zum Zeitpunkt der Studiererstellung gültige Version des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) enthielt vor allem Anforderungen für Neubauten und Gebäude, welche einer tiefen Sanierung unterzogen wurden. In der Realität wurde die Einhaltung dessen jedoch nicht detailliert geprüft und daher auch selten umgesetzt. Somit war im Referenzszenario kein Mechanismus zur Stärkung des Ausbaus einer klimaneutralen Wärmeversorgung enthalten.</p>	<p>Um die Anpassung des GEG in 2023 wurde in Politik und Gesellschaft intensiv sowie emotional diskutiert. Die darin enthaltene geforderte Quote von erneuerbarer Wärme beim Tausch des Heizsystems von 65 % setzt einen starken Impuls. Zudem sollen in 2045 nur noch klimaneutrale Wärmeerzeuger verwendet werden dürfen.</p> <p>Als Orientierungsrahmen, welche Technologien wo genutzt werden sollen, sollen die Festlegungen der kommunalen Wärmeplanung herangezogen werden. Dadurch erhält diese eine hohe Relevanz.</p>	<p>Die Gebäudeeigentümer setzen sich merklich stärker mit dem Thema der Wärmeversorgung vor dem Hintergrund der kommunalen Wärmeplanung auseinander.</p> <p>Es wird mit einer kontinuierlich hoch bleibenden Nachfrage nach Fernwärme gerechnet. Angelehnt entsteht die Gefahr, dass sich systemisch sinnvolle Fernwärmekund:innen bei Zeitverzug beim Fernwärmeausbau um den Einbau alternativer Lösungen bemühen.</p>
<p>Es lag kein bundesweites Gesetz zur kommunalen Wärmeplanung vor und auch keine dedizierten Leitlinien bzw. verfügbare Kostenfunktionen.</p>	<p>Das bundesweite Gesetz zur kommunalen Wärmeplanung soll noch in 2023 verabschiedet werden und in 2023 müssen Kommunen in Baden-Württemberg bereits verpflichtend entsprechende Planungen vorlegen. In weiteren Bundesländern wie Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein folgt diese Verpflichtung.</p>	<p>Es steigt das Interesse aller Stakeholder und mehr Studien dazu werden umgesetzt, was einen verstärkten Austausch ermöglicht. Weiterhin gibt es mehr Diskussionen in Fachforen und bei Vermieter:innen sowie Verbänden. In die durchgeführten Kostenanalysen werden auch die Kennwerte des Kataloges der KEA-BW für die kommunale Wärmeplanung einbezogen. Weiterhin werden bekannte Komponenten des Gesetzes zur kommunalen Wärmeplanung aufgenommen.</p>
<p>Keine besonderen Regeln bezogen auf eine verpflichtende Energieeinsparung.</p>	<p>Zur schnellen Einsparung von Erdgas im Zuge des Krieges wurde in 2022 eine Energieeinsparverordnung mit verschiedenen Vorgaben zur Einsparung von Energie in der Beheizung öffentlicher Gebäude verabschiedet (z. B.: durch Festlegung von Raumtemperaturen). Für Privatgebäude ist z. B. der hydraulische Abgleich in Mehrfamilienhäusern nach Gebäudegröße gestaffelt bis Ende 2023 bzw. 2024 verpflichtend umzusetzen.</p>	<p>Maßnahmen wie der hydraulische Abgleich können dazu führen, dass die Wärmebedarfe der Gebäude sinken. Weiterhin hat dieser häufig den Effekt, dass Systemtemperaturen abgesenkt werden und somit erneuerbare Wärmequellen effizienter integriert werden können.</p> <p>Die Umsetzung der Notfallmaßnahmen hat gezeigt, dass Einsparungen durch Verhaltensanpassung möglich sind, allerdings waren die Einsparungen privater Gebäude von geringer Bedeutung und werden dies wohl auch für die Ermöglichung der Wärmetransformation sein.</p>

Bedingungen in „Klimaneutrale Wärme München 2035“	In 2023 veränderte Bedingungen	Effekt auf das Umfeld zur Umsetzung der Wärmewende
<p>Aufgrund der geltenden: Wärmelieferverordnung (WärmeLV)/ Mietrechtsnovelle (Details siehe /FFE-79 21/) wurde im Referenzfall mit einem gleichbleibenden Fernwärmeabsatz gerechnet</p>	<p>Wie der Konflikt zwischen dem GEG 2023 und der Mietrechtsnovelle aufgehoben werden kann, ist aktuell noch nicht final ausdefiniert.</p>	<p>Es kann angenommen werden, dass die Anforderungen des GEG 2023 prioritär einzuhalten sind gegenüber der WärmeLV, sodass die Umstellung zu erneuerbaren Wärmeerzeugern auch möglich ist, wenn diese nicht betriebskostenneutral sind. Aktuell ist dies jedoch nicht final durch den Gesetzgeber festgelegt.</p>
<p>Das Bundesemissionshandelsgesetz (BEHG) wurde in 2020 verabschiedet, sodass bereits der Effekt auf die Energieträgerpreise inkludiert war. Allerdings wurde verabschiedet, dass die Zahlung durch die Verbraucher:innen erfolgt.</p>	<p>Die Umlage des CO₂ Preises erfolgt mittlerweile auf Mietende und Vermietende. Je schlechter der Gebäudestandard ist, desto höher ist der Anteil der Kosten, den die Vermietenden zu übernehmen haben.</p>	<p>Steigendes Interesse der Vermietenden an einer Emissionsminderung.</p>

Geänderte Rahmenbedingungen der Marktbedingungen der Energieträger und Technologien

Tabelle 3-2 zeigt die Veränderungen der relevantesten Änderungen der Marktbedingungen für Technologien und Energieträger.

Tabelle 3-2: Auswahl geänderter Rahmenbedingungen relevanter Märkte und jeweilige Effekte

Bedingungen in „Klimaneutrale Wärme München 2035“	In 2023 veränderte Bedingungen	Effekt auf das Umfeld der Umsetzung der Wärmewende
In der Vergangenheit gab es Variationen bei der Inflation und im angelegten Baupreisindex. Zwischen dem Basisjahr der Kostendaten (2015) und dem Startjahr der Simulation (2019) lag der Baupreisindex bei 15 % und somit etwas höher als die Inflation.	Gemäß Destatis hat sich der Bauspreisindex, bezogen auf das Basisjahr 2015, bis Ende 2022 auf 55 % erhöht. Gemäß Detailaufschlüsselung der Indizes liegt der Index gegenüber 2015 für den Bereich Wärmedämmverbundsysteme Ende 2022 bei 44,6 % sowie bei Dämm- und Brandschutzarbeiten an technischen Anlagen bei 74,6 % /DESTATIS-10 23/.	Die Kosten für die Umsetzung von Sanierungen sind stärker gestiegen als die gesamte Inflation, sodass diese als teurer empfunden werden und ambitionierte Sanierungsziele möglicherweise schwieriger erreichbar sind. Demgegenüber steht allerdings die Befürchtung steigender Energiepreise und somit der Betriebskosten, welche durch die Sanierung reduziert werden können.
Es wurde mit bestehenden Markt-Modellen abgeleitet, wie sich die Energiemärkte weiterentwickeln werden. Die resultierenden Endkundenpreise und der Abgleich mit den neuen Preisszenarien erfolgt in 7.2.1.	Durch den Krieg waren die Preise auf den Energiemärkten in 2022 und auch noch im Frühjahr des Jahres 2023 extrem hoch. Unter anderem durch den Aufbau von LNG-Terminals wurden die fehlenden Liefermengen aus Russland kompensiert, die Speicherfüllstände stabil gehalten und die Preise abgedeckt. Die Endkundenpreise wurden durch Eingriffe der Bundesregierung gedeckelt.	Bei der Bevölkerung, vor allem bei Eigenheimbesitzer:innen, hat sich das Bedürfnis nach einer unabhängigeren Lösung auch bezogen auf die Wärmeversorgung verbreitet. Vor allem kurzfristig (Fokus: Winter 2023 und 2024) bestehen weiterhin Unsicherheiten am Energiemarkt.
Die Verfügbarkeit von Materialien wurde durch die weltweite Corona-Krise eine Herausforderung (speziell Halbleiter, aber auch Messgeräte und Rohmaterialien). Nichtsdestotrotz wurde angenommen, dass diese nur kurzfristig von Bedeutung ist.	Die Diskussionen um das GEG 2023 haben dazu geführt, dass einige Gebäudebesitzer kurzfristig einen neuen Erdgaskessel angeschafft haben, andere haben direkt zu einer Wärmepumpe gewechselt. Eine solch hohe Nachfrage war im Vorhinein nicht klar erkennbar bzw. erwartet worden. Hierdurch ist die Verfügbarkeit von Wärmepumpen ein limitierender Faktor. Die ersten größeren Marktkonsolidierungen (Verkauf der Wärmepumpensparte von Viessmann an Carrier) setzt das klare Zeichen, dass eine massenhafte Produktion von Wärmepumpen vorbereitet wird.	Kurzfristig ist die eingeschränkte Verfügbarkeit von Wärmepumpen ein Hemmnis für die Wärmewende, mittelfristig ist jedoch weiterhin mit einer sich entspannenden Lage zu rechnen. Auch bezogen auf die weiteren Komponenten wird davon ausgegangen, dass hierdurch keine massiven Einschränkungen der Umsetzbarkeit bestehen.
Von vielen Handwerksbetrieben wurde weiterhin standardmäßig zu einem Erdgas- / Heizölkessel geraten. Dies war vor allem mit geringer eigener Erfahrung und veralteten Vorbehalten gegenüber anderen Lösungen zu begründen. Es bestand bereits ein Handwerkerangel, speziell in Großstädten wie München.	Die Anforderungen des GEG 2023 machen den Aufbau neuer Kompetenzen zur Integration alternativer Heizsysteme unausweichlich. Nichtsdestotrotz wird das Umlernen zu Anfang eine geringere Schnelligkeit des Einsatzes der alternativen Heizsysteme hervorrufen. Es bestehen verschiedene Initiativen, um den Aufbau von Kompetenzen und Personalfindung zu beschleunigen.	Es kann davon ausgegangen werden, dass auch mittelfristig die Verfügbarkeit von Fachkräften eingeschränkt ist. Aus den durchzuführenden Analysen der Fachkräftebedarfe ist abzuleiten, inwiefern die Handwerkerverfügbarkeit eine Präferenz für einzelne Lösungen hergibt.

Änderungen des nationalen und lokalen Förderregimes

Die relevantesten Änderungen des nationalen und städtischen Förderregimes sind in Tabelle 3-3 aufgezeigt.

Tabelle 3-3: Auswahl geänderter Rahmenbedingungen des Förderregimes

Bedingungen in „Klimaneutrale Wärme München 2035“	In 2023 veränderte Bedingungen	Effekt auf das Umfeld der Umsetzung der Wärmewende
<p>Die Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) war noch nicht verabschiedet. Die hier angesetzten Förderungen wurden jedoch in den Szenarienberechnungen bereits einbezogen.</p>	<p>Der Transformationsplan der SWM zur Erfüllung der Anforderungen des BEW ist in der Finalisierung. Hierzu erfolgt eine Abstimmung mit dem RKU. Allerdings wurden auch Unsicherheiten deutlich, welche möglichst bald ausgeräumt werden, um eine verbindliche Zusage an die Bürger:innen zur flächigen Weiterentwicklung der Fernwärme zu geben.</p>	<p>SWM-intern wurden das Wissen und der Prozess zur Erstellung einer Fernwärme-Transformationsstrategie für das eigene Fernwärmenetz erarbeitet.</p> <p>Somit kann bei künftigen Veränderungen, bezogen auf die marktlichen Bedingungen und weitere Erkenntnisse zur Potenzialverfügbarkeit, schneller eine Anpassung der Planungen erfolgen.</p> <p>Wasserstoff spielt aus heutiger Sicht tendenziell eine kleinere Rolle in der FW-Erzeugung als in der Wärmestudie.</p>
<p>Es wurde das KfW-Förderregime gemäß Projektbericht angenommen.</p>	<p>Es erfolgte eine Absenkung der Förderquoten für die Sanierung. Für den energieeffizienten Neubau müssen ambitioniertere Energiestandards erreicht werden, um eine Förderung zu erhalten.</p>	<p>Aufgrund verschiedener Faktoren, wohl auch wegen der reduzierten Förderung, hat sich der Umfang des Neubaus reduziert bzw. ist nicht so stark angestiegen wie erhofft.</p>
<p>Keine Förderungen für die kommunale Wärmeplanung</p>	<p>Es besteht die Möglichkeit der finanziellen Förderung für die Durchführung einer kommunalen Wärmeplanung.</p>	<p>Die Förderung wurde für München nicht in Anspruch genommen, da diese zu spät für die hier dargestellte Studie herauskam.</p> <p>Allerdings kann es sein, dass die Förderung die Gemeinden um München herum dabei unterstützt, eine kommunale Wärmeplanung durchzuführen. Hierdurch könnten eigene Bedarfe z. B. nach tiefer Geothermie klarer und die gemeinschaftliche Umsetzung der Projekte gestärkt werden.</p>
<p>Es bestand das für München spezifische Förderprogramm Energieeinsparung, welches aber nicht in die Analysen einbezogen wurde.</p>	<p>Das Förderprogramm klimaneutrale Gebäude ist implementiert und soll weitgehend gekoppelt an das BEG und angelehnt an die kommunale Wärmeplanung regionale Anreize für einzelne Lösungen setzen.</p>	<p>Es ist mit einer kontinuierlich hoch bleibenden Nachfrage nach den Förderungen und der hierfür geforderten Energieberatung zu rechnen.</p>

Übergeordnet geänderte Rahmenbedingungen in der Stadt München

Die relevantesten Anpassungen für Rahmen für München und ihr Effekt auf Umsetzung und Modellierung sind in Tabelle 3-4 enthalten.

Tabelle 3-4: Auswahl geänderter Rahmenbedingungen für die Stadt München

Bedingungen in „Klimaneutrale Wärme München 2035“	In 2023 veränderte Bedingungen	Effekt auf das Umfeld der Umsetzung der Wärmewende
Die Potenzialanalysen zu Grundwasser-Wärmepumpen lagen nur auf PLZ-Ebene vor.	Die Modellierung der Grundwasser-Potenziale wurde im räumlichen Detailgrad (Flurstück und Baublock) gesteigert und auch um dynamische Effekte erweitert.	Mit den resultierenden Karten ist eine regionalisiert realistischere Abschätzung des Potenzials möglich, sodass den Bürger:innen eine genauere Indikation zur Technologieverfügbarkeit gegeben werden kann.
Zur weiteren Entwicklung der Wärmeversorgung in der Stadt München gab es bis zur Studie wenige strategische Diskussionen und Vernetzungen zwischen LHM und SWM	Das entwickelte Wärmeplanungstool soll für LHM und SWM zur Verfügung stehen. Insgesamt besteht ein besseres Verständnis sowie eine stärkere Vernetzung zwischen LHM und SWM.	Seitens der Stadt kann auf genauere und validere Datengrundlagen und Tools für die Durchführung der Wärmeplanung zurückgegriffen werden. Zudem können zukünftig Anpassungen / Sensitivitätsbetrachtungen deutlich schneller vorgenommen werden.
Vereinzelt erfolgte ein Austausch mit anderen Städten / Versorgern.	Sowohl seitens der LHM als auch des RKU hat sich der Austausch mit anderen städtischen Vertreter:innen verstärkt, teilweise geschieht dies auch zusammen (z.B.: mit Wien Energie, die bereits in Quartiers-, Wärmepumpen und Fernkältelösungen (u.a. Abwärmenutzung) weiter sind als München).	Durch den Austausch mit anderen entstehen einerseits neue Ideen für Quartiers- und Fernkältelösungen (Wärme/ Kälte-Kopplungen), andererseits kann hier durch Erfahrungen anderer adaptiert werden, welche Maßnahmen wie erfolgreich für die Umsetzung sind. Damit muss weniger selbst ausprobiert werden.

Geändertes Umfeld bei der Landeshauptstadt München

Ausgewählte Änderungen bei der LHM sind in Tabelle 3-5 aufgezeigt.

Tabelle 3-5: Auswahl zum geänderten Umfeld bei der Landeshauptstadt München

Bedingungen in „Klimaneutrale Wärme München 2035“	In 2023 veränderte Bedingungen	Effekt auf das Umfeld der Umsetzung der Wärmewende
Erste Quartiere wurden analysiert und lokale Machbarkeitsstudien durchgeführt.	Seitens der LHM wurde ein erweiterter Quartiersprozess gestartet. Dadurch wird die konkrete Zusammenarbeit mit Bürger:innen in realen Projekten geschaffen. Weiterhin gibt es so die Möglichkeit, reale Leuchttürme zu schaffen.	Der Quartiersprozess soll die Umsetzung der angestrebten Lösungen beschleunigen. Insbesondere in schwierigen Gebieten kann hierdurch früh die geeignete Lösung abgeleitet und initiiert werden.
Das Ziel der Klimaneutralität in 2035 war festgelegt, die Detailanalysen hierzu standen jedoch noch aus.	Basierend auf dem entsprechenden Beschluss im Stadtrat sind Aufgabenanzahl und Dringlichkeit zur Unterstützung der Wärmewende gewachsen. Zudem wird das Personal des RKU stark aufgebaut.	Die politische Unterstützung der Umsetzung von Analysen und Maßnahmen für die Beschleunigung der Wärmewende ist gestiegen.
Erste Forschungsprojekte zur energetischen Transformation der Stadt bestanden.	Es wurden weitere Projekte initiiert, z. B.: das EU Projekt Positiv Energy District (und Mission 100 klimaneutrale Stadt)	Durch die Durchführung der Projekte kann Wissen erprobt sowie gefestigt werden, was die Umsetzung zukunftsweisender Maßnahmen erleichtert.

Geändertes Umfeld bei den Stadtwerken München

In Tabelle 3-6 sind in tabellarischer Form ausgewählte Änderungen bei den SWM enthalten.

Tabelle 3-6: Auswahl zum geänderten Umfeld bei den SWM

Bedingungen in „Klimaneutrale Wärme München 2035“	In 2023 veränderte Bedingungen	Effekt auf das Umfeld der Umsetzung der Wärmewende
<p>Es lagen Daten aus verschiedenen Quellen vor. Während die energetischen Kennzahlen auf gesamtstädtischer Ebene gut zueinander gepasst haben, lagen der FfE Verbrauchsdaten nur auf PLZ-Ebene und Leitungsverläufe für Erdgas und Fernwärme wg. Personenbezug ohne die Hausanschlussleitungen vor.</p>	<p>Die Datengrundlage wurde stark erweitert und validiert, zudem erfolgte die Integration einer Gebäudesimulation auf Bauteilebene in das Modell München. Weiterhin sollen Kältebedarfspotenziale in das Modell implementiert werden.</p>	<p>Es besteht die Möglichkeit, Szenarien, speziell bezogen auf die Verfügbarkeit klimaneutraler Wärmequellen, detaillierter abzubilden. Weiterhin kann künftig eine genauere Betrachtung zu möglichen Synergien zwischen Wärme- und Kältebedarf (Abwärmennutzung) erfolgen.</p>
<p>Für die Gebiete außerhalb der Fernwärme wurden als künftige dezentrale Versorgungslösungen Nahwärmenetze und Wärmepumpen identifiziert. Wasserstoff wurde als mögliche Lösung für die zentrale Wärmeversorgung diskutiert.</p>	<p>Erweiterung des Produktportfolios der SWM durch Wärmepumpen-Lösungen (Fokus Luft- und Grundwasser-Wärmepumpen für einzelne Gebäude) und Nahwärmenetze (Fokus auf oberflächennahe Geothermie)</p>	<p>Gebäudeeigentümer:innen in München können sich zukünftig auch für weitere technische Lösungen an die SWM wenden. Dies kann zum einen den Marktanteil der SWM am Wärmemarkt in München stärken und kann potenziell auch die Umsetzung durch Zusammenarbeit mit einem bekannten Partner beschleunigen.</p>
<p>VereinEs lag eine Zielstrategie vor, wie die Transformation der Fernwärme erreicht werden könnte, die einbezogenen Geothermiestandorte waren jedoch noch in einer groben Untersuchung. Weiterhin waren Ausbaugebiete in der Untersuchung, jedoch nicht für die langfristige Ausgestaltung in 2045.</p>	<p>Es wurden im Rahmen der Transformationsstrategie weitere Analysen durchgeführt, um das Potential des geothermalen Reservoirs zu bestimmen (externe Expertise wurde internalisiert, das SWM-Team Geothermie wurde verstärkt). Zudem sind neue Erkenntnisse der Standortentwicklung in das Versorgungskonzept eingeflossen. Weiterhin wurde im Rahmen des Transformationsplanes eine räumlich aufgelöste Strategie erstellt, wo die Fernwärme ausgebaut werden soll. Weiterhin wurde aus den angenommenen Vorhaben der Personalbedarf für die Fernwärmetransformation in München abgeleitet.</p>	<p>Der Personalaufbau zur Umsetzung der Wärmewende wird forciert. Die festgelegten Verdichtungs- und ein Teil der Erweiterungsgebiete können der Öffentlichkeit konkret benannt werden. Diese sollen als Abstimmung zwischen LHM und SWM in der „Vereinbarung CO₂-neutrale Fernwärme“ festgeschrieben werden.</p>
<p>Projekte zur Transformation der Stromversorgungs-Infrastruktur bestanden.</p>	<p>Im laufenden Projekt: G4E (Grid for Electrification) soll eine detaillierte Analyse der Auswirkungen von Wärmepumpen auf das Stromnetz durchgeführt werden.</p>	<p>Infrastrukturell benötigte Anpassungen im Stromnetz können früher regional aufgelöst abgeleitet und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.</p>

4 Bestehende Tools zur Wärmeplanung in München

Bereits seit längerem bestehen bei LHM und SWM Aktivitäten im Bereich der Energie- und Wärmeplanung, wofür eine Vielzahl an Datensätzen erarbeitet wurde, teilweise parallel zueinander. Daher sind bereits auf beiden Seiten Datensätze und Berechnungstools vorhanden, auf welche im Rahmen dieses Projektes möglichst aufgebaut werden soll.

Systematisch aufbereitete Datensätze mit dokumentierter Erfassungslogik ermöglichen eine datenbasierte und fundierte Beantwortung verschiedenster Fragestellungen. Mit einer strukturierten Übersicht dieser Datensätze wird verhindert, dass Daten mehrfach erfasst werden müssen und verschiedene Planungen parallel zueinander stattfinden ohne gegenseitiges Wissen. Bei paralleler Erhebung von Daten besteht zusätzlich die Gefahr, dass diese dann in unterschiedlicher Qualität vorliegen und sich bei Qualitätsmängeln sogar widersprechen.

Durch die Komplexität und möglicherweise negative Effekte auf das Gesamtsystem können am realen Energieversorgungssystem keine Experimente durchgeführt werden. Daher werden Softwaretools eingesetzt, um die Auswirkungen von Maßnahmen (meist technische Anpassungen wie z. B. der Austausch von Wärmeerzeugern) und deren Interdependenzen zu simulieren. Mit Hilfe von Simulationen kann auch abgeschätzt werden, welche Kombination von möglichen Lösungen benötigt wird, um ein gesetztes Ziel, wie beispielsweise die Klimaneutralität, zu erreichen.

Im Folgenden wird zuerst auf die bereits bestehenden Softwaretools bei LHM, SWM, TUM und FfE eingegangen (siehe Kapitel 4.1), dann wird die angestrebte Kombination dieser Tools genauer beschrieben (siehe Kapitel 4.2).

4.1 Steckbriefe einzelner bestehender Tools mit Relevanz für die kommunale Wärmeplanung

Im Rahmen des Projektes wurden Termine zu den vier bereits in der Anwendung befindlichen Tools: Modell München, EManger, GEO.KW und Wärmepumpen-Ampel durchgeführt. Die relevantesten Eigenschaften der jeweiligen Tools werden in den nachfolgenden Unterkapiteln in Form von Steckbriefen festgehalten. Die Steckbriefe wurden in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Verantwortlichen der Tools erstellt. Die Reihenfolge ist dabei aufbauend auf dem zeitlichen Ablauf der vier Schritte der Kommunalen Wärmeplanung nach /UBW-01 20/ gewählt.

Das Modell München und die darin hinterlegten Datensätze werden im Rahmen des Projektes für die Bestands- und Potenzialanalyse herangezogen (Kapitel 4.1.1). Ergebnisse daraus werden im Kapitel 5 beschrieben. Des Weiteren wird das Modell München bei der Aufstellung von Zielszenarien, welche im Laufe des Projektes noch genauer ausdefiniert werden, genutzt.

Die Potenziale umfassen unter anderem die thermische Nutzung des Grundwassers, welche im Rahmen des Forschungsprojektes GEO.KW der TUM berechnet wird (Kapitel 4.1.2). Die Grundlage für die Potenziale der Luft-Wärmepumpen stammt aus der Wärmepumpen-Ampel der FfE, welche daher ebenfalls beschrieben wird (Kapitel 4.1.3).

Unter die Umsetzung der entwickelten Strategie fällt u. a. die Quartiersentwicklung. Darin finden Beratungen und die Realisierung von Maßnahmen in Quartieren statt, wozu als Tool der EManager eingesetzt wird (Kapitel 4.1.4).

Entwicklung des Tools

- Modell München der SWM mit bereits langjähriger Nutzungserfahrung
- Ursprünglich im Rahmen der Digitalisierungsstrategie der SWM als zentrales Steuerungsinstrument der kommunalen Wärmewende innerhalb der SWM entwickelt
- Kopplung des Modells München mit dem Simulationsmodell Invert/EE-Lab von e-think (Ausgründung der Energy Economics Group der TU Wien) zur gebäudescharfen Simulation der Transformation der Sanierung sowie der Wärmeerzeugungstechnologie im Rahmen eines Multi-Agenten Ansatzes

Bisherige Nutzer:innen des Tools

- Fachbereiche der SWM (Planung des Fernwärmeausbaus, Analysen des Stromnetzes bzgl. des Hochlaufs von Elektromobilität und Wärmepumpen, Analysen zu Quartierslösungen (kalte Nahwärmenetze), Wärmepumpenpotenziale etc.)
- Wegen des Unbundlings, Datenschutzes und kritischer Infrastruktur muss hinsichtlich des Umfangs an Daten und des Aggregationsniveaus unterschieden werden, aus welchen Bereichen die Nutzenden kommen und welche Fragestellung beantwortet werden soll.

Zukünftige Nutzer:innen des Tools

- RKU im Rahmen der Kommunalen Wärmeplanung (vertragliche Regelung wird in Kapitel 5.1 beschrieben)
- Erweiterter Personenkreis über Portal „Geo Info Web“ der LHM

Ziel des Tool-Einsatzes

- Strategisches Planungswerkzeug der SWM für die kommunale Wärmewende, speziell für die räumliche Infrastrukturplanung in allen Sparten, die Produktentwicklung (u. a. lokale Wärmenetze und Wärmepumpenlösungen) und die Ableitung von Flächenbedarfen
- Schaffung einer einfach zugänglichen, transparenten Plattform, um spartenübergreifend Entscheidungen zu treffen
- Aufzeigen und Quantifizieren der Auswirkungen auf Netzinfrastruktur (Fernwärme, Gas, Strom) durch orts- und zeitaufgelöste Szenarioanalysen

Teilfunktionalitäten des Tools

1. Darstellung der Bestandsdaten

- Datenquellen: LHM-Gebäudedatenbank, OpenStreetMap, SWM-Netzinformationssystem: Basiskarte (Gebäude und Flurstücke mit Zusatzdaten), Spartendaten, Verbräuche getrennt nach Netz und Vertrieb, GEO.KW-Daten, Strukturtypen, Sanierungskosten u. a.
- Gebäudescharfe Analyse zum Bestand (Wärmebedarf, Technologie (= Energieträger), EE-Potenziale, Alter, Flächen, Wohneinheiten, Nutzungsart, Denkmalschutz etc.)
- Energieträger je Gebäude bekannt - alle Lieferprodukte der SWM: Fernwärme, Gas, Strom (mit gewissen Unschärfen bei gemeinsamer Messung mit Haushaltsstrom) für Nachtspeicherheizungen bzw. Wärmepumpen, Unschärfe bei Öl, Pellets und Scheitholz
- Heizungsalgorithmus weist jedem Gebäude die Heizungsart zu (separat unter Beachtung von Netz und Vertriebsdaten wg. Unbundling):
- Exakte Verbräuche des Vertriebs und der Netze bei SWM je Zählpunkt (dieser wird einem Gebäude zugeordnet) bekannt (jährlich aktualisiert mit Zeitversatz, da die Ablesung nicht immer zum 31.12. erfolgt) – Nutzung wegen Unbundling und Datenschutz jedoch nur unter bestimmten Bedingungen möglich
- Data Engineering zum Aufbereiten, Bereinigen und Verknüpfen der Datenquellen unter Berücksichtigung von Datenschutz und Unbundling (wegen Netzdaten)
- Neben einer Datenbank verfügt das Modell München über verschiedene Analyse- und Ausgabemöglichkeiten. Hauptsächlich wird Tableau genutzt, um intuitive Dashboards für die jeweilige

Nutzergruppe zu erstellen. Über Tableau können auch die erforderlichen Berechtigungen bzgl. Datenschutz, Unbundling und kritischer Infrastruktur vergeben werden.

2. Lokale Potenzialdaten

- Potenzialdaten zu Luft-Wärmepumpen der FfE aus der FfE Wärmepumpen-Ampel, deren Daten mit Hilfe von Machine Learning für Aussagen auf Baublockebene weiterverarbeitet werden (in Q1 2024 Wechsel zu eigenem Berechnungsansatz für gebäudescharfe Potenzialbetrachtungen)
- Oberflächennahe Geothermie
 - Grundwasser-Wärmepumpe) vom Lehrstuhl für Hydrogeologie (TUM)
 - Erdwärmekollektoren vom Lehrstuhl für Hydrogeologie (TUM) in Zusammenarbeit mit der Friedrich-Alexander-Universität (FAU)
- PV- und Solarthermiefpotenziale von der LHM
- Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung: Abwärmepotenziale der FfE

3. Infrastrukturdaten

- Ausbau und Verdichtung der Fernwärme und Fernkälte (eigene Berechnungen der SWM)
- Fernwärme-Transformationsplanung und Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW): Bestimmung von Ausbau- und Verdichtungsgebieten, Modell München wird für die BEW-Antragstellung verwendet
- Erneuerung der Stromnetze: Grundlage für die Investitionsplanung: Effekte der Wärmepumpen (laufendes Projekt: Grid4Electrification) und eMobilität (abgeschlossenes Projekt: eMotion2Grid)
- Programm Fernkälte: Erstellung eines gebäudescharfen Kälteatlas für die Entwicklung des Geschäftsfelds Fernkälte
- Dezentrale Wärmeplanung (Wärmepumpen und kalte Nahwärmenetze): Grundlage für die Produktentwicklung und die Vertriebssteuerung im neuen Wärmepumpen-Geschäftsfeld
- Transformation des Gasnetzes: Regionale Effekte des Absatzrückgangs als Basis für strategische Entscheidungen

4. Berechnung von Versorgungsszenarien

- Kalibrierung und Plausibilisierung der errechneten gebäudescharfen Wärmebedarfe anhand gemessener Verbräuche
- Gebäudescharfe Zukunftsprojektionen für Sanierung und Heizungsart
- Gebäudescharfe bzw. baublockscharfe (zum Teil müssen Gebäudedaten wegen des Datenschutzes zu Baublöcken aggregiert werden, wobei ein Baublock ein von Straßen eingefasster Bereich darstellt) Absatzentwicklung von Fernwärme, Gas und Strom (zu Wärmezwecken) bis 2050 in Stützjahren (alle 5 Jahre)
- Simulation von Szenarien (inkl. Förderprogramme, Verbote (z. B. Gaskessel), Energiepreise, Kosten für Handwerker etc.)
 - Beurteilung der Wirkung von Maßnahmen
 - Wo erzielt man wann mit einem Euro die größte Wirkung zur CO₂-Einsparung in München?
- Ablauf im Simulationsmodell Invert/EE-Lab (dieses Modell ist mit dem Modell München über Schnittstellen gekoppelt)
 1. Multiagentensystem: Jedes Gebäude in München ist ein Agent, der Entscheidungen zur Sanierung und Wärmeversorgung trifft.
 2. Bauteile eines Gebäudes altern: Entscheidungen über Abriss, Sanierung und Sanierungstiefe sowie zur Wärmeversorgung
 3. Integriertes Gebäudesimulationsmodell (Temperaturszenarien, Wandstärken, Dämmstandards, Gebäudeausrichtung, opake Fläche etc.)

4. Berücksichtigung von Fördermaßnahmen, CO₂-Steuer, Energiekosten, Sanierungskosten, regionale Potenziale und Grenzen, Komfortgewinn, Nutzerverhalten
5. Ergebnis: Aussagen je Gebäude für die Heizungstechnologie und den Dämmstandard
Konkret: Wahrscheinlichkeiten je Gebäude für Zustandsübergänge (z. B. Gebäude in der Musterstr. 1 in 2030 mit 80 % Fernwärme, 18 % Gas, 2 % abgerissen)

Beispielbild / Schema

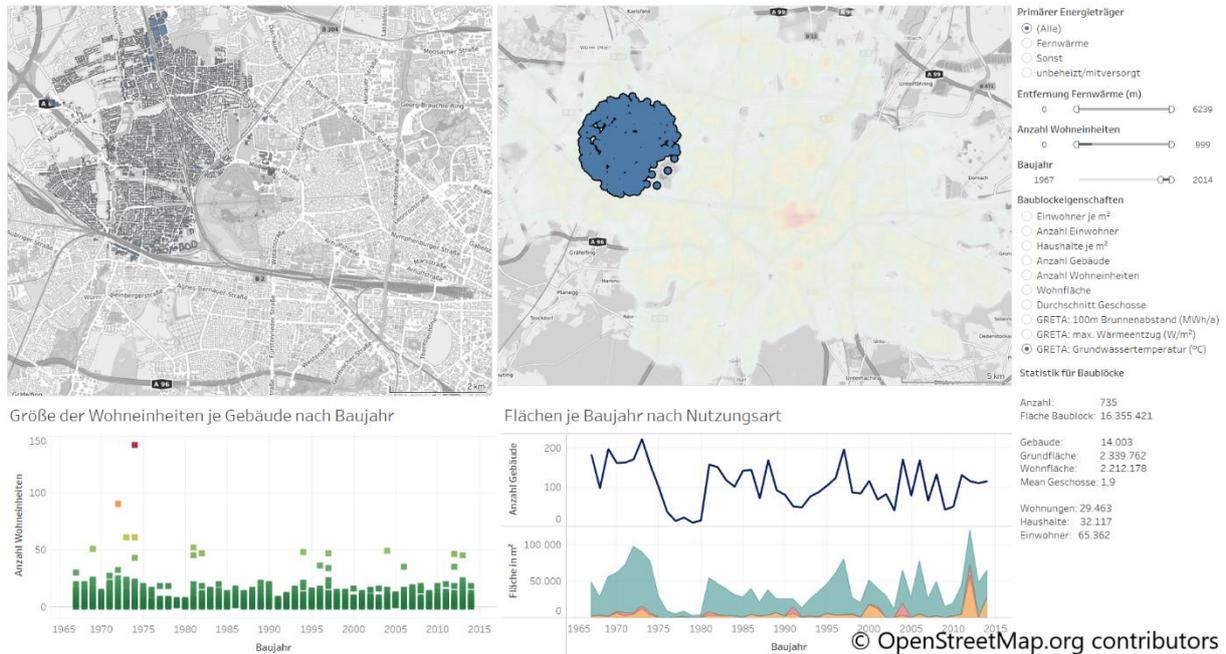


Abbildung 4-1: Auszug aus Tableau des Modells München für individuelle Dashboards mit Karten, Diagrammen, Statistiken

Abgrenzung zu anderen Tools

- Gebäudescharfe Simulation von Szenarien (nicht nur losgelöste Versorgungsoptionen einzelner Gebäude, sondern eine ganzheitliche Betrachtung mit dem Multi-Agenten Simulationsmodell Invert-EE/Lab)
- Modell München als zentrale Plattform zur konsistenten Integration weiterer Datenquellen
- Modell München wird Bottom-up entwickelt, basierend auf realen Bedarfen einzelner Gebäude mit den gelieferten Energieträgern
- Abgrenzung zum EManager der MGS dahingehend, dass das Modell München nicht für die Datenerfassung vor Ort entwickelt wurde (Fotos, Besprechungsprotokolle, Dateneingaben vor Ort, etc.)
- Oberflächennahe Geothermie (Grundwasser-Wärmepumpen) bis jetzt nur statisch abgebildet

Weitere Ergebnisse aus dem Modell München werden im Kapitel 5 beschrieben. Des Weiteren wird das Modell München bei der Ableitung von Eignungsgebieten sowie der Festlegung und Berechnung von Zielszenarien genutzt.

4.1.2 Steckbrief „GEO.KW“

Der Steckbrief wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU München erstellt und ist damit Bestandteil des Projektes „Modellkopplung thermische Grundwassernutzung“.

Entwicklung des Tools

- Aufbauend auf mehreren Projekten des Lehrstuhls Hydrogeologie der TUM (GEPO, GEOPOT, gefördert von STMUV und dem EU-Interreg Projekt GRETA), Entwicklung des GEO.KW-Tools, durch Lehrstuhl für

Hydrogeologie der TU München und ENIANO mit Förderung des BMWi (2019 - 2021) und unterstützt von der Stadt München (RKU) und SWM

- Basis: Hydrogeologisches, thermisches Grundwassermodell (detaillierte transiente Simulationen von Grundwasserströmung und Wärmetransport) /TUMT-01 22/
- Integration aller stadtweiten relevanten und aktualisierten geologisch-hydrogeologischen Daten
- Integration aller relevanten Infrastrukturdaten für die thermische Grundwassernutzung (Dükersysteme, Anlagen der thermischen Nutzung mit detaillierten Nutzungsdaten)

Bisherige Nutzer:innen des Tools

- Referat RKU für (Genehmigungs-)anfragen und für Analysen zu Quartierslösungen (kalte Nahwärmenetze)
- Wasserwirtschaftsamt München für (Genehmigungs-)anfragen
- Landratsamt München
- SWM als Planungswerkzeug für die kommunale Wärmewende und für Analysen zu Quartierslösungen (kalte Nahwärmenetze)

Zukünftige Nutzer:innen des Tools

- RKU in der kommunalen Wärmeplanung
- Quartiersarbeit
- Technische Planer:innen (diese erhalten beschränkten Zugriff, z. B. kein Zugriff auf personalisierte Anlagendaten)

Ziel des Tool-Einsatzes

- Tool zur Planung und Optimierung des Einsatzes der thermischen Ressource Grundwasser in München mit dem Ziel der Primärenergieeinsparung für Heizen und Kühlen /TUMT-01 22/
- Tool ermöglicht die Systemoptimierung mit der Zielsetzung einer ausgeglichenen Bilanz aus Heizen und Kühlung in München mittels Grundwassernutzung zum langfristigen Potenzialerhalt
- Informationen zu vorhandenen Anlagen zur thermischen Grundwassernutzung sind hinterlegt und können abgerufen werden.
- Thermische Interaktion von Förder- und Schluckbrunnen untereinander wird im hydrogeologischen Grundwassermodell abgebildet.
- Bestimmung einer optimalen Verteilung der thermischen Grundwassernutzungen in München, damit das Grundwasserpotenzial maximal ausgeschöpft werden kann
- Bereitstellung der Daten zur Nutzung einer einheitlichen Datenbasis in der Genehmigungspraxis und Planung der Grundwassernutzung
- Vereinfachung und Beschleunigung der Genehmigungspraxis durch Bereitstellung eines ganzheitlichen Bewertungswerkzeugs

Teilfunktionalitäten des Tools

1. Daten aus Messstellen

- Darstellung mit Auswahlmöglichkeiten aller Grundwassermessungen: GW-Ganglinien, Temperaturzeitreihen, Grundwasserleiterbasis, Flurabstände, Tiefentemperaturprofile (u. a. für Baugrunduntersuchung z. B. für Tunnelbau)
- Darstellung aller grundwasserrelevanten Infrastrukturdaten (Dükersysteme, Anlagen der thermischen Nutzung mit detaillierten Nutzungsdaten aus Jahresberichten und Genehmigungen oder statistisch geschätzt)

2. Räumliche Daten des Grundwassersleiters

- Darstellung mit relevanten Charakteristika des Grundwassers: Grundwasser-Gleichen (perspektivisch für verschiedene Zeitpunkte, wie Niedrigwasser, Hochwasser, etc.), Grundwassertemperaturen (perspektivisch für verschiedene Zeitpunkte, wie saisonale und klimatische Änderungen), Flurabstand, Grundwassermächtigkeit, Grundwasserleiterbasis, hydraulische Durchlässigkeit
- Datenexport-Funktion für Anfragen
- Enthält Szenarien über künftige Entwicklung der Grundwasserstände

3. Bestand der Grundwassernutzung

- Bestandsbrunnen hinterlegt mit Nutzerstruktur und -daten
- Platzierung von geplanten Förder- und Schluckbrunnen für den gesamten Münchener Großraum möglich (über Stadtgrenzen hinaus)
- Definition der geplanten thermischen Grundwassernutzung (teilweise vorausgefüllte Optionen möglich): Heiz- oder Kühlfall, Gebäudetyp, Heiz-/Kühlleistung, monatliche Pumprate, Temperaturspreizung (Grenzwerte aus Genehmigungsfall)
- Ergebnisse aus Brunnensimulation: Daten zum Standort, Isothermen, Bewertung der Machbarkeit (thermisch u. a. Beeinflussung existierender und der geplanten Anlagen sowie hydraulisch u. a. Brunnenabstand, Förderraten)
- Bewertung: konservative Abschätzung des Potenzials nach erwarteten Tiefstständen, für München wird auch längerfristig keine komplette „Austrocknung“ erwartet

4. Optimierungsrechnung

- Wärmebedarfsmodell ist hinterlegt für Optimierungsrechnung
- Vorprozessierung: Simulation des optimalen Brunnenstandorts je Flurstück gemäß Bedarf (negative gegenseitige Beeinflussung minimal); es sind jedoch nicht alle Anlagen umsetzbar (daher ungleich zu Potenzial)
- Optimierungsrechnung: Entscheidung, welches Flurstück für das Gesamtoptimum mit Brunnen ausgestattet wird

Ausgewählte Ergebnisse

- Insgesamt sind in München knapp 40 % des Status-Quo-Wärmebedarfs durch Grundwasser-Wärmepumpen abdeckbar ohne gegenseitige Beeinflussung der Brunnen.
- In großen Bereichen ist auch eine thermische Nutzung des Grundwassers für Kühlzwecke möglich.

Abgrenzung zu anderen Tools

- Nutzt eigene Wärme- und Kältebedarfssimulationen
- Stellt detaillierte Daten und Planungsmöglichkeiten zum Einsatz von Grundwasserwärmepumpen und der Nutzung des Grundwassers zur Kühlung für Quartiers- und Einzelfallplanung oder für Planung von Kalten Nahwärmenetzen zur Verfügung.
- Die Daten aus dem Vorgängerprojekt von GEO.KW wurden in den ENP integriert.
- Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung ist die Integration von berechneten Szenarien zur Nutzung von Grundwasserwärmepumpen aus dem GEO.KW-Tool in das Modell München der SWM erfolgt. Zudem wurden dem GEO.KW-Tool gebäudescharfe Wärme- und Leistungsbedarfe übergeben.

Weiterführende Informationen sind auf der Projekthomepage /GEOKW-01 22/ zu finden.

Beispielbild / Schema

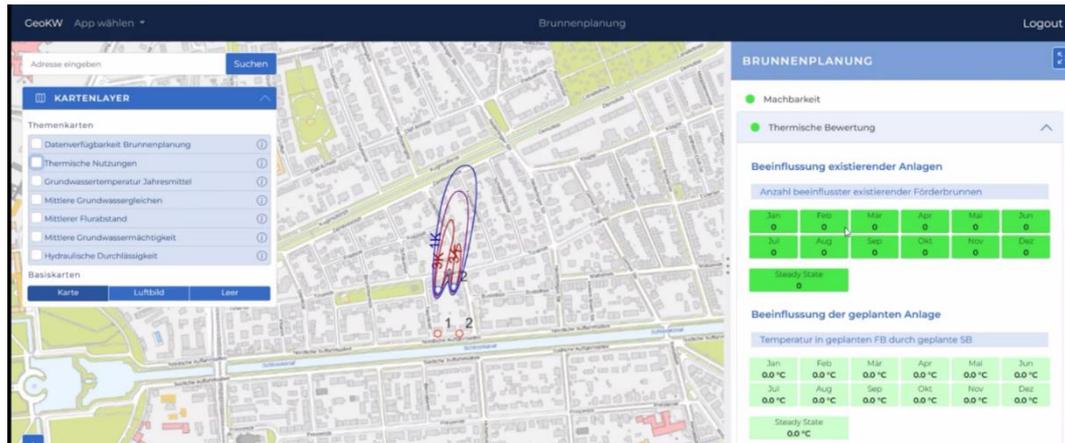


Abbildung 4-2: Exemplarische Brunnenplanung in GEO.KW

4.1.3 Steckbrief „Wärmepumpen-Ampel“

Von der hier dargestellten Wärmepumpen-Ampel der fFe wurden die Potenziale der Luft-Wärmepumpen mit einem Machine Learning Algorithmus der SWM verknüpft, um die gebäudescharfen Luft-Wärmepumpen Potenziale in München zu bestimmen.

Entwicklung des Tools

- Durch fFe im Rahmen eines durch die Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg (SEF-BW) geförderten und von den Lechwerken (LEW), den SWM und Viessmann unterstützten Projektes
- Datenseitige Grundlagen: frei verfügbare deutschlandweite Gebäudedaten (z. B. OpenStreetMap)
- Die SWM haben den kompletten Abzug des deutschlandweiten Datensatzes für eigene Analysen erworben und diese in das Modell München integriert.

Bisherige und zukünftige Nutzer:innen des Tools

- Datennutzung: Projektbeteiligte und Kunden
- Frei verfügbarer Zugang zu interaktiver Karte für die Öffentlichkeit (Zielgruppe: Eigentümer:innen von Wohngebäuden) über Website: <https://waermepumpen-ampel.ffe.de/>

Ziel des Tool-Einsatzes

- Quantifizierung des deutschlandweiten Potenzials für die Wärmepumpen-Technologien: Luft-, Erdsonden-, Erdkollektor- und Solar-Eisspeicher-Wärmepumpe
- Aufzeigen, ob zur Wärmebedarfsdeckung jedes Wohngebäudes im Bestand die Wärmequellen Luft, Erde und Sonne ausreichen
- Für München werden die Potenziale der Luft-Wärmepumpe weiterverwendet. Die Potenziale zur Nutzung der Grundwasserwärme über Wärmepumpen wird basierend auf den Analysen der TUM simuliert.

Teilfunktionalitäten des Tools

1. **Gebäudemodell zur Wärmebedarfsermittlung für Wohngebäude**
 - Gebäudetypklassifikation der Gebäudepolygone aus OpenStreetMap
 - Mittlerer spezifischer Wärmebedarf anhand Gebäudetyp und Baualter ermittelt
 - Jahresarbeitszahlen (JAZ) unterscheiden sich je nach WP-Technologie und Landkreis aufgrund unterschiedlicher klimatischer Bedingungen
 - Wärmequellenbedarf ermittelt anhand des spezifischen Wärmebedarfs, Wohnfläche und JAZ

2. Luftwärmepumpe

- Zur Potenzialberechnung wird der Anlagenstandort und der limitierende Abstand ermittelt. Dafür wurden Schallausbreitung, Schallemissionen und Immissionsgrenzwerte berücksichtigt
- Der limitierende Abstand wurde je Gebäude für drei verschiedene Standorte (optimal, median, schlecht) ermittelt. Im Modell wird der Median-Standort angesetzt, bevorzugt zur Straße hin ausgerichtet

3. Erdsonden

- Limitierend für die mögliche Anzahl der Bohrungen ist die nutzbare Grünfläche des jeweiligen Grundstücks und Wasserschutzgebietes.
- Grundstücke wurden synthetisch berechnet und validiert, da diese nicht deutschlandweit frei verfügbar sind.
- Für Grenzabstände zum Nachbargebäude, zum eigenen Gebäude und zwischen den Sonden werden geltende Festlegungen herangezogen (z. B. VDI 4640).
- Für die Entzugsleistung werden pauschale Annahmen für Deutschland angesetzt:
 - 50 W/m bis 30 kW Heizlast
 - 35 W/m ab 30 kW Heizlast
- Die Bohrtiefenbegrenzung wurde anhand einer statistischen Verteilung hinterlegt, auf Basis von Daten eines großen Bohrunternehmens.

4. Erdkollektor

- Potenzialbestimmung basierend auf der nutzbaren Grünfläche des Grundstücks
- Entzugsarbeit wird berechnet aus Bodenarten und Klimazonen jeweils für 4 Kollektorarten. Ausgewiesen wird der optimale Kollektortyp.

5. Sonne & Eisspeicher

- Eisspeicher wird abhängig vom geometrisch ermittelten Eisspeichervolumen und der Entzugsarbeit nach Herstellerangaben dimensioniert.
- Der Anteil nutzbarer Dachfläche je Gebäudetyp stammt aus der Auswertung eines Solardachkatasters. Mit Hilfe von Herstellerangaben wurde eine Funktion zur Berechnung der Heizleistung je Dachfläche entwickelt.
- Einordnung: Nischentechnologie, oft geeignet, wo andere Techniken entfallen, jedoch derzeit nicht die wirtschaftlichste Variante

Abgrenzung zu anderen Tools

- Aufgrund der Anforderungen an die Ergiebigkeit und deren Heterogenität in Deutschland sowie lokaler hydrogeologischer Limitierungen und unzureichender frei verfügbarer Datenlage, wurden Grundwasser-Wärmepumpen im Rahmen des Projektes Wärmepumpen-Ampel aus dem Bewertungsrahmen ausgeschlossen. Hierzu werden für das Modell München Daten aus GEO.KW herangezogen.
- Auch Potenziale für Erdkollektoren werden aus Berechnungen des RKU genutzt, für diese Berechnungen wurden Grundlagendaten aus dem Modell München bereitgestellt.

Ausgewählte Ergebnisse

- 75 % der Wohngebäude in Deutschland sind für mindestens eine Wärmepumpen-Technologie (Luft, Erde, Sonne) geeignet. Potenziale für München werden in Kapitel 6.4 beschrieben.

Weiterführende Informationen sind auf der Projekthomepage /FFE-67 22/ zu finden.

Beispielbild / Schema

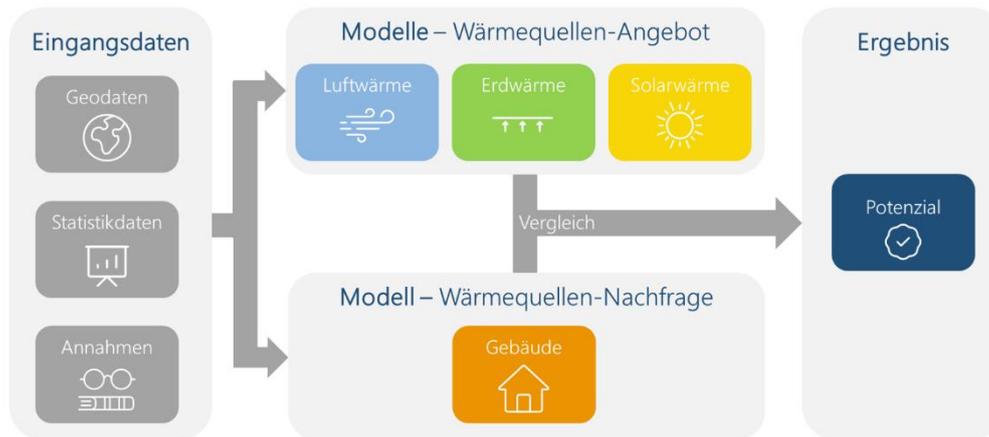


Abbildung 4-3: Schema der methodischen Vorgehensweise der Wärmepumpen-Ampel

4.1.4 Steckbrief „EManager“

Dieser Steckbrief wurde von der ENIANO GmbH erstellt.

Entwicklung des Tools

- 2015: Erstellung eines Quartierskonzepts durch Prof. Dr. Ing. Gerhard Hausladen und ENIANO GmbH mit stundenaufgelöster Simulation aller Bestandsgebäude unter Berücksichtigung aller Sanierungs- und Versorgungsszenarien
- 2016: Auftrag für Entwicklung des EManagers als mobile Websoftware auf Basis von Open-Source-Komponenten durch ENIANO für das Sanierungsmanagement Neuaubing-Westkreuz mit Unterstützung durch das BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung)
- 2020: Erweiterung auf alle Untersuchungsgebiete, Sanierungsgebiete und Quartierskonzepte der LHM sowie Integration der gebäudescharfen Modelle und Daten des ENP der LHM
- Großflächiger Einsatz für das Quartiersmanagement in ganz München, Weiterentwicklung durch ENIANO GmbH

Bisherige Nutzer:innen des Tools

- Nutzerrechte können räumlich und zeitlich definiert werden (u.a. durch Geofencing), dadurch kann ein datenschutzrechtlich korrekter Nutzerzugriff gewährleistet werden.
- Es gibt einen Datenbestand für alle Nutzer. Einzelnutzerzugriff nur auf erlaubte Funktionen/Gebiete
- Aktuelle Nutzungsgruppen:
 - Energieberater:innen und Sanierungsmanager:innen der Münchner Gesellschaft für Stadterneuerung mbH (MSG) vor Ort oder im Innendienst
 - Planer:innen in der städtebaulichen Sanierung, als auch externe Büros
 - Ersteller:innen von Integrierten Stadtentwicklungskonzepten (ISEK) und Voruntersuchungen
 - Ersteller:innen von Quartierskonzepten und des anschließenden Sanierungsmanagements
 - Genehmigungsbehörden für hoheitliche Aufgaben (z.B. PLAN HA III – Hauptabteilung Stadtsanierung und Wohnungsbau)
 - Strategische Stadt- und Energieplanung (z.B. PLAN HA I – Hauptabteilung Stadtentwicklungsplanung)

Ziel des Tool-Einsatzes

- Übergeordnet: Die Wärmewende vor Ort strategisch, spartenübergreifend, kollaborativ und umsetzungsorientiert voranbringen

- Kollaborative, offene Plattform für alle relevanten Akteur:innen (Verwaltung, Stadtplanung, Energieberater:innen, Planer:innen etc.) in der LHM
- Prozesse sind an tägliche Arbeit in der strategischen Energieplanung, im Sanierungsmanagement, für genehmigungsrechtliche Prozesse, für Förderprogramme und Beratungsinitiativen angepasst.
- Vereinfachter Zugriff auf Ergebnisse von Energiesimulationen durch Mapping auf Karte/Gebäude
- Tagesaktuelle, kollaborativ bearbeitbare und gebäudescharfe Daten
- Controlling und Erfolgsmonitoring für Maßnahmen aus Förderung und Beratung
- Berücksichtigung aller datenschutzrechtlichen Anforderungen und Zugriffsmanagement
- Schließen von Daten- und Informationslücken, einfache Erweiterbarkeit durch App Konzept

Teilfunktionalitäten des Tools

- Exploration und Nutzung von Energiesystemmodellen
 - Abfrage gebäudeweiser Daten aus Gebäudedatenbanken durch Klick in Karte (Grunddaten zu Gebäuden, Baustruktur, Energiebilanzen, Sanierungsvarianten, etc.)
 - Erstellung individueller Karten als PDF, Datenexport im CSV- oder GIS-Format für einzelne Gebäude oder Quartiere, externe Bearbeitung und Rückspielung möglich
 - Download von Modellergebnissen, Dokumentationen und Metadaten
- Datenerhebung
 - Erhebung von Gebäudebestandsdaten mit Tablet vor Ort über mobile App oder im Innendienst zur Verbesserung, Aktualisierung und Detaillierung bzw. Erweiterung von Energiesystemmodellen oder bestehender Gebäudedatenbanken
 - Erhebung von Daten zum energetischen Status (Gebäudehülle, Anlagentechnik) von Gebäuden und zum erweiterten Kontext (optischer Zustand, Dachbegrünung, Grünplanung, städtische Freiräume, etc.)
 - automatisierte Energiebilanzierung für Gebäude, d.h. Energie- und THG-Bilanzen von Gebäuden werden nach Dateneingabe aktualisiert (Berechnung innerhalb des EManagers)
 - Überblick zu Aktualität der Daten je Gebäude bzw. Stand der Datenerhebung im Quartier
- Energieberatung
 - App zur Begleitung einzelner Objekte über den gesamten Beratungs- und Sanierungsprozesses im Rahmen des Sanierungsmanagements
 - Erfassung von Beratungsgesprächen der Erstberatung, von Gebäudemodernisierungs- und Energie-Checks (GMC) sowie von Sanierungszuständen bzw. durchgeführten Maßnahmen und entsprechenden Energie- und THG-Bilanzen, historisiert für jedes Gebäude
 - eigene Dateiverwaltung für jedes Gebäude (Beraterberichte, Baubeschreibungen, Pläne, Energieausweise, Abrechnungen, etc.)
 - intuitive Anzeige des Beratungs- und Sanierungsfortschrittes für Gebiete / Quartiere in Karte und einfache Suche nach Objekten und Dokumenten über Stichworte
- Sanierungsberatung
 - App zum Management hoheitlicher bzw. genehmigungsrechtlicher Vorgänge im Sanierungsprozess, Erstellung einer Beratungs- und Verfahrenshistorie zu jedem Objekt
 - Erfassung von Bauanträgen, sanierungsrechtlichen Genehmigungen nach §144 BauGB, Verfahren nach §7h EStG sowie vorausgehende Informations- und Beratungsgespräche inklusive Dateiablage zum jeweiligen Vorgang
 - erhebliche Vereinfachung der Kollaboration und des Informationsaustausches zwischen beteiligten Stellen, direkte Integration in App Monitoring
- Monitoring
 - App bündelt alle Informationen, die im Rahmen von Sanierungsmanagement, Energieberatung, Genehmigung, Förderung, Umsetzung usw. anfallen

- App ermöglicht eine direkte Evaluation von Maßnahmen und eine kontinuierliche, datenbasierte Verbesserung sowie Anpassung der unterschiedlichen Instrumente zur Umsetzung der Wärmewende
- Freie Auswahl eines Gebietes und eines Zeitraumes für automatisierte Auswertung folgender Aktivitäten bzw. Indikatoren: Primär- und Endenergiebilanz für Wärme und Strom, Erneuerbare Anteile an Wärme- und Stromerzeugung, Bilanzierte THG-Emissionen, sanierte Energiebezugsfläche, Sanierungsrate, erzielte Sanierungstiefen, erneuerte Heizanlagen und neu installierte Leistung nach Anlagenkategorien, Beratungsaktivitäten: Anzahl Energieberatungen, GMCs, Umsetzungsquoten nach Beratung, etc.), Mitteleinsatz für Beratungen, Städtebauförderung etc. und direkte Analyse des „Hebels“ von Förderinstrumenten bzw. des Mitteleinsatzes, Historie von Förderanträgen (KfW, SBF, BAFA, FES, etc.)
- Quartiers- / Clusteranalyse
 - App dient zur strategischen Variantenanalyse von Sanierungs- und Versorgungsvarianten in Quartieren mit Datenexport in Excel sowie Geodaten, um Weiterverarbeitung z. B. in Quartierskonzepten zu ermöglichen.
 - Daten aus anderen Apps (z. B. Datenaufnahme und Energieberatung) gehen mit ein.
 - Analyse unterschiedlicher Sanierungstiefen (Sanierungsszenarios) und Wärmeversorgungsvarianten sowie deren Auswirkung auf Primär-, Endenergie- und THG-Bilanz und interaktive Fernwärmausbauplanung (über Emanager Version 1)
- CityPinBoard
 - Kartenbasierte, interaktive App zum stadt- bzw. gebietsweiten Informationsaustausch zwischen beteiligten Stellen der städtebaulichen Sanierung
- Solaranalyse (aktuell in Bearbeitung)
 - App zur Konzeption von Solaranlagen auf Dachflächen durch interaktive Konfiguration der Anlagen mit Ertragsberechnung auf Basis von 3D-Modellen aus Befliegung
 - Methodik Solaranalyse: Siehe /LHM-03 22/ (Bearbeiter: ENIANO GmbH, im Auftrag des RKU)

Beispielbild / Schema



Abbildung 4-4: Beispiele für Emanager Funktionen: Gebäudeanalyse, Clusteranalyse

Technologie, Lizenzierung und IT-Sicherheit

- Basiert auf Open Source Komponenten, Konformität mit der IT-Direktive zu Open Source Software der Landeshauptstadt München (vgl. Stadtratsbeschluss Mai 2021)
- Sicherheitszertifizierung durch TÜV Süd, regelmäßigen Prüfungen (u. a. Stresstests) für rechtskonforme Haltung und Verarbeitung personenbezogener Daten

- Hosting, Betrieb und Bereitstellung durch ENIANO GmbH im Auftrag der MGS

Abgrenzung zu anderen Tools

- EManager als zentrale, kollaborative Plattform für Sanierungs- und Quartiermanagement, für die Energie- und Sanierungsberatung sowie die Datenerfassung vor Ort
- EManager und GEO.KW-Tool nutzen technisch den gleichen Backend und Frontend Stack, bestehend aus Opensource Komponenten (sie sind dadurch kompatibel und integrierbar)
- Plattform des EManagers ist flexibel durch Apps erweiterbar und verfügt über offene Schnittstellen (z. B. zu Diensten des GSM, der City Information Plattform, zur Software ProPLAN)
- Fokus des EManagers sind auf Analysen basierende, umsetzungsorientierte Arbeitsprozesse auf Gebäude- und Quartiersebene. Das München Modell hingegen fokussiert eine vorgelagerte Planungs- und Modellierungsebene.
- Integration von übergeordneten Ergebnissen und Daten anderer Planungs- und Strategietools (z. B. Modell München) in den EManager ist möglich, damit diese auf Arbeitsebene nutzbar werden.

4.2 Kombinierbarkeit der Tools

Wie beschrieben, haben die zuvor genannten Tools unterschiedliche Funktionen und erfüllen daher verschiedene, miteinander kombinierbare Teilaspekte in der kommunalen Wärmeplanung. Abbildung 4-5 zeigt die vorhandenen Datensätze und Tools von LHM, SWM und Externen. Hier wird auf die zuvor nicht beschriebenen Tools kurz eingegangen. Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung sind eine Vielzahl an technoökonomischen Kennzahlen für Technologien notwendig sowie Szenarien für die Markt- und Endkundenpreise verschiedener Energieträger. Eine entsprechende Übersicht aller benötigten Daten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung wurde in Form einer tabellarischen Übersicht von der FfE erstellt. Im Projektteam wird nun Stück für Stück entschieden, welche Daten hieraus in der Modellierung verwendet werden sollen und wer dafür zuständig ist, dass diese Daten auch langfristig aktuell gehalten werden.

Zwar haben die SWM eigene Energie- und Technologiepreisszenarien sowie weitere Modelle, diese sollen aber nicht öffentlich werden. Daher werden die benötigten Daten von öffentlich verfügbaren Quellen und damit unabhängig bereitgestellt. Diese werden dann in das Modell München integriert. Auch die Daten aus GEO.KW und der Wärmepumpen-Ampel und werden weiterverarbeitet und in das Modell München in Form von Potenzialen klimaneutraler Wärmequellen integriert. Der in der Wärmepumpen-Ampel hinterlegte Wärmebedarf basiert ausschließlich auf frei zugänglichen Daten, deren Genauigkeit weniger hoch ist wie die Daten im Modell München. Zudem gibt es in der Wärmepumpen-Ampel Datenlücken. Daher wurde bei den SWM Machine Learning eingesetzt, um Datenlücken zu schließen und vollständig auf den Daten des Modell München arbeiten zu können (zum Vorgehen siehe Kapitel 6.5.1). Bzgl. GEO.KW wurde im Auftrag des RKU an die TU München eine Schnittstelle zwischen dem Modell München und GEO.KW erstellt. Damit ist es nun möglich, die Eignung für Grundwasser-Wärmepumpen auf der Ebene von Flurstücken und auch Baublöcken sehr genau zu bestimmen. Hierzu werden u. a. optimale Brunnenstandorte ermittelt – unter Berücksichtigung etwaiger Restriktionen bei der Brunnenbohrung wie Tiefgaragen, dem Verlauf von U-Bahnen, Stromnetzen etc. sowie der Abstände zu Flurstücks- und Gebäudegrenzen. Zudem werden mögliche Sanierungszustände der einzelnen Gebäude einbezogen. Schlussendlich ist man durch die Kopplung vom Modell München mit GEO.KW in der Lage, auch die mögliche gegenseitige Beeinflussung von Grundwasser-Wärmepumpen (durch Kältefahnen) in einzelnen Gebieten zu quantifizieren, um zeitnah Maßnahmen zu ergreifen (ggf. die Notwendigkeit einer stärkeren Sanierung, Maßnahmen zur Priorisierung von Nutzern, Regeneration der Kältefahnen durch Kälteanwendungen an geeigneten Stellen). Die Potenziale für den Einsatz von Erdwärmekollektoren wurden ebenfalls vom Lehrstuhl für Hydrogeologie in Zusammenarbeit mit der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) berechnet.

Neben dem Modell München liegen den SWM die internen Tools BoFit und das Energiewirtschaftsmodell (kurz: EW-Modell) vor, welche gemeinsam die Simulation der Einsatzoptimierung von den SWM-eigenen Anlagen im aktuellen und potenziell künftigen Zustand ermöglichen. Hieraus erfolgt eine Bewertung der Emissionen und der Gesamtwirtschaftlichkeit von Strom- und Wärmeerzeugung im Fernwärmenetz. Dabei werden im EW-Modell Parameter wie Energiepreise oder Temperaturverläufe hinterlegt, womit strategische Entscheidungen über den Kraftwerkspark getroffen werden können. BoFit berechnet die eigentliche stündliche Anlageneinsatzoptimierung.

Um weiterhin Fördermittel für die Transformation der Fernwärme zu erhalten, muss gemäß Anforderung der Bundesförderung Effiziente Wärmenetze jeder Fernwärmeversorger einen sogenannten Transformationsplan für die Fernwärme vorweisen. Derzeit erarbeiten die SWM diesen mit Hilfe der zuvor genannten Tools. Nach Abstimmung mit der LHM soll hieraus die „Vereinbarung CO₂-neutrale Fernwärme“ erarbeitet werden.

Zusätzlich zu den für dieses Projekt besonders relevanten schon beschriebenen Tools und Datensätzen, liegen der LHM noch der Energienutzungsplan für das Stadtgebiet der LHM als auch das EManager-Tool (Nutzung vor allem durch die Münchner Gesellschaft für Stadterneuerung mbH MGS) vor. Es ist angestrebt, dass die in diesem Projekt erarbeiteten Ergebnisse die Erstellung von Quartierskonzepten sowie Energieberater bei der Vor-Ort-Beratung mit dem zum sog. QManager erweiterten EManager unterstützen.

Das Zusammenspiel und die Schnittstellen (inkl. Nutzungsverträge) zur Verknüpfung der Tools sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht in allen Details geklärt. Daher stellt der Text den aktuellen Status der Überlegungen dar.

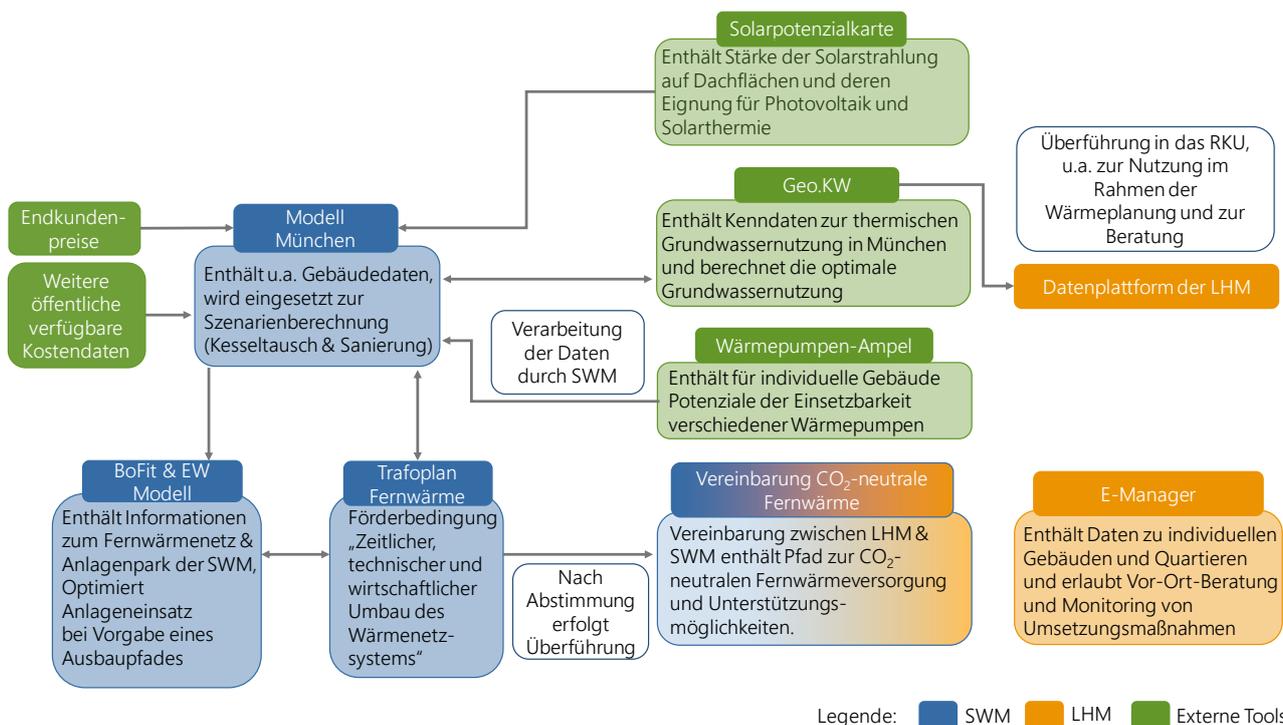


Abbildung 4-5: Zusammenhänge der bestehenden Tools

In Abbildung 4-6 ist visualisiert, wie die genannten Tools und Datensätze im Ablauf der Modellierung der kommunalen Wärmeplanung nacheinander eingesetzt werden könnten. Dies wird unter dem Bild selbst indikativ entlang der mit Ziffern dargestellten Reihenfolge dargestellt.

Das Modell München stellt die Ausgangsbasis für die Modellierung der Zukunftsszenarien dar und ist somit Schritt 1. Im Rahmen einer geplanten Vereinbarung zur CO₂-neutralen Fernwärme soll festgelegt werden, in welchen Gebieten der Wärmebedarf künftig durch Fernwärme bereitgestellt werden soll. Diese Gebiete sind im Modell München daher hinterlegt und es werden als Schritt 2 nur die dezentral zu versorgenden Gebäude aus dem Gesamtdatensatz extrahiert und in der Verschneidung mit weiteren Tools genauer analysiert.

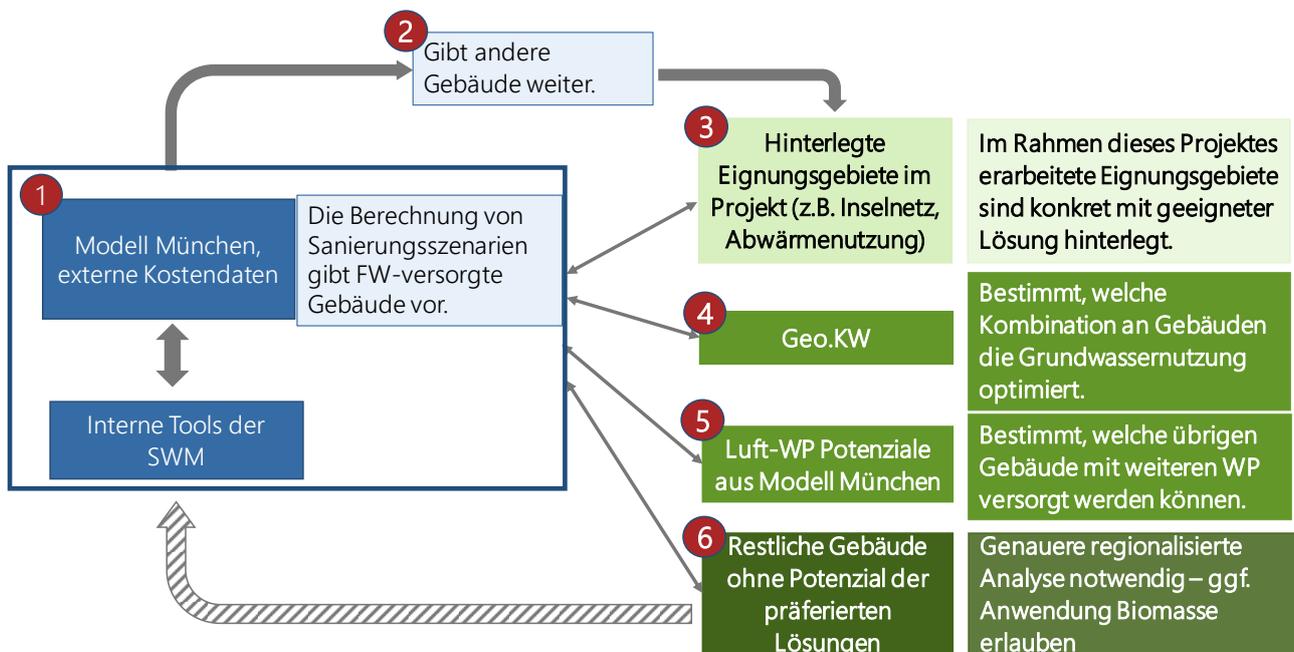


Abbildung 4-6: Aktuelle Überlegungen zur Verschneidung der Tools

In Schritt 3 werden die Gebäude von hinterlegten Eignungsgebieten für besondere Lösungen, wie z. B. Wärmenetze, ebenfalls aus dem Gesamtdatensatz entnommen. Diese fest hinterlegten Eignungsgebiete werden im Rahmen der Szenarienerstellung im Projekt erarbeitet und diskutiert. Hierbei soll die Methode zur Festlegung möglichst transparent und rekonstruierbar sein, damit in der Zukunft bei sich ändernden Rahmenbedingungen eine Überprüfung erfolgen kann, ob diese Lösungen weiterhin am besten geeignet sind.

Im Vorgängerprojekt hat sich, basierend auf den ermittelten CO₂-Verminderungskosten, die Grundwasser-Wärmepumpe als zu favorisierend gegenüber Luft-Wärmepumpen herausgestellt /FFE-79 21/. Daher wird der Datensatz mit Gebäuden, die weder an die Fernwärme angeschlossen werden, noch sich in einem besonderen Eignungsgebiet befinden, im nächsten Schritt daraufhin untersucht, ob hier eine Grundwasser-Wärmepumpe genutzt werden kann (Schritt 4). Dies geschieht durch eine Verschneidung der regional aufgelösten Bedarfsdaten der Gebäude mit den Grundwasser-Potenzialdaten aus dem Tool GEO.KW.

Aktuell wird in den Daten aus GEO.KW der Effekt der Grundwasser-Wärmepumpen aufeinander beachtet. In der eingehenden Optimierung wird berechnet, wo die Anlagen bezogen auf alle Gebäude in positioniert werden können, um die verfügbare Fläche bestmöglich auszunutzen. Für die kommunale Wärmeplanung müssen die bereits mit Fernwärme oder anderen Lösungen versorgten Gebäude (Schritt 1 bzw. Schritt 3) jedoch aus der Optimierung ausgeschlossen werden, damit nicht die Gefahr besteht, dass sich hierdurch das Potenzial zur Nutzung von Grundwasser-Wärmepumpen für alle anderen Gebäude reduziert. Somit muss hier eine Kopplung der Datensätze aus dem Modell München nach Schritt 3 und GEO.KW erfolgen.

Nachdem alle Gebäude, bei denen dies möglich ist, mit einer Grundwasser-Wärmepumpe oder einem Erdwärmekollektor ausgestattet wurden, werden die noch nicht mit einer Versorgungslösung ausgestatteten Gebäude in Schritt 5 mit den Potenzial-Kenndaten für Luft-Wärmepumpen verschritten. Somit wird auch diese Technologie auf die hierfür geeigneten Gebäude in München verteilt.

Nach dieser Technologie-Kaskade erfolgt die kritische Prüfung, ob nun alle Gebäude bereits mit einer Versorgungslösung ausgestattet sind. Die Gebäude, welche keine Versorgungsoption erhalten haben, werden genauer untersucht, zum Beispiel dahingehend, ob nicht doch eine der zuvor genannten Lösungen umsetzbar ist oder ggf. wirklich nur der Einsatz von Biomasse die Versorgung ermöglichen kann (Schritt 6).

5 Bestandsanalyse Gebäude und Wärmebedarfe

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung gilt es, eine individuell auf München zugeschnittene Strategie zu entwickeln. Daher bedarf es einer validen Datenbasis der aktuellen wärmeseitigen Gegebenheiten. Als Datenbasis der Bestandsanalyse dient das Modell München, welches in Steckbriefform im Kapitel 4.1.1 beschrieben wird. Nachfolgend wird zunächst der Hintergrund zur gemeinsamen Nutzung des Modells München zwischen LHM und SWM beschrieben (siehe Kapitel 5.1). Darin werden erfasste Daten über den Ist-Stand der Kommune zum Gebäudebestand der Stadt und der baulichen Substanz veranschaulicht (siehe Kapitel 5.2).

In Kapitel 5.3 wird auf die für die Wärmeversorgung benötigte Lieferenergie je Gebäude eingegangen, wobei die auf Basis von Gebäudemerkmalen errechneten Verbräuche mit den real gemessenen Verbräuchen abgeglichen werden. Vor dem Hintergrund des übergeordneten Klimaschutzziels für München wird anschließend der Status Quo des Endenergieverbrauchs und der Emissionen (siehe Kapitel 5.4) analysiert.

Die nachfolgenden Ausführungen zur Bestandsanalyse wurden zumeist direkt mit dem Modell München erstellt. Sie sollen einen Überblick über die Ist-Situation in München geben und die Möglichkeiten des Modells München aufzeigen. Das Modell München dient grundsätzlich zur dynamischen Analyse von Zusammenhängen, sodass u. a. auf die Ebenen der Stadt, der Stadtbezirksteile, Stadtbezirksviertel, Postleitzahlen, Baublöcke, Flurstücke oder sogar bis auf einzelne Gebäude bzw. auf individuelle Gruppierungen der zuvor genannten Ebenen geblickt werden kann. Dies ermöglicht es, u. a. schnell die jeweils regionalen Gegebenheiten zu erfassen. Nachfolgend wird zumeist die Ebene der Baublöcke gewählt, um den zuvor dargestellten Belangen des Datenschutzes gerecht zu werden.

Im Modell München sind die Zubauszenarien aus der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ enthalten, ebenso wird der Bevölkerungszuwachs bei der Verteilung der Personen auf die Gebäude berücksichtigt.

5.1 Gemeinsame Datennutzung zwischen SWM und LHM

Die SWM stellen das Modell München der LHM zum Zweck der kommunalen Wärmeplanung zur Verfügung. Die Erstellung der kommunalen Wärmeplanung auf Basis möglichst detaillierter Daten erbringt eine hohe Qualität der Ergebnisse – eine zu starke Aggregation würde zu Unschärfen und womöglich zu Ineffizienzen bei den daraus abgeleiteten Maßnahmen führen. In diesem Rahmen wurde zwischen LHM und SWM bereits ein Konzept für den Zugriff auf die IT-Infrastruktur des Modells München durch Dritte erstellt. Bei der Analyse einzelner Gebäude und Flurstücke im Modell München kann ein Personenbezug nicht ausgeschlossen werden, sodass hier entsprechende Vorkehrungen zu treffen waren. Zudem müssen bei zahlreichen Daten im Modell München die Belange der kritischen Infrastruktur, des Betriebsgeheimnisses und des Unbundlings berücksichtigt werden.

Vor diesem Hintergrund haben die SWM und das RKU einen Vertrag erstellt, der die zuvor genannten Belange berücksichtigt, aber dennoch ausreichende Freiheitsgrade bei der Nutzung des Modells München gewährleistet. Dieser Vertrag wurde sehr gewissenhaft und umfassend mit Datenschützer:innen, Jurist:innen und Steuerexpert:innen der LHM und SWM abgestimmt. Konkret wird durch den Vertrag ein namentlich benannter Personenkreis beim RKU bestimmt, der auch gebäudescharfe Daten des Modells München zum Zweck der kommunalen Wärmeplanung einsetzen kann. Hierzu gehören die genutzten Energieträger der Gebäude und deren Verbräuche, wobei keine tatsächlich gemessenen, sondern nur errechnete Verbräuche zugänglich sind. Deren Berechnung wurde vorab aufwändig kalibriert, sodass sie zwar sehr genau sind, jedoch kein individuelles Nutzerverhalten einzelner Personen nachbilden. Des Weiteren kann ein erweiterter Personenkreis diese Energiedaten auf der Ebene von Baublöcken, somit durch Straßen eingegrenzte Bereiche, für den Zweck der kommunalen Wärmeplanung nutzen.

5.2 Gebäudebestand

Im Modell München sind demografische Daten zur Anzahl von Einwohner:innen und Haushalten pro Baublock hinterlegt. Da Baublöcke unterschiedlich groß sein können, machen neben der Darstellung der Anzahl von Einwohnern und Haushalten auch Verhältniskennzahlen für die Visualisierung Sinn, beispielsweise die Anzahl der Einwohner:innen bzw. Haushalte je m² Gesamtfläche des Baublocks oder je m² der in einem Baublock vorhandenen Wohnfläche. Abbildung 5-1 zeigt beispielhaft die entsprechenden Heatmaps für die Anzahl an Einwohner:innen in einem Baublock bzw. die Anzahl der Einwohner:innen je m² Gesamtfläche der jeweiligen Baublöcke. Hier zeigen sich unterschiedliche Färbungen der Karten. Da die Baublöcke in Zentrumsnähe tendenziell dichter als am Stadtrand besiedelt sind (weniger Freiflächen), tritt in der rechten Karte die stärkere Rotfärbung vor allem in Zentrumsnähe auf. Ähnlich dicht besiedelte Wohnflächen gibt es auch in weiteren Teilen der Stadt. Im Modell München kann beliebig in derartige Kartenansichten hineingezoomt werden, um regionale Details besser zu analysieren.

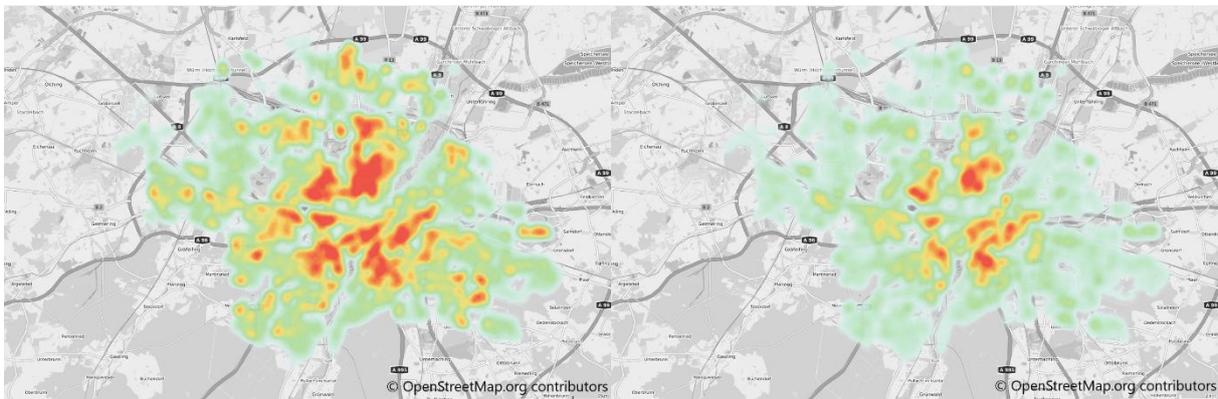


Abbildung 5-1: Heatmap der Anzahl Einwohner in einem Baublock (links) und der Anzahl Einwohner je m² Gesamtfläche pro Baublock (rechts)

Baublöcke in Zentrumsnähe sind zudem häufig enger bebaut als am Stadtrand, was in Abbildung 5-2 in Form des Anteils aller Gebäudegrundflächen an der zugehörigen Baublockfläche dargestellt ist.

Die Baublöcke können auch hinsichtlich ihrer Strukturtypen beschrieben werden. Ein Strukturtyp ist beispielsweise die Reihenhausbauung, Blockrandbauung, Parkanlagen etc. Insgesamt existieren in den Datensätzen der SWM 45 verschiedene Strukturtypen, wobei einem Baublock mehrere Strukturtypen zugewiesen sein können. Die Daten zu den Strukturtypen im Modell München wurden durch das RKU bereitgestellt. Zudem haben die SWM die Strukturtypen aller Baublöcke im Rahmen einer eigenen Recherche aktualisiert und im Nachgang in Abstimmung mit der FfE zu 8 zusammengefasst. In Abbildung 5-3 sind alle Baublöcke, die Einfamilienhäuser bzw. Doppelhaushälften (links) oder Geschossbaukomplexe (rechts) enthalten, blau eingefärbt.

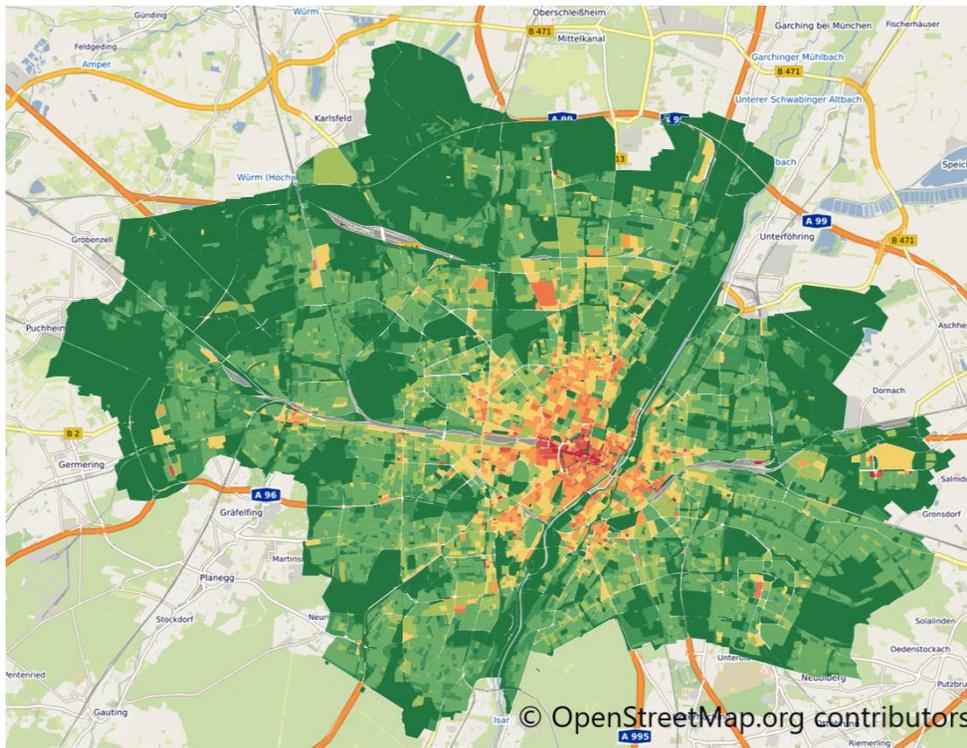


Abbildung 5-2: Bebauungsdichte der Baublöcke (rot = nahe 100 %, dunkelgrün = nahe 0 % bzw. unbebaut)

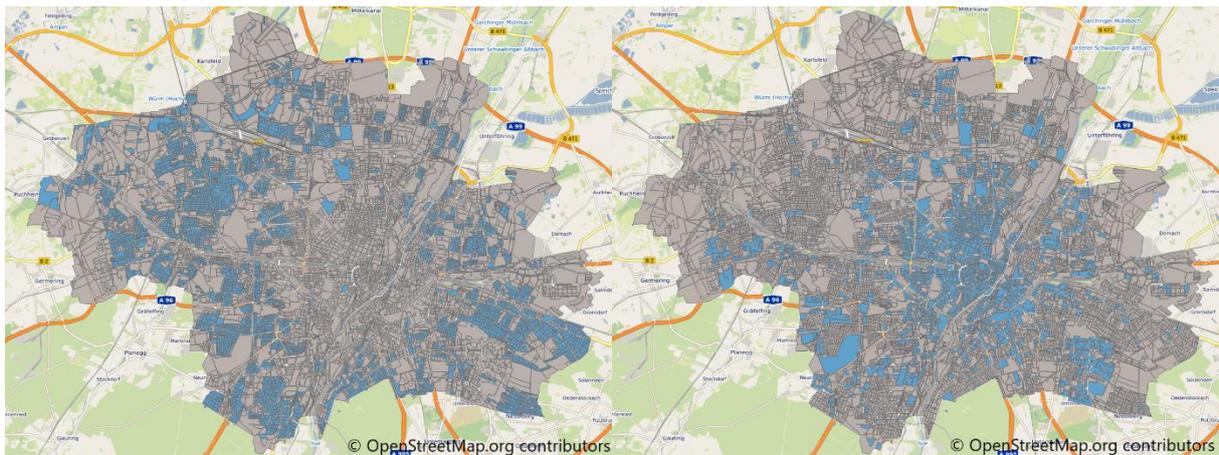


Abbildung 5-3: Baublöcke nach vorhandenen Strukturtypen blau gefärbt (links mit Einfamilienhäusern bzw. Doppelhaushälften, rechts mit Geschossbaukomplexen)

Die Analyse von Baublöcken nach den Strukturtypen erlaubt eine erste Einschätzung regionaler baulicher Gegebenheiten. Für Detailbetrachtungen ist es zusätzlich zielführend, weitere Kennzahlen einzubeziehen. Hierzu gehören u. a. die Anzahl der Gebäude mit ihren Nutzungsarten, die Gesamtflächen sowie die Wohnflächen der Gebäude, die Anzahl der Stockwerke und Wohneinheiten sowie das Gebäudealter. Beispielhaft kann die beheizte Fläche je Baublock für Wohngebäude bzw. für Wirtschaft und Gewerbe heran gezogen werden. Besonders auffällig sind bei Wirtschaft und Gewerbe vereinzelte Baublöcke mit relativ viel beheizter Fläche. Hierbei ist zu erwähnen, dass die im Modell hinterlegte Nutzungsart der Gebäude durchaus Unschärfen unterliegt. So gibt es z. T. Mischnutzungen (Gewerbe im Erdgeschoss und Wohnen im Obergeschoss). Zudem können sich die in den Datenbeständen erfassten Nutzungsarten und zugehörigen Flächen mit der Zeit geändert haben oder es gibt Unschärfen bei der beheizten Fläche hallenartiger Strukturen.

Eine weitere für die kommunale Wärmeplanung relevante Kennzahl ist das Gebäudealter. Dieses basiert zum Großteil auf der Gebäudedatenbank der LHM, welche den SWM von PLAN zur Verfügung gestellt wurde. Etwaige

Datenlücken beim Gebäudealter wurden durch die SWM in einem Projekt mit der LMU (Institut für Statistik) mit Hilfe von Machine Learning geschlossen. Dabei hat sich u. a. das Alter der jeweils zu einem Gebäude führenden Wasserleitung als hilfreicher Indikator erwiesen (Details zum Vorgehen siehe /CAS-01 20/). Zudem erfassen die SWM regelmäßig Baustellen aus OpenStreetMap, um mögliche Gebäudeabriss und Neubauten im Datenbestand zu erkennen, wobei derzeit für Gebäude, die nach 2014 errichtet wurden, keine Anzahl an Wohneinheiten im Modell München vorliegt.

In Abbildung 5-4 ist die Anzahl der Gebäude mit mindestens einer Wohneinheit nach Baujahren von 1930 bis 2014 dargestellt (hier konkret: Ersterstellungsjahr; es existiert auch ein Fertigstellungsjahr). Dabei wurden Gebäude nach ihrer Anzahl an Wohneinheiten gemäß einer Einteilung der FfE gruppiert (nur Einteilung nach Wohneinheiten; bei einer Mischnutzung aus Gewerbe und Wohnen wäre ein Gebäude ggf. nicht mehr als 'klein' zu bezeichnen): klein = 1 – 2 Wohneinheiten, mittel = 3 – 6 Wohneinheiten, mittelgroß = 7 – 12 Wohneinheiten, groß = >12 Wohneinheiten.

Es fällt auf, dass es in den Jahren 1948, 1957, 1960 und 1966 Spikes bei der Gebäudeanzahl gibt. Dies bedeutet nicht, dass hier eine besonders rege Bautätigkeit herrschte, vielmehr hatten Gebäude, die in bestimmten Perioden errichtet wurden, aufgrund des damaligen Vorgehens bei der Datenerfassung keine konkrete Angabe zum Baujahr, sodass diesen Gebäuden in der Gebäudedatenbank der LHM ein Jahr zugewiesen wurde. Nach den 1960ern tritt diese Unschärfe nicht mehr auf, sodass das Baujahr häufig ein guter Indikator für die energetische Qualität der Gebäudehülle ist. Zudem werden im Modell München durchschnittliche Lebensdauern von Bauteilen (u. a. Dach, Fenster, Fassade, Heizungsanlage) berücksichtigt. Das Baujahr ist auch hier ein wertvoller Indikator für Annahmen zu etwaigen Sanierungsaktivitäten. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass bei Gebäuden aus den 1970ern mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits die Fenster getauscht wurden.

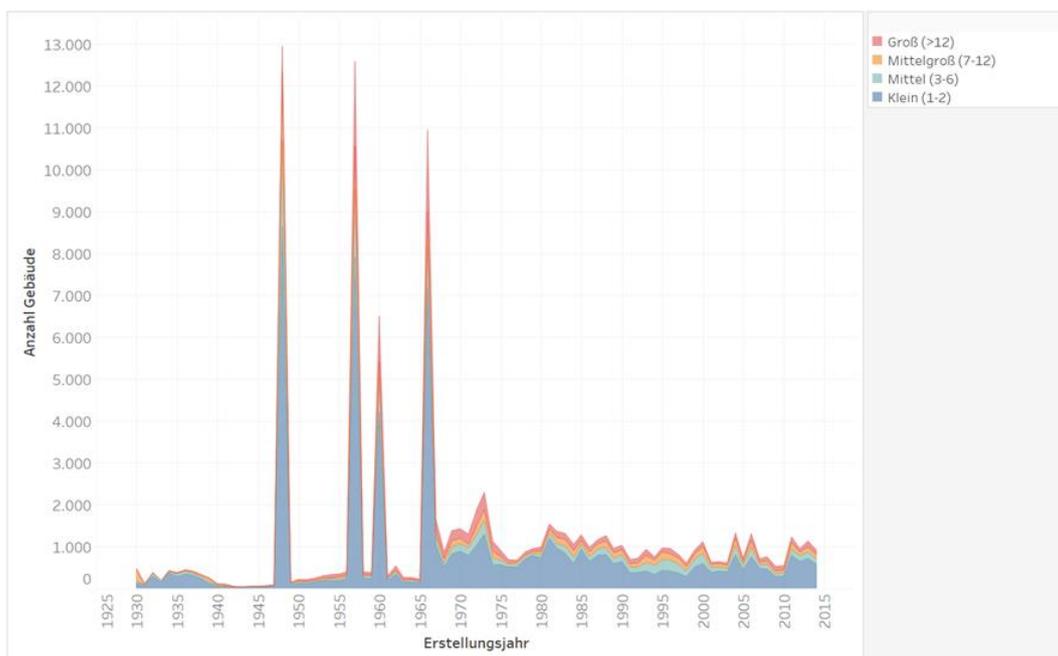


Abbildung 5-4: Anzahl Gebäude nach Baujahr und gruppiert nach Anzahl Wohneinheiten

Statt nach der Anzahl an Wohneinheiten werden in Abbildung 5-5 die Gebäude nach der Nutzungsart klassifiziert. Der Übersichtlichkeit halber wurde hier nach reinen Wohngebäuden, nach Gebäuden für Wirtschaft und Gewerbe (inkl. Mischnutzungen mit Wohneinheiten) sowie nach sonstigen Gebäuden (Bildungseinrichtungen, Kirchen, etc.) gruppiert.

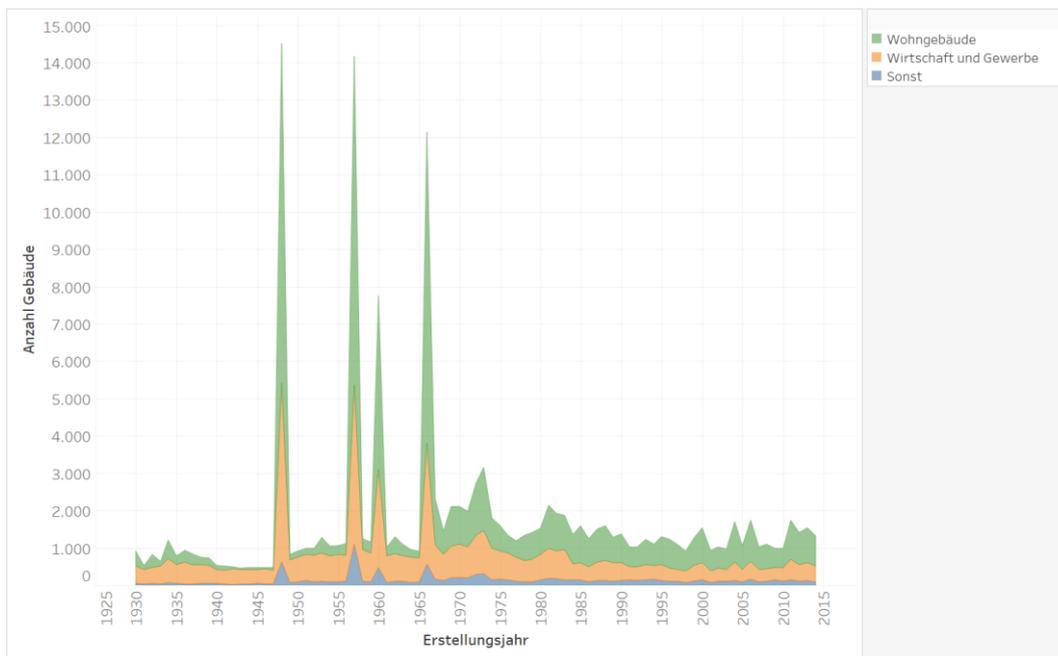


Abbildung 5-5: Anzahl Gebäude nach Baujahr und gruppiert nach der Nutzungsart

Eine regional nach Baublöcken aufgelöste Darstellung des Baujahres (hier der Median der Baujahre aller Gebäude in einem Baublock) ist in Abbildung 5-6 zu finden. Durch ein Hineinzoomen im Modell München können derartige Betrachtungen auch gebäudescharf erfolgen.

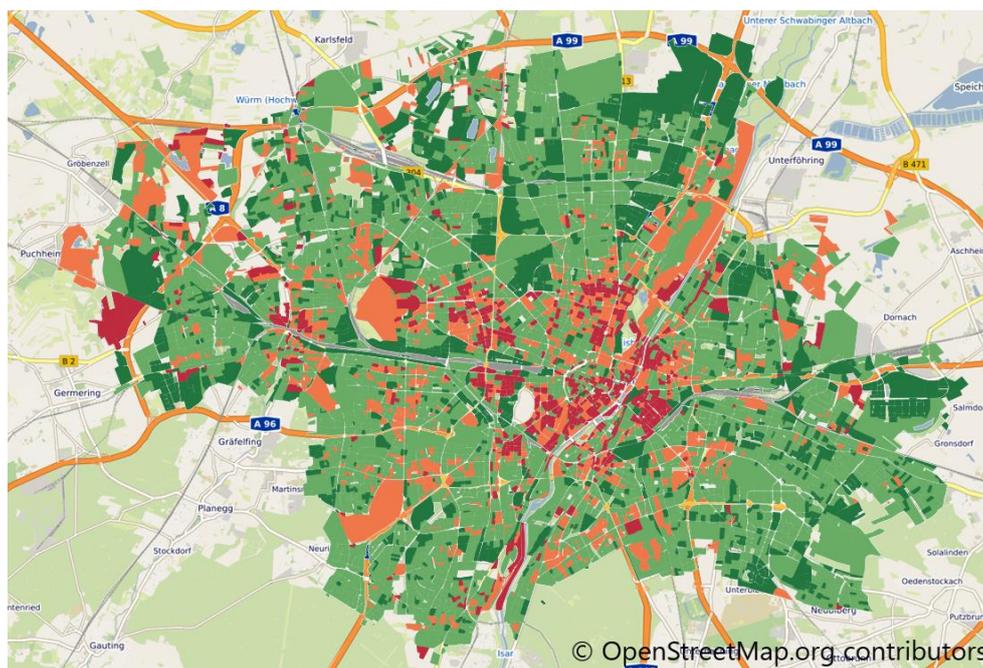


Abbildung 5-6: Baublöcke mit dem Median der Baujahre (rot = älter; grün = neuer)

Prüfung der Plausibilität der gesamten Gebäudeflächen

Die SWM haben die Inhalte der Gebäudedatenbank der LHM hinsichtlich der benötigten Flächenangaben und der Anzahl von Stockwerken auf Plausibilität geprüft. Dabei haben sich folgende wesentliche Probleme ergeben:

- Einträge in der Gebäudedatenbank enden 2014,
- nicht bei allen Gebäuden ist ein Wert eingetragen und

- vorhandene Werte weichen von Angaben in anderen Datenquellen sowie von den Ergebnissen manueller Stichproben ab.

Daher haben die SWM folgendes Vorgehen gewählt, um die beheizte Fläche zu ermitteln:

- Zunächst werden aus verschiedenen Quellen (u. a. Netzinformationssystem der SWM, OpenStreetMap) Daten erhoben, um seit 2014 errichtete Gebäude mit ihren Merkmalen zu erfassen.
- Die Grundfläche jedes Gebäudes wird mit der Anzahl seiner Stockwerke multipliziert. Dies ergibt die Gesamtfläche des Gebäudes inkl. aller Wände. Die Stockwerke werden dabei je Gebäudeteil angegeben, da Gebäudeteile unterschiedlich hoch sein können. Zur weiteren Betrachtung werden Gebäudeteile zu einem Gebäude zusammengefasst.
- Im nächsten Schritt werden nur Gebäude berücksichtigt, die einen Wärmebedarf haben. Hierzu wurden u. a. Garagen aufgrund verschiedener Merkmale identifiziert. Zudem werden Schrebergartenhäuser, Schuppen, Parkhäuser, etc. ausgeschlossen.
- Bei den verbliebenen Gebäuden wird aus deren Gesamtfläche jeweils die beheizte Fläche bestimmt, indem ein Anteil von 20 % für Wände abgezogen wird. Dieser Anteil wurde auch durch den Vergleich vorliegender Daten aus anderen Städten hergeleitet.
- Abschließend werden die gemessenen Energiebedarfe anhand der beheizten Fläche plausibilisiert. Hierzu werden verschiedenen Gebäudemerkmale herangezogen (Alter, mitversorgte Gebäude, freistehend, Form, Ausrichtung etc.). Diese Plausibilisierung erfolgt mit dem Simulationsmodell Invert/EE-Lab der TU Wien. Dabei besteht je Gebäude die Möglichkeit, die beheizte Fläche um +/- 10 % anzupassen, sodass diese Fläche besser zum gemessenen Energieverbrauch passt. Der Hintergrund für dieses Vorgehen ist, dass es z.T. nicht bekannt ist, ob beispielsweise der Dachstuhl oder Kellerräume beheizt sind. Zudem kann es unbeheizte Gebäudeteile geben, die aus den Daten nicht hervorgehen.

In Summe ergibt sich daraus für München im Status Quo eine beheizte Fläche von 103 Mio. m². Für die Vorgängerstudie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ wurde die gleiche Gebäudedatenbank des Planungsreferates als Grundlage verwendet, aber ein vereinfachtes Verfahren für die Aufbereitung angewendet. Hieraus ergab sich eine beheizte Fläche von 91 Mio. m².

Leider liegen keine qualitativ hochwertigen Daten vor, um die Daten für die gesamte Stadt zu validieren. Daher wurden im Rahmen des Projektes einzelne Daten aus dem Modell mit Daten zu realen Gebäuden verglichen. Der LHM liegen Gebäudedaten zur Wohnfläche auf Basis von Angaben in Energieberatungsberichten und der städtischen Wohnungsgesellschaften vor. Die Flächendaten im Modell München beziehen sich auf das Gesamtgebäude, während sich die Daten der LHM auf einzelne Wohneinheiten beziehen. Zur Vergleichbarkeit wurden die Flächendaten aus dem Modell München durch die Anzahl der Wohneinheiten dividiert und die hinterlegten Flächen in den Energieberatungsberichten, welche sich auf zwei Wohneinheiten beziehen, gleichermaßen auf eine Wohneinheit normiert. Das Ergebnis der Flächenvergleiche des Modells München mit den realen Daten zeigt eine gute Übereinstimmung. Die relative Abweichung der Modelldaten beträgt weniger als 2 %.

5.3 Analyse der Wärmeversorgung

Wie eingangs erläutert, dürfen u. a. aus Gründen des Datenschutzes derzeit keine gemessenen Verbräuche für die kommunale Wärmeplanung durch die LHM genutzt werden. Für die zielgerichtete Ableitung konkreter Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele ist es jedoch wichtig, möglichst genaue und somit nach Möglichkeit gebäudescharfe Daten zu verwenden. Aus diesem Grund haben die SWM das über Schnittstellen in das Modell München integrierte Gebäudesimulationsmodell Invert/EE-Lab der TU Wien eingesetzt, um auf Basis der individuellen Gebäudemerkmale wie opake Fläche, Ausrichtung, Gebäudealter, Nutzungsart, Rauminnentemperatur, beheizte Fläche, etc. einen gebäudescharfen Wärmebedarf zu errechnen, der möglichst

nahe an gemessenen Werten liegt, ohne dabei individuelle Nutzerprofile zu erstellen (Details siehe /WSEAS-01 22P/).

Bei der initialen Berechnung unter der Annahme von Standardparametern aus der Literatur inkl. einer zusätzlich unterstellten Minderbeheizung bei älteren Gebäuden und höheren Rauminnentemperaturen bei neueren Gebäuden, kam es vor allem bei älteren Gebäuden und bei neuen Gebäuden zu signifikanten Unterschieden. Die gemessenen Werte der älteren Gebäude waren deutlich geringer als die errechneten Werte, die gemessenen Werte neuer Gebäude waren deutlich höher als die errechneten Werte. Vor diesem Hintergrund wurden einige Gebäudeparameter bei den einzelnen Gebäudealtersklassen angepasst (z. B. Rauminnentemperatur, beheizte Fläche, U-Werte der Bauteile, wie z. B. die Dämmung der oberen Geschossdecke bei Altbauten). Hierdurch konnten die errechneten gebäudescharfen Verbräuche den gemessenen Verbräuchen angenähert werden. Abbildung 5-7 zeigt den Vergleich beider Werte, wobei auf der x-Achse die beheizte Fläche und auf der y-Achse die spezifische Lieferenergie abgetragen ist. Erwähnenswert ist, dass das Angleichen der errechneten Werte an die gemessenen Werte bei Gebäuden mit einer größeren beheizten Fläche, meist folglich mehr Bewohner:innen und mehr Wohneinheiten, sehr viel besser funktioniert als bei Flächen bis 100 m². Denn bei größeren Flächen mit typischerweise mehr Wohneinheiten und Personen, gleicht sich das individuelle Nutzerverhalten einzelner Personen aus.

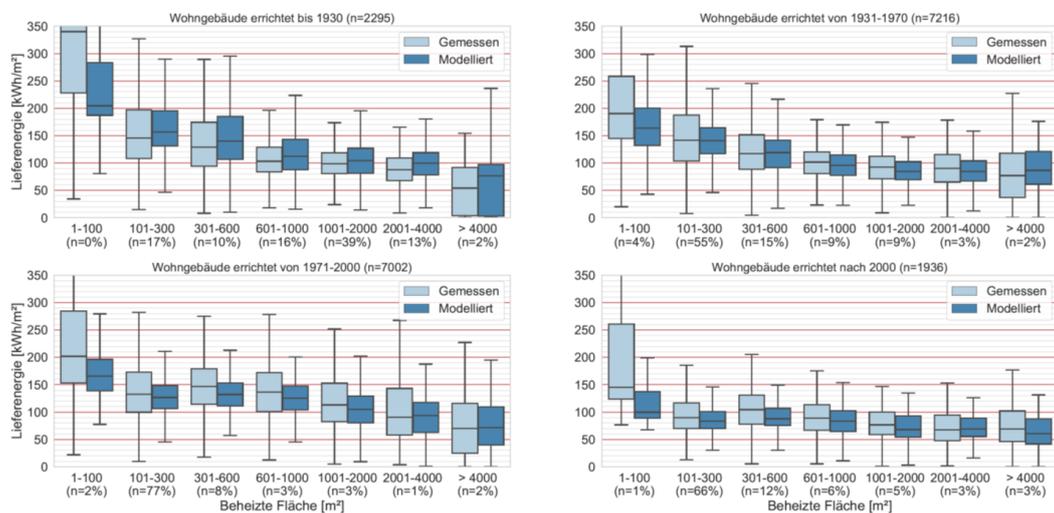


Abbildung 5-7: Vergleich von berechnetem und gemessenem Lieferenergiebedarf für Wohngebäude in verschiedenen Altersklassen mit Fernwärme und Erdgasversorgung nach beheizter Fläche (n=18.449)

Die beiden derzeit am häufigsten genutzten Energieträger in München sind Erdgas und Fernwärme. Betrachtet man die Gebäudestruktur hinsichtlich der Anzahl an Wohneinheiten für Erdgas und Fernwärme in Abbildung 5-8, so fällt auf, dass die Fernwärme häufig in Gebäuden mit einer Vielzahl an Wohneinheiten eingesetzt wird, weil dort die Wärmebedarfsdichte entsprechend hoch ist. Zu beachten ist, dass es sich bei der Abbildung um eine Analyse bzgl. der Wohneinheiten handelt – es gibt zusätzlich zahlreiche beheizte Gebäude ohne Wohnnutzung. Zudem ist die konkrete Abgrenzung sich berührender Gebäude gerade bei dicht besiedelten Strukturen nicht immer eindeutig möglich.

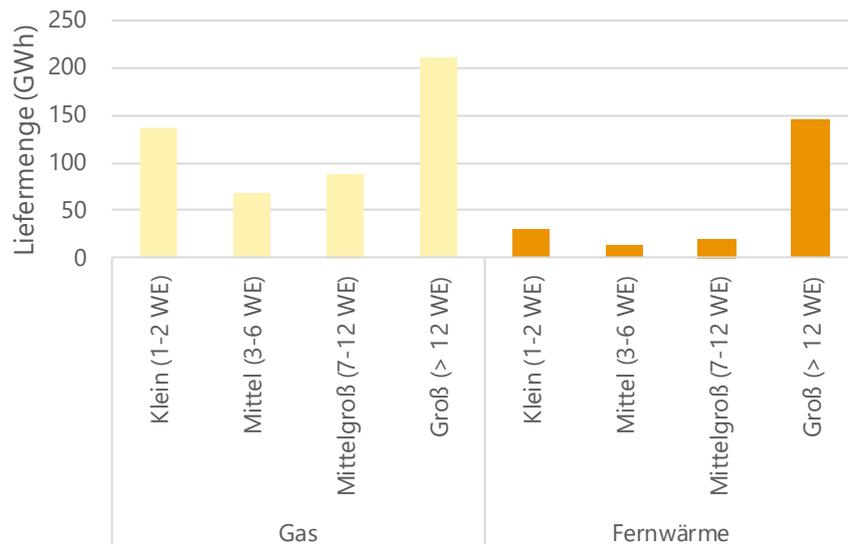


Abbildung 5-8: Aufteilung der Lieferenergie von Erdgas und Fernwärme und gruppiert nach der Anzahl an Wohneinheiten

Aufgeteilt nach den Baujahren (siehe Abbildung 5-9) zeigt sich im Vergleich der Lieferenergie für Erdgas und Fernwärme, dass noch zahlreiche ältere Gebäude mit einer tendenziell weniger guten energetischen Qualität der Gebäudehülle signifikante Mengen an Erdgas nutzen.

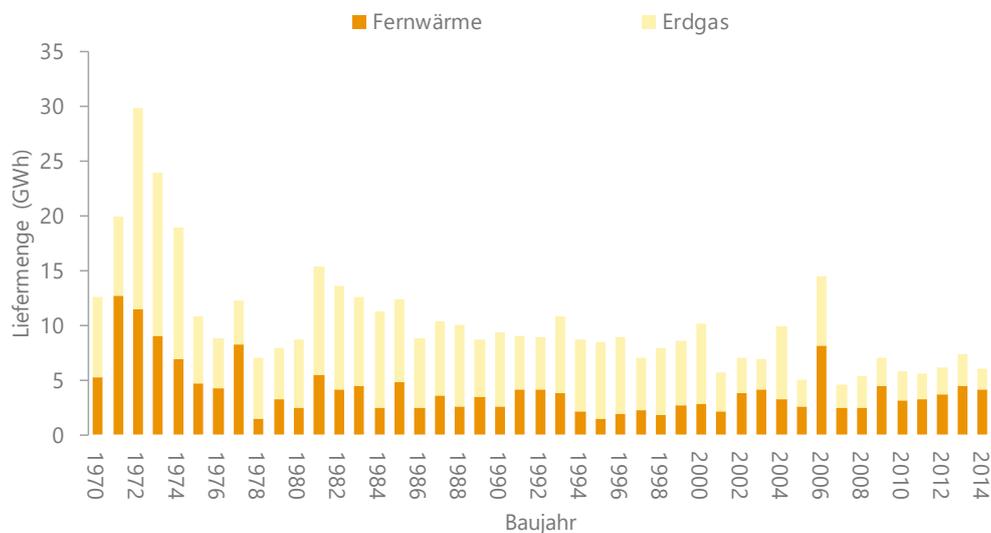


Abbildung 5-9: Aufteilung der Lieferenergie von Erdgas (gelb) und Fernwärme (orange) nach Baujahren

Das gesamte Fernwärmegebiet ist in Abbildung 5-10 mit seinem Dampfnetz und den Heizwassernetzen abgebildet. Zudem sind die Standorte der Heizkraftwerke und Geothermie-Anlagen dargestellt.

Die Analyse des Endenergiebedarfes zeigt die in München bereits vorhandene funktionsfähige Infrastruktur und Technik zur Bereitstellung der Wärme an den Verbrauchsstellen auf. Diese Auswertungen finden somit Eingang bei der Identifikation von möglichen regionalisierten Lösungen inklusive geeigneter Sanierungsmaßnahmen.

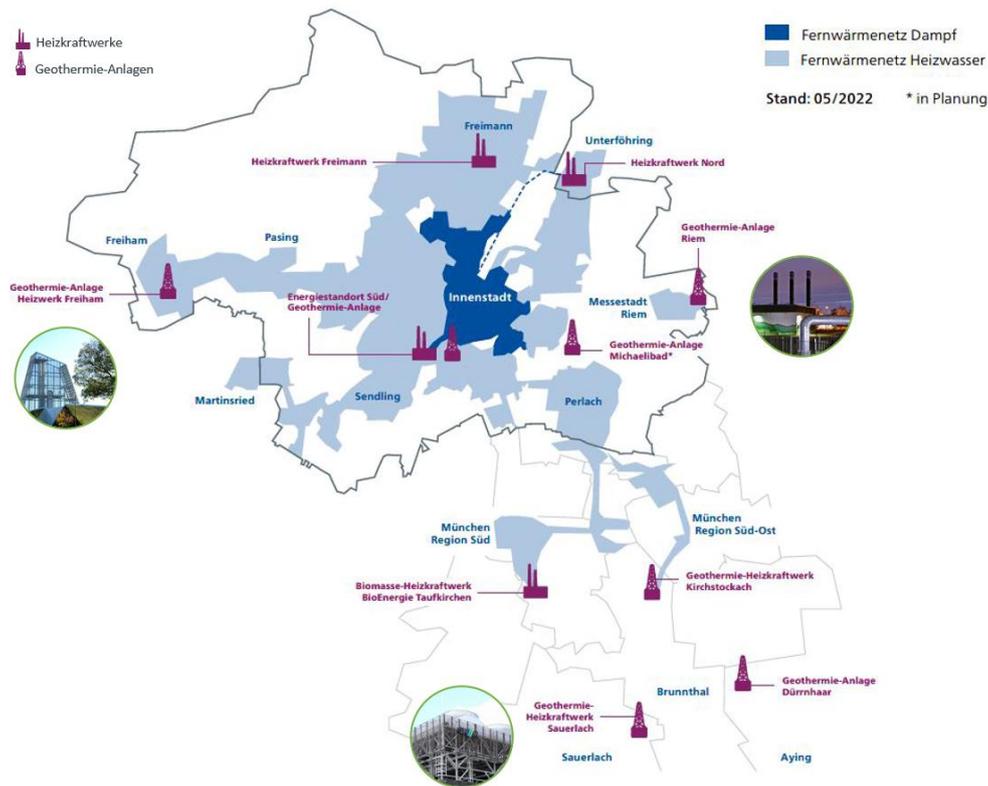


Abbildung 5-10: Dampfnetz und Heizwassernetze sowie Standorte der Heizkraftwerke und Geothermieanlagen

Abweichungen zwischen realen Daten und Daten aus dem Modell München

Aus der in Kapitel 4.1.1 und im vorangegangenen beschriebenen Verarbeitung von Grundlegenden Daten entsteht somit ein gebäudescharfes Modell mit Informationen zu technischen Parametern je Gebäude sowie zu deren Nutzwärme- und Endenergiebedarf. Es ist zu beachten, dass aufgrund der Verarbeitung und Zuordnung der Bedarfe zu den Gebäuden eine leichte Abweichung zwischen den gemessenen Daten der SWM und den Modelldaten besteht. Gemäß der Daten, die der FfE vorliegen, liegen diese Unterschiede für die Gesamtstadt für Fernwärme bei 1 %, Erdgas 2 %, Elektrospeicherheizung und Wärmepumpen 4 % und für Heizöl / Sonstige bei 7 %. Damit sind sie als wenig relevant einzustufen. Hierbei ist zu beachten, dass gemessene Daten immer das individuelle Nutzungsverhalten abbilden und somit nicht unbedingt die Standardnutzung darstellen. Weiterhin ist nicht in jedem Fall bekannt, inwiefern bei den einzelnen Nutzenden alle Gebäude(teile) mit versorgt werden. Diese individuellen Nutzungsformen sind in den abgeleiteten Werten nicht enthalten.

Dieser Unterschied ist auch teilweise gewollt, da eine direkte Nutzung der Daten der SWM durch die LHM nicht möglich ist (Anforderungen der DSGVO-Verordnung). Diese Abweichungen bestehen zum einen je Gebäude, aber auch für insgesamt betrachtete Gebiete.

5.4 Emissionsbilanz

Zur Identifikation von Bereichen mit besonderer Hebelwirkung für die Emissionsreduktion sind natürlich insbesondere die aus der Wärmeversorgung resultierenden CO₂-Emissionen von Bedeutung.

Abbildung 5-11 zeigt die Lieferenergie (für Wärmepumpen nur Strom, keine Umweltwärme) für die verschiedenen Energieträger, wobei diese zusätzlich nach den Gebäudenutzungsarten aufgeteilt sind. Wie bereits erläutert, stellen Erdgas und Fernwärme die beiden dominierenden Energieträger in München dar. Demgegenüber sind die Anteile von Strom bei Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen sehr gering. Während davon auszugehen ist,

dass der Anteil der Wärmepumpen in Zukunft stark steigt, ist bei Nachtspeicherheizungen in historischen Daten ein kontinuierlicher Rückgang zu beobachten.

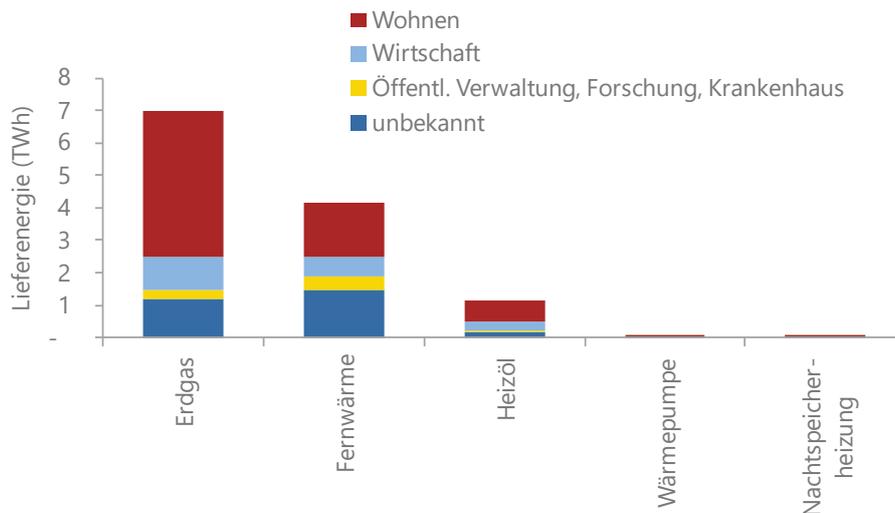


Abbildung 5-11: Lieferenergie (Brennwert) aufgeteilt nach Gebäudenutzungsart und Endenergieträger

Auf Basis der vorherigen Abbildung wurden die Lieferenergiemengen mit den jeweiligen direkten CO₂-Emissionsfaktoren gemäß /UBA-08 21/ und Umrechnungsfaktoren von Heizwert zu Brennwert aus /UBA-13 16/ bewertet (siehe Ergebnis in Abbildung 5-12). Für die Fernwärme existieren verschiedene Bewertungsmöglichkeiten. In der folgenden Abbildung sind die Werte aus /FFE-79 21/ enthalten. Diese liegen über dem offiziellen CO₂-Emissionsfaktor der SWM¹, da hier eine andere Art der Bilanzierung angesetzt wurde. Hierbei wird individuell nach dem Wärmeverbundnetz München und dem Wärmenetz München, Gebiet Messestadt Riem, unterschieden. In Summe ergeben sich für München Emissionen in Höhe von ca. 2,53 Mio. t CO₂ pro Jahr für die Wärmeversorgung.

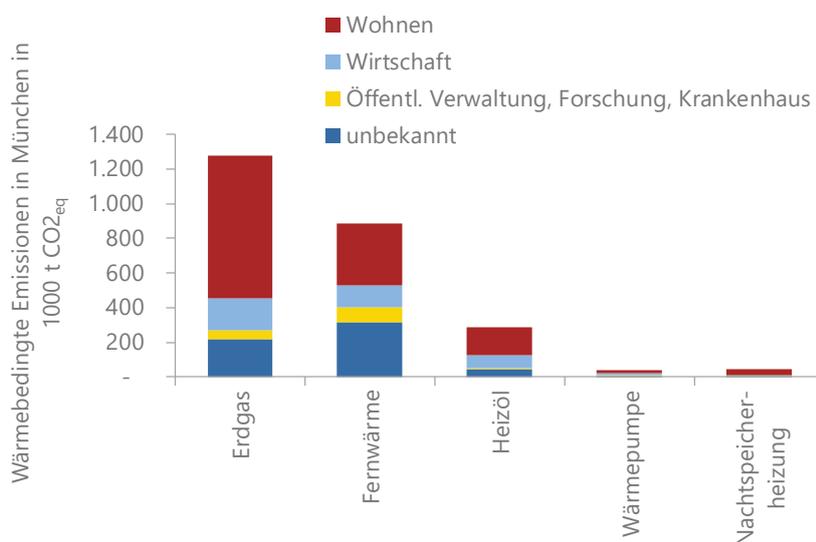


Abbildung 5-12: Emissionen der Wärmeerzeugung aufgeteilt nach Gebäudenutzungsart und Endenergieträger mit Emissionsfaktoren nach /UBA-08 21/ bzw. /FFE-79 21/

¹ <https://www.swm.de/geschaeftskunden/fernwaerme>

In Kapitel 7.2.6 erfolgt eine genauere Erläuterung und Abgrenzung möglicher zu verwendender Emissionsfaktoren für die Zukunftsszenarien. Vorab sei hier schon ergänzt, dass in der Emissionsbilanzierung für die Stadt München aktuell nicht die oben verwendeten Emissionsfaktoren angewendet werden, sondern die Emissionsfaktoren nach dem BSKO-Standard. Diese beinhalten Vorkettenemissionen und sind daher höher. Bei Anwendung der Faktoren ergibt sich das in Abbildung 5-13 dargestellte Bild und es resultieren Emissionen von in Summe 2,9 Mio. t CO₂.

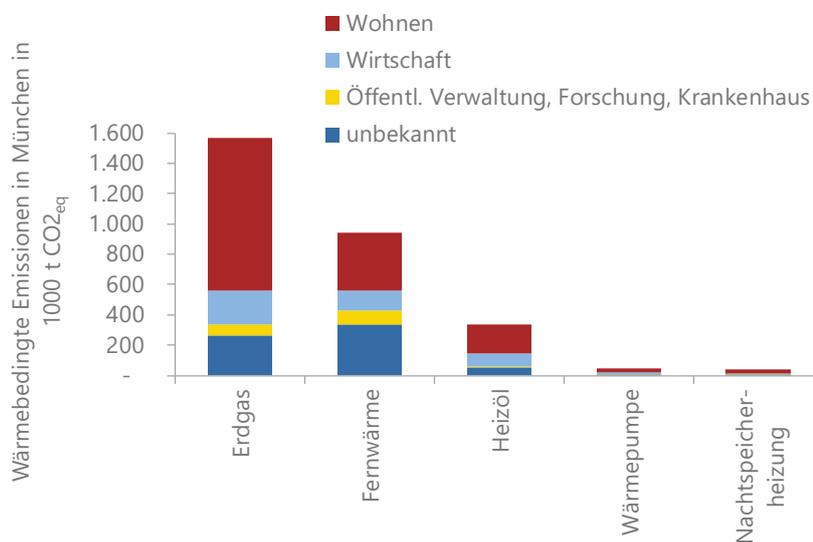


Abbildung 5-13: Emissionen der Wärmeerzeugung aufgeteilt nach Gebäudenutzungsart und Endenergieträger bei Einbindung der Emissionsfaktoren nach BSKO-Standard

6 Potenzial klimaneutraler Wärmequellen

Neben der Bedarfsanalyse ist in der kommunalen Wärmeplanung eine detaillierte und weitblickende Potenzialanalyse nötig, um räumlich aufgelöste Informationen über potenzielle Wärmequellen zu erhalten. Von besonderer Relevanz ist hierbei die lokale Verortung der Wärmequellen. Da die genaue Analyse der Wärmequellen häufig ein langwieriger Prozess ist, sollten diese Daten rollierend angepasst werden können, weshalb im Nachfolgenden besonders auf die Datenerhebung eingegangen wird.

In der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ wurden bereits Steckbriefe der verschiedenen klimaneutralen Wärmequellen erarbeitet und, wo möglich, zu dem bekannten Wissensstand als Potenzial-Bausteine aufbereitet. Größtenteils besitzen die damals genannten Daten weiterhin ihre Gültigkeit, weshalb im nachfolgenden Kapitel darauf aufgebaut wird. Ebenfalls wurden in /FFE-79 21/ bereits verschiedene Potenzialbegriffe eingeführt und erläutert, weshalb auch in dieser Studie darauf zurückgegriffen und in diese Potenzialkategorien eingeordnet wird. Dabei wird deutlich, dass beruhend auf den verschiedenen Quellen und den verwendeten Erhebungslogiken auch die Potenzialdaten in unterschiedlichen Formen vorliegen.

6.1 Definition der relevanten Potenzialbegriffe dieser Studie

In diesem Kapitel wird auf die verschiedenen Potenzialbegriffe aus der Studie /FFE-79 21/ verwiesen und Ergänzungen derer vorgenommen.

In der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ werden die verschiedenen Begrifflichkeiten für Potenziale eingeführt, voneinander abgegrenzt und die Relevanz für diese Studie beleuchtet. Daher wird an dieser Stelle auf eine erneute Definition der Potenzialformen verzichtet und auf Seite 55 – 58 in /FFE-79 21/ verwiesen. Für die kommunale Wärmeplanung der Stadt München gilt weiterhin die Zielsetzung, statische technische Potenziale der erneuerbaren Wärmequellen zu erfassen und zunächst deren Teilmenge, das jeweils im Rahmen einer gewissen Zeit erschließbare Potenzial abzuleiten, bevor durch den Abgleich der Nutzung verschiedener Potenziale das präferierte Potenzial abgeleitet werden kann. Angelehnt an die Potenzialbegriffe aus /FFE-79 21/ muss bei Potenzialerhebungen berücksichtigt werden, dass die vorhandenen Potenziale auch zum Teil bereits umgesetzt sein können. Inwiefern dies erfolgen kann, hängt von der jeweils verfügbaren Datenbasis ab.

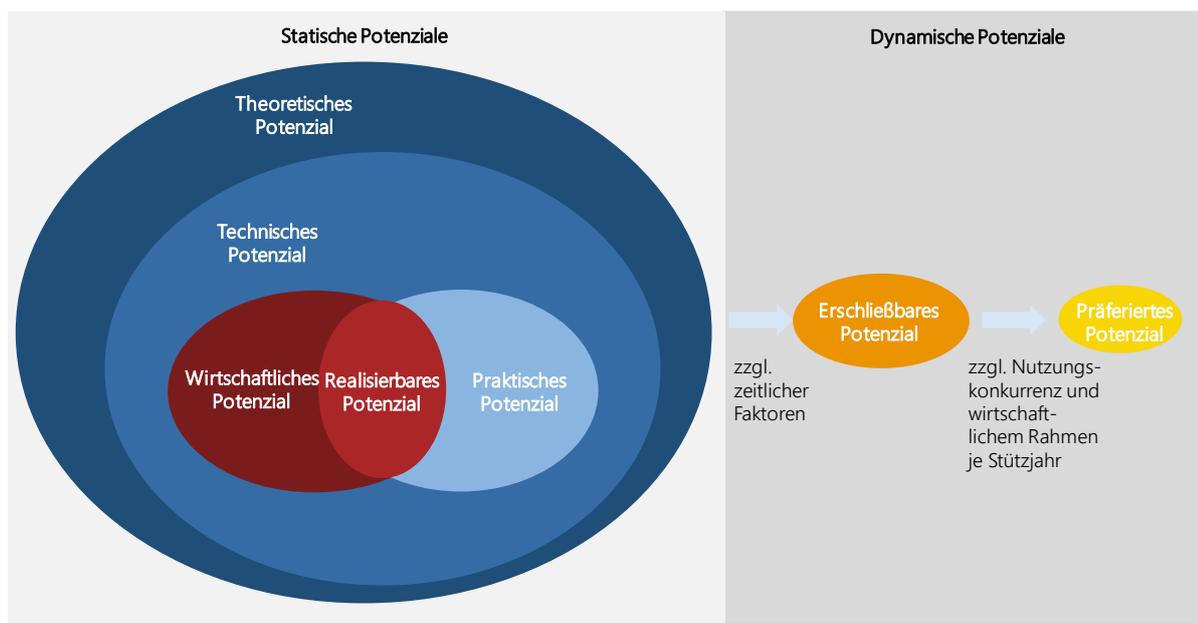


Abbildung 6-1: Visualisierung und Ergänzung der Potenzialarten aus /FFE-79 21/

Zusätzlich kann ergänzt werden, dass auch die statischen Potenziale stets in Abhängigkeit vom Betrachtungszeitpunkt stehen. So kann beispielsweise mit Eintreten einer gesetzlichen Einschränkung bzgl. der Nutzung von fossilen Wärmeerzeugungslösungen oder durch die erfolgte Marktreife von innovativen Technologien das wirtschaftliche Potenzial für klimaneutrale Potenziale sprunghaft anstiegen. Daher ist es sinnvoll, auch bei den statischen Potenzialen immer die Kopplung mit dem Faktor Zeit und den vorherrschenden Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

6.2 Umweltwärme zur direkten Nutzung - Solarthermie

Im Bereich der direkt nutzbaren erneuerbaren Wärme wird Solarthermie im Modell München berücksichtigt. Die von der LHM bei Eniano beauftragte Solaranalyse /LHM-03 22/ für München enthält Gebäudepotenziale für Solarthermie und Photovoltaik, wobei zweiteres im Rahmen dieser Studie nicht weiterverarbeitet wird. Im Projektbericht „Solarpotenzialanalyse für Gebäude in der Landeshauptstadt München“ /ENI-01 20/ wird beschrieben, wie das theoretische Potenzial jedes Gebäudes für die solare Deckung des abgeschätzten Trinkwasserbedarfs errechnet wird. Da die technische Umsetzbarkeit dieses Potenzials, insbesondere durch bauliche Restriktionen des Denkmalschutzes limitiert wird, erfolgt in /ENI-01 20/ bei der Summation der gebäudespezifischen Werte eine Unterteilung danach. Der theoretisch nutzbare Solarertrag beträgt insgesamt 713 GWh/a, wobei davon 139 GWh/a auf Bestandsgebäuden unter Denkmalschutz fallen, auf deren Dächer keine Solarthermieanlagen erbaut werden dürfen.

Über weitere Reduktionsfaktoren für Modellgenauigkeit, Gründächer und andersartig genutzte Dächer und Dachstatik / Nutzung fallen laut /ENI-01 20/ ca. 20 % des theoretischen Potenzials weg, so dass laut ihrer Definition ein realisierbares Potenzial von 459 GWh/a ausgewiesen wird. Nach der in dieser Studie verwendeten Potenzialbegriffsdefinition handelt es sich mit der aufgezeigten Reduktion um das langfristig praktische Potenzial.

6.3 Abwärme-Potenziale von Großverbrauchern

Im Rahmen der Potenzialanalyse sollte im Projekt eine genauere Erhebung der Abwärmepotenziale von Großverbrauchern, somit große Gewerbe- und Industriebetriebe, durchgeführt werden, da hierzu weder bei der LHM noch bei den SWM Daten vorliegen. Im Folgenden wird zunächst das methodische Vorgehen beschrieben, bevor die Ergebnisse dargestellt werden. Hier sei bereits erwähnt, dass es sich dabei um eine individuelle Diskussion mit den Betrieben handelt, während in Kapitel 6.4 Analysen basierend auf der Literatur dargestellt werden.

6.3.1 Methodische Vorgehensweise

Es gibt bereits frei verfügbare Portale, welche Potenziale indwäustrieller Abwärme ausgeben. Die Idee hinter dem Energieatlas Bayern ist beispielsweise, dass Unternehmen selbst ihre Abwärmepotenziale eingeben können, damit diese in Planungen zur naheliegenden Energieversorgung integriert werden können. Aktuell basieren die Daten jedoch meist auf theoretischen Werten, so dass die Genauigkeit nicht dem angestrebten Detailniveau der kommunalen Wärmeplanung für München entspricht. Im Rahmen des Projektes wurde durch das Industrie-Beratungsteam der FfE für eine individuelle Bestimmung eine Befragung von Industriebetrieben in München (insbesondere der jeweiligen Energieverantwortlichen) durchgeführt, in der die industriellen Abwärmepotenziale, differenziert nach Wärmeleistungen, Temperaturniveaus und Kontinuität, analysiert wurden.

Die Identifikation relevanter Standorte erfolgte basierend auf den im Energienutzungsplan der LHM vorliegenden Informationen über potenzielle Abwärmelieferanten im Stadtgebiet. Dies wurde ergänzt durch eine manuelle Recherche zu weiteren potenziell einträglichen Betrieben, basierend auf frei verfügbaren Informationsquellen, wie Luftbilddaufnahmen und Erfahrungen der FfE in der Energieberatung diverser Industrieunternehmen unterschiedlicher Branchen in München.

Zur Abfrage der Daten bei den identifizierten Betrieben konnte der im Sommer dieses Jahres im Rahmen eines Projektes für die Stadtwerke Leipzig von der FfE erarbeitete Fragebogen für die Erhebung der Abwärmepotenziale von Industriebetrieben als Grundlage genutzt werden. In Anlehnung daran wurde ein projektspezifischer Fragebogen erstellt und als Grundlage für die Abfrage von Potenzialdaten bei den ausgewählten Unternehmen im Münchener Stadtgebiet genutzt. Dieser Fragebogen wurde vor den Gesprächen an die Unternehmen geschickt und von diesen in der Regel zur Orientierung genutzt, jedoch nicht im Detail ausgefüllt und zurückgeschickt.

Mit den relevantesten Betrieben, welche gemäß der oben beschriebenen Methode als Unternehmen mit höheren Abwärmepotenzialen identifiziert wurden, wurde zunächst telefonisch Kontakt aufgenommen und dann per E-Mail die wichtigsten Informationen eingeholt. Hierbei ist zu beachten, dass aufgrund fehlender Rückmeldung bzw. keinem Interesse an einem Austausch möglicherweise Unternehmen mit relevanten Abwärmepotenzialen nicht berücksichtigt werden konnten. Gleichzeitig besteht theoretisch die Möglichkeit, dass einzelne Branchen zwar Abwärme zur Verfügung haben, im Rahmen der Selektion jedoch nicht weiter betrachtet wurden. Diesem Umstand wurde durch eine zusätzliche Literaturrecherche (Kapitel 6.4) entgegengewirkt. Bei Zustimmung und Interesse durch die entsprechende Ansprechperson wurde eine individuelle, zweistündige Webkonferenz zur Erhebung bzw. Validierung der Potenziale zur Abwärmebereitstellung durchgeführt. Im Rahmen des Termins wurden die Prozesse am Standort analysiert und mögliche Abwärmequellen identifiziert. Die Ergebnisse liegen in Form von Kenndaten je Abwärmequelle, wie z. B. Temperaturen und Betriebszeiten, Abwärmeleistung, Medium, Volumenstrom etc. vor, anhand derer eine Abschätzung der Potenziale abgeleitet werden konnte.

Für die Möglichkeit einer Integration der Abwärmeströme in die Fernwärme folgt eine Abstimmung mit den SWM, um die Bedingungen vor Ort (Möglichkeit der Netzeinbindung, Temperaturniveau, zeitliche Verfügbarkeit etc.) zu eruieren. Im Falle, dass für die Fernwärme relevante Potenziale ersichtlich sind, sollten zur Ermittlung des ökonomischen Potenzials die benötigten technischen Komponenten und die hiermit einhergehenden Kosten in enger Absprache mit den SWM erhoben werden.

Im Juli und August 2022 wurden knapp 20 Unternehmen mit teilweise mehreren Unternehmensstandorten in München das erste Mal angefragt, ob Interesse an der Unterstützung des Projekts besteht. Aufgrund der Urlaubszeit, aber auch durch krankheitsbedingte Ausfälle und Priorisierung anderer Projekte verlief die Kommunikation teilweise verzögert ab. Während bis zum Abschluss dieses Berichtes mehrfach nachgefragt wurde, kamen von den 20 angefragten Unternehmen insgesamt 12 Rückmeldungen.

Mit Unternehmen der folgenden Branchen fand ein Gespräch mit der entsprechenden Ansprechperson für Energie und Abwärme statt:

- zwei Unternehmen der Luft und Raumfahrttechnik
- drei Unternehmen von Fahrzeugherstellern bzw. Zulieferern mit insgesamt 5 Standorten
- ein Krankenhaus
- eine Metzgerei
- zwei Brauereien
- eine Bäckerei
- ein Unternehmen der Chip-/Halbleiterbranche
- ein Rechenzentrum

6.3.2 Ergebnisse der Potenzialanalyse und Einordnung

Auf Basis der zweistündigen Termine konnten die in der folgenden Tabelle 6-1 beschriebenen Potenziale erhoben werden. Geringe Abwärmemengen, welche diskontinuierlich und kaum prognostizierbar sind, wurden in der Analyse nicht weiter betrachtet. Auf Wunsch der interviewten Unternehmen werden die Daten anonymisiert dargestellt. Die Potenziale stellen die aktuell ungenutzten Abwärmemengen in den Unternehmen dar, durch interne Wärmerückgewinnung oder Effizienzverbesserungen könnten sich diese zukünftig verändern. Zudem sind

aktuell viele der befragten Unternehmen dabei, Abwärmekonzepte zur internen Nutzung zu erstellen und können daher zum aktuellen Stand keine exakte Aussage über für extern zur Verfügung stehende Abwärme treffen. Da teilweise erst intern die Abwärmepotenziale erhoben werden müssen und anschließend geprüft wird, welche Abwärmequellen genutzt werden sollen und welche dann noch für extern zur Verfügung stehen, konnten nicht in jedem Fall die Potenziale im Nachgang des Gesprächs quantifiziert werden.

Die Daten wurden durch die Unternehmen in unterschiedlicher Form übermittelt. Teilweise wurde die gesamte Abwärmemenge (in MWh) oder die durchschnittliche Abwärmeleistung (in kW) angegeben, die jeweils über die Vollaststunden ineinander umgerechnet werden konnten. Teilweise lagen Angaben über den Volumenstrom und die Abwärmetemperatur sowie die Art des Abwärmemediums vor. Mithilfe der spezifischen Wärmekapazität und Dichte des Mediums konnten die Abwärmeleistung und mithilfe der Betriebsstunden auch die Abwärmemenge bestimmt werden. Für die Temperaturdifferenz wurde angesetzt, dass der Abwärmestrom auf 20 °C bzw. bei geringeren Temperaturen um mindestens 5 K abgesenkt werden kann. Insgesamt konnten so für jedes Unternehmen die nutzbaren Zielgrößen durchschnittliche Abwärmeleistung, Abwärmemenge/Jahr und Abwärmetemperatur ermittelt werden.

Entgegen der Darstellung der Tabelle 6-1 wurde der Stadt und den Stadtwerken München gemäß Rücksprache mit den Unternehmen eine räumlich aufgelöste Karte der Abwärmepotenziale zugesendet. In sechs der zwölf Unternehmen konnten Abwärmepotenziale quantifiziert werden. In den übrigen Unternehmen lagen entweder keine extern verfügbaren Potenziale vor, sie konnten nicht quantifiziert werden oder waren sehr diskontinuierlich und nicht vorhersehbar vorhanden. Die Unternehmen sind in der Tabelle jeweils mit einem entsprechenden Akronym versehen. In der Tabelle sind zunächst die jeweilige Wärmequelle im Unternehmen, das Temperaturniveau der Abwärme, die mittlere Abwärmeleistung, die Abwärmemenge und deren Verfügbarkeit eingetragen. Basierend darauf wurde die Relevanz der Wärmequellen für die Einbindung in ein Nahwärmenetz abgeleitet. Das schlechteste Ranking haben hierbei nur saisonal verfügbare, geringe Wärmemengen auf niedrigem Temperaturniveau. Ein gutes Ranking erzielen die kontinuierlich verfügbaren, großen Wärmemengen bei hohem Temperaturniveau. Als Vergleichsgröße je Wärmequelle wurde weiterhin abgeleitet, wie viel Wohnfläche mit den jeweiligen Abwärmeströmen mit Wärme versorgt werden könnte, wofür die Kopplung mit einer Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3 angenommen wurde sowie ein typischer mittlerer spezifischer Wärmebedarf von Gebäuden in Höhe von 150 kWh/(m²*a). Auf die in der Tabelle bereits kurz dargestellte Einordnung zur Relevanz der einzelnen Wärmequellen für die Einbindung in Nahwärmenetzen wird im Kapitel 6.3.3 genauer eingegangen.

Vor allem bei der Kühlung für Prozesse sowie in Serverräumen und Rechenzentren fällt ganzjährig relativ konstant nutzbare Abwärme an. Diese weist zwar in der Regel geringere Temperaturen auf als für eine direkte Einspeisung in die Fernwärme notwendig wäre, kann in Kombination mit einer Wärmepumpe jedoch eine gute Grundlast für ein Nahwärmenetz darstellen.

Tabelle 6-1: Externe Abwärmepotenziale der befragten Unternehmen in München (*Annahmen: JAZ der Wärmepumpe 3, Verteilverluste 10 % und spezifischer Wärmebedarf 150 kWh/m² Jahr)

Wärmequelle	Unternehmen	Temperaturniveau in °C	Mittlere Abwärmeleistung in kW	Abwärmemenge in MWh/a	Verfügbarkeit	Relevanz für Nahwärme	Beheizbare Wohnfläche in m ² *
Abwärme Kältemaschinen	U 2	35	1.000 (Sommer)	3.100	Saisonal	Sehr gering	24.800
Abwärme Kältemaschinen	U 3	30	500 (Winter) - 1.000 (Sommer)	4.500	Saisonal	Sehr gering	36.000
Kompressionskälte (Wasser)	U 4	35	3.000 (Sommer)	12.000	Saisonal	Sehr gering	96.000
Abwasser	U 2	19	30	250	Ganzjährig konstant	gering	2.000
Abwasser	U 3	25 - 28	95	850	Ganzjährig konstant	gering	6.800
Abwärme Kältemaschine	U 1	48	75	650	Ganzjährig konstant	gering	5.200
Abwärme Rechenzentrum	U 2	25	250	2.300	Ganzjährig konstant	eher gering	18.400
Abwärme Rechenzentrum	U 6	19	390	3.400	Ganzjährig konstant	eher gering	27.200
Abwärme Stacks (Wasser)	U 5	25	1.000	8.800	Ganzjährig konstant	eher hoch	70.400
Abwärme Druckluft	U 4	40	3.000	25.000	Ganzjährig konstant	hoch	200.000
Abwärme Kaltwassernetz/ Brunnenwasser	U 4	32	5.000	40.000	Ganzjährig konstant	hoch	320.000
	U 6	20	3.800	34.000	Ganzjährig konstant	eher hoch	272.000

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus Gesprächen mit den in der Tabelle nicht enthaltenen Unternehmen beschrieben, welche teilweise nicht quantifiziert oder als nicht vorhanden eingestuft wurden:

- Einer der Automobilzulieferer betreibt bereits intern Wärmerückgewinnung, durch welche auch geringere Temperaturniveaus über ein internes Niedertemperatur-Netz verwertet werden können. Es liegen nach Aussage des Leiters des Facility Managements keine relevanten Abwärmepotenziale vor, welche nach außen abgegeben werden könnten. Auch diese Ströme mit Temperaturniveaus von 20 – 30 °C würden bereits im eigenen Niedertemperaturnetz genutzt.
- Ein Fahrzeughersteller legt zur Zeit den Fokus auf die Erstellung eines internen Wärmekonzeptes. Daher können zum aktuellen Stand keine Aussagen zu extern auskoppelbarer Wärme gegeben werden.
- Bei der Metzgerei wird bereits ein Großteil der Abwärme intern selbst genutzt, daher liegen laut Aussagen der Energieverantwortlichen keine relevanten Abwärmepotenziale für eine externe Nutzung vor.
- Eine der beiden kontaktierten Bäckereien, mit der ein Gespräch geführt wurde, hat zwar Abwärme auf höheren Temperaturniveaus (Schwaden und Abgas der Öfen) vorliegen, diese konnten im Rahmen des Projektes jedoch nicht final quantifiziert werden und liegen voraussichtlich in einem Bereich unter 100 kW. Diese treten primär zu den nächtlichen Produktionszeiten auf.
- Beide Brauereien achten laut eigenen Aussagen bereits seit Jahren auf eine effiziente interne Nutzung der Abwärme, sodass keine relevanten Potenziale für eine externe Nutzung bestehen.

Einordnung der Gespräche und Ergebnisse

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Motivation der Kontaktpersonen bei der Unterstützung für die Erstellung einer Strategie für eine klimaneutrale Wärmeversorgung hoch ist, die Umsetzung der Lieferung von Informationen jedoch aufgrund der energiepolitischen Rahmenbedingungen (vor allem in 2022, aber auch in 2023) eine geringere Priorität hat als andere Aufgaben. Während einige Unternehmen relativ zeitnah Rückmeldung gegeben haben, war dies bei anderen auch bei mehrfacher Nachfrage nicht der Fall. Auch die Bereitschaft, Informationen zu internen Prozessen zu teilen, war sehr unterschiedlich. Teilweise waren die Gespräche sehr detailliert, andere Unternehmen legten keine genaueren Daten offen. Zudem sind aktuell einige der Unternehmen dabei, interne Konzepte zur Abwärmenutzung zu erstellen bzw. entsprechende Projekte umzusetzen, sodass das final bereitstehende Potenzial noch nicht ausgegeben werden kann.

Anhand der durchgeführten Gespräche kann zusammengefasst werden, dass Abwärme vor allem auf geringen Temperaturniveaus (< 40 °C) bisher in den Unternehmen noch nicht intern genutzt und voraussichtlich auch langfristig zur Verfügung stehen wird.

Einordnung der seitdem stattgefundenen Anpassungen des Rechtsrahmens

Nach der Durchführung der Befragungen wurden zwei relevante rechtliche Anpassungen bekannt. Zum einen ist das neue Energieeffizienzgesetz /BMWK-12 23/ derzeit in Abstimmung. Im aktuellen Stand des Gesetzestextes ist festgehalten, dass Abwärme vermieden und anfallende Abwärme wiederverwendet werden muss. Dabei gilt die Einschränkung, dass dies eingehalten werden muss „[...] soweit dies möglich und zumutbar unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und betrieblicher Belange ist“.

Zum anderen werden gemäß des Entwurfs des Wärmeplanungsgesetzes Unternehmen künftig dazu verpflichtet, der verantwortlichen Stelle für die Wärmeplanung die benötigten Daten zur Potenzialabschätzung zur Verfügung zu stellen. In § 15 des Referentenentwurfes der Bundesregierung des Wärmeplanungsgesetzes /BMWSB-01 23/ ist festgehalten, dass „als Potenziale [...] technische Angebotspotenziale und technische Nachfragepotenziale sowie Potenziale zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion in Gebäuden und industriellen und gewerblichen Prozessen durch die Unternehmen darzulegen sind.“

Industrielle, gewerbliche oder sonstige Unternehmen, die Wärme in ihren Prozessen einsetzen, müssen laut Gesetzesentwurf folgende Informationen für die Wärmeplanung bereitstellen:

- liegenschaftsbezogene Informationen und Daten, und zwar mindestens
 - zum jährlichen Prozesswärmeverbrauch der letzten drei Jahre in Kilowattstunden pro Jahr
 - zu den eingesetzten Energieträgern
 - zu unvermeidbaren Abwärmemengen nach Maßgabe von § 17 Absätze 2 bis 4 des Energieeffizienzgesetzes
 - Informationen zur geplanten Transformation der Prozesswärmeversorgung und den hierzu vorgesehenen Maßnahmen

Da diese Daten in die kommunale Wärmeplanung eingebettet werden sollen, besteht in Städten mit mehr als 10 Tsd. Einwohnern auch schon ein zeitlicher Fahrplan, wann diese Daten vorliegen müssen. Hierbei ist zu beachten, dass die Kommunen die Daten der Unternehmen mindestens ein Jahr vor Abschluss der Wärmeplanung benötigen, um diese adäquat zu berücksichtigen.

Die geplanten Vorgaben in dem Wärmeplanungsgesetz in Kombination mit den verschärften Anforderungen des Energieeffizienzgesetzes werden voraussichtlich dazu führen, dass sich die Datenlage zu den unvermeidbaren Abwärmepotenzialen künftig deutlich verbessert, da Unternehmen hierüber Auskunft geben müssen. Zudem werden Unternehmen durch beide Gesetze dazu verpflichtet, sich mit Abwärmepotenzialen intensiver zu beschäftigen. Als Folge ist es wahrscheinlich, dass weitere Potenziale erkannt und quantifiziert werden. Allerdings kann es aufgrund der bisher fehlenden Analysen bei relativ wenig Zeit, um die Daten zeitgerecht in die kommunale

Wärmeplanung zu integrieren, auch dazu kommen, dass die Daten qualitativ nicht ausgereift sind und daher nicht oder nur bedingt in die Wärmeplanung einfließen können. Insgesamt ist die Entwicklung jedoch als positiv zur Ermöglichung der Hebung von Abwärmepotenzialen für die Wärmeversorgung zu bewerten.

Zuordnung der vorliegenden Daten zu Potenzialbegriffen

In der vorangehend beschriebenen Erhebungslogik für das Potenzial der industriellen Abwärmenutzung wird eine Vorauswahl durch die Unternehmen getroffen. In den Befragungen werden die aus ihrer Perspektive sinnvoll zu erschließenden Prozesse genannt und beispielsweise kleine dezentrale Abwärmequellen oder Abwärme, welche sehr diskontinuierlich auftritt, nicht aufgeführt. Ebenso wird die interne Nutzung präferiert, weshalb diese teilweise bereits von der zur Verfügung stehenden Energiemenge abgezogen wird. Somit handelt es sich hierbei um das aus Sicht der jeweiligen Unternehmen präferierte Potenzial.

6.3.3 Abgleich Abwärme-Potenziale und Fernwärme

Zunächst lässt sich aus übergeordneter Sicht sagen, dass Abwärmepotenziale mit primärem Aufkommen im Sommer für die Einbindung in die Fernwärme der SWM nicht von Bedeutung sind. Dies liegt daran, dass bei der fokussierten Erzeugungstechnologie der Fernwärme in München, namentlich der tiefen Geothermie, im Sommer künftig bereits Erzeugungsüberschüsse zu erwarten sind (Details hierzu sind in Erarbeitung im Transformationsplan der SWM). Zwar liegen bestimmte Abwärmemengen auch als ganzjährige Wärmequellen vor, diese sind von der Leistung und dem Temperaturniveau jedoch für eine Einbindung in der Fernwärme von untergeordneter Relevanz.

Zum Vergleich zu den dargestellten Abwärmepotenzialen hat die Fernwärme für das Verbundnetz München (ohne Riem), bezogen auf das vom Deutschen Wetterdienst veröffentlichte Standardwetterjahr für München (Fachbegriff: TRY für Test Reference Year), aktuell eine typische Höchstlast von ca. 1.400 MW. Bei längeren Kälteperioden als im Standardwetterjahr liegt die Spitzenlast relevant höher, da die Systeme für eine zweitägige Mitteltemperatur von -14 °C ausgelegt werden. Die Grundlast im Sommer beträgt aktuell ca. 200 MW. Somit könnte mit dem höchsten ermittelten Potenzial in Höhe von 5 MW (siehe Unternehmen 4 in Tabelle 6-1) ein Anteil von 0,36 % der typischen Höchstlast bzw. 2,5 % der Grundlast gedeckt werden, wobei zweitens künftig bereits über die Geothermie gedeckt werden soll. Mit Temperaturen zwischen 19 und 40 °C ist keine der Abwärmequellen geeignet, um direkt in das Fernwärmenetz eingebunden zu werden, weder im Winter noch im Sommer. Da mit einem steigenden Fernwärmeabsatz in München gerechnet wird, werden sich die Leistungsbedarfe erhöhen und die möglichen Anteile somit reduzieren.

6.4 Abwärme aus GHD-Betrieben

Neben der industriellen Abwärme wird im Rahmen dieser Studie das Abwärmepotenzial im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) betrachtet. Abgrenzend zu den standortspezifischen Analysen der industriellen Abwärme ist hier zu unterstreichen, dass der Fokus auf einer fundierten Abschätzung für das gesamte Abwärmepotenzial im Sektor GHD in München lag. Hierfür mussten daher vor allem die Literatur zu Erfahrungen aus anderen Städten und wissenschaftliche Analysen herangezogen werden.

Im Wärmeatlas Baden-Württemberg /IER-02 08/ sind die Prozesswärmebedarfe aus verschiedenen Branchen aufgeführt. Dabei handelt es sich um Indikatoren für mögliche Abwärmequellen, woraus jedoch nicht explizit abgeleitet werden kann, dass überschüssige Abwärme anfällt, welche durch Dritte genutzt werden kann. Für München sind im Bereich der Niedertemperatur-Wärme insbesondere die Branchen Bäckereien und Brauereien (teilweise bereits beinhaltet in Befragungen in Kapitel 6.3) relevant, da zahlreiche Betriebe daraus im Stadtgebiet vertreten sind. Dazu kommen in /IER-02 08/ für München weniger relevante Branchen wie Molkerei, Mälzerei, Futtertrocknung, Feuerfestherstellung, Ziegelherstellung, Zuckerindustrie. Diese sind nach einer Online-Recherche nicht bzw. nur vereinzelt in München vertreten. In /IER-02 08/ werden prozessspezifische Temperaturbereiche der

verschiedenen Branchen aufgezeigt, welche über den in Kapitel 6.4.2 mit /AGFW-05 20/ explizit als Abwärme Temperaturen geführten Werten liegen. Mögliche Ursache sind dabei verschiedene Datenquellen und unterschiedliche Bilanzierungsgrenzen.

Nachdem in Kapitel 6.4.1 Supermärkte näher beleuchtet werden, wird in Kapitel 6.4.2 auf weitere Betriebe des GHD-Sektors eingegangen.

6.4.1 Abwärme aus Supermärkten

Im Folgenden wird zuerst erläutert, wie in Supermärkten Abwärme entsteht. Danach wird darauf eingegangen, welche spezifischen Kennzahlen zu Abwärmepotenzialen mit Bezug auf die Nutzfläche der Supermärkte aus der Literatur abgeleitet werden konnten und abschließend, wie diese mit der Erhebung des Einzelhandels verschnitten werden, um hieraus die gesamten Potenziale für München abzuschätzen.

Entstehung von Abwärme in Supermärkten

Den größten Anteil am Stromverbrauch von Supermärkten nimmt mit 46 % die Kältetechnik ein /EHI-02 22/. Um die benötigte Kälte zur Lebensmittelkühlung bereitzustellen, entsteht in den verwendeten Kälteanlagen Wärme, welche weiter genutzt werden kann (Prozessbeschreibung siehe /DKV-01 15/). Die Kälteerzeugung kann dezentral an den jeweiligen Kühlgeräten erfolgen oder über eine zentrale Kälteanlage, welche alle Kühlgeräte über ein Kältenetz mit einem kühlenden Medium versorgt /UBA-22 22/. Zur Tiefkühlung liegen die Verdampfertemperaturen zwischen -30°C bis -40°C , wohingegen für Kühlregale -15°C bis 5°C ausreichen /ARIAS-01 05/.

Für die Nutzbarmachung der Abwärme haben zentrale Kälteanlagen den Vorteil, dass die Abwärme an einer zentralen Stelle abgegriffen werden kann. Auch bei dezentralen Kälteanlagen gibt es Modelle, welche die Abwärme nicht an die Umgebungsluft (hier: den Verkaufsraum) abgeben, sondern an einen Wasserkreislauf, aus welchem die Wärme an einem zentralen Punkt abgenommen werden kann. /UBA-19 14/

Zur Steigerung der Energieeffizienz der Supermärkte ist es im Neubau bereits Stand der Technik das energetische System gesamtheitlich auszulegen und u.a. die Abwärme der Kälteerzeugung zur Raumheizung oder Trinkwarmwasser-Bestreuung einzusetzen. Bei der Sanierung von Bestandsmärkten können in zahlreichen Beispielen ebenfalls erhebliche Energieeinsparungen nachgewiesen werden. /UBA-22 22/

Da das verwendete Kältemittel in den Kälteanlagen einen Effekt auf die Nutzbarkeit der Abwärme hat, sind auch folgende Informationen in den Analysen relevant. Im Jahr 2017 waren bei Bestandsanlagen fluorierte Kältemittel am meisten verbreitet, obwohl die technischen Lösungen für halogenfreie Kältemittel, somit klimafreundlichere Kältemittel, wie Kohlenwasserstoffe oder CO_2 ebenfalls am Markt verfügbar sind /UBA-22 22/. In der Discounter-Kette Aldi Süd wird beispielsweise das Kältemittel CO_2 flächendeckend ausgerollt, was neben den weniger negativen Umweltauswirkungen auch zu Energieersparnissen führt /UBA-24 21/.

Ableitung der flächenspezifischen Abwärmepotenziale

Hier wird zunächst aus den thermodynamischen Bedingungen das Abwärmepotenzial von Kühlgeräten abgeleitet und danach mit den Ergebnissen umgesetzter Projekte verglichen.

Das theoretische Abwärmepotenzial der Kälteerzeugung beruht auf dem Hintergrund, dass die Summe der bereitgestellten Kälte der Kühlgeräte (thermodynamisch korrekt handelt es sich um entzogene Wärme) und des eingesetzten Stroms als Abwärme anfallen /DKV-01 15/. Der jährliche Strombedarf W_{el} der Kühlung kann je Markt über dessen Nutzfläche A und den typischen spezifischen jährlichen Strombedarf $p = 96,7 \text{ kWh}_{el}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ /KTH-03 18/ abgeschätzt werden.

$$W_{el} = p \cdot A \quad (6-1)$$

Über die typische Effizienz der Kühlgeräte, dem Energy Efficiency Ratio mit $EER = 3 \text{ kWh}_{th}/\text{kWh}_{el}$ /KTH-03 18/, lässt sich die verfügbare Abwärme q errechnen.

$$q = W_{el} \cdot EER = 96,7 \frac{\text{kWh}_{el}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot 3 \frac{\text{kWh}_{th}}{\text{kWh}_{el}} = 290,1 \frac{\text{kWh}_{th}}{\text{m}^2\text{a}} \quad (6-2)$$

Hierbei handelt es sich um das theoretisch anfallende Potenzial, da technische Restriktionen der Erschließung der Abwärme nicht berücksichtigt sind.

Viele der bereits realisierten Beispielprojekte der Abwärmenutzung aus Supermärkten liegen in Dänemark und der Schweiz. Dabei hat beispielsweise das Projekt „Super Supermarkets“ aus Dänemark zum Ziel, die Wärmerückgewinnung für den Eigenverbrauch und die Energieeffizienz der Märkte zu optimieren /DTI-01 19/. Die Ergebnisse der gefundenen und in ausreichender Qualität dokumentierten Ergebnisse sind in Tabelle 6-2 festgehalten. Hieraus ergibt sich ein spezifisches Abwärmepotenzial von 26 bis 161 $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Dabei handelt es sich um das technische Potenzial, welches unter dem theoretischen Potenzial liegt. Da die umgesetzten Konzepte ihre Funktionalität bewiesen haben und technisch bedingte Verluste im Rahmen der Abwärmenutzung beinhalten, sind diese Werte als realistischer als die theoretisch hergeleiteten anzusehen.

Tabelle 6-2: Kennwerte von exemplarischen Supermärkten mit Abwärmenutzung

Supermarkt und Standort	Kältemittel	Abschätzung spezifisches Abwärmepotenzial in $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	Fläche in m^2	Quelle
COOP Superbrugsen, Kerteminde, Dänemark	CO_2	47	3.500	/EURA-01 20/
SuperBrugsen Høruphav, Dänemark	CO_2	161	1.000	/REU-01 17/
MENY Supermarket, Frederica, Dänemark	CO_2	29	1.900	/ATMO-01 22/
Migros, Wiedikon, Schweiz	CO_2	26	2.800	/MIG-01 11/
Migros, Rüslikon, Schweiz	R134a / CO_2	34	2.000	/MIG-01 11/

Insgesamt ergibt sich aus den beiden zuvor genannten Methoden (Berechnung und Abgleich reale Projekte) eine Spannbreite von 26 bis 290 $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$, wobei der theoretische Wert das Potenzial sicher überschätzt und die geringen Potenziale der exemplarischen neuen Supermärkte das Potenzial wohl unterschätzen würden. Somit wird im Folgenden der Wert von 161 $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ als im Mittel passender Wert angenommen.

Vor der Nutzung der Wärme bedarf es häufig einer Temperaturanhebung durch eine Wärmepumpe. Durch den zusätzlichen Stromeinsatz erhöht sich die mittlere nutzbare Wärmemenge bei einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4 wie in Formel (6-3) dargestellt auf rund 215 $\text{kWh}_{th}/\text{m}^2\text{a}$.

$$q_{WP} = q + \frac{q}{(JAZ - 1)} = 161 \frac{\text{kWh}_{th}}{\text{m}^2\text{a}} + \frac{161 \frac{\text{kWh}_{th}}{\text{m}^2\text{a}}}{4 - 1} = 215 \frac{\text{kWh}_{th}}{\text{m}^2\text{a}} \quad (6-3)$$

Relevanz der unterjährigen Schwankungen

Die monatliche Verteilung der Abwärme eines exemplarischen Supermarktes zeigt eine leichte Abhängigkeit von der Außentemperatur. In den wärmeren Sommermonaten ist der Anteil etwas höher als in den kälteren Wintermonaten. /KTH-03 18/

In Supermärkten kann das Abwärmepotenzial vor allem im Winter prioritär genutzt werden, da hier der größerer Heizwärmebedarf besteht. Somit entstehen insbesondere im Sommer relevante Überschüsse, welche an Externe abgegeben werden können. /ATMO-01 22/

Hochrechnung und Fazit zur Nutzung der Abwärmepotenziale auf München

In der Erhebung Einzelhandel im Jahr 2012 wurde eine Fläche von 223.800 m² für Supermärkte und Discounter erhoben /LHM-01 12/. Multipliziert mit den zuvor ermittelten spezifischen Abwärmepotenzialen ergibt sich ein gesamtes Abwärmepotenzial von 36 GWh/a.

Dieses Potenzial ließe sich durch den zusätzlichen Einsatz von Wärmepumpen bei einer angenommenen JAZ von 4 auf bis zu 48 GWh/a als technisches Potenzial erhöhen. Mit der Annahme, dass ca. die Hälfte der Abwärme zur Verfügung steht, ergibt sich ein praktisches Potenzial von 18 GWh/a ohne bzw. von 24 GWh/a mit Wärmepumpe.

Fazit zur Nutzung der Abwärmepotenziale in München

Da die Abschätzung des Potenzials mit großen Unsicherheiten verbunden ist, empfiehlt es sich, bei konkreten Projekten das Potenzial individuell je Supermarkt zu überprüfen. Anstehende Umbaumaßnahmen an der Kälteerzeugung, wie die Umstellung auf CO₂-Kältemittel, können ein guter Zeitpunkt für diese Prüfung sein. Empfohlen wird dabei analog zum Projekt „Super Supermarkets“ aus Dänemark /DTI-01 19/ prioritär die Eigenbedarfsdeckung in den Supermärkten. Dies ist energieeffizienter, da in der direkten Nutzung vor Ort geringere Übertragungs- und Verteilverluste anfallen, als bei der Einspeisung in ein Wärmenetz. Hier könnte ein Sonderfall sein, dass der Supermarkt sich selbst über andere Wärmequellen als seine Abwärme versorgen kann, in der Nähe gelegene Gebäude jedoch kein Potenzial zur Verfügung haben. Dann könnte aus systemischer Sicht die Versorgung der externen Gebäude der eigenen Versorgung vorzuziehen sein, allerdings müssten eventuelle Mehrkosten für den Supermarkt kompensiert werden.

Dass die Eigenbedarfsdeckung in München zumindest teilweise erfolgt oder dessen Relevanz erkannt wurde, bestätigt die Angabe einer großen Supermarktkette, die bereits an einigen Standorten in München ihre komplette Abwärme zum Heizen im Winter verwendet, sodass keine zusätzliche Abwärme zur externen Abgabe zur Verfügung steht. Zwar sind im Sommer Überschüsse vorhanden, aber aus bereits genannten Gründen für andere Wärmeabnehmer wenig interessant. Eine entsprechende Abfrage bei weiteren Ketten durch die Klimaschutzmanager:innen der LHM könnte helfen, hierzu ein kompletteres Bild zu gewinnen.

Insgesamt lässt sich somit festhalten, dass durch das anfallende Temperaturniveau, die verfügbaren Wärmemengen und die Saisonalität der externen Verfügbarkeit der Abwärme, die Abwärme aus Supermärkten wenig relevant ist für eine Einspeisung in die Fernwärme. Mit den hier getätigten Abschätzungen steht ein praktisches Potenzial von 18 GWh/a (ohne Wärmepumpen) einem geplanten Fernwärmebedarf von über 5 TWh/a gegenüber, sodass 0,36 % des Fernwärmebedarfes gedeckt werden könnten. Allerdings geschieht dies zudem zu Zeiten, in denen bereits mit einem Überschuss an Erzeugung zu rechnen ist.

Nichtsdestotrotz kann die Abwärme für die lokale Versorgung von benachbarten Gebäuden über ein lokales Nahwärmenetz attraktiv sein. Dies hängt vor allem von den anderen in das Nahwärmenetz einspeisenden Wärmequellen ab.

6.4.2 Abwärme aus weiteren GHD-Betrieben

In Tabelle 6-3 sind basierend auf der Übersicht des AGFW /AGFW-05 20/ und Ergänzungen aus weiteren Quellen verschiedene Branchen des Dienstleistungssektors mit Abwärmepotenzial aufgeführt. Es werden das Temperaturniveau und typische Leistungsbereiche genannt und die Kontinuität und Saisonalität beschrieben. Aus dieser Zusammenstellung werden Krankenhäuser, Brauereien, Großbäckereien und Rechenzentren in Kapitel 6.3 näher beleuchtet. Bei Kläranlagen fällt gereinigtes und ungereinigtes Abwasser an, wozu in Kapitel 6.9 eine Einordnung für München gegeben wird.

In der „European Waste Heat Map“ /REU-01 22/ sind als Abwärmequellen für München insbesondere Supermärkte (siehe Kapitel 6.4.1), Brauereien, U-Bahn-Stationen und einzelne weitere Unternehmensstandorte eingetragen.

In der Literatur wurden im Rahmen dieser Recherche keine allgemeingültigen Kennzahlen zur Quantifizierung von GHD-Abwärmepotenzialen gefunden. Aus der knappen Anzahl von Beispielen ist ersichtlich, dass kleinere GHD-Sektoren, wie Bäckereien und Supermärkte, die Abwärme prioritär selbst nutzen können. Bei Wäschereien wird die Abwärme häufig zur Prozessoptimierung (z. B. durch Vorerwärmung des Waschwassers) genutzt /DTV-01 16/. Durch niedrigere Leistungen und Temperaturen fällt Abwärme aus dem Dienstleistungssektor größtenteils nicht in vergleichbarer Qualität zu industrieller Abwärme an /AGFW-05 20/.

Daher muss projektspezifisch, beispielsweise im Rahmen eines Quartierskonzeptes, untersucht werden, welche potenziellen GHD-Betriebe in räumlicher Nähe verortet sind und wie diese eingebunden werden können.

Tabelle 6-3: Nutzbare Abwärmequellen im Dienstleistungssektor /AGFW-05 20/¹, /BBV-01 23/², /HMGC-01 14/³ /VIS-01 23/⁴ /AWG-01 15/⁵ /HEISE-01 22/⁶ /SMV-01 23/⁷ /DCM-01 23/⁸ /PMB-01 23/⁹ /SCCT-01 23/¹⁰ /SMV-02 23/¹¹ /SMV-02 23/¹² /LHM-01 23/¹³ /SMV-03 23/¹⁴

Branche ¹	Medium Abwärme ¹	Temperaturen Abwärme-medium ¹	Typischer Leistungsbereich ¹	Zeitliche Dynamik und Saisonalität ¹	Realbeispiele	Anzahl Betriebe
Wäschereien	Abwasser	20 - 60 °C	< 100 kW	Bei 1-Schichtbetrieb, ganzjährig	Nutzung der Abwärme aus Wäscherei zum Heizen des Rathaus ³	88 ⁷
	Abluft	20 - 40 °C				
Rechenzentren (RZ)	Kühlwasser	20 - 60 °C	1 MW – 10 MW	Ganzjährig und permanent, höheres Potenzial im Sommer	Nutzung von 600 MWh/a Abwärme im Hotel aus Rechenzentrum ⁶	16 ⁸
Schwimbäder (Hallenbad)	Abwasser	15 - 20 °C	100 – 500 kW	Höheres Potenzial im Winter, im Sommer oft Revisionszeiten, Öffnungszeiten		10 ⁹ öffentliche Bäder
	Fortluft	10 – 25 °C				
Großküchen	Abwasser	20 – 30 °C	< 100 kW	Unterschiedlich nach Anwendungsfall, meist nicht durchgehend	Nutzung der Abwärme aus Mensa-Küche zum Heizen der Kantine ⁵	mind. 50 ¹⁰ ggf. weitere Betriebliche Großküchen
Einzelhandel (Kaufhäuser)	Fortluft (ganzjährig)	5 – 30 °C	100 – 500 kW	Öffnungszeiten Mo-Sa, sommerlastiges Angebot	Obstkühlhaus verwendet Abwärme zum Heizen von Büro-, Hallen- und Wohnräume ²	36 ¹¹
	Kühlwasser (Sommer)	30 - 40 °C				
Kühlhäuser	Kühlwasser	30 – 40 °C	100 kW – 10 MW	Sommerlastig, bei Tiefkühlung auch im Winter		75 in Bayern ⁴
Krankenhäuser	Fortluft (ganzjährig)	5 – 30 °C	100 kW – 1 MW	Ganzjährig	Abluft Krankenhaus (20 °C) über Niedertemperatur-Nahwärmenetz für ein benachbartes Wohnquartier ¹	51 ¹²
	Kühlwasser (Sommer)	30 – 40 °C		während Kühlperiode		
	Abwasser	10 – 20 °C		Ganzjährig		
Kläranlagen	Faulgasverbrennung (Restwärme)	~ 100 °C	100 – 500 kW	Nur Sommer, im Winter Eigenbedarf	Wasserablauf einer Kläranlage (15 °C) für eine Hochtemperatur-Wärmepumpe ¹	2 ¹³
	Auslaufwasser	8 – 20 °C	500 kW – 2 MW	Ganzjährig mit saisonalen Schwankungen		
Bäckereien	Abluft	45 °C ³	5 - 40 kW ³	Ganzjährig		645 ¹⁴

6.4.3 Fazit der Analysen zur Abwärme aus GHD-Betrieben

Insgesamt lässt sich bereits vorab festhalten, dass die Analysen der Literatur teilweise nicht ganz nachvollziehbar sind und sich teilweise widersprechen. Somit sind die Abschätzungen als Näherungswerte zu sehen. Die realen Potenziale müssen immer in individuellen Diskussionen mit Betrieben bestimmt werden. Basierend auf den Analysen kann die Einschätzung gegeben werden, dass die Abwärmepotenziale aus GHD nach aktuellem Wissen keine hohe Relevanz für die klimaneutrale Wärmeversorgung für München als gesamte Stadt haben werden. Dies kann jedoch in einzelnen Quartieren, in denen nahe gelegene Abwärmequellen zur Verfügung stehen, anders sein, sodass bei der Entwicklung dieser Konzepte vor allem nah gelegene GHD-Betriebe aus den Branchen Brauerei und Bäckerei mit analysiert werden sollten.

6.5 Umweltwärme für Wärmepumpen

Im Folgenden wird zunächst dargestellt auf welcher Basis die Potenzialdaten für die Luft-Wärmepumpen erstellt wurden (Kapitel 6.5.1). Da für die Entzugssysteme der oberflächennahen Geothermie, detaillierte Untersuchungen durch den Lehrstuhl für Hydrogeologie der TUM erfolgten, werden diese Potenzialdaten separat in Kapitel 6.5.2 beschrieben.

6.5.1 Luft-Wärmepumpe

Zur Ermittlung der Potenziale von Luft-Wärmepumpen in München wurden die Ergebnisse aus der Wärmepumpen-Ampel der FfE (vgl. Kapitel 4.1.3) weiterentwickelt. Hier erfolgt eine genauere Beschreibung, wie dies erfolgte.

Erweiterung der Potenziale von Luft-Wärmepumpen aus der FfE-Wärmepumpen-Ampel durch die SWM

Da basierend auf der angewendeten Methodik und Datenbasis der Wärmepumpen-Ampel nicht jedes Gebäude auf seine Eignung bzw. Nicht-Eignung für eine Luft-Wärmepumpe untersucht werden konnte, bestanden Lücken im Datensatz – auch bei den Luft-Wärmepumpen, auf die Lösung hierzu wird nachfolgend eingegangen. Es wurde durch die SWM ein Machine Learning Algorithmus implementiert, welcher anhand der Wärmepumpen-Ampel trainiert wurde und über die erlernten Muster weitere Gebäude identifiziert, bei welchen potenziell ebenfalls eine Luft-Wärmepumpe möglich bzw. eher nicht möglich ist. Durch dieses Vorgehen mittels Machine Learning kann nicht ausgeschlossen werden, dass vereinzelte fehlerhafte Angaben für Gebäude ausgegeben werden. Daher werden für die kommunale Wärmeplanung Aussagen zur voraussichtlichen Eignung oder Nicht-Eignung von Luft-Wärmepumpen auf der Ebene von Baublöcken aggregiert. Diese Baublöcke werden im Rahmen der weiteren Arbeit mit den Potenzialdaten und den daraus generierten Karten berücksichtigt. Da die Aussagen zur Eignung von Luft-Wärmepumpen einer gewissen Unschärfe unterliegen, ist im Einzelfall eine konkrete Betrachtung der Gebäude vor Ort zu empfehlen, um die Einsatzmöglichkeiten von Luft-Wärmepumpen exakt zu bestimmen. Derzeit arbeiten die SWM an einem Ansatz ohne Machine Learning, bei dem die enthaltene Methode der Wärmepumpen-Ampel für Luft-Wärmepumpen direkt auf die Daten aus dem Modell München (für alle Gebäude in München) angewendet wird. Dies wird die Genauigkeit der Aussagen erhöhen, da dann konkrete Schallemissionen und mögliche Aufstellstandorte individuell berücksichtigt werden können. Die Umsetzung ist jedoch verhältnismäßig aufwändig und erfolgt daher in einem separaten Projekt. Ergebnisse hierzu werden voraussichtlich Anfang 2024 vorliegen und dann in das Modell München integriert, sodass die LHM auch hierauf Zugriff erhält.

Übergeordnete Ergebnisse

In der Analyse zeigt sich, dass das größte Potenzial zur Nutzung von Wärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern auftritt, gefolgt von den kleineren Mehrfamilienhäusern mit 3 - 6 Wohneinheiten. In Doppel- und Reihenhäusern führt der geringe Abstand zu den Nachbargebäuden dazu, dass sich das Potenzial für Luft-Wärmepumpen reduziert. Zusätzlich verfügen diese Gebäudetypen meist über kleine Grundstücksflächen, was das Potenzial der Erdwärme-Sonden-Wärmepumpen einschränkt. Da nur ein geringer Anteil der Gebäude für Solarwärme in Frage kommt, werden diese gebäudescharfen Potenziale nicht im Detail im Wärmeplanungstool berücksichtigt. Nichtsdestotrotz stellt Solarwärme eine mögliche Wärmequelle für Wärmepumpen dar, welche bei der konkreten Auslegung der Anlagen u. a. in Kombination mit weiteren Quellen untersucht werden sollte.

Große Mehrfamilienhäuser sind gekennzeichnet durch einen hohen Wärmebedarf bei geringem freien Platz und haben daher im Status quo der jeweiligen energetischen Qualität ein niedriges Potenzial. Insgesamt ist Luftwärme durch den geringen Platzbedarf die deutlich verfügbare Wärmequelle.

Abgleich mit der veröffentlichten Ergebnissen der FfE

Auf der Webpage der Wärmepumpen-Ampel sind Potenzialdaten verfügbar. Diese können aus verschiedenen Gründen von jenen der SWM abweichen. Zum einen muss berücksichtigt werden, dass nicht für alle Wohngebäude in München anhand der zugrunde gelegten öffentlich verfügbaren Daten in der Wärmepumpen-Ampel eine Potenzialüberprüfung möglich ist. Weiterhin erfolgt in der verallgemeinerten Wärmepumpen-Ampel nur eine Verschneidung des aktuellen Wärmebedarfes mit den Potenzialen. Wenn Gebäude in der Realität und auch in den Simulationen im Projekt saniert werden, so reichen die auf dem Grundstück vorhandenen Potenziale zur Nutzung von Wärmepumpen ggf. doch aus, um den Bedarf zu decken. Dies ist in den Analysen der Wärmepumpen-Ampel bisher nicht enthalten.

6.5.2 Grundwasser-Wärmepumpe

Die Integration der thermischen Grundwassernutzung in die kommunale Wärmeplanung und die Kopplung des Potenzials mit dem Modell München wird im Schlussbericht des Lehrstuhls für Hydrogeologie der TU München (/TUM-03 22/) detailliert beschrieben. Der Bericht widmet sich der Optimierung von technisch nutzbaren Potenzialen der thermischen Grundwassernutzung mit Berücksichtigung von Synergieeffekten zwischen Wärme- und Kältebelastungen mit Hilfe eines dynamischen Abgleichs von Verbrauch und Energiequelle. Basierend darauf werden räumlich aufgelöste Informationen auf dezentraler, quartiersbezogener und stadtweiter Ebene für eine effizientere Wärme- bzw. Kälteversorgung dargelegt. Abschließend werden quartiersbezogene Strategien zur effizienten Grundwassernutzung unter Berücksichtigung von dynamischen Aspekten ausgearbeitet. Im Folgenden werden die für diese Studie relevantesten Ergebnisse des Berichtes verwendet, die detailliert /TUM-03 22/ entnommen werden können.

München liegt auf einem produktiven quartären Grundwasserleiter, der sehr gute Voraussetzungen für die Nutzung des oberflächennahen Grundwassers zum Heizen und Kühlen bietet. Ein relevanter Faktor für den Umfang der Nutzbarkeit von Grundwasser als Wärmequelle ist die wassergesättigte Mächtigkeit des Grundwasserkörpers. Generell lässt sich durch die in Abbildung 6-2 visualisierte Mächtigkeit des ersten Grundwasserleiters feststellen, dass in weiten Teilen der Stadt die wassergesättigte Schicht mehr als 5 m mächtig ist, wodurch sehr produktive Brunnen betrieben werden können. Zusätzlich ist das oberflächennahe Grundwasser stark durch den unterirdischen Wärmeinseleffekt geprägt, der sich primär auf den anthropogenen Einfluss der Flächenversiegelung zurückführen lässt /TUM-03 22/. Durch die erhöhten Grundwassertemperaturen können sich im Stadtgebiet somit zusätzliche Effizienzsteigerungen bei Grundwasserwärmepumpen ergeben.

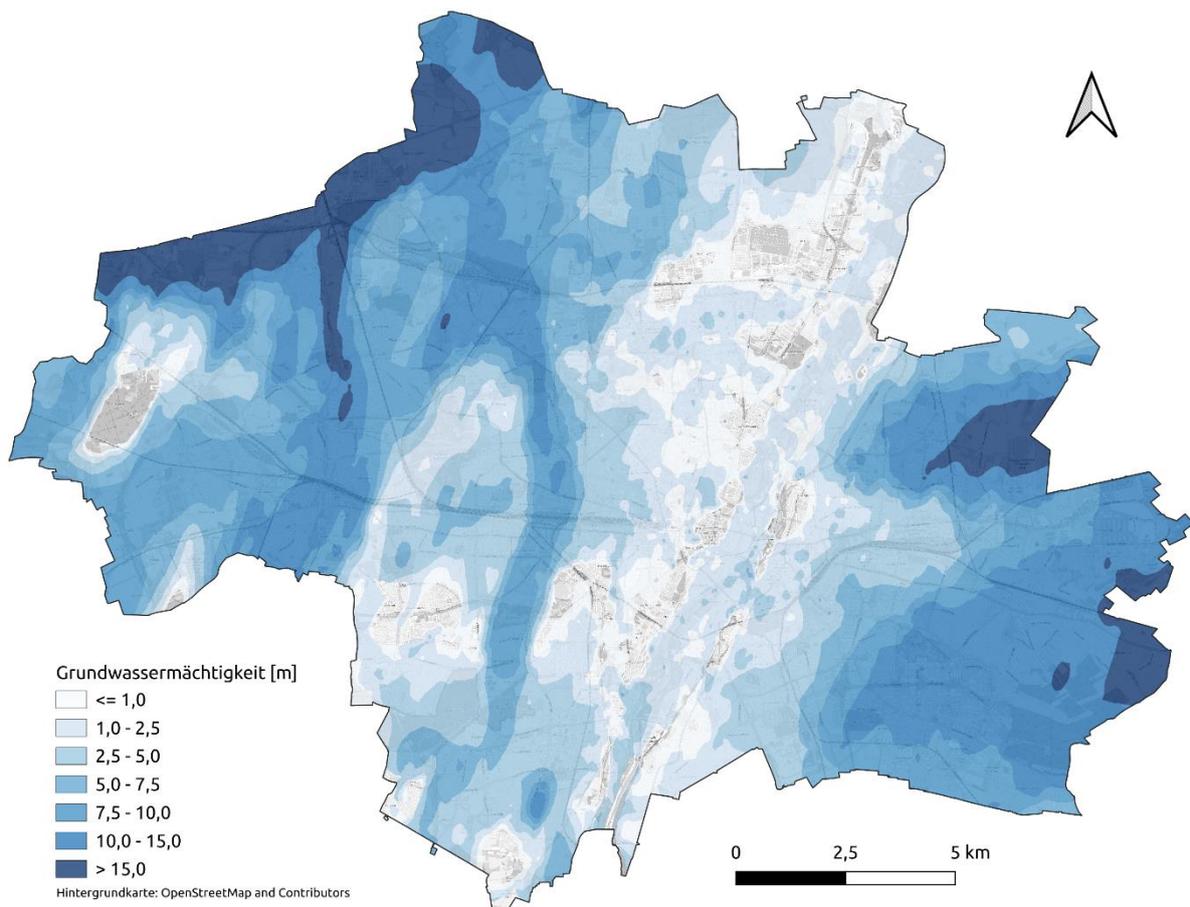


Abbildung 6-2: Mächtigkeit des quartären Grundwassers im April 2014 /TUM-01 23/.

Mit Hilfe der technischen Potentialevaluierung für Flurstücke und Baublöcke können, wie in Abbildung 6-3 dargestellt, die Baublock Potenziale der thermischen Entzugsleistung von Brunnenpaaren pro Baublock bei einer 5 K-Temperaturspreizung zwischen Förder- und Schluckbrunnen dargestellt werden. Die Potenziale werden durch die Verwendung von der Grundwassermächtigkeit, -fließrichtung und -gefälle, der möglichen Förder- und Einletrate für ein Brunnenpaar sowie der hydraulischen Durchlässigkeit des quartären Grundwasserleiters berechnet. Für die Positionierung der Brunnen wird die im Baublock zur Verfügung stehende Freifläche kartiert mit drei Metern Mindestabstand zu Gebäuden, wobei auch Verkehrsflächen mit einbezogen werden. /TUM-03 22/

Es ist deutlich zu erkennen, dass das Potenzial im Bereich des Stadtzentrums und in Bereichen westlich der Isar weniger stark ausgeprägt ist. Dies hat vielfältige Ursachen, u. a.:

- Im Stadtgebiet schwankt die Grundwassermächtigkeit (Dicke der wassergefüllten Kiese) aufgrund der hydrogeologischen Begebenheiten räumlich. Geringe Mächtigkeiten sind hauptsächlich der Grund für die großräumigen Zonen mit niedrigen Entzugsleistungen.
- Zu dichte Bebauung, so dass keine Brunnen gebohrt werden können bzw. zu geringe Abstände zwischen den Brunnenpaaren, wodurch bei zu großen Entnahmemengen ein hydraulischer Kurzschluss zwischen Förder- und Schluckbrunnen auftreten würde.
- Begrenzungen bei der technisch möglichen Wasserentnahmemenge, da der Grundwasserspiegel durch den Förderbrunnen sonst zu stark abgesenkt bzw. beim Schluckbrunnen zu stark angehoben wird, oder das Wasser zwischen Schluckbrunnen und Förderbrunnen zirkuliert wird und so ein thermischer Kurzschluss entsteht.

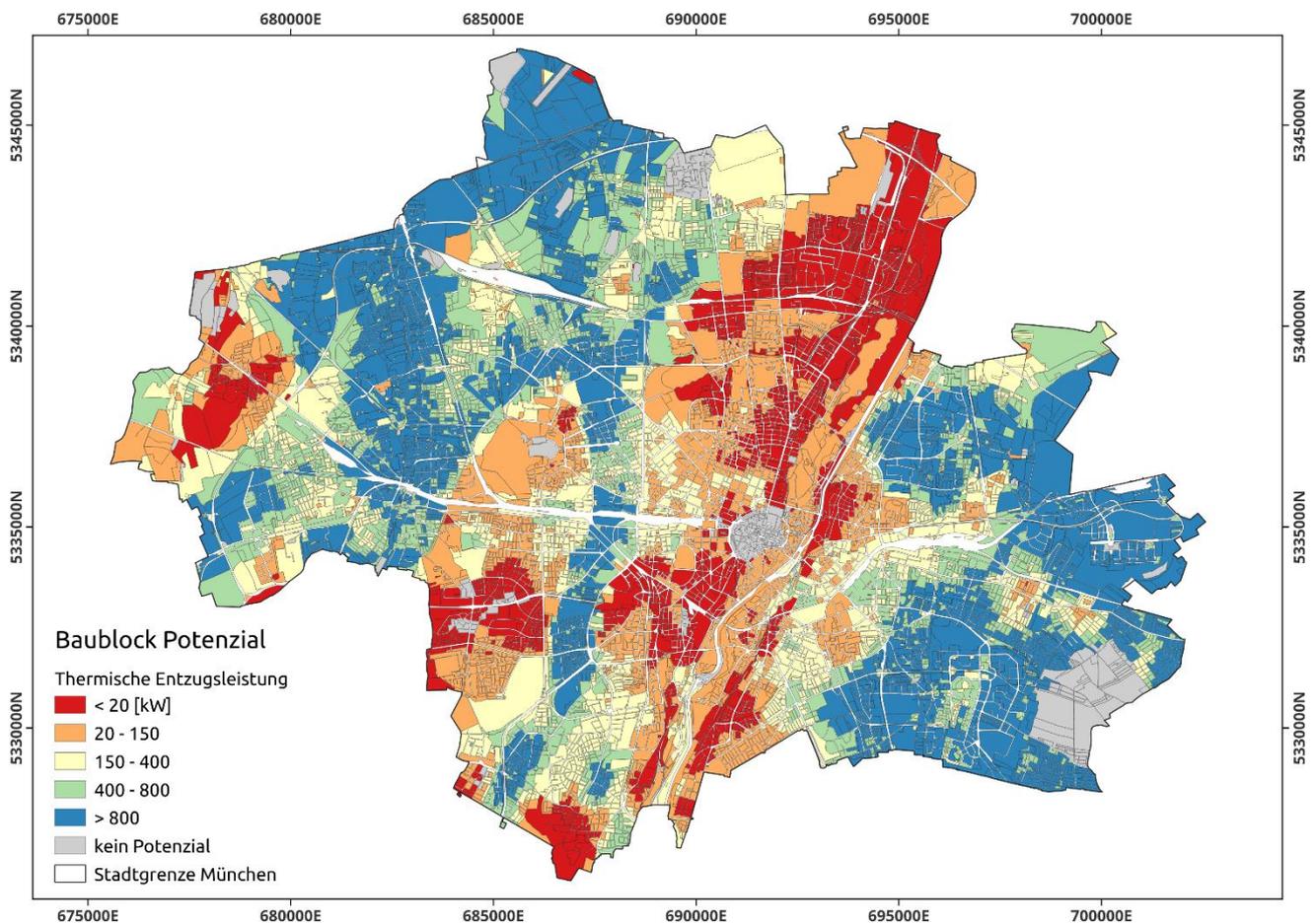


Abbildung 6-3: Technisches Potenzial der thermischen Entzugsleistung von Brunnenpaaren pro Baublock bei einer 5 K-Temperaturspannung zwischen Förder- und Schluckbrunnen

Grundsätzlich sei angemerkt, dass sich die Gebiete mit geringerem Potenzial zu weiten Teilen mit dem Fernwärmegebiet decken oder in dessen Nähe liegen. Auf der anderen Seite sind in perspektivisch nicht fernwärmeversorgten Gebieten häufig attraktive Grundwasserpotenziale vorhanden.

Ausgehend von den technischen Potenzialanalysen wurde nach einem Bedarfsabgleich der räumlich optimierte Ausbau berechnet. Dieser schränkt das technische Potenzial zur Nutzung der Wärme weiter ein, da der Flächenbedarf eines Brunnenpaares durch die entstehende Kältefahne im Grundwasserleiter während der Wiedereinleitung berücksichtigt wird. Anlagen, die in der Kältefahne einer bestehenden Anlage liegen, werden negativ beeinflusst, da sie durch die geringere Quelltemperatur Effizienzeinbußen erleiden. Der Bewirtschaftung des thermischen Reservoirs im Grundwasserleiter sind somit räumliche Grenzen gesetzt. In der räumlichen Optimierung wurde daher berücksichtigt, dass sich sowohl bestehende als auch neue Anlagen gegenseitig negativ beeinflussen, wobei die Grenze des tolerierbaren Temperatureinflusses auf 1 K festgelegt wurde.

Eine derartige Optimierung wurde bereits im Forschungsprojekt „GEO.KW“ durchgeführt und die innerhalb des Projekts entwickelten Methoden wurden für die kommunale Wärmeplanung angepasst und mit dem neuen Wärmebedarfsmodell berechnet /TUM-01 23/. Das ermittelte räumlich aufgelöste praktische Potenzial bildet die Grundlage für die innerhalb dieser Studie durchgeführten Szenarienanalysen.

Die Ergebnisse der Potenzialanalyse auf Baublockebene zeigen, dass in 51 % der Baublocke die Nutzbarkeit durch einen hydraulischen Kurzschluss beschränkt wird. In 45 % der Baublocke stellen Absenkungsbeschränkungen einen limitierenden Faktor dar und die restlichen 4 % entfallen auf die Aufstaubeschränkung. In der gesamten Bewertung für die Stadt München kann insgesamt ein Potenzial von ca.40 % Deckung des Wärmebedarfes durch eine thermische Grundwassernutzung festgestellt werden. Die Ergebnisse zeigen, welche Vorteile ein aktives

thermisches Management des Grundwassers bringt und dass dieses in Zukunft, im Sinne der Wärmewende, aktiv in die Planung mit eingebaut werden sollte. /TUM-03 22/

Ausblick zu weitergehenden Analysen

Weiterhin wird in einem eigenen Forschungsprojekt "Grid4Electrification" analysiert, welchen Einfluss Wärmepumpen auf das Stromnetz haben und wo, wann, welcher Ausbaubedarf besteht, um hier Potenzialgrenzen vorausschauend zu vermeiden. Am Projekt ist neben den SWM auch die Hochschule Augsburg und die TU-München beteiligt.

6.6 Erdgekoppelte Wärmepumpen

Hier wird zuerst auf Erdwärmesonden und dann auf -kollektoren eingegangen und entstammt den Analysen des Lehrstuhls für Hydrogeologie der TUM und der Arbeitsgruppe Oberflächennahe Geothermie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU).

Erdwärmesonden

Die Bohrung von Erdwärmesonden ist aufgrund der geringen genehmigungsfähigen Bohrtiefe meist nicht sinnvoll. Als Bohrtiefenbegrenzung ist in der Münchener Schotterebene im Allgemeinen die Oberkante der tertiären Schichten maßgeblich, da die feinkörnigeren Sedimente unterhalb des quartären Kieses eine wasserstauende Schicht bilden. Tiefer liegende Grundwasserstockleiter sind dadurch vom obersten Grundwasserstockwerk hydraulisch getrennt. Diese Trennung bietet einen Schutz vor einem Schadstoffeintrag in tiefere Schichten, weshalb in der aktuellen Auslegung des Wasserrechts eine Durchbohrung des ersten Stauers zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie nicht gestattet ist. Die Tiefenlage dieser Schicht (Tertiäroberkante) ist im Stadtgebiet durch die o.g. Forschungsprojekte sehr detailliert kartiert worden und ebenfalls im Geoportal veröffentlicht. Durch diese flache Bohrtiefenbegrenzung, welche selten über 40 m erreicht, ist der Bau von Erdwärmesonden in München normalerweise nicht wirtschaftlich und folglich wird auch kein Potenzial für Erdwärmesonden ausgewiesen.

Erdwärmekollektoren

Die Abschätzung des quantitativen Potenzials für Erdwärmekollektoren (horizontale Systeme) und deren Spezialformen basiert auf einer von der Arbeitsgruppe Oberflächennahe Geothermie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) entwickelten Methodik. Bei dieser Methodik werden die Ausführungen der VDI 4640, Blatt 2 und VDI 4710 mit den digitalen Flächendaten der Bodenkarte und dem Digitalen Geländemodell verknüpft. Die wichtigsten Parameter für die Berechnung des Potenzials ist die Bodenart mit ihren charakteristischen physikalischen Eigenschaften. Zudem werden klimatologische Daten zur Ableitung der Heizgradtage herangezogen, um regionale Durchschnittstemperaturen zu berücksichtigen.

Erdwärmekollektoren und deren Spezialformen sind die am nächsten an der Oberfläche verbauten geothermischen Systeme. Sie nutzen die Wärme, die in den obersten 10 m Tiefe des Untergrundes gespeichert ist. Aus diesem Grund kann man bei diesen Anlagen auch von oberflächennahsten Erdwärmesystemen sprechen. Die verfügbare Wärme wird über die Bodentemperatur ermittelt, welche sich aus der Wechselwirkung des Bodens mit der Atmosphäre und der Sonnenstrahlung sowie aus dem Einfluss von Niederschlag ergibt. Dadurch ist die Leistung der Erdwärmekollektoren sowohl von den standörtlichen Bodenbedingungen als auch vom vorherrschenden Klima abhängig. Wichtigster Faktor bei der Potenzialanalyse ist die Wärmeleitfähigkeit des Bodens.

In München können Erdwärmekollektoren aufgrund der dichten Besiedlung und ihres hohen Platzbedarfs nur eine untergeordnete Rolle bei der Wärmeversorgung einnehmen. Generell kann durch den Einsatz besonders platzsparender Entzugssysteme, wie z.B. durch Erdwärmekörbe, die Entzugsleistung erhöht werden. Da in der

VDI 4640, Blatt 2 Entzugsleistungen für verschiedene Systeme angegeben werden, ist in München der Grabenkollektor als eine Kollektorauslegung mit mittlerem Flächenverbrauch herangezogen worden. Bei dieser Form der Erdwärme-Kollektoren bestehen die Kollektoren aus senkrechten Elementen, in welchen die Rohre schlangenförmig angeordnet sind. Vorteil dieser Variante ist der geringere Flächenbedarf im Vergleich zu Flachkollektoren, da die Einbringung über einen Schlitz oder schmalen Graben im Boden erfolgt /LFU-05 13/ /AMA-01 08/.

Grabenkollektoren als Technologie stehen für rund 15 % des Wärmebedarfes von München zur Verfügung. Daher ergibt sich ein geringes aber noch signifikantes Potenzial, welches in den weiteren Analysen berücksichtigt wird. Aufgrund der zugrundeliegenden Ansätze handelt es sich hierbei ebenfalls um ein praktisches Potenzial.

6.7 Sonderfall: Hybrid-Wärmepumpen

Eine Alternative zum alleinigen Einsatz von Wärmepumpen (fachlich: monovalenter Betrieb) stellen Hybridsysteme dar, welche aus einer Kombination aus Wärmepumpe und einem Erdgas- oder Heizölkessel bestehen. Hierbei ist das Ziel des Einsatzes, dass die Wärmepumpen die Grundlast des Wärmebedarfes, vor allem in den Übergangszeiten und im Sommer abdecken, während der Erdgaskessel die Wärmebereitstellung zu Spitzenlastzeiten im Winter abdeckt. Hierdurch soll die Aufteilung der Wärmeerzeugung nach den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes von 65 % Erneuerbare Wärme (bzw. Anteil der Wärmeerzeugung aus der Wärmepumpe) in der Versorgung erreicht werden. So wie bei monovalenten Wärmepumpen können hier verschiedene Wärmequellen genutzt werden.

6.7.1 Einsatzziel und Effekte

Um die Bedeutung der Hybridsysteme für die Wärmewende einzuordnen, wurde eine Literaturrecherche basierend auf internationalen Studien, Erfahrungsberichten und Stellungnahmen durchgeführt. Insgesamt geht daraus hervor, dass Hybridsysteme aufgrund verschiedener Vorteile unter anderem bezogen auf die Kosten in Betrieb und Anschaffung oder in Bezug auf die Durchführbarkeit als Übergangstechnologie in gewissen Gebäuden berücksichtigt werden sollten. Der Fokus der Untersuchung liegt in den Studien immer auf dem direkten Vergleich von Wärmepumpen und Hybridpumpen beim Einsatz in verschiedenen Haustypen, ebenso wird der Vergleich zum Heizen mit Gas gezogen. Die Kernaussagen der Recherche sind im Folgenden zusammengefasst.

Hybrid-Wärmepumpen – Positive Einordnungen aus der Literatur

Der primäre Nutzen von Hybrid-Wärmepumpen ist die Nutzung dieser als mögliche Übergangslösung für Gebäude, in denen zum Zeitpunkt des Heizsystemwechsels keine ausreichende Anpassung der Gebäudetechnik für die direkte Integration der monovalenten Wärmepumpen möglich ist, etwa aus Gründen des Denkmalschutzes /FFE-79 21/ /FFW-01 23/. Somit sind sie ein möglicher Teilschritt hin zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Wärme und Erreichung der Klimaziele /LHL-01 18/. Nichtsdestotrotz müssen in diesen Gebäuden natürlich entsprechende Maßnahmen folgen, damit diese dann voll auf klimaneutrale Wärmequellen umgestellt werden können.

Die durchschnittliche Installationszeit für Hybridsysteme mit der Wärmequelle Luft beträgt für alle untersuchten Haustypen (Doppelhaushälfte, alleinstehendes Einfamilienhaus, Reihenendhaus, Reihenhaus, Wohnung, Bungalow) abhängig von den Gegebenheiten vor Ort nur 2-4 Tage. In der Zeit des Einbaus kann der Gaskessel beinahe durchgängig weiterhin Wärmeenergie zur Verfügung stellen, während der Hauseigentümer beim ähnlich lang dauernden Einbau monovalenter Wärmepumpen zeitweilig ohne Heizung auskommen muss. /LHL-01 18/

Als Hybridsystem eingebaute Wärmepumpen sind generell von geringerer Leistung und somit kleiner sowie oftmals leiser, besser montierbar sowie platzsparender /HHW-01 22/, da weniger Aufstellfläche benötigt wird und oft eine Wandaufhängung möglich ist.

Durch den ständig möglichen Wechsel zwischen strombasierter Wärmepumpe und gasbasiertem Kessel kann bei Energiepreisschwankungen auf die jeweils günstigere Option ausgewichen werden /HHW-01 22/. Generell sind etwa bei starken Temperaturschwankungen beispielsweise in der Übergangszeit sowohl die Vorteile des Kessels als auch die der Wärmepumpe je nach Situation nutzbar, um effizient zu heizen. Die Wärmepumpe arbeitet bei höheren Außentemperaturen z. B. über 2 °C effizienter als der Kessel und wird daher angefordert. Kältepeaks können dagegen vom Kessel übernommen werden /DNV-02 21/. Dies führt zu einer zusätzlichen Flexibilität für das Gas- und das Stromnetz /DNV-02 21/.

Ein systemischer Vorteil der Hybridanlagen ist ihr Potential, den Spitzenstrombedarf im Vergleich zu reinen Wärmepumpen zu reduzieren. Hierbei ist wichtig, dass vor allem zu Spitzenlastzeiten die Trinkwarmwasserbereitstellung vom Gaskessel übernommen wird /DFBE-03 17/ /HHW-01 22/. Dies ist vor allem in dem zu erwartenden schnellen flächigen Ausbau von Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen vorteilhaft, um die Stromnetze weniger stark zu belasten und dem Netzausbau die benötigte Zeit zu geben.

Gemäß /HHW-01 22/ liegt die Höhe der Emissionsreduzierung von Hybridanlagen im Falle des Einsatzes von intelligenten, entsprechend gesteuerten Heizsystemen, beim aktuellen Strommix in einer ähnlichen Größenordnung wie bei reinen Wärmepumpen. Das trifft vor allem auf weniger effizient gebaute Häuser zu und hängt davon ab, ob der Gaskessel die Trinkwarmwasserbereitstellung übernimmt. Heizt der Kessel das Trinkwarmwasser, so steigen die Emissionen der Hybridsysteme stark an. Weiterhin ist die Einstellung der Heizungssteuerung von Relevanz. Hier unterscheidet man zwischen der bedarfsgetriebenen Anforderung des Wärmeerzeugers meist zweimal täglich zur Morgen- und Abendspitze und der kontinuierlichen Fahrweise in längeren Betriebsphasen zur durchgehenden Raumbeheizung oder dem langsamen Befüllen eines Speichers. Bei konstantem Heizverhalten liegen die Emissions-Verminderungskosten zudem deutlich über den Verminderungskosten bei zweimal täglichem Heizen. /DFBE-03 17/

Hierbei ist zu unterstreichen, dass sich der Emissionsfaktor des Stromes in den nächsten Jahren schneller reduzieren wird als der des Gases, sodass sich der emissionsseitige Vorteil reduziert. Weiterhin ist zu beachten, dass für den Vergleich der Emissionen nicht der jährliche deutsche Durchschnittswert herangezogen werden darf, sondern der Strommix zu Zeiten mit hohen Bedarfen und somit auch aktuell noch recht hohem Anteil fossiler Kraftwerke mit dem Erdgas-Emissionsfaktor (zur Einordnung des Effektes siehe auch /FFE-68 18/).

Hybridanlagen zeichnen sich, im Vergleich zu monovalenten Systemen, außerdem durch nicht zu vernachlässigende Kosteneinsparungen bei der Anschaffung der Systeme für bestimmte Haustypen und Sanierungsstandards aus. Nach /DFBE-03 17/ liegen diese Einsparungen für klassische Doppelhaushälften in der Größenordnung von ungefähr 500 – 2.600 €, wobei hier mit der Summe aller Kosten des jeweiligen Heizsystems (Installation, Kessel, Steuergerät, Heizungsumbau, Wärmepumpe, Warmwasserspeicher) gerechnet wurde. Zusätzlich verbuchen sie gemäß /DFBE-03 17/ für diese Haustypen über ihre gesamte Lebenszeit hinweg Einsparungen von etwa 4.500 €. Hinzu kommen die je nach Heizverhalten und Heizungstyp variierenden und jährlich über 100 € geringeren variablen Betriebskosten von bivalenten Systemen. Ausnahmen bilden hier stets effiziente Neubauten, bei denen Hybridsysteme ökonomisch keine Vorteile vorweisen. /DFBE-03 17/

Als Übergangslösung schaffen Hybridheizungen zudem Technologieoffenheit für weitere Entwicklungen zum Beispiel im Bereich „klimaneutrales Gas“ /FFE-79 21/.

Hybrid-Wärmepumpen – Negative Einordnungen aus der Literatur

Nicht alle Literaturquellen sprechen sich für den Einsatz von Hybridsystemen in der Wärmetransformation aus. So wird etwa vor einem möglichen Risiko des festen Etablierens der Systeme in der Wärmeerzeugung gewarnt. Hybridwärmepumpen sollten danach nie die erste Option bei der Umrüstung des Wärmesystems auf erneuerbare Energien sein, stattdessen sollte das Heizsystem wo möglich zunächst vollständig auf eine elektrische Wärmepumpe umgestellt werden. Trotzdem werden den bivalenten Systemen auch hier eindeutige Vorteile in den Bereichen Kosten, Komfort und Emissionsreduzierungen eingeräumt. /TAF-01 23/

Weiterhin fehlt betriebskostenbedingt vor allem in der Zukunft bei steigenden Gas- und Ölpreisen sowie der Förderung reiner Wärmepumpen die ökonomische Sinnhaftigkeit. Auch aus ökologischer Sicht ist die niedrige Grenztemperatur, ab der in Zukunft der Gaskessel Einsatz bei Hybridsystemen effizienter ist als der Wärmepumpeneinsatz, in Deutschland selten erreicht /ISE-01 23/ /AGORA-03 22/.

Zudem ist etwa der Austausch kritischer Heizkörper zugunsten moderner Niedertemperaturheizkörper oftmals die günstigere Alternative zur Hybridwärmepumpe. Auch weist die Hybridwärmepumpe im Vergleich zur Wärmepumpe höhere jährliche Servicekosten auf. /AGORA-03 22/

Fazit zum Einsatz von Hybridwärmepumpen

In der analysierten Literatur ergibt sich trotz mancher Gegenstimmen ein insgesamt positives Bild zum Einsatz von Hybridwärmepumpen als Übergangstechnologie bezogen auf die Einfachheit der Umsetzung, die Systemrückwirkungen auf das Stromnetz sowie den Strom-Erzeugerpark. Da Hybrid-Wärmepumpen aktuell erst im Zuge der forcierteren Umstellung des Gebäudebestandes eine Anwendung finden, und somit auch die Weiterentwicklung hin zu einem monovalenten Wärmepumpensystem noch kein Standard ist, kann die in der Realität bereits erreichte Umsetzung des Prozesses nicht bewertet werden. Zumindest technisch gibt es hierfür keine relevanten zu nennenden Einschränkungen. In effizienten Neubauten werden die Hybridsysteme generell nicht empfohlen, da hier Wärmepumpen effizienter sind /DFBE-03 17/. Sie stellen demnach eine Komponente in der Wärmetransformation dar und haben das Potenzial, einen Beitrag zur klimaneutralen Wärmeversorgung zu leisten.

Empfohlen wird der Einsatz von Hybridsystemen in der älteren Literatur dabei explizit in Einfamilienhäusern und Doppelhaushälften, welche oft der Untersuchungsgegenstand in der Literatur waren /DFBE-03 17/, sowie in verschiedenen anderen Haustypen wie Mehrfamilienhäusern oder alleinstehenden Einfamilienhäusern /LHL-01 18/. Nach einer anschließenden Sanierung kann später auf eine Wärmeversorgung mit reiner Wärmepumpe umgestiegen werden /HHW-01 22/. Dies ist nach neueren Erkenntnissen und technischen Entwicklungen so nicht voll zu unterstützen. So können Wärmepumpen mit wenigen Anpassungen jetzt bereits in Gebäuden mit geringerem Wärmebedarf (meist Ein- und Zweifamilienhäuser) eingebaut werden und sind daher ausschließlich in Gebäuden zu empfehlen, in denen kurzfristig der bestehende Kessel entfernt werden muss, ein aufwendiger Umbau im Haus für den alleinigen Einsatz der Wärmepumpe aber nicht direkt möglich ist. Dies kann z. B. dann der Fall sein, wenn ein höherer Bedarf besteht als aktuell durch Wärmequellen auf dem Grundstück bereitgestellt werden kann.

Nichtsdestotrotz ist hier zu unterstreichen, dass die Systeme nicht die finale Lösung darstellen. Auch wenn als Übergang eine Hybridwärmepumpe eingebaut wird, muss zudem von vorneherein genau überlegt werden, wie die Anlage zu dimensionieren ist, damit nach Umsetzung entsprechender Maßnahmen der angelegte Gaskessel möglichst bald abgeschaltet werden kann.

6.7.2 Anwendbarkeit der bestehenden Potenzialanalysen

In Kapitel 4.1.3 ist das Vorgehen zur Erstellung der Potenzialanalysen für die Einsatzbarkeit von Luft-Wärmepumpen beschrieben. In das Modell München wurde ausschließlich die Information eingebettet, ob der Einsatz einer Luft-Wärmepumpe möglich ist oder nicht. Mit der Berücksichtigung von räumlichen Gegebenheiten, wie Abstände und Schallgrenzwerte, wird dabei das grundstückseigene praktische Potenzial ausgegeben. Hierbei wird allerdings immer angenommen, dass die Luft-Wärmepumpe immer den gesamten Wärmebedarf im aktuellen energetischen Zustand des Gebäudes deckt. Durch den Einsatz von Hybridsystemen würde sich der von der Luft-Wärmepumpe zu deckende Wärmebedarf und somit der benötigte Abstand zu den anliegenden Gebäuden (benötigter Abstand steigt mit steigender Leistung der Luft-Wärmepumpe) jedoch reduzieren und somit das Potenzial steigen. Weiterhin sind in verschiedenen Siedlungsgebieten unterschiedliche untere Grenzen für den Abstand vorgesehen. Diese Erweiterungen sind in der Weiterentwicklung der fFe-Wärmepumpen-Ampel

und auch der eigenen detaillierten Analyse der SWM vorgesehen, diese waren jedoch im Rahmen dieses Projektes noch nicht abgeschlossen.

Bei den anderen Wärmequellen für Wärmepumpen wurde das verfügbare Potenzial je Grundstück bzw. für Grundwasser-Nahwärmenetze je Baublock bestimmt und in das Modell München eingebettet, so dass die Potenziale und Bedarfe unter verschiedenen Annahmen verglichen werden können. So kann dies beispielsweise im aktuellen energetischen und verbesserten energetischen Zustand erfolgen sowie unter der Annahme verschiedener zu erreichender Anteile der Potenziale an der Bedarfsdeckung. Somit ist die Abbildung von hybriden Systemen für Wärmepumpen mit der Nutzung von Grundwasser sowie oberflächennaher Geothermie möglich.

6.8 Flusswasser

Verschiedene Fernwärmeversorger sehen den Einsatz von Flusswärme in Kombination mit einer Wärmepumpe als eine der wichtigen Komponenten zur Dekarbonisierung der Fernwärme an. /MVV-01 23/ /ENERKO-01 23/

Generell sind bei der Nutzung von Wärme aus Flüssen folgende Randbedingungen zu beachten. Zum einen sind eine maximale Rückführtemperatur und eine minimale Rückführtemperatur (Frostschutzgrenze) nach dem Wärmetauscher zurück in den Fluss einzuhalten, zum anderen ist die nutzbare Durchflussmenge zum Entzug thermischer Energie begrenzt. Die minimale Rückflusstemperatur sollte 1,5 °C nicht unterschreiten, wobei die Temperaturdifferenz gemäß Literatur zwischen Entnahme und Rückführung am Wärmetauscher auf ca. 5 K zu begrenzen ist (abgeleitet aus /WWAD-01 11/, /TUDA-01 17/, /ALUF-01 12/). Hieraus ergibt sich eine ganzjährige Minimaltemperatur des Flusses von 6,5 °C, wobei bei kühleren Flüssen auch eine geringere Temperaturdifferenz am Wärmetauscher von ca. 2 Kelvin möglich ist.

In München ist die Wärmenutzung von Oberflächengewässern, wie der Isar, nach Rückmeldung des Bayerisches Landesamt für Umwelt grundsätzlich nach Einzelfallprüfung möglich. Bislang ist lediglich das Einleiten von Wärme in Oberflächengewässer in der Oberflächengewässerverordnung /BMJ-01 20/ geregelt, da diese Form der Nutzung von Flusswasser für die Kühlung von Industrieprozessen oder Kraftwerken bereits breit etabliert ist. Hierzu wurden weiterhin bereits zwei Merkblätter durch das Bayerisches Landesamt für Umwelt veröffentlicht /LFU-03 23/ und /LFU-04 23/. Die zulässigen Aufwärmspannen des Wassers und Höchsttemperaturen des einzuleitenden Wassers sind dabei abhängig vom Gewässertyp. Da es für die Einleitung von kühlerem Wasser als die Flusswassertemperatur bisher noch keine Vorgaben gibt, wird als Orientierung die Aufwärmspanne der Oberflächengewässerverordnung als „Abkühlspanne“ empfohlen.

Über eine Analyse der typischen Durchflussmengen und Temperaturen der größten Münchener Flüsse kann die theoretisch dem Flusswasser entziehbare Wärmemenge abgeschätzt werden. Nicht zuletzt durch ökologische Gründe, wie den Schutz des Fischbestandes, kann jedoch keinesfalls der gesamte Durchfluss energetisch genutzt werden, weshalb es sich hierbei um das theoretische Potenzial handelt.

In der Wärmenetz 4.0-Studie für Landsberg /FFE-96 22/ wird eine Flusswasser-Wärmepumpe untersucht und dimensioniert. Laut dem hierin zitierten Wasserrechtebescheid dürfen maximal 0,072 m³/s für die energetische Nutzung eines abzweigenden Bachs aus dem Lech thermisch genutzt werden. Um diese Menge für München als Orientierungswert einzuordnen, kann der gesamte Durchfluss des Lechs als Vergleichswert herangezogen werden. Der Gewässerkundliche Dienst Bayern /LFU-02 23/ veröffentlicht Messwerte zu bayrischen Flüssen. Im Mittel der Jahre 2020 bis 2022 liegt die tägliche mittlere verfügbare Abflussmenge des Lechs bei 71,6 m³/s. Somit dürfen in diesem Fall rund 0,1 % der gesamten Durchflussmenge energetisch genutzt werden. Unter der Annahme, dass eine vergleichbare Größenordnung auch in den Münchner Flüssen genehmigungsfähig ist, wird das praktische Potenzial abgeschätzt. Inwiefern diese Größenordnung realistisch ist, kann erst durch eine genaue Analyse des Flusses mit Evaluierung eventueller Effekte durch die Entnahme von Wärme, abgeschätzt werden.

In einem Projekt für den VBEW werden in Experteninterviews aktuell mit verschiedenen Versorgern typische erlaubte Entnahmemenge diskutiert. Aus der weiteren Literatur zeigt sich eine typische Entnahmemenge von ca. 10 %, welche in den Diskussionen als Grundlage verwendet werden soll. Daher wird diese auch hier angewendet.

Aus den Daten des Gewässerkundlichen Dienstes Bayern /LFU-02 23/ werden die unterjährige Temperaturverläufe der Tagesmittelwerte und die tägliche mittlere verfügbare Abflussmenge von Isar, Eisbach, Schwabinger Bach und Würm in Abbildung 6-4 für das Jahr 2020 dargestellt. Dabei ist der insgesamt jahreszeitliche Verlauf mit kurzfristigeren Schwankungen der Flusswassertemperatur zu erkennen. Besonders in der Abflussmenge der Isar werden einzelne Peaks bei verstärktem Niederschlag sichtbar. /LFU-05 23/ /LFU-06 23/ /LFU-07 23/ /LFU-08 23/

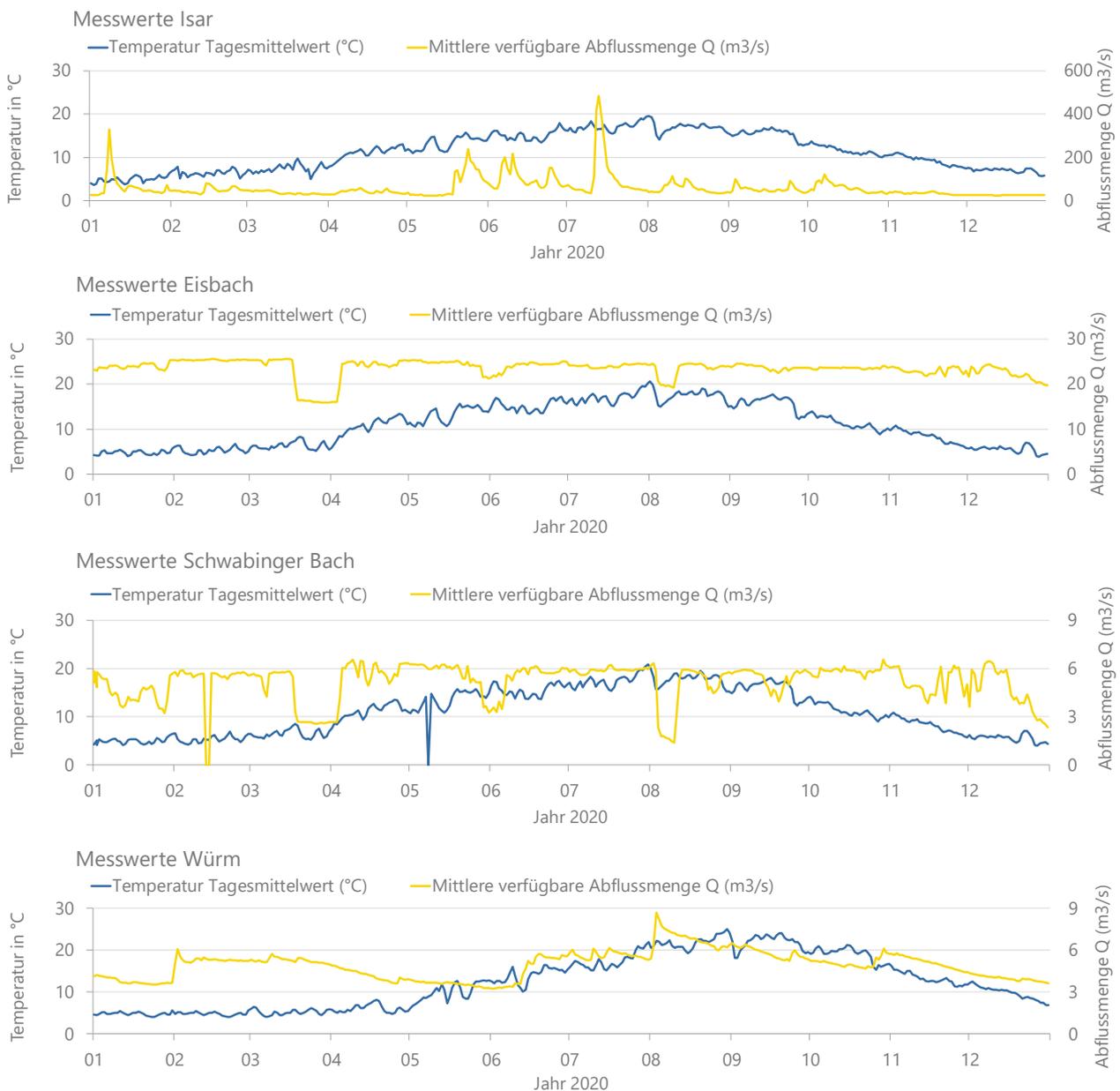


Abbildung 6-4: Messwerte von Isar, Eisbach, Schwabinger Bach und Würm für Tagesmittelwerte der Wassertemperatur und die mittlere verfügbare Abflussmenge – Eigene Darstellung nach /LFU-05 23/

Über die mittleren Wassertemperaturen und die gesamte Abflussmenge, wird das jährliche theoretische Potenzial bei einer angesetzten Temperaturveränderung um 2 K /BNGF-01 18/ abgeschätzt und in Tabelle 6-4 aufgeführt. Dabei handelt es sich um eine theoretische Maximalabschätzung, welches in der Realisierung über eine deutliche Reduktion der umleitbaren Abflussmenge stark reduziert würde. Die Isar hat den größten Durchfluss, jedoch

wetterbedingt starke Schwankung des Durchflusses zwischen den Jahren. Das theoretische Potenzial über alle Flüsse bewegt sich in den letzten drei Jahren zwischen 5,2 und 7,5 TWh/a. Eine verallgemeinernde Abschätzung ist dabei nicht möglich, da die Flusswassernutzung projektabhängig geprüft und genehmigt werden muss.

Über die Herleitung anhand der zuvor beschriebenen 10 % und von Landsberg wird in Tabelle 6-4 aus den errechneten theoretischen Potenzialen eine Abschätzung getroffen, wie viel geringer das praktische Potenzial liegt. Da die Wärmemenge direkt proportional zur Durchflussmenge ist, beträgt dieses ebenfalls 10 % bzw. 0,1 % und somit 522 und 747 GWh/a bzw. 5,2 und 7,5 GWh/a.

Tabelle 6-4: Theoretisches und abgeleitetes praktisches Flusswasser-Potenzial in München

Fluss	Theoretisches Flusswasser-Potenzial in GWh/a			Abgeleitetes Potenzial in GWh/a bei einer Nutzung von 10%			Abgeleitetes praktisches Potenziale in GWh/a (mit 0,1 % Entnahmemenge)		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Isar	4.322	5.035	2.968	432	504	297	4,32	5,03	2,97
Eisbach	1.708	1.728	1.685	171	173	169	1,71	1,73	1,68
Schwabinger Bach	376	433	390	38	43	39	0,38	0,43	0,39
Würm	269	272	180	27	27	18	0,27	0,27	0,18
Summe	6.674	7.467	5.223	667	747	522	6,67	7,47	5,22

Durch die hier angenommene Beschränkung der Entnahmemenge analog zu Landsberg wird das Potenzial stark eingegrenzt und wäre danach von untergeordneter Relevanz bei der Deckung des Wärmebedarfes der Stadt München. Würden tatsächlich 10 % genehmigt, wäre die nutzbare Menge doch von Bedeutung. Allerdings ist zu beachten, dass im Winter ggf. keine Wärme entnommen werden kann. Dies ist zum einen technisch begrenzt, da eine Vereisung des Wärmeübertragers zum Flusswasser verhindert werden muss und zum anderen von minimal erlaubten Rücklaufftemperatur in den Fluss. Wie hoch diese Einschränkung in Wirklichkeit in München ist, sollte mit den entsprechenden Behörden genauer untersucht werden.

Auch die regionale Verortung, wo Abwärme des Flusswassers genutzt werden kann, ist durch entsprechende Diskussionen mit Personen, welche den Effekt auf den Fluss geeignet abschätzen können, durchzuführen. Für diese Diskussionen sollte die Karte der Gebiete, in welchen aktuell die Versorgung noch nicht geklärt ist, einbezogen werden (siehe Beschreibung in Kapitel 8.4.6)

Für die Versorgung einzelner Objekte oder Quartiere in räumlicher Nähe, kann Flusswasser somit eine genauer zu prüfende Option sein.

6.9 Nicht näher oder nur ergänzend betrachtete Wärmequellen

Zu folgenden Potenzialdaten gibt es keine bzw. lediglich geringe Aktualisierungen gegenüber den Darstellungen in /FFE-79 21/. Sie sind teilweise schon mit dem bestehenden Stand in das Modell München bzw. die Fernwärme-Modellierungstools der SWM integriert und werden entsprechend übernommen.

Biomasse und Biogas

Hierbei wird die hinterlegte Methodik aus dem Modell München bzw. im Modell Invert/EE-Lab weiterverwendet. Im Modell sind beide Energieträger zum einen mit den jeweiligen spezifischen Kosten hinterlegt. Zudem sind die individuellen Investitionskosten in Anlagen zur Raumwärme- und Trinkwarmwasserbereitung sowie die Wartungskosten für diese Energieträger berücksichtigt. Bei der Biomasse wurde zudem eine Obergrenze für die

Nutzung des Potenzials festgelegt. Diese Obergrenze wird jedoch in den Simulationsergebnissen nicht ausgereizt, da im Vergleich zu anderen dezentralen Lösungen die Investition, die Wartung sowie die Brennstoffkosten gegenüber alternativen Wärmeversorgungslösungen relativ teuer sind. Die Szenarienergebnisse, welche sich daraus einstellen, werden im Rahmen der Ergebnisdiskussion (siehe Kapitel 11) eingeordnet.

Ungereinigtes Abwasser

Im Vergleich zur Potenzialbeschreibung für Abwasserkanäle aus /FFE-79 21/, haben neuere Analysen in anderen Städten gezeigt, dass sich trotz der Komplexität der Nutzung durch die aktuelle und künftig erwartete energetische Gesamtsituation eine Wirtschaftlichkeit gegenüber verfügbaren Alternativen erreichen lässt /BWB-01 23/ /KUP-01 15/. Aufgrund der individuellen Rahmenbedingungen ist jedoch eine projektspezifische Einzelfallprüfung erforderlich. Während im Rahmen dieses Projektes keine detaillierten Analysen durchgeführt wurden, wurde das Vorgehen zur Ermittlung der Potenziale bestimmt, welches primär in die Entwicklung von Versorgungskonzepten für Quartiere bzw. Nachwärmegebiete eingebunden werden kann.

Gereinigtes Abwasser

Auch nach der Reinigung des Abwassers und vor Einleitung in einen Fluss, kann hier Abwärme auf einem niedrigen Temperaturniveau gewonnen werden. Mit Hilfe einer Wärmepumpe wird hieraus bereits in ersten Beispielprojekten Wärme für Raumwärmeanwendungen bereitgestellt /ÖWV-01 23/ /DOELL-01 23/. In München fließt das gereinigte Abwasser des Klärwerks Gut Großklappen beispielsweise über den Speichersee in den mittleren Isarkanal und im Osten von Moosburg zurück in die Isar.

Ein Vorteil der Abwasserwärmerückgewinnung nach dem Klärwerk ist, dass eine großer Volumenstrom an Wasser genutzt werden kann. Weiterhin ist das Abwasser bereits gereinigt, sodass die Wärmetauscher sehr viel seltener gereinigt werden müssen als im Kanal. Da das Klärwerk das Abwasser aller Kanäle sammelt, ist ein minimaler Durchfluss gewährleistet. Durch den Wärmeentzug nach dem Klärwerk, ist das Abwasser kälter, dies kann vorteilhaft für das Gleichgewicht des Flusses sein.

Der größte Nachteil der Abwasserwärmerückgewinnung nach dem Klärwerk sind die häufig langen Wärmetransportwege der Wärme zu Standorten mit einem hohen spezifischen Wärmebedarf, da Kläranlagen oft außerhalb der Städte liegen. Hierbei ist es wichtig, dass eine recht hohe Wärmebedarfsdichte vorliegt, damit die netzbasierte Versorgung von Vorteil gegenüber der dezentralen Versorgung ist. Auch in München liegt das Klärwerk Gut Großklappen etwas außerhalb, jedoch nicht fernab der Stadt und der Fernwärme. Ein weiterer Nachteil ist das geringere Temperaturniveau des Abwassers zwischen 13 bis 20 °C mit Höchstwerten zwischen Juli und September. Dies reduziert die Effizienz des Einsatzes von Wärmepumpen, was speziell im Falle einer Einbindung in die bestehende Fernwärme in München im Winter unvorteilhaft wäre. Hierbei ist zu unterstreichen, dass die räumlich nächste Fernwärmeleitung aktuell leistungsmäßig auf 170 °C ausgelegt ist (siehe Temperaturen für Freimann-Verbundleitung in /SWM-03 23/, wodurch die Einbindung der Abwärme besonders schwierig ist. In den etwas weiter entfernten Versorgungsbieten liegen die Vorlauftemperaturen im Netz immerhin bei 120 °C ab weniger als -14 °C Außentemperatur und bei bis 80 °C ab 6 °C Außentemperatur. Hier wären die technischen Herausforderungen der Erzeugung somit geringer, allerdings müssten neue Leitungen (mindestens ca. 1 km) inklusive eine Autobahn-Untertunnelung gebaut werden, was zu relevanten Kosten führen würde. Die Versorgung eines Nahwärmenetzes mit niedrigeren Vorlauf-Temperaturen als die Fernwärme ist prinzipiell denkbar.

Nichtsdestotrotz sollte, wie in anderen Städten eine entsprechende Abstimmung mit den Abwasserunternehmen erfolgen, um die Potenziale genau zu quantifizieren und daraus im Kontext des Transformationsplanes abzuleiten, welche Relevanz das Thema haben kann.

Klärschlammverbrennung

Es wurde mittlerweile ein Konzept für den Ersatz der bestehenden Klärschlammverbrennung durch eine größere Anlage erarbeitet. Mit dieser neuen Anlage können zugleich die erhöhten Anforderungen an die Phosphor-Rückgewinnung erreicht werden, diese gelten gemäß Klärschlammverordnung (AbfKlärV) ab dem 01.01.2029. Die aus der Verbrennung resultierende Wärme soll prioritär direkt in der Kläranlage verwendet werden. Das über die Eigenversorgung der Anlage hinausgehende Abwärmepotenzial von 1,35 MW soll vorerst nicht ins Wärmenetz eingespeist werden. Dies liegt an einer zu geringen Wärmeenergie im Verhältnis zum Aufwand und an einem zu niedrigen Temperaturniveau in Abgleich mit den Anforderungen der Stadtwerken München. /LHM-02 23/

Tunnelthermie

Hierzu sind im Rahmen dieser Studie keine Untersuchungen geplant. Vorhandene U-Bahn Düker sind in GEO.KW berücksichtigt, weshalb hieraus kein zusätzliches Potenzial entsteht (Detailbeschreibung siehe /TUM-03 22/.

Abwärme aus Kälteanlagen

Die Abwärme aus Kälteanlagen, welche das Grundwasser zur Kühlung verwenden findet bereits Eingang in die Grundwasser-Potenziale aus GEO.KW (Detailbeschreibung siehe /TUM-03 22/. Daher wird dieses Potenzial nicht separat ausgewiesen, um eine Doppelbilanzierung zu vermeiden.

Müllverbrennungsanlagen

Da die Abwärme der bestehenden Müllverbrennungsanlagen bereits in die Fernwärme der SWM einfließt, handelt es sich hierbei um eine bereits realisierte Form der Abwärmenutzung und somit um ein bereits realisiertes Potenzial. Inwiefern durch Maßnahmen die Wärmegewinnung aus der Müllverbrennung gesteigert werden kann, ist somit Teil der separaten Analysen zum Transformationsplan der Fernwärme.

Tiefengeothermie

Im Rahmen der Erstellung des Transformationsplans der Fernwärme durch die SWM spielt erzeugerseitig die Tiefengeothermie eine entscheidende Rolle. Hierbei wurde durch die SWM eine Potenzialerhebung vorgenommen, welche ambitionierte Ziele für den Geothermieausbau über das „Fokus Fernwärme“-Szenario aus /FFE-79 21/ hinaus umfasst. Da die Analysen unter Berücksichtigung von zahlreichen Rahmenbedingungen und aus Sicht der SWM als realisierendes Unternehmen erfolgen, liegen keine unabhängigen Informationen zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenpakete vor. Damit handelt es sich hierbei um das langfristig praktisch erschließbare Potenzial aus der Perspektive der SWM.

6.10 Fazit und Ausblick

Im Nachfolgenden wird eine Zusammenfassung der im vorangehenden Kapitel beschriebenen Potenziale gegeben. Zudem wird ein Ausblick gegeben, welche weiteren Analysen zur Verbesserung der Potenzialerhebung der klimaneutralen Wärmequellen sinnvoll sind. Aktuell beträgt der gesamte jährliche Wärmebedarf in München 11,4 TWh.

Nicht quantifizierte Potenziale

Für Biomasse und Biogas wurde keine weitere Quantifizierung des Potenzials vorgenommen, da dies keine flächendeckende eingesetzte Wärmequelle für München sein soll. In Bezug auf die Nutzung verschiedener Abwärmepotenziale der Abwasseraufbereitung gibt es keine Neuerungen zur Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/. Aus Erfahrungen anderer Städte kann jedoch abgeleitet werden, dass gereinigtes und ungereinigtes Abwasser ein relevantes Potenzial darstellen kann. Im Rahmen dieses Projektes wird ein Vorgehen skizziert, über welches zukünftig eine ausführliche Analyse des Potenzials mit Prüfung der stadt-spezifischen Rahmenbedingungen erfolgen kann.

Im Rahmen der Erstellung des Transformationsplans der SWM werden die Potenziale der tiefen Geothermie, der Müllverbrennungsanlage und von Groß-Wärmepumpen detailliert betrachtet, da sich diese besonders zur Einspeisung in große Fernwärmenetze eignen.

Quantifizierte Potenziale

Durch das in Kapitel 6.3 beschriebene Vorgehen konnten Abwärmepotenziale von Großverbrauchern in München auf verschiedenen, eher geringen Temperaturniveaus ($< 40\text{ °C}$) identifiziert werden. Aus den Recherchen zu Abwärme in GHD-Betrieben lässt sich zusammenfassen, dass das Potenzial lediglich in Einzelfällen von Relevanz ist. Für Supermärkte ergibt die Abschätzung für München ein praktisches Potenzial von 18 GWh/a ohne bzw. von 24 GWh/a mit Wärmepumpe, welches jedoch real deutlich höher oder niedriger liegen kann. Auch für weitere Betriebe aus dem Bereich GHD kann nur eine projektspezifische Analyse der Wirtschaftlichkeit und Realisierbarkeit erfolgen, da zu wenig gute verallgemeinerte Daten vorliegen. Insgesamt eignen sich all diese Wärmequellen eher für Nahwärmenetze in räumlicher Nähe.

Für das Potenzial der Solarthermie wurde von Eniano eine Solaranalyse /LHM-03 22/ im Auftrag der LHM vorgenommen. Daraus ergibt sich ein praktisches Potenzial von 459 GWh/a. Hierzu ist einzuschränken, dass die Nutzung in Kombination sowohl mit der Fernwärme als auch mit Wärmepumpen als nicht sinnvoll einzuschätzen ist. In Kombination mit holzbefeuerten Anlagen hingegen schon (siehe /FFE-79 21/).

Auf die verschiedenen Wärmequellen für Wärmepumpen wurde ein besonderer Fokus der Potenzialerhebung gelegt. In allen Quellen wird das praktische Potenzial angegeben, weshalb deren Größenordnungen direkt miteinander verglichen werden können. Für Luft-Wärmepumpen stellt die Wärmepumpen-Ampel der FfE die vorläufige Datenbasis dar. Hierbei wurden Datenlücken durch die SWM über ein Machine Learning Verfahren geschlossen. Damit erhöht sich die Anzahl der Gebäude, die in München wahrscheinlich ein Potenzial zur Nutzung der Luft-Wärmepumpe haben, um den Faktor 2,5. Um die Qualität der Ergebnisse zu verbessern ist geplant, die methodische Vorgehensweise der Wärmepumpen-Ampel in das Modell München zu implementieren (siehe Detail in Kapitel 6.5).

Die energetische Nutzung des Grundwassers als Tunnelthermie und Abwärme aus Kälteanlagen wird teilweise im Modell GEO.KW und somit in der Analyse des Grundwassers insgesamt berücksichtigt. Im Rahmen dieses Projektes sind keine weiteren Analysen vorgenommen worden. Aus dem Grundwassermodell GEO.KW des Lehrstuhls für Hydrogeologie der TU München werden flurstücks- und baublockscharfe Grundwasserpotenziale errechnet. Durch Grundwasser-Wärmepumpen je Grundstück kann rund 38 % des Wärmebedarfes gedeckt werden. Bei der Betrachtung für Nahwärmenetze mit Grundwassernutzung reduziert sich der Anteil geringfügig auf 37 %. Grabenkollektoren können rund 15 % des stadtweiten Wärmebedarfes abdecken. Über Optimierungsrechnungen kann zudem die gegenseitige Beeinflussung verschiedener Bohrungen berücksichtigt werden, was wiederum den Anteil des Wärmebedarfes reduziert, der über Grundwasser gedeckt werden kann.

Die theoretische maximale energetische Nutzung von Flusswasser als Quelle für Wärmepumpen wurde über die Durchflussmengen der Flüsse abgeschätzt und liegt in Summe zwischen 5,2 und 7,5 TWh/a und steht in starker Abhängigkeit von der geführten Wassermenge der Flüsse. Unter anderem ökologische Regelungen beschränken jedoch deutlich den nutzbaren Anteil des Durchflusses. Daher liegt das abgeleitete praktische Potenzial lediglich bei 10 % oder sogar nur 0,1 % des theoretisch möglichen. Hier sind genauere Untersuchungen und Diskussionen mit Expert:innen zu empfehlen.

7 Hintergrund zur Bestimmung der Verbrauchs- und Versorgungsszenarien

Ziel der Berechnung von Zukunftsszenarien ist es, mögliche künftige Entwicklungen abzubilden und Sensitivitäten für eine unterschiedliche Entwicklung abzuschätzen. Um die Szenarien zur Entwicklung der Wärmeversorgung in München ausgestalten zu können, wird im Folgenden zunächst das aktuell und auch künftig weiterhin verwendete Modell München der SWM genauer beschrieben (Kapitel 7.1). Weiterhin werden für die Berechnung der Szenarien festgehaltene Kostenszenarien beschrieben (Kapitel 7.2). In Kapitel 7.3 ist die Differenzierung der Annahmen in den Szenarien dargestellt.

7.1 Verwendetes Modell

Auf Basis der Daten des Modells München sowie der Parametervorgaben (siehe Kapitel 7.2) werden Szenarien zur Transformation des Gebäudebestands mit dem Modell Invert/EE-Lab der e-think energy research GmbH (kurz e-think), einer Ausgründung der Energy Economic Group an der TU Wien, entwickelt. Invert/EE-Lab ist ein dynamisches bottom-up Modell, welches auf der Ebene von Gebäuden die Wirkungen verschiedener politischer sowie ökonomischer Rahmenbedingungen und Maßnahmen simuliert. Hierbei bezieht sich die Wirkung u. a. auf den Energiebedarf und den Technologie- und Energieträgermix der Gebäude. Zu den politischen sowie ökonomischen Rahmenbedingungen und Maßnahmen zählen insbesondere ökonomische Anreize, regulative Vorgaben oder Veränderungen bei den langfristigen Energiepreisen.

Genutzte Daten der Gebäude

Im Kern enthält das Modell eine detaillierte Beschreibung des Gebäudebestands sowie der jeweiligen Heiz-, Trinkwarmwasser- und Kühlsysteme. Die Spezifizierung aller Gebäude erfolgt mittels Kenngrößen wie u. a. der Gebäudeform, Geschoßanzahl und Geschoßhöhe sowie zum Anteil der vertikalen Flächen, die an beheizte Gebäude angrenzen, dem Anteil der Fensterflächen an der Fassadenfläche und der Orientierung der Flächen. Darüber hinaus werden für die wärmeübertragenden Außenflächen die typischen thermodynamisch-energetischen Kenngrößen (U-Werte, Strahlungsabsorptionsverhalten sowie Verschattungselemente) spezifiziert. Die Gebäudenutzung wird mittels typischer Gebäudenutzungstypen abgebildet. Dabei werden Eigenschaften wie z. B. Heiz- und Kühllsoltemperaturen, Nutzungsdauern, innere Energieeinträge, Trinkwarmwasserbedarf sowie empirische Erfahrungswerte zur Abweichung zwischen dem berechneten Energiebedarf und beobachtetem Energieverbrauch definiert. Die jeweilige Gebäudetechnik umfasst die Wärmeverteilung für Warmwasser und Heizung im Gebäude, die Wärmeerzeugung (primäre Wärmebereitstellung, Solarthermie und Photovoltaik), Heizungssteuerung sowie eventuell vorhandene Lüftungsanlagen. Die Berechnung des Energiebedarfes und des Endenergieeinsatzes erfolgt mittels quasistatischem Monatsbilanzverfahren nach ÖNorm B8110. Der so errechnete Energiebedarf wurde zudem mittels der zugehörigen Normbeilagen verifiziert.

Ablauf der Berechnungen und „Entscheidungsfindung“

Abbildung 7-1 zeigt das Ablaufschema von Invert/EE-Lab mit den einzelnen Modulen und Datenbanken. Der Ablauf einer Simulation gestaltet sich wie folgt: Zunächst werden alle relevanten Daten zusammengetragen. In die „Datenbank Gebäudebestand“ fließen in den Simulationen für München u. a. Daten aus dem Modell München ein. Zudem existiert eine „Datenbank Technologien“ für Heizungssysteme, Wärmeverteilung, Bauteile der Gebäudehülle bis hin zu Renovierungsoptionen. Dort werden neben Nutzungsgraden und U-Werten u. a. auch Investitionskosten vorgegeben. Weitere Eingangsgrößen in das Modell sind neben „Klimadaten“ (dabei wird ein langfristiger Rückgang des Raumwärmebedarfes durch den Klimawandel unterstellt) auch Vorgaben zum „Nutzerverhalten“ (z. B. zu Rauminnentemperaturen in bestimmten Baualtersklassen) sowie weitere „Exogen

definierte Szenariendaten“ wie weitere im Kapitel 7 beschriebene Daten wie Energiepreise, Förderungen, regionale EE-Potenziale, etc.

Die Potenziale der Bedarfsenkung (z. B. durch Sanierung) tragen dazu bei, den Wärmebedarf zu reduzieren, daher werden entsprechende Szenarien und Kostendaten in Kapitel 7.2 genauer beleuchtet.

Die konkrete Berechnung läuft so ab, dass zunächst relevante Daten für jedes Gebäude in das „Energimodul“ gelangen. Hier wird für verschiedene Technologieoptionen und Sanierungsvarianten der Energiebedarf und Endenergieeinsatz mittels quasi-statischem Monatsbilanzverfahren nach ÖNorm B8110 für jedes Gebäude berechnet. Bei den hellgrün markierten Modulen in der Mitte von Abbildung 7-1 können anschließend Entscheidungen getroffen werden. Jedes Gebäude wird durch einen Agenten repräsentiert. Dabei prüft jeder Agent für „sein“ Gebäude im Verlauf der Simulation, ob Bauteile wie Dach, Fassade, Fenster oder Heizungssystem das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben (hierfür werden Eintrittswahrscheinlichkeiten genutzt mit den durchschnittlichen Lebensdauern gemäß Tabelle 7-6).

Als Ergebnis werden für jedes Gebäude die Durchführungswahrscheinlichkeiten für Maßnahmen (Sanierungsstandard sowie Heizungsart) und Zeitpunkte für Aktivitäten berechnet. Es ergibt sich somit für jedes Gebäude ein individueller Wahrscheinlichkeitsraum über den zukünftigen Zustand. Beispielsweise würde ein Einfamilienhaus, welches heute Erdgas nutzt, in 15 Jahren so transformiert sein, dass es mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 % mit einer Luft-Wärmepumpe beheizt wird und mit 20 % Wahrscheinlichkeit mit einer Grundwasser-Wärmepumpe (ähnliche Aussagen werden auch für verfügbare Sanierungsoptionen getroffen). Würde man nun eine Förderung für Grundwasser-Wärmepumpen in das Modell integrieren, so würde das beispielhafte Gebäude diese Technologie mit einer höheren Wahrscheinlichkeit nutzen. Es lassen sich mit dem Modell Invert/EE-Lab, welches an das Modell München angebunden ist, durch die Variation der zuvor genannten Eingangsdaten somit z. B. die Wirkungen von Maßnahmen und geänderten regulatorischen Rahmenbedingungen quantifizieren. /GÜNT-01 20/

Für die Ergebnisse der Eignungsgebiete ist folgender Umstand relevant: Die zeitliche Reihenfolge der Maßnahmenumsetzung von thermischer Sanierung und Heizungstausch wird nicht gekoppelt berücksichtigt. Ist z. B. in einem Gebäude Fernwärme und eine Wärmepumpe verfügbar und ein Kesseltausch vor der Sanierung notwendig, so kann die Fernwärme gegenüber der Wärmepumpe ökonomisch vorteilhaft sein, auch wenn nach der Sanierung die Wärmepumpe vorteilhaft wäre.

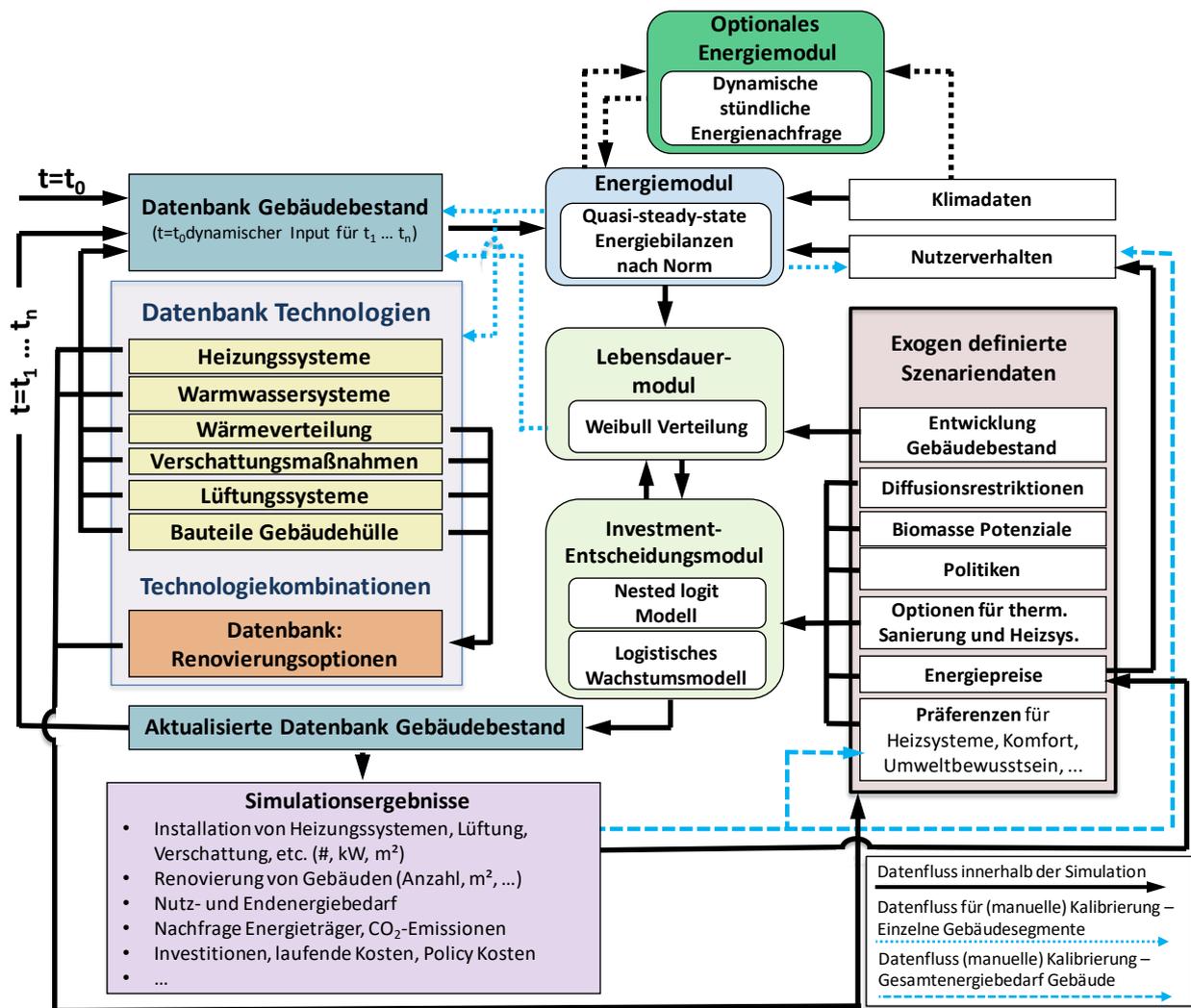


Abbildung 7-1: Ablaufschema des Modells Invert/EE-Lab

7.2 Rahmenparameter der Szenarien

Um die Wirtschaftlichkeit eines Energieträgerwechsels bewerten zu können, müssen sowohl die einhergehenden Investitionen, die zukünftige Entwicklung der Betriebskosten sowie technische Parameter bewertet werden. Hierfür sind u. a. Szenarien für die künftige Entwicklung der CO₂- und Energieträgerpreise (Kapitel 7.2.1), die Investitions- und festen Betriebskosten (Kapitel 7.2.2), Anlageneffizienzen (Kapitel 7.2.3), Sanierungskosten (Kapitel 7.2.4) sowie Förderungen (Kapitel 7.2.5) relevant.

Bei der Betrachtung von historischen und zukünftigen Preisen unterscheidet man zwischen den inflationsbereinigten Realpreisen und den nicht inflationsbereinigten Nominalpreisen. Damit die Kostenangaben aus heutiger Sicht nachvollziehbar sind, werden im Folgenden die Realpreise mit Bezugsjahr 2023 angegeben. Für die Umrechnung von historischen Preisen auf den aktuellen Preisstand wird der jährliche Verbraucherpreisindex des Statistischen Bundesamtes /DESTATIS-03 23/ angesetzt. Für die zukünftige Inflation werden 1,5 % angenommen, abgeleitet am langjährigen Mittel vor dem Inflationsanstieg ab 2021.



Abbildung 7-2: Prozentuale Änderung des Verbraucherpreisindex zum Vorjahr, eigene Darstellung nach /DESTATIS-03 23/

7.2.1 Szenarien der CO₂- und Energieträgerpreise

Im Nachfolgenden wird beschrieben, wie methodisch vorgegangen wurde, um Szenarien für CO₂- und Energieträgerpreise zu entwickeln. Zur Überprüfung der Plausibilität wurden die Methodik und die resultierenden Preisverläufe mit Expert:innen der SWM diskutiert. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass diese Analysen Anfang 2023 durchgeführt wurden. Neben den Marktpreisen werden weitere Preiskomponenten, wie anfallende Steuern und Umlagen, sowie deren Entwicklung beschrieben. Dabei werden neben den CO₂-Emissionspreis-Szenarien für das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) und das EU Emissionshandelssystem (EU ETS) Szenarien für die Energieträger Strom, Erdgas, Biomasse, Heizöl und Wasserstoff ermittelt. Für Erdgas, Wasserstoff und Heizöl kann durch die beschriebene Methodik lediglich ein Szenario ermittelt werden. Hierbei ist insbesondere die Kostendifferenz zu den Strom-Szenarien entscheidend, da diese für den Kostenunterschied der jeweiligen Wärmegestehungskosten verantwortlich ist. Für alle weiteren Preise wird durch ein moderates und ein höheres Szenario eine mögliche Bandbreite der unsicheren zukünftigen Entwicklung dargestellt.

Für Brennstoffe beziehen sich die Preise durchgängig auf den Brennwert, da dieser meistens die abrechnungsrelevante Größe ist. Im Gegensatz zum Heizwert wird im Brennwert die bei der Abkühlung der Verbrennungsgase anfallende Kondensationswärme berücksichtigt, sodass der Brennwert über dem Heizwert liegt /GEG-01 19/ bzw. die Preise bezogen auf den Brennwert bei gleicher Menge Brennstoff niedriger sind als auf den Heizwert bezogen.

Unter der Prämisse, dass in den für die Preisszenarien relevanten langfristigen Märkten die Beschaffung frühzeitig erfolgt, werden für 2023 Marktdaten aus Ende 2022 verwendet. Bei Erdgas, Strom und EU ETS wird der 23.11.2022 als Stichtag der im folgenden gezeigten Preise ausgewählt. Um kurzfristige Preisschwankungen auf den Märkten auszugleichen, wird im Terminmarkt der EEX für Strom, Erdgas und EU ETS der Mittelwert aus drei Kalenderwochen weiterverwendet. Für die im folgenden aufgezeigten Werte werden die Marktpreise der Kalenderwochen 4 bis 6 aus 2023 gemittelt.

Wichtig ist vorab festzuhalten: In der Vorgängerstudie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ wurden Energiemarktsimulationen von SWM, FfE und Öko-Institut miteinander verglichen, um die Entwicklung der Preise zu prognostizieren. Um eine rollierende kommunale Wärmeplanung zu erreichen, muss die Prognose künftig jedoch basierend auf öffentlich zugänglichen Daten erfolgen können. Daher wurde im Rahmen dieser Studie für alle Energieträger eine entsprechende Methode entwickelt.

Preise im EU-Emissionshandelssystem

Im EU-weiten Emissionshandelssystem EU ETS werden an der Börse /EEX-01 23/ aktuell Futures der Emissionsrechte bis 2031 gehandelt, weshalb dies als realer Markt die Basis des moderaten Preisszenarios bildet. Um kurzfristige Schwankungen im Abrechnungskurs der EEX European Carbon Futures auszugleichen, wird aus den Marktdaten ein Mittelwert über drei Kalenderwochen gebildet. Da es sich bei den Marktdaten um Nominalpreise handelt, werden diese deflationiert auf Realpreise. Im moderaten Szenario wird der letzte verfügbare Börsenpreis für 2031 mit einer moderaten Steigerung von jährlich 1 % fortgeschrieben, da von einer weiteren Verknappung der Emissionsrechte ausgegangen wird. Im höheren Preisszenario wird bis 2027 der EEX-Preis angesetzt und anschließend das „Net Zero Emissions by 2050 Szenario“ des World Energy Outlook 2022 verwendet, um das 1,5 °C-Ziel und die wichtigsten energiebezogenen UN-Ziele zu berücksichtigen /IEA-07 22/.

Emissionsbepreisung nach Brennstoffemissionshandelsgesetz

In Tabelle 7-1 sind die CO₂-Zertifikatspreise basierend auf der entsprechend festgelegten Steuerung im Rahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BEHG) /BMJV-01 22/ festgehalten. Nach 2025 soll die Preisbildung marktbasierend erfolgen, weshalb für 2026 im Gesetz ein Preiskorridor von 55 - 65 €/t CO₂ (nominal) angegeben und der Mittelwert im Szenario angelegt wird.

Tabelle 7-1: Festgelegte Entwicklung der Emissionsbepreisung im BEHG /BMJV-01 22/

Gültig ab	BEHG von 11.2022 (nominal) in €/t CO ₂	Umgerechnet auf Realpreise (Inflation 1,5 %/a) in € ₂₀₂₃ /t CO ₂
2023	30	30
2024	35	34,5
2025	45	43,7
2026	55 – 65 Annahme Mittelwert: 60	57,4

Unter der Annahme, dass die politische Intention eine Angleichung des EU ETS und des BEHG anstrebt, wird für 2030 analog des EU ETS-Szenarios 113 €₂₀₂₃/t CO₂ und zwischenzeitlich ein linearer Anstieg angenommen. Ab 2030 entspricht das Szenario für BEHG dem moderaten Szenario des EU ETS. In Abbildung 7-3 sind die beschriebenen Szenarien im BEHG und EU ETS dargestellt.

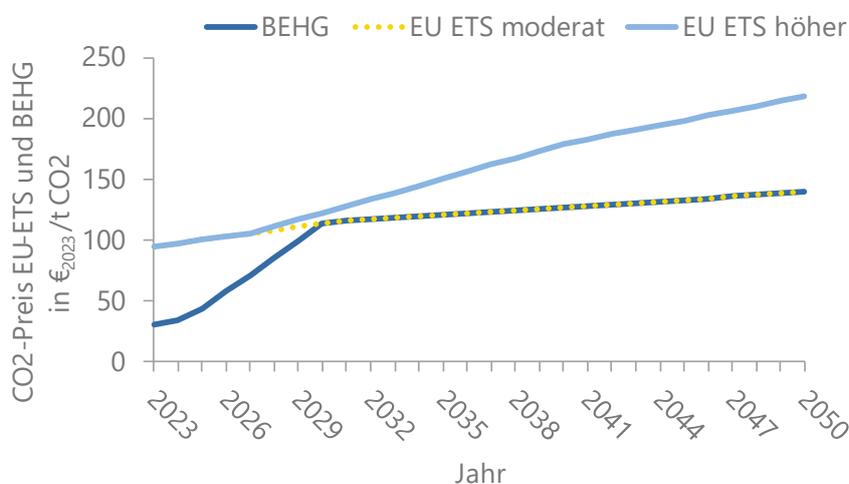


Abbildung 7-3: Szenarien der CO₂-Preise im BEHG und EU ETS

Strompreis

Das Strompreis-Szenario basiert auf dem Terminmarkt /EEEA-01 23/ und wird ebenfalls zum Ausgleich von kurzfristigen Schwankungen über drei Kalenderwochen gemittelt. Durch die russische Invasion in der Ukraine ist 2022 das Preisniveau der Energiemärkte insgesamt angestiegen /FFE-25 22/. Da die Beschaffung meist bereits im Vorjahr erfolgt, werden für 2023 die Preise angesetzt, welche Ende November 2022 für das Folgejahr aufgerufen werden. Anfang 2023 ist eine fallende Tendenz bei den Börsenpreisen für Erdgas- und Strom festzustellen, der sich in den gehandelten Folgejahren fortsetzt. Die aktuell gehandelten Börsenpreise gehen bis in das Jahr 2033, wobei die Liquidität im Markt so weit in der Zukunft gering ist. Der Preis für 2033 liegt bei 94 €₂₀₂₃/MWh und wird im moderaten Szenario konstant als Realpreis fortgeschrieben. Um ein höheres Preisszenario zu erhalten, wird der Börsenpreis bereits ab 2027 konstant bei 108 €₂₀₂₃/MWh gehalten, da nach diesem Jahr die Liquidität am Markt stark abfällt. Dies wird über das geringere gehandelte Volumen und weniger offene Kontrakte an der EEX /EEEA-01 23/ sichtbar. Wie auch in der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ wurde die Preisentwicklung mit Experten der SWM diskutiert und gemeinsame Szenarien abgestimmt. Die gewählte Methodik wurde durch die Nutzung öffentlich verfügbarer Daten dabei verbessert und nachvollziehbarer sowie einfacher reproduzierbar gemacht. Die Entwicklung in beiden Szenarien ist in Abbildung 7-4 festgehalten.

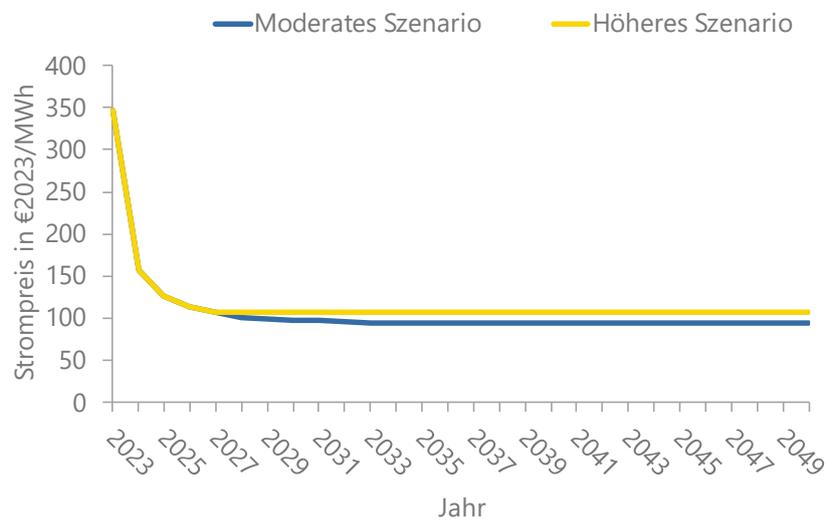


Abbildung 7-4: Szenarien des Börsen-Strompreises

Der Endkundenpreis von privaten Haushalten und Industrie-Unternehmen beinhaltet neben dem Börsenpreis weitere Kostenkomponenten, deren Entwicklung in /FFE-79 21/ für München beschrieben werden. Daher werden in Tabelle 7-2 lediglich die Zahlenwerte aktualisiert.

Tabelle 7-2: Komponenten des Strompreises nach /BDEW-01 20/¹ und /SWM-01 23/², /SWM-03 22/³, /SWM-02 23/⁴, /EEEA-01 23/⁵ und angenommene Entwicklung

Kostenkomponente Strompreis	Wert 2023 in € ct ₂₀₂₃ /kWh	Angenommene Entwicklung der Strompreiskomponente differenziert zwischen verschiedenen Verbrauchenden		
		Endverbrauchende	Wärmepumpen in Haushalten	Großverbraucher
Energiebeschaffung ⁵	34,6	Entwicklung des Energiebeschaffungspreises gemäß Börsenstrompreis		
Vermarktpreis ¹	1,57	Vorgehen aus /FFE-79 21/ Ausgangswerte aus /BDEW-01 20/ konstant		Da keine Daten zum Vermarktpreis verfügbar und als gering zu erwarten, vereinfachend vernachlässigt
Konzessionsabgabe ²	Niederspannung (NS): 2,39 (Hoch- und Eintarif), 0,61 (Niedertarif) 1/4-Stunden-Leistungsmessung 0,11	Preis NS Hoch- und Eintarif konstant	0,11 ct/kWh	1/4-Stunden-Leistungsmessung
Netzentgelte inkl. Messung & Messstellenbetrieb	NS ² : 4,49 Wärmepumpen-Tarif ² : 2,35 MS ³ : je nach Jahresbenutzungsdauer 3,19 wenn <2.500 h/a bzw. 0,33 wenn >=2.500 h/a	Entwicklung analog zu /FFE-79 21/ gemäß Berechnungen der SWM		
Stromsteuer ¹	2,05	Bis 2035 lineare Absenkung auf die Hälfte Bis 2050 dann konstant		
Weitere Umlagen ⁴	1,237	Jeweils angegeben für beide Jahre 2022 - 2023: Offshore-Netzumlage (0,419 ct/kWh - 0,519 ct/kWh), AbLaV (0,003 ct/kWh – nicht mehr erhoben), StromNEV (0,437 ct/kWh – 0,417 ct/ kWh), KWK-Umlage (0,378 ct/kWh – 0,357 ct/ kWh) Bis 2050 konstant (Puffergröße für mögliche neue Kostenkomponenten)		
Mehrwertsteuer	8,8	Konstant 19 %		

Erdgaspreis

Analog zum Strom basiert der Erdgaspreis in den Szenarien ebenfalls auf den gemittelten Terminmarktpreisen der EEX THE /EEX-03 23/, welche aktuell bis 2027 verfügbar sind. Da die Beschaffung für 2023 meist bereits 2022 erfolgt, werden hier, analog zum Strompreis, die Preise aus Ende November 2022 angesetzt, zu denen für 2023 gehandelt wird. Je weiter die gehandelten Preise in der Zukunft liegen, desto höhere Unsicherheiten sind mit diesen verbunden. Da jedoch bis 2027 relevante Mengen zu sinkenden Preisen gehandelt werden, wird diese Preisentwicklung angesetzt. Unter der Annahme, dass längerfristig der LNG-Import-Preis nach Europa preissetzend ist, wird dieser für die anschließenden Jahre ermittelt. Dabei entspricht der bis 2035 verfügbare US-Preis Henry Hub Natural Gas Futures annähernd den Kosten des Imports von LNG nach Europa, wobei noch Prozess- und Transportkosten für das LNG hinzugerechnet werden müssen. Diese werden aus der Differenz zwischen dem EEX TTF /EEX-04 23/ für 2027, als virtueller Grenzeintrittspreis über die Niederlande in die EU und dem Henry Hub inkl. 15 %-Aufschlag im Jahr 2027 für die Marge des Betreibers des Verflüssigungsterminals /SWM-08 21/ mit 17 €/MWh abgeschätzt und als konstant angesetzt. Die Vollkosten berechnen sich somit aus der Summe des Henry Hub mit 15 %-Aufschlag und den errechneten Prozess- und Transportkosten. Ab 2035 wird

dieser Preis ebenfalls real konstant festgeschrieben. In Abbildung 7-5 ist die beschriebene Entwicklung visualisiert, welche sich bei 29 €₂₀₂₃/MWh für 2050 einpendelt.

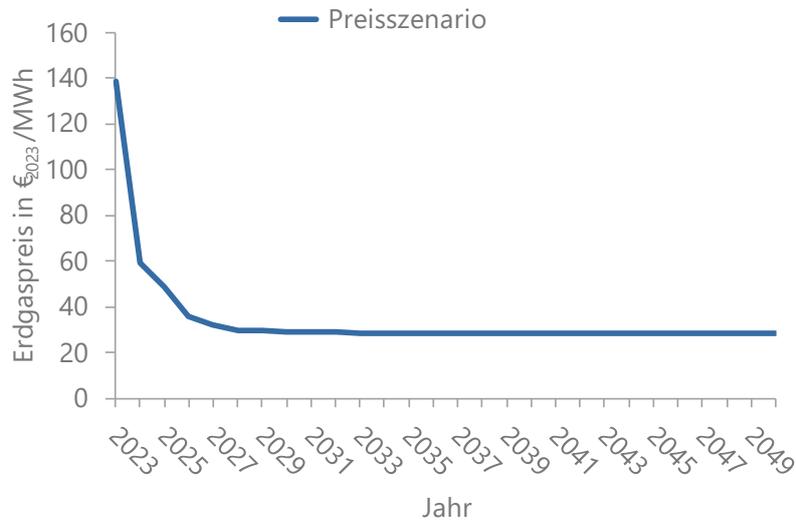


Abbildung 7-5: Szenario des Börsen-Erdgaspreises

Auch der Endkundenpreis für Erdgas enthält die weiteren Kostenbestandteile, welche in /FFE-79 21/ für München näher beschrieben und aktualisiert werden. Ebenso verhält es sich mit der angesetzten Entwicklung. Die seit 2021 eingeführte CO₂-Bepreisung und Gasspeicherumlage wird in Tabelle 7-3 ebenfalls ergänzt.

Tabelle 7-3: Komponenten des Erdgaspreises nach /BDEW-01 20/¹, /SWM-04 22/², /BMF-04 22/³, /THE-02 22/⁴, /TIM-01 23/⁵, /EEX-03 23/⁶ /EEX-04 23/⁷ und angenommene Entwicklung

Kostenkomponente	Wert 2023 in € ct ₂₀₂₃ /kWh	Angenommene Entwicklung der Erdgaspreiskomponenten differenziert zwischen verschiedenen Verbrauchenden	
		Privatkunde	Kraftwerke
Energiebeschaffung ^{5,6,7}	13,85	Entwicklung gemäß Börsenpreis	
Vermarktpreis ¹	0,8675	Vorgehen aus /FFE-79 21/ (Differenz der Gesamtkosten (Mittelwert EFH und MFH) abzgl. mittlerer Erdgaspreis 2019 und 2020 - Bei Handel im Vorjahr betrug der mittlere Erdgaspreis 20,7 €/MWh in 2019 und 18,2 €/MWh in 2020) Ausgangswerte aus /BDEW-01 20/ konstant	Da keine Daten zum Vermarktpreis verfügbar und diese als gering zu erwarten sind, vereinfachend vernachlässigt
Konzessionsabgabe ²	0,03	Konstant bei 0,4 € ct/kWh („Standardkunde“ – nicht Kochen und TWW)	Konstant bei 0,03 € ct/kWh (Sondervertragskunde)
Netzentgelte inkl. Messung & Messstellenbetrieb ²	1,38	Entwicklung analog /FFE-79 21/	Nur relevant für Kraftwerke, Skalierung mit Preisblatt
Gasspeicherumlage ⁴	0,059	Konstant und diskontiert	
Erdgassteuer ¹	0,55	Konstant und diskontiert	
Emissionsbepreisung BEHG ⁶	0,55	Siehe Abbildung 7-3	
Mehrwertsteuer	1,2	Zur Zeit für Erdgas abgesenkt auf 7 % bis 31. März 2024 bis 2050 konstant 19 % ³	

Heizöl

Die Genauigkeit der Preisprognose des Heizölpreises für Endkunden wird im Vergleich zur Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ erhöht, indem diese anhand eines aktuellen Gesamtpreis-Angebotes eines Heizöllieferanten hergeleitet wird. Durch den Abzug der bekannten Energiesteuer, CO₂-Steuer und Mehrwertsteuer und eines angesetzten Deckungsbeitrags, welche in Tabelle 7-4 dargestellt sind, ergibt sich der Preis der Energiebeschaffung. Für die zukünftige Entwicklung wird angenommen, dass der Preis der Energiebeschaffung vom Rohölpreis abhängig ist. Daher wird für die zukünftige relative Entwicklung der Intercontinental Exchange (ICE) Brent Crude Futures /ENERG-01 23/ bis 2027 auf den Beschaffungsanteil umgelegt und anschließend konstant gehalten. Die Entwicklung des Endkundenpreises ist in Abbildung 7-6 dargestellt.

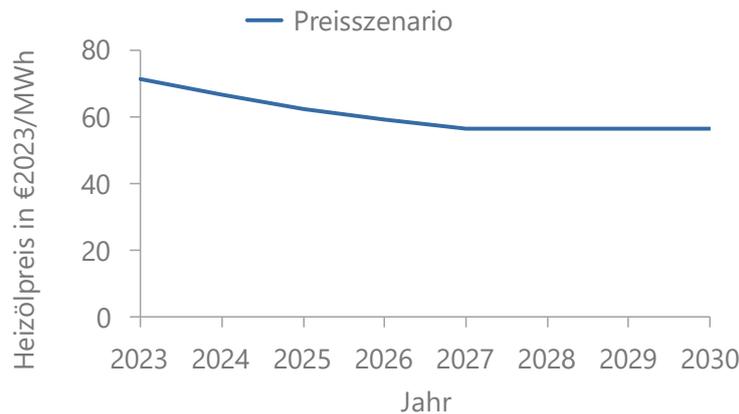


Abbildung 7-6: Szenario des Heizöl-Gesamtpreises

Tabelle 7-4: Komponenten des Heizölpreises nach /SHELL-01 23/¹ und /BAYWA-01 23/², /BMJ-01 23/³ und angenommene Entwicklung

Kostenkomponente	Wert 2023 in € ct ₂₀₂₃ /kWh	Angenommene Preisentwicklung
		Privatkunde
Energiebeschaffung und Vertrieb ²	7,14	analog Preisentwicklung für Rohöl + zzgl. Deckungsbeitrag Handel 0,62 ct/kWh ¹ , konstant
Energiesteuer ^{1,3}	0,58	Konstant und diskontiert
Emissionsbepreisung gemäß BEHG	0,55	Siehe Abbildung 7-3
Mehrwertsteuer ¹	1,73	konstant 19 %

Biomasse

Für die aktuellen Preise von Pellets und Hackschnitzeln wird auf dem Marktvergleich des Carmen e.V. /CAR-03 23/ zurückgegriffen. Ausgewählt werden für Hackschnitzel die Preise mit Wassergehalt von 20 % und bei Pellets für 20 Tonnen, jeweils mit dem Umrechnungsfaktor von 1,08 von Heizwert auf Brennwert. Als Preissteigerung werden, angelehnt an Prognosen von Wärmeversorgern, im moderaten Szenario 1%/Jahr und im höheren Szenario 2%/Jahr angelegt. Die Entwicklungen sind in Abbildung 7-7 und Abbildung 7-8 dargestellt. Im Jahr 2050 werden für die beiden Szenarien Pelletspreise von 126 bzw. 165 €₂₀₂₃/MWh und Hackschnitzelpreise von 55 bzw. 71 €₂₀₂₃/MWh errechnet.

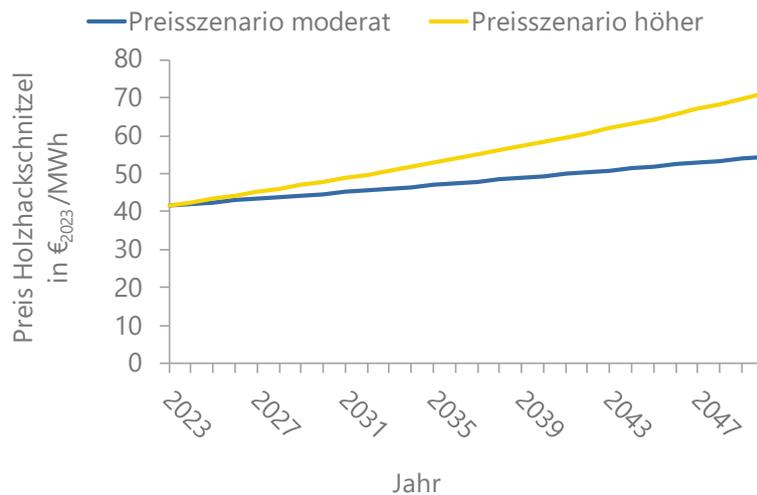


Abbildung 7-7: Szenarien für Hackschnitzelpreise

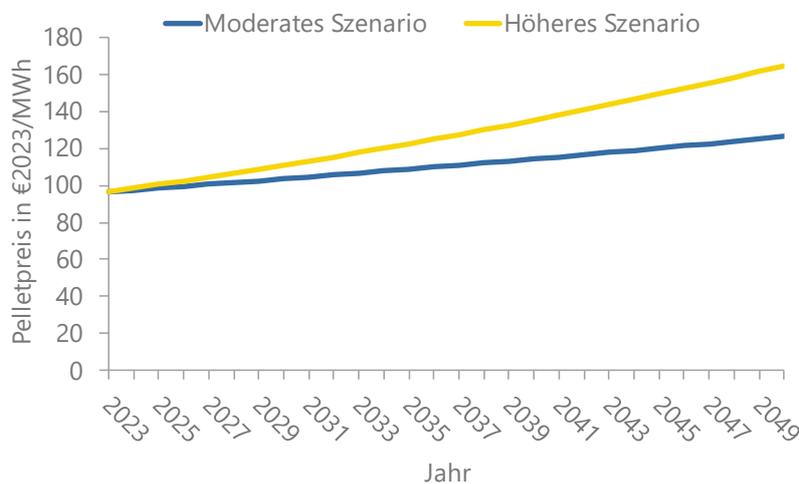


Abbildung 7-8: Szenarien für Pelletpreise

Fernwärme

Wie bei den anderen Energieträgern, hängt das Niveau zukünftiger Fernwärme-Endkundenpreise von vielen Parametern ab, die einer Unsicherheit unterliegen. Während sich für Langfristprojektionen der Endkundenpreise bei Strom, Erdgas, Öl und CO₂-Zertifikaten an Terminpreisen am Großhandelsmarkt orientiert werden konnte, ist dies bei Fernwärme nicht möglich - es gibt hierfür keinen Großhandelsmarkt. Daher wurde synthetisch ein Fernwärmepreis hergeleitet, der die folgenden Eigenschaften erfüllen soll:

- Die Berechnung der Fernwärmekosten in der Vorgängerstudie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ führte dazu, dass die FW-Endkundenpreise in einer langfristigen Betrachtung nahezu konstant bleiben. In einer Preisprognose des BMWK /ZFK-02 23/ verläuft dieser langfristig ebenfalls verhältnismäßig flach. Daher soll auch der in dieser Studie angenommene FW-Endkundenpreis verhältnismäßig flach verlaufen und keinen starken Anstieg zeigen.
- Das Preisniveau der Fernwärme liegt in der Preisprognose des BMWK /ZFK-02 23/ leicht über dem Endkundenpreis für Erdgas. Dies gilt auch für den Fernwärme-Endkundenpreis in dieser Studie.
- Zudem liegt das Preisniveau der Fernwärme in der Preisprognose des BMWK /ZFK-02 23/ signifikant unter dem Endkundenpreis für Strom, was ebenfalls für diese Studie übernommen wird.

An dieser Stelle der Hinweis, dass der synthetisch erzeugte Fernwärmepreis für Endkunden im Rahmen dieser Studie vorgegeben ist und u. U. von einem tatsächlich in Zukunft auftretenden Fernwärmepreis abweichen kann (dies gilt auch für alle anderen betrachteten Energieträger). Derzeit arbeiten die SWM am Transformationsplan Fernwärme und konkretisieren die Konfiguration des Anlagenparks, den Anlageneinsatz sowie anfallende Kosten des Netzausbaus. Hieraus lässt sich dann eine genauere Ableitung eines möglichen langfristigen Fernwärme-Endkundenpreises erstellen, die jedoch, wie zuvor erwähnt, weiterhin von zahlreichen Parametern abhängen wird, die einer Unsicherheit unterliegen.

Wasserstoff

Da sich die Wasserstoff-Erzeugung und Infrastruktur noch in der Entwicklung befinden, sodass sich bisher kein zentraler Marktplatz etabliert hat, bestehen hierbei die größten Unsicherheiten in den Preisszenarien. Daher wird der Szenarienbildung eine Studienanalyse vorgeschaltet. Zusätzlich wird erst mit einer Verfügbarkeit von Wasserstoff ab 2030 gerechnet, weshalb die Darstellung erst ab diesem Jahr startet. Durch die beschriebenen Unsicherheiten ergibt sich eine große Bandbreite an Preisen, weshalb mehrere Datensätze als Basis des Szenarios herangezogen werden. Es wird ein Mittelwert aus dem Szenario der Agora „Klimaneutrales Deutschland 2045“ /PROG-01 21/ für Wasserstoff aus erneuerbaren Energien und dem Fraunhofer ISI Langfristszenario T34 /ISI-05 22/ verwendet, der für 2030 ebenfalls durch das Szenario Klimapfade 2.0 des Bundesverbands der Deutschen Industrie /BCG-01 21/ für grünen Wasserstoff bestätigt wird. In Abbildung 7-9 werden die Werte für grünen Wasserstoff jeweils inflationsbereinigt auf 2023 und zwischen den angegebenen Stützjahren gemittelt aufgezeigt.

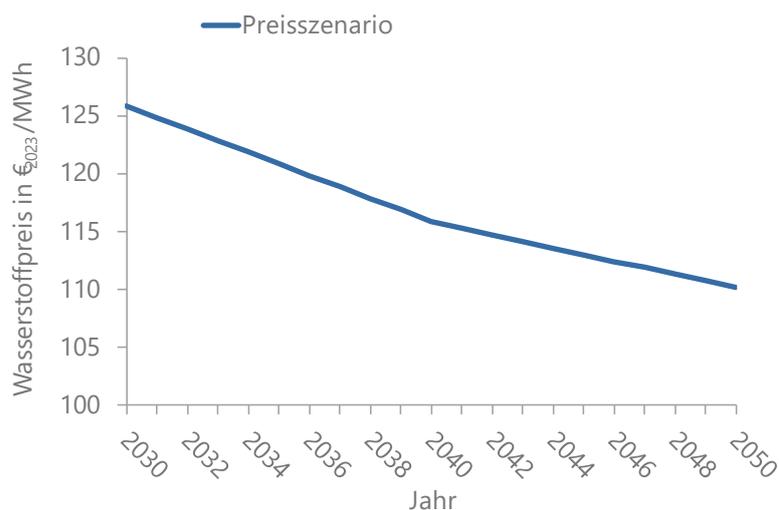


Abbildung 7-9: Szenario des Wasserstoff-Preises

Für den Endkundenpreis werden als grobe Näherung die Aufschläge für Erdgas Tabelle 7-3 ohne CO₂-Steuer angesetzt.

Biogas und Herkunftsnachweise

Langfristprojektionen für Biogas sind äußerst schwer anzustellen. Zudem gibt es keinen transparenten Großhandelsmarkt (inkl. ausreichender Liquidität für größere Mengen und entsprechend weit in die Zukunft reichende Terminpreise). Zur Herleitung der Endkundenpreise für Biogas wurde sich an aktuellen Preisangeboten orientiert, wobei dies allein aufgrund der vsl. begrenzten Verfügbarkeit an Biogas bei langfristigen Preisprognosen nicht sachgerecht ist. Daher wurde für die langfristige Entwicklung angenommen, dass Biogas zum einen immer teurer als Erdgas ist, aber in den nächsten Jahren noch deutlich günstiger als Wasserstoff sein wird. Gründe hierfür sind, dass aktuell und mittelfristig Wasserstoff lokal produziert und zumeist aufwändig transportiert werden muss. Weiterhin gibt es noch kein nationales Wasserstoffnetz und keine Importe an Wasserstoff. Bis 2050 nähert sich der Endkundenpreis für Biogas dem des Wasserstoffs an, wobei Letzterer, wie zuvor dargestellt, langfristig sinkt.

Diese Näherung basiert auf folgender Annahme: Unter der Voraussetzung, dass Kunden einen gasförmigen Energieträger benötigen - beispielsweise für bestimmte Industrieanwendungen - würden Kunden soweit verfügbar zu Wasserstoff wechseln, wenn Biogas langfristig signifikant teurer ist als Wasserstoff. Umgekehrt würde ein signifikant niedrigerer Biogas-Preis Anreize schaffen, Biogas statt Wasserstoff zu nutzen.

Beim Endkundenpreis für Herkunftsnachweise (inkl. der Lieferung von Energie) wird sich am Endkundenpreis für Biogas orientiert, wobei ab 2030 bei den Herkunftsnachweisen eine bilanzielle (nicht physische) Beimischung von Wasserstoff unterstellt ist (20 Volumenprozent bzw. bezogen auf den Energieanteil bei 7 %). Diese Beimischung erfolgt über die Preisbestimmung des Herkunftsnachweises und nicht im Rahmen einer physischen Belieferung in einer separaten Leitung.

Abgleich mit Annahmen und Szenarien aus „Klimaneutrale Wärme München 2035“

In Abbildung 7-10 werden die Szenarien für Emissions- und Energieträgerpreise dieser Studie, welche mit 2023 gekennzeichnet sind, mit den Szenarien aus der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ (gekennzeichnet als 2021) gegenübergestellt. Im EU-Emissionshandel hat sich das Preisniveau mehr als verdoppelt, wohingegen der Anstieg aus dem Bundesemissionshandelsgesetz (BEHG) im Realpreis unverändert verläuft. Im Endkundenpreis für Wärmepumpen-Strom in Haushalten liegen die Werte aus 2021 zwischen dem moderaten und hohen Szenario aus 2023. Der Endkundenpreis für Erdgas startet durch die energiepolitischen Entwicklungen seit 2021 auf einem höheren Niveau und pendelt sich ab 2030 in einer vergleichbaren Größenordnung ein. Für Wasserstoff wird in /FFE-79 21/ lediglich der Marktpreis angegeben, welcher sich zwischen 2021 und 2023 ebenfalls nahezu verdoppelt hat. Im Szenario für Heizöl wird in den neuen Szenarien ab 2023 langfristig ebenfalls von höheren Preisen ausgegangen.

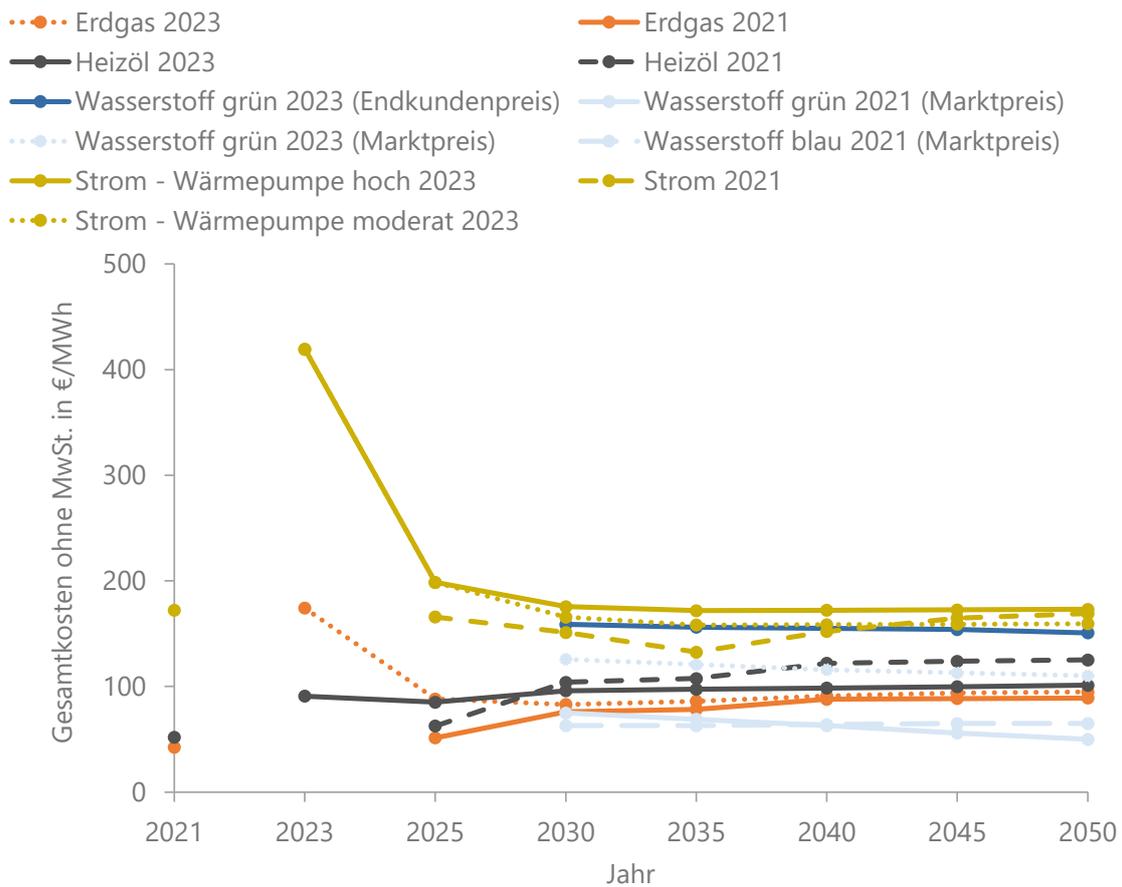
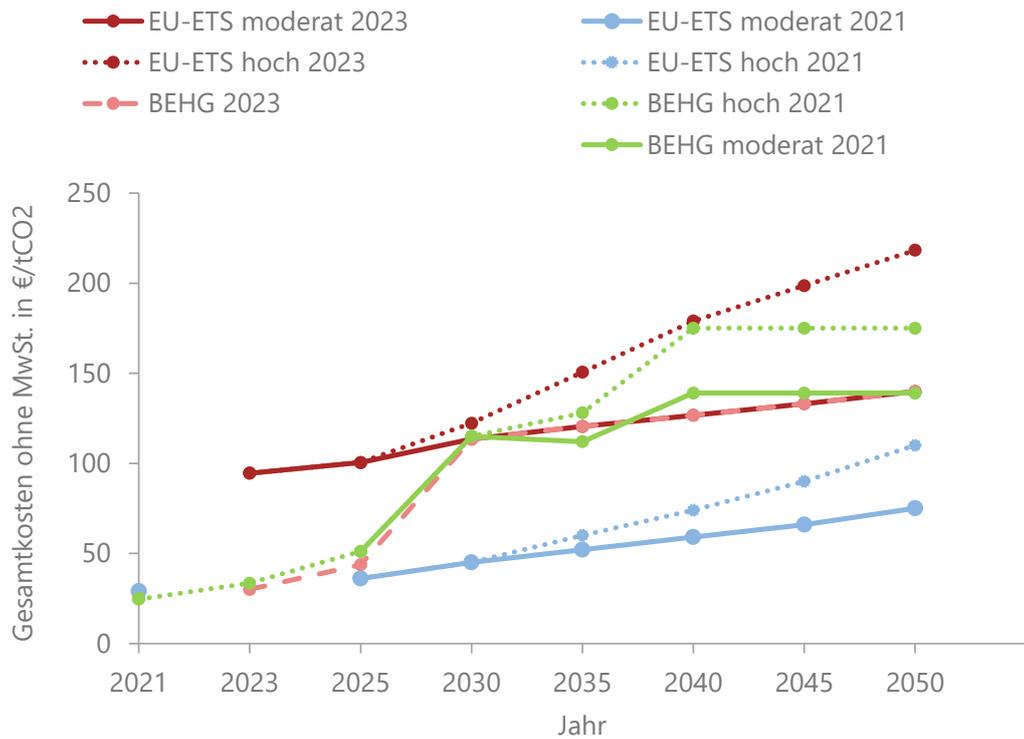


Abbildung 7-10: Gegenüberstellung der Preisszenarien für Energieträger und Emissionen der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ (Stand 2021) /FFE-79 21/ und Wärmestrategie München (Stand 2023)

7.2.2 Investitions- und Betriebskosten der Wärmeerzeugungstechnologien

Zur Validierung der Investitions- und Betriebskosten für dezentrale Wärmeerzeugungstechnologien werden verschiedene Quellen verglichen und eine Auswahl getätigt. Um die unterschiedlichen Kostenfunktionen für die Wärmeerzeuger vergleichbar zu machen, werden Umrechnungen vorgenommen, die im Nachfolgenden je Quelle erläutert werden.

Im Modell Invert/EE-Lab der e-think energy research GmbH (abgekürzt als e-think) werden bislang Kostenfunktionen angelehnt an /IWU-01 21/ verwendet. Dabei wird mit einem abgeschätzten 15 %igen Kostenaufschlag für München gerechnet, welcher zur Vergleichbarkeit abgezogen wird. In der Kostenfunktion ist ein vollständiger Tausch eines Heizungssystems durch eine Installationsfirma inkl. Speicher, Verrohrung etc. enthalten, wobei die Zusatzkosten der Demontage nicht betrachtet werden.

In der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ werden die Kostenfunktionen aus der Dissertation von Jochen Conrad /JC-01 20/ angesetzt, welche aus /HSW-01 11/ stammen (abgekürzt als FfE). Es werden die Faktoren für Kostendegression für 2020 angesetzt, sowie die Preise von 2010 auf 2022 inflationsbereinigt. Außerdem werden in /HSW-01 11/ Leistungsbereiche genannt, für welche die Kostenfunktionen Gültigkeit besitzen. In der Kostenfunktion ist die Anlageninstallation enthalten.

Im Technikkatalog (Version 1) der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (abgekürzt als KEA) werden einzelne Kostenwerte für unterschiedliche Anlagengrößen angegeben, wobei sich daraus meistens auch Kostenfunktionen annähern lassen /KEABW-01 23/). Hier wird zum Zweck der Vergleichbarkeit die Mehrwertsteuer dazugerechnet. Die Kosten für die Anlageninstallation sind in den einzelnen Kostenwerten enthalten.

Für Wärmepumpen werden durch den Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU München aus Herstellerangaben und Expertenbefragungen ebenfalls Kostenfunktionen inkl. Installation hergeleitet. Die Kostenfunktionen wurden spezifisch für München im Jahr 2023 ermittelt und enthalten keine Mehrwertsteuer, weshalb diese für den Vergleich addiert wird und kein separater regionaler Aufschlag erforderlich ist.

Die Kosten von FfE und e-think liegen in Form einer Kostenfunktion vor. Diese ist allgemein folgendermaßen aufgebaut:

$$Inv = F \cdot (B + \text{Preisfaktor} \cdot P^{1+\text{Exponent}}) \cdot F^{\text{deg}} \cdot F^{\text{Region}} \quad (7-1)$$

Inv in €	Investitionskosten
F in %	Faktor für Inflationsbereinigung
B in €	Basiswert
Preisfaktor in €/kW	Preisfaktor
P in kW	Thermische Nennleistung des Wärmeerzeugers
Exponent	Exponent
F ^{deg} in %	Kostendegressionsfaktor
F ^{Region} in %	Regionalaufschlag

Der Kern einer solchen Funktion, wie in Formel (7-1) ist der in Klammern stehende Ausdruck, der sich aus dem feststehenden Basiswert B , der Nennleistung des Wärmeerzeugers P (in kW) mit dem *Exponenten* zur Degression (daher mit negativem Vorzeichen) und einem *Preisfaktor* für Technologie zusammensetzt. Die Kosten steigen nicht linear mit der Anlagengröße, d. h. eine doppelt so große Anlage kostet nicht das Doppelte. Die spezifischen Kosten, d. h. absolute Kosten dividiert durch die Leistung, sinken mit zunehmender Anlagengröße, was für den Exponenten in die Funktion einfließt. Der Basiswert enthält Kostenbestandteile, die über einen größeren Leistungsbereich konstant und somit unabhängig von der Leistung sind. Ein Beispiel ist die Brunnenbohrung für Grundwasser-Wärmepumpen, welche bis zu einem gewissen Schwellwert mit identischem Bohrdurchmesser und

daher konstanten Kosten erfolgt. Um die Kostenfunktion für verschiedene Jahre aktuell zu halten, werden die zwei Faktoren, F für Inflationsbereinigung und F^{deg} für Kostendegression des Wärmeerzeugers, eingeführt. Während die allgemeine Kostensteigerung über die jährliche Inflation abgedeckt wird, führt der Degressionsfaktor zu einer Reduktion der Kosten in der Zukunft. Dies kann beispielsweise durch Hochlauf der Produktionskapazitäten und damit verbundenen Skaleneffekten oder der kostensparenden Weiterentwicklung der Technologien begründet sein. Über den Regionalaufschlag F^{Region} werden höhere Kosten im Vergleich zum deutschen Durchschnitt berücksichtigt. Für München werden analog zur Herleitung von e-think 15 % angesetzt. In den Funktionen der TUM ist dieser Aufschlag bereits enthalten. Der Inflationsfaktor dient der Inflationsbereinigung von Werten und soll insbesondere für Kostenfunktionen aus /HSW-01 11/ benutzt werden, da sich die Ausgangsfunktion auf das Jahr 2010 bezieht. Dieser wird anhand der Entwicklung des Preisindex für Kessel (Destatis Kategorie GP09-2521120031) und Wärmepumpen (Destatis-Kategorie GP09-282513801) /DESTATIS-05 22/ ermittelt. Hierbei wird vereinfacht eine Differenz zwischen dem Faktor im Startjahr und Zieljahr gebildet (bspw. zwischen den Jahren 2010 und 2020). Der Kostendegressionsfaktor kann in der Tabelle aus /JC-01 20/ für den jeweiligen Wärmeerzeuger entnommen werden.

Da für dieses Projekt keine öffentlich verfügbaren Daten zu Anschlusskosten an die Fernwärme vorliegen, wird das bisherige Vorgehen im Modell Invert/EE-Lab nicht verändert. In /IWU-01 21/ entspricht die Summe aus Erdgaskessel (Vollkosten) und Hausanschluss Erdgas annähernd den Investitionskosten für Fernwärme (Vollkosten) mit Hausanschluss Fernwärme, daher werden im Modell München für Fernwärme und Gaskessel identische Kostenfunktionen angenommen.

Auch in den vorliegenden Kostenkatalogen der KEA-BW und dem aktuellen Diskussionsstand des Kostenkataloges des Bundes, zeigt sich eine Übereinstimmung der anzusetzenden Investitionen in Erdgaskessel und Hausübergabestationen. Hierbei ist allerdings zu vermerken, dass im Kostenkatalog der KEA-BW für Hausübergabestationen nur Werte für 15 kW (bei 433 €/kW_{thermisch}) und dann wieder 150 kW (bei 69 €/kW_{thermisch}) vorliegen. Der geschilderte Vergleich ist nur valide, wenn zwischen diesen Werten eine lineare bis exponentielle Abnahme angenommen wird (siehe Abbildung 7-11). Der noch nicht öffentlich verfügbare Kostenkatalog des Bundes legt diese lineare bis exponentielle Abnahme nahe, sodass die Annahme, dass Gaskessel und Hausübergabestationen gleich viel kosten, valide erscheint. Wichtig ist jedoch anzumerken, dass neben der Hausübergabestation auch ein Anschluss an das Fernwärmenetz erfolgen muss, welcher mit Kosten einhergeht.

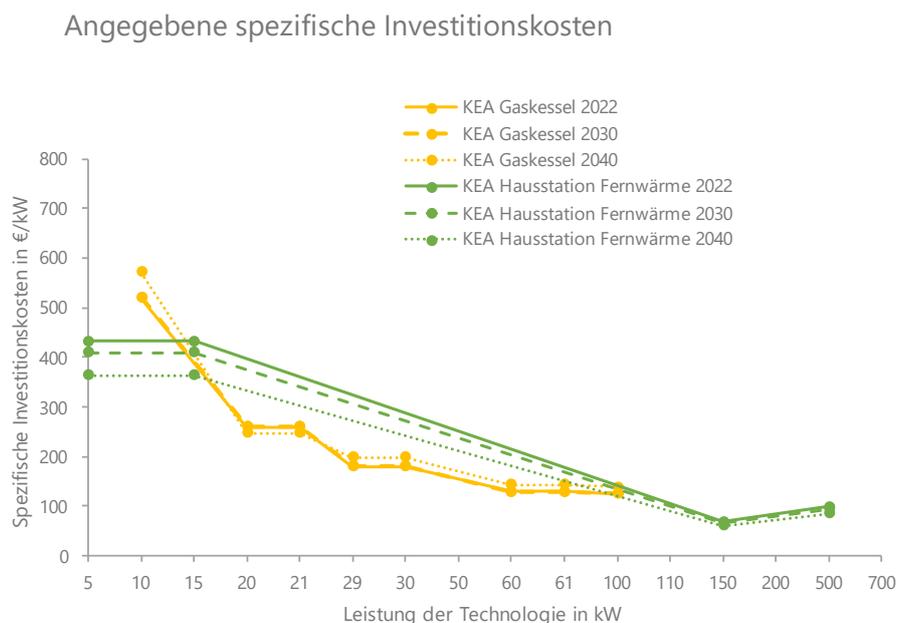


Abbildung 7-11: Gegenüberstellung der spezifischen Investitionen (ohne MwSt.) nach Technologie, Jahr und Leistung nach dem Katalog der KEA-BW

Abschließend erfolgte der Vergleich der Kostenfunktionen aus den drei Quellen unter Zuhilfenahme weiterer Rechercheergebnisse und Expertenbefragungen. Diese resultierte in einer Liste mit Auswahl der am besten geeigneten Kostenfunktion je Wärmeerzeuger, welche in Tabelle 7-5 dargestellt wird. Da sich hier die Rahmenbedingungen für die Kostenfunktionen unterscheiden, sind in Tabelle 7-6 die für diese Studie final verwendeten Kostenfunktionen dargestellt und in Abbildung 7-12 visualisiert.

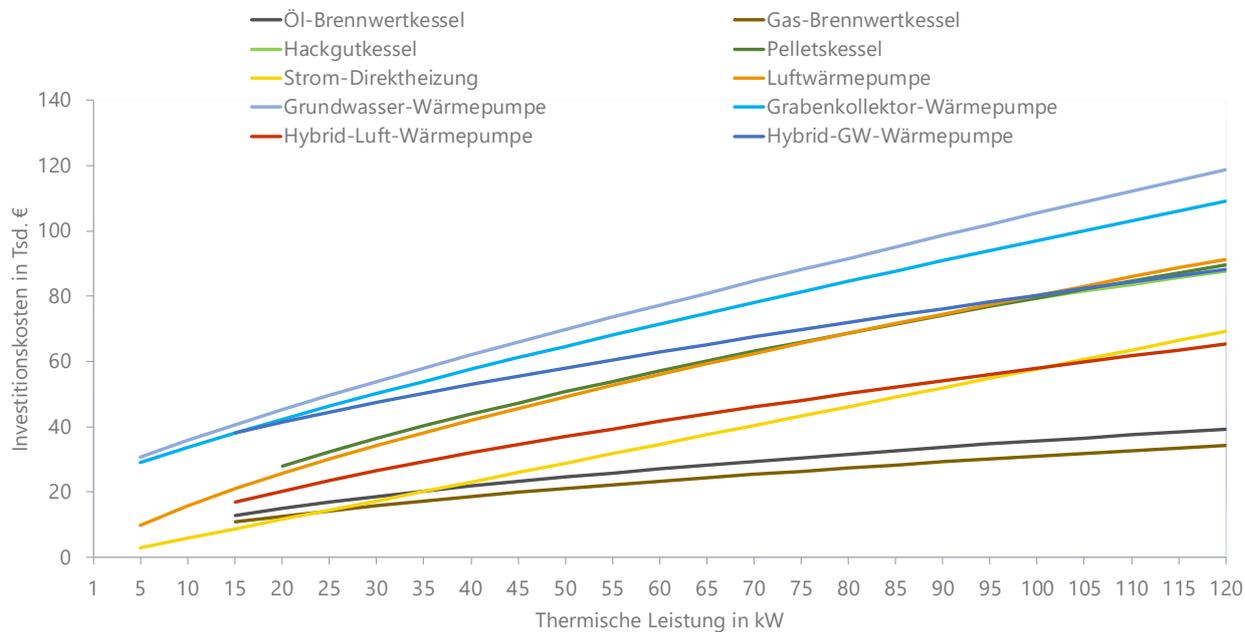


Abbildung 7-12: Investitionen der Technologien in München für 2023 inklusive MwSt. in Abhängigkeit von der thermischen Leistung

Tabelle 7-5: Zusammenstellung der für München ausgewählten Kostenfunktionen der Investitionskosten und prozentualen fixen Betriebskosten je Wärmeerzeugeraus den Quellen /IWU-01 21/¹, /HSW-01 11/², /VDI-04 12/³, Herstellerangaben und Expertenbefragungen vom Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU München⁴ und Herleitung durch e-think anhand /IWU-01 21/⁵

Technologie	Randbedingungen	Kostenfunktionen	Fixe Betriebskosten
Luft-Wärmepumpe ⁴	Basisjahr 2023	$Inv = F \cdot (2.600 \cdot P^{1-0,293}) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region} \cdot (1 + MWSt.)$	2,5 % ³
Erdwärmepumpe mit Grabenkollektoren ⁴	MwSt. separat	$Inv = F \cdot (19.000 + 1.400 \cdot P^{1-0,175}) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region} \cdot (1 + MWSt.)$	2,5 % ³
Wärmepumpe mit Grundwasserbrunnen ⁴	Regionalaufschlag für München enthalten	$Inv = F \cdot (20.000 + 1500 \cdot P^{1-0,17}) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region} \cdot (1 + MWSt.)$	2,5 % ³
Hybrid-Luft-Wärmepumpe ⁵	Basisjahr 2023	$Inv = F \cdot (2.880 \cdot P^{1-0,348}) \cdot F^{Region}$	3,0 % ⁵
	MwSt. enthalten		
Hybrid-Grundwasserwärmepumpe ⁵	Regionalaufschlag für München enthalten	$Inv = F \cdot (23.800 + 2.005 \cdot P^{1-0,275}) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region}$	2,7 % ⁵
Quartierskonzept ⁵		analog Hybrid-Grundwasserwärmepumpe	2,0 % ⁵
Gasbrennwertkessel ²	Basisjahr 2010	$Inv = F \cdot (1.464 \cdot P^{1-0,4411}) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region}$	2,5 % ³
Hausübergabestation für Fernwärme ⁵	MwSt. enthalten	analog Gasbrennwertkessel	2,0 % ⁵
Ölbrennwertkessel ²	Regionalaufschlag für München nicht enthalten	$Inv = F \cdot (1.851 \cdot P^{1-0,4617}) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region}$	3,5 % ³
Hackschnitzelkessel ²		$Inv = F \cdot (3.854 \cdot P^{1-0,4472}) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region}$	6,0 % ³
Pelletkessel ⁵	Basisjahr 2020	$Inv = F \cdot (3.011 \cdot P^{1-0,35}) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region}$	6,0 % ³
Strom-Direktheizung ⁵	MwSt. enthalten	$Inv = F \cdot (436 \cdot P) \cdot F^{deg} \cdot F^{Region}$	0,0 % ²
	Regionalaufschlag für München nicht enthalten		

Tabelle 7-6: Zusammenstellung der für München für das Jahr 2022 berechneten Kostenfunktionen der Investitionskosten inklusive MwSt. (Mindestleistung und durchschnittliche Lebensdauer sind von e-think im Tool hinterlegt)

Technologie	Kostenfunktionen	Mindestleistung	Durchschnittliche Lebensdauer ¹⁾
Luft-Wärmepumpe	$Inv = 3.094 \cdot p^{1-0,293}$	5 kW	27 Jahre
Erdwärmepumpe mit Grabenkollektoren	$Inv = 22.610 + 1.666 \cdot p^{1-0,175}$	5 kW	Wärmepumpe 27 Jahre
Wärmepumpe mit Grundwasserbrunnen	$Inv = 23.800 + 1.785 \cdot p^{1-0,17}$	5 kW	Wärmepumpe 27 Jahre
Hybrid-Luft-Wärmepumpe	$Inv = 2.880 \cdot p^{1-0,348}$	15 kW	27 Jahre
Hybrid-Grundwasserwärmepumpe	$Inv = 23.800 + 2.005 \cdot p^{1-0,275}$	15 kW	27 Jahre
Gasbrennwertkessel	$Inv = 2.362 \cdot p^{1-0,4411}$	15 kW	27 Jahre
Hausübergabestation für Fernwärme	analog Gasbrennwertkessel	10 kW	40 Jahre
Ölbrennwertkessel	$Inv = 2.987 \cdot p^{1-0,4617}$	15 kW	31 Jahre
Hackschnitzelkessel	$Inv = 6.218 \cdot p^{1-0,4472}$	100 kW	27 Jahre
Pelletkessel	$Inv = 3.982 \cdot p^{1-0,35}$	20 kW	27 Jahre
Strom-Direktheizung	$Inv = 577 \cdot P$	5 kW	31 Jahre

¹⁾ Die Lebensdauer von Heizungssystemen wird mit Weibull-Verteilungen abgebildet. Die charakteristischen Lebensdauern (Ausfall von 63,2 % der Anlagen) wurden mit 30 / 35 / 45 Jahren parametrisiert, als Formfaktor der Verteilung wurde ein Wert von 3,09 gesetzt.

Nach Abschluss des Kostenabgleiches sind auf dem Markt die Preise für Wärmepumpen in Folge der steigenden Nachfrage durch die diskutierte Anpassung des GEG gestiegen. Unter der Annahme, dass diese Marktentwicklung durch eine Schaffung von Kapazitäten auf der Herstellerseite spätestens mittelfristig beruhigt werden kann, werden die hier dargestellten Kostenfunktionen verwendet und nicht angepasst. Es ist jedoch zu unterstreichen, dass die Kostenentwicklung aktuell sehr unsicher ist.

7.2.3 Anlageneffizienzen

Bei den Betriebskosten der verschiedenen Wärmeerzeuger fallen neben den im Kapitel 7.2.2 beschriebenen Investitionen und fixen Betriebskosten ebenfalls die oftmals höheren variablen Betriebskosten an. Dabei ist die Menge der eingesetzten Energieträger ausschlaggebend, welche zu den im Kapitel 7.2.1 beschriebenen Preisen beschafft werden müssen. Die eingesetzte Energiemenge hängt wiederum von der Effizienz der Erzeugungsanlagen ab, weshalb die angesetzten Nutzungsgrade nachfolgend ausgeführt werden. Bei Heizöl und Erdgas kann der Nutzungsgrad mit Bezug auf den Brennwert (oberer Heizwert und Bezugsgröße der Brennstoffkosten) oder den unteren Heizwert ausgegeben werden. Als Nutzungsgrad werden weiterhin die von e-think im Modell hinterlegten Werte angesetzt, welche für Erdgas und Heizöl um rund 6 % unterhalb der Werte aus der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ liegen.

Tabelle 7-7: Angesetzte Nutzungsgrade verschiedener Wärmeerzeuger nach Vorlauftemperatur des Heizsystems und zur Warmwassererzeugung

	e-think						Ffe /FFE-79 21/	
	Jahresnutzungsgrad bei 35°C		Jahresnutzungsgrad bei 55°		Jahresnutzungsgrad Warmwassererzeugung		Jahresnutzungsgrade	
	Heizwert	Brennwert	Heizwert	Brennwert	Heizwert	Brennwert	Heizwert	Brennwert
Hausübergabestation für Fernwärme	97%		97%		95%		100%	
Heizöl Heizwert-Kessel	88 %	82 %	87 %	81 %	80 %	75 %	89 %	83 %
Heizöl Brennwert-Kessel	96 %	89 %	92 %	86 %	80 %	75 %	97%	91%
Erdgas Heizwert-Kessel	90 %	82 %	89 %	81 %	80 %	73 %	89 %	81 %
Erdgas Brennwert-Kessel	95 %	86 %	93 %	85 %	80 %	73 %	98%	89%

Für alle Arten von Wärmepumpen wird der Seasonal Coefficient of Performance (SCOP), die nach Jahreszeiten für verschiedene Betriebszustände gewichtete Jahresarbeitszahl, angesetzt, welche durch den Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU München aus Herstellerangaben abgeleitet wurde. Diese ist abhängig vom Temperaturhub, der durch die Wärmepumpe zwischen Quelle und Senke erbracht werden muss und ist in Abbildung 7-13 dargestellt.

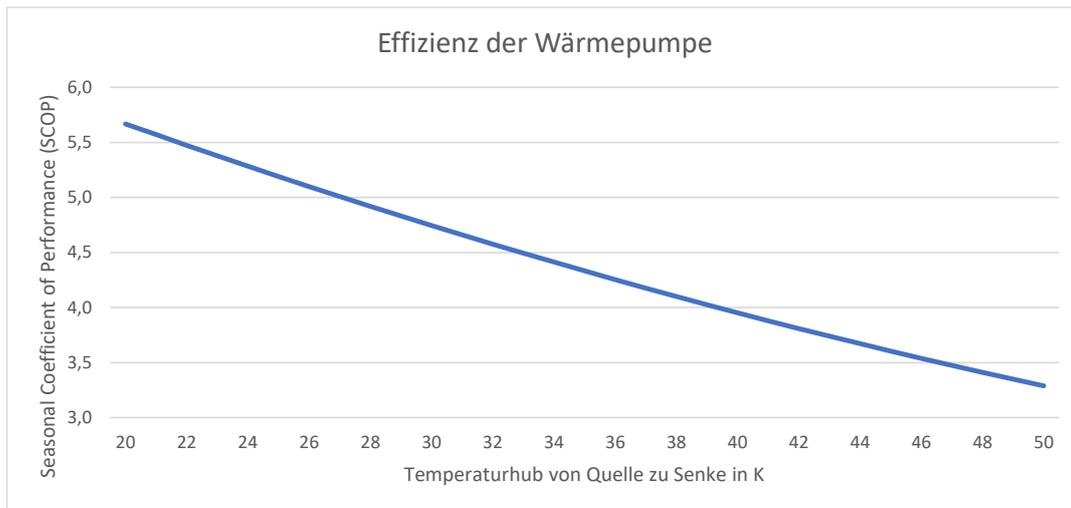


Abbildung 7-13: Effizienz der Wärmepumpe in Abhängigkeit vom Temperaturhub

7.2.4 Sanierungskosten

Für die Validierung der Sanierungskosten wird analog zu den Investitionskosten vorgegangen und zwischen den der Ffe vorliegenden Werten aus der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ basierend auf /ÖKO-01 19/ und von e-think im Modell errechneten Werten verglichen.

Wie in /FFE-79 21/ beschrieben, wird bei Sanierungskosten in energiebedingte Mehrkosten und Vollkosten der Sanierung unterschieden. Während die Vollkosten die Gesamtheit aller Kosten im Zusammenhang mit einer Sanierung umfassen, bilden die energiebedingten Mehrkosten eine Teilmenge davon. Die energiebedingten Mehrkosten beziehen sich lediglich auf den Teil der Arbeiten, welcher im direkten Bezug zur energetischen Bedarfsreduktion stehen. Nicht enthalten sind somit Maßnahmen, die im Rahmen der „normalen“ Modernisierung

ohnehin anfallen würden, wie die Aufstellung eines Gerüsts zum Streichen der Fassaden. Diese Kosten, welche auch bei einer normalen Modernisierung anfallen, werden als Ohnehin-Kosten bezeichnet. Im Folgenden ist in den Kosten auch nicht der Austausch des Heizsystems im Vergleich enthalten, da diese Kosten separat ausgegeben werden.

An der FfE vorliegende Daten zu Sanierungskosten

Die für das Projekt „Klimaneutrale Wärme München 2035“ abgestimmten Kenndaten, welche gemäß der in /FFE-79 21/ enthaltenen Beschreibung im Vergleich zur Originalquelle /ÖKO-01 19/ erweitert wurden, sind im Folgenden vereinfacht als FfE-Daten bezeichnet. Diese umfassen acht KfW-Standards (von KfW EH Denkmal bis KfW EH 40) und werden nach den Nutzungsformen Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) bzw. Mehrfamilienhäuser (MFH) und Nichtwohngebäude (NWG) unterteilt. Die Referenzgebäude werden in /ÖKO-01 19/ nicht spezifiziert, weshalb als Ausgangswert je Nutzungsform ein Durchschnittswert für Bestandsgebäude herangezogen wird (Referenzgebäude EZFH und MFH mit 150 kWh/m²*a). Die spezifischen energiebedingten Mehrkosten der Sanierung in Abhängigkeit von der Sanierungstiefe sind in Abbildung 7-14 visualisiert. Das Basisjahr der dargestellten Kosten ist 2020 und entgegen den Originaldaten ist die MwSt. enthalten.

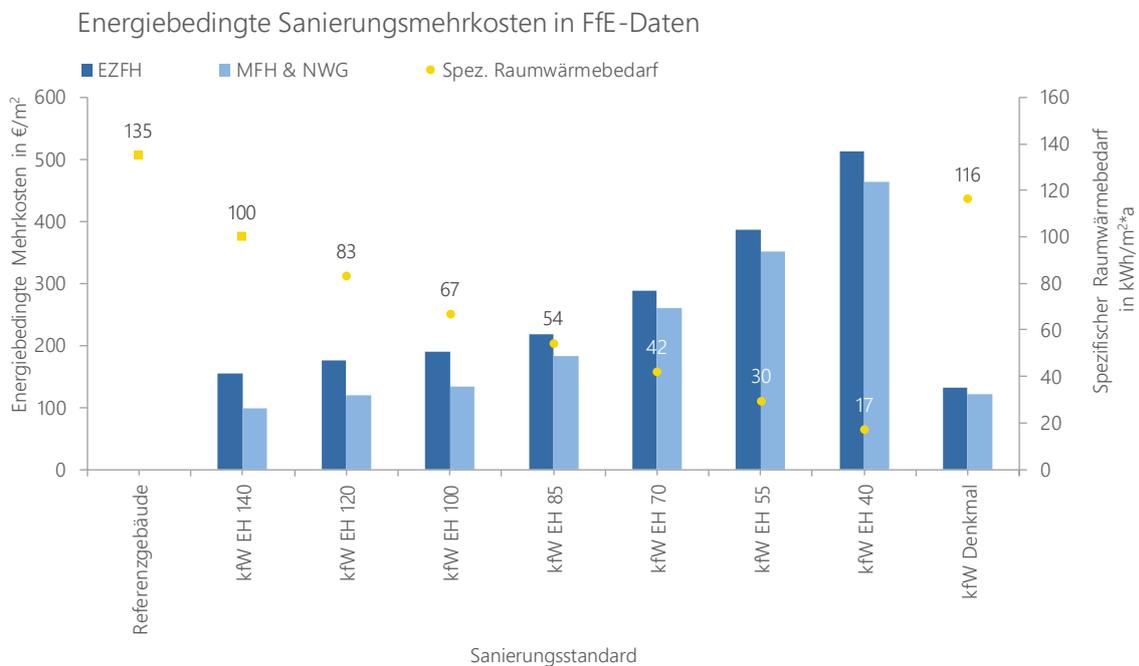


Abbildung 7-14: Spezifische energiebedingte Mehrkosten der Sanierung bezogen auf die Energiebezugsfläche für EZFH bzw. MFH und NWG für das Jahr 2022 inklusive MwSt. (Eigene Darstellung nach /FFE-79 21/)

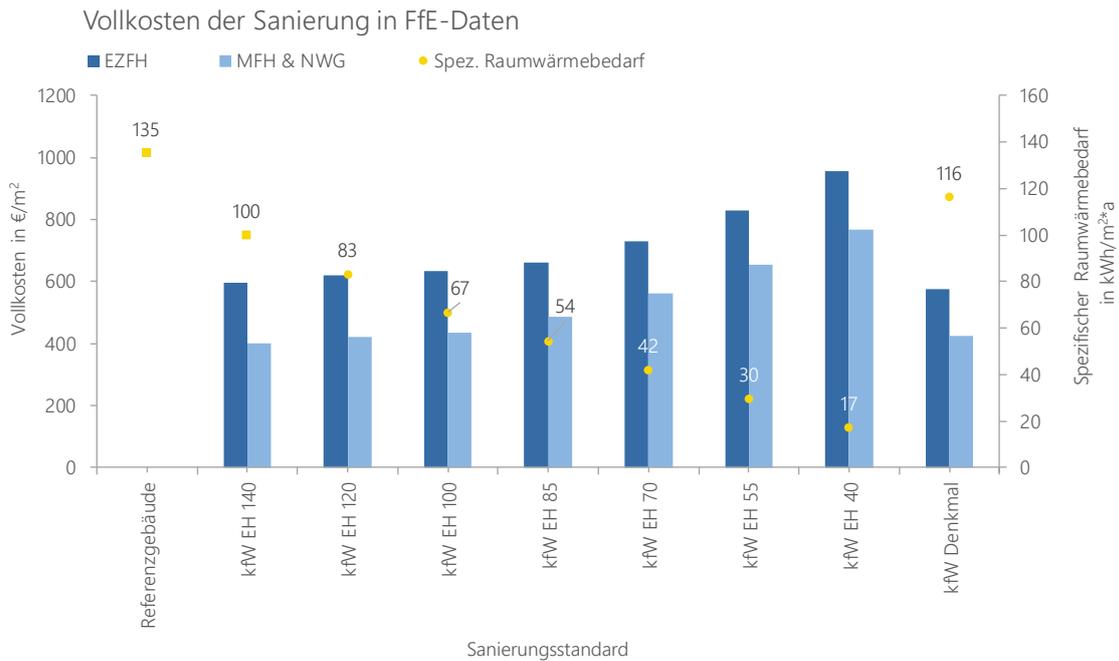


Abbildung 7-15: Vollkosten der Sanierung bezogen auf die Energiebezugsfläche für EZFH bzw. MFH und NWG für das Jahr 2022 inklusive MwSt. (Eigene Darstellung nach /FFE-79 21/)

e-think-Daten zu Sanierungskosten

Im Modell Invert/EE-Lab von e-think werden die spezifischen Sanierungskosten bauteilscharf basierend auf dem für das Modell abgeleiteten Gebäudebestand in München ermittelt und wurden für diesen Vergleich ausgegeben. Weiterhin sind im Modell energetische Verbesserungsmaßnahmen bei Systemen zur Wärmeverteilung sowie zum Luftaustausch hinterlegt. Daneben gibt es die Möglichkeit der einfachen Erneuerung von Bauteilen, ohne diese auch thermisch zu sanieren, sog. Pinselsanierung. Auf diese Optionen wird hier allerdings nicht genauer eingegangen.

Im Original-Datensatz von e-think liegen diese Werte bezogen auf die österreichische Definition der Bruttogeschossfläche vor. Weitere Details zur Methodik des Modells werden in Kapitel 7.1 beschrieben.

Im Modell sind die Sanierungskosten je Gebäude aufgeteilt nach

- vier Baualterklassen: vor 1950, 1950 – 1990, 1991 – 2010, 2011 - 2021
- vier Nutzungsformen: Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH), Büro bzw. weitere Nicht-Wohngebäude (NWG) und
- vier Sanierungspaketen: Paket 1 - mittlere Sanierung (ca. KfW EH 70), Paket 2 - niedrige Sanierung (ca. KfW EH 85), Paket 3 - tief saniert (ca. KfW EH 55) und Instandsetzung.

In dem Modell wird berücksichtigt, dass die Ausgangszustände und somit energetische Qualität der Gebäude von der Baualterklasse abhängen, somit variieren die Sanierungskosten innerhalb der Sanierungspakete je nach Ausgangszustand. Die Daten wurden als Boxplots an die FfE übermittelt, wobei für die weitere hier dargestellte Auswertung der Median je Nutzungsform und Baualterklasse herangezogen wurde. Das Basisjahr der Kosten ist 2022 und diese wurden inklusive der einbezogenen MwSt. sowie eines München-Aufschlages von 15 % übermittelt.

Es sind im Modell für die Komponenten der Gebäudehülle typische Lebensdauern integriert, welche den notwendigen Zeitpunkt einer Modernisierung bestimmen. Hierzu ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung des Modernisierungsalters zwischen 20 und 70 Jahren hinterlegt (durchschnittlich liegt der Wert bei ca. 48 Jahren). In der Modellierung in den hier dargestellten Analysen sind diese Lebensdauern nicht alleine entscheidend für den Zeitpunkt der Sanierung, sondern es wird so viel pro Jahr saniert, wie durch die übergeordnet festgelegte Sanierungsrate erfüllt werden muss.

Tabelle 7-8: Umschlüsselung der Sanierungspakete von e-think auf die verschiedenen energetischen Standards nach Gebäudeart

Je Gebäudeart und Sanierungspaket angesetzter energetischer Standard nach Sanierung bzw. bei Neubau direkt nach Fertigstellung des Gebäudes				
Sanierungspaket	Standard Gebäude	Neubau	Denkmalschutz	Ensembleschutz
geringe Sanierung	KfW EH 85	KfW EH 70	Denkmalschutz	KfW EH 120
mittlere Sanierung	KfW EH 70	KfW EH 55	KfW EH 120	KfW EH 100
tiefe Sanierung	KfW EH 55	KfW EH 40	KfW EH 100	KfW EH 85

Anpassung der Sanierungskosten auf die gleiche Betrachtungsebene

Um die Vergleichbarkeit der beiden Datensätze zu ermöglichen, wurden die Angaben von e-think auf die von der FfE verwendete Betrachtungsebene umgerechnet. Hierfür wurde der Wärmebedarf verglichen (Raumwärmebedarf ohne Trinkwarmwasser mit Verteilverlusten im Gebäude /FFE-79 21/). Da bei e-think der Nutzwärmebedarf als Bezugsgrenze simuliert wird, werden für den Kostenvergleich die Verteilverluste des Heizsystems (angenommen 5 % des Nutzwärmebedarfes) addiert. Zudem wird bei e-think der spezifische Wärmebedarf auf die Bruttogeschossfläche bezogen, welche annähernd 20 % größer ist als die Energiebezugsfläche, auf welche sich die spezifischen Kosten der FfE beziehen. Somit wurde hier ebenfalls eine entsprechende Umrechnung durchgeführt.

Bezogen auf die Kosten wurde der Kostenaufschlag für München abgezogen. In den nachfolgenden Abbildungen sind die umgerechneten energiebedingten Mehrkosten und Vollkosten der Sanierung sowie der resultierende spezifische Raumwärmebedarf aufgetragen für EFH (Abbildung 7-14 und Abbildung 7-15) bzw. MFH (Abbildung 7-16 und Abbildung 7-17).

Hierbei wird folgendes deutlich: Je neuer ein Gebäude ist, desto näher liegt der energetische Ausgangszustand (links im Diagramm als „Initial Building Stock“ benannt) am energetischen Zielzustand unabhängig vom gewählten Sanierungspaket. Um diese immer kleinere Differenz zu erreichen, müssen weniger Maßnahmen zur energetischen Optimierung vorgenommen werden, weshalb auch die Sanierungskosten für neuere Gebäude geringer sind.

Energiebedingte Sanierungsmehrkosten EFH in e-think-Daten

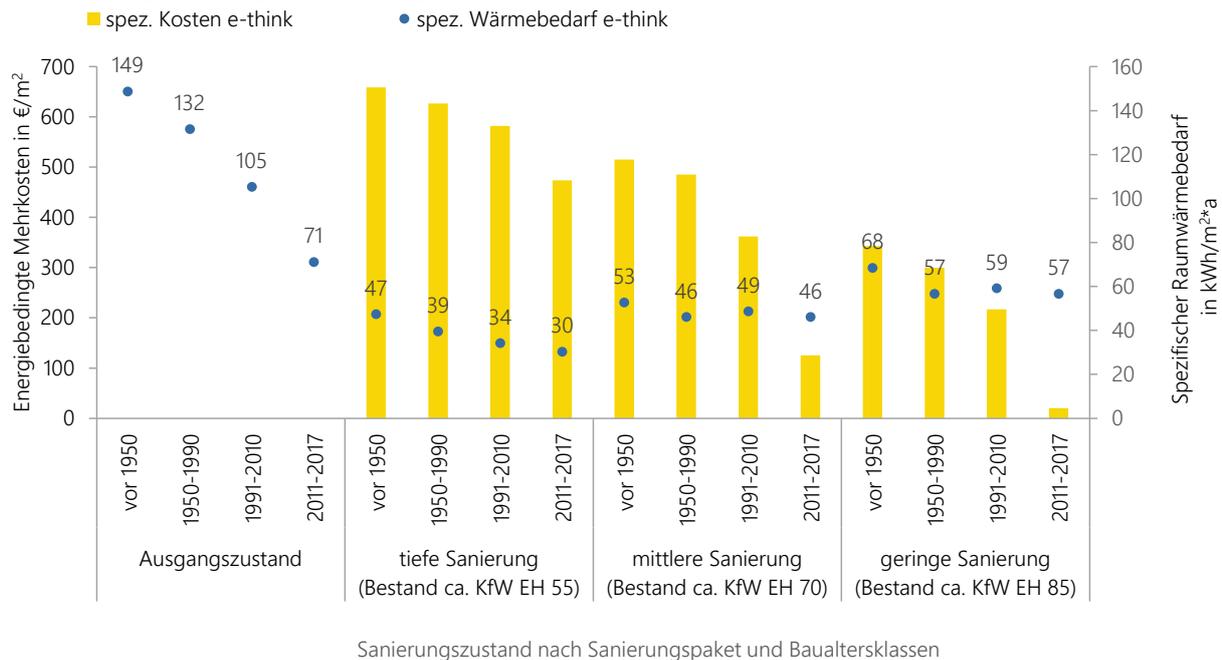


Abbildung 7-16: Energiebedingte Mehrkosten von e-think nach Sanierungspaket und Baualterklassen für EFH, Jahr 2022, angepasst auf Wärmebedarf und Energiebezugsfläche der Gebäude (inkl. MwSt.)

Vollkosten der Sanierung EFH in e-think-Daten

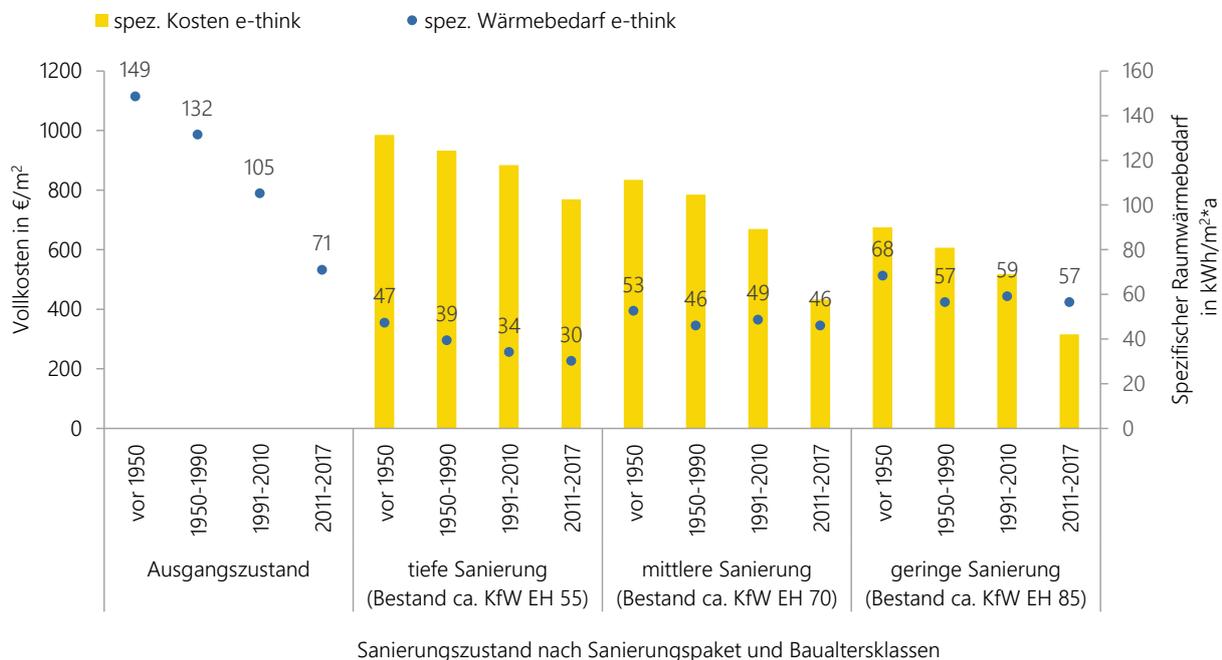


Abbildung 7-17: Vollkosten der Sanierung von e-think nach Sanierungspaket und Baualterklassen für EFH, Jahr 2022, angepasst auf Wärmebedarf und Energiebezugsfläche der Gebäude (inkl. MwSt.)

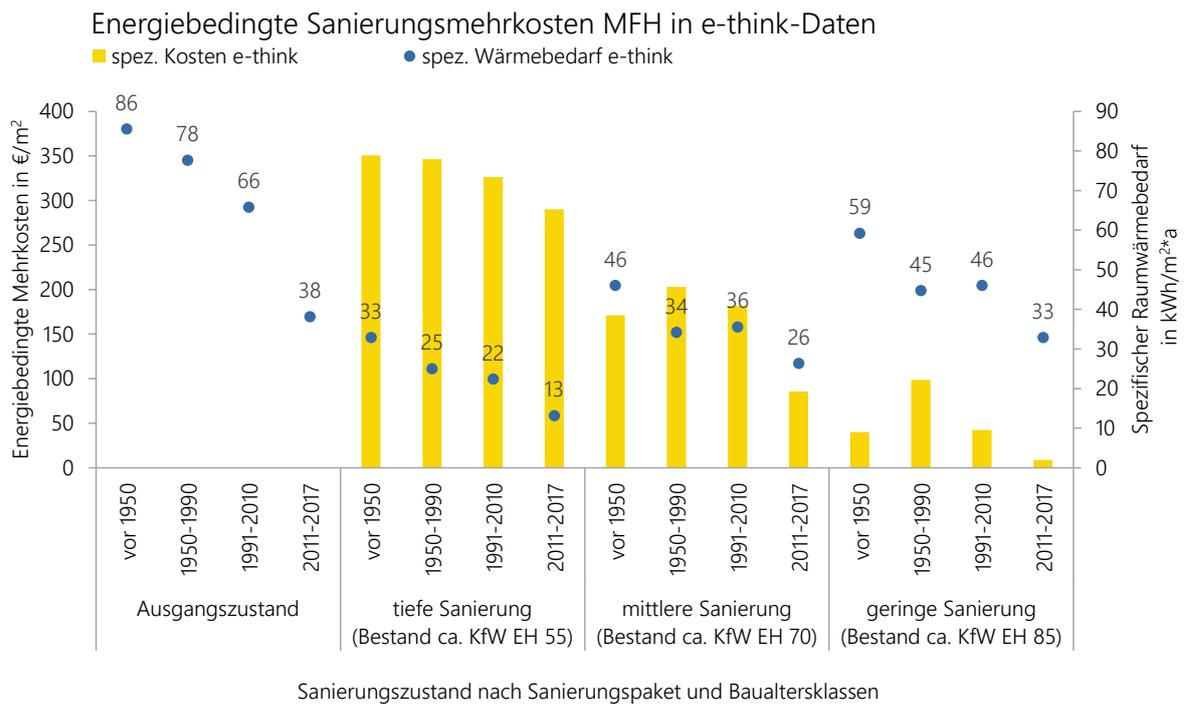


Abbildung 7-18: Energiebedingte Mehrkosten von e-think nach Sanierungspaket und Baualterklassen für MFH, Jahr 2022, angepasst auf Wärmebedarf und Energiebezugsfläche der Gebäude (inkl. MwSt.)

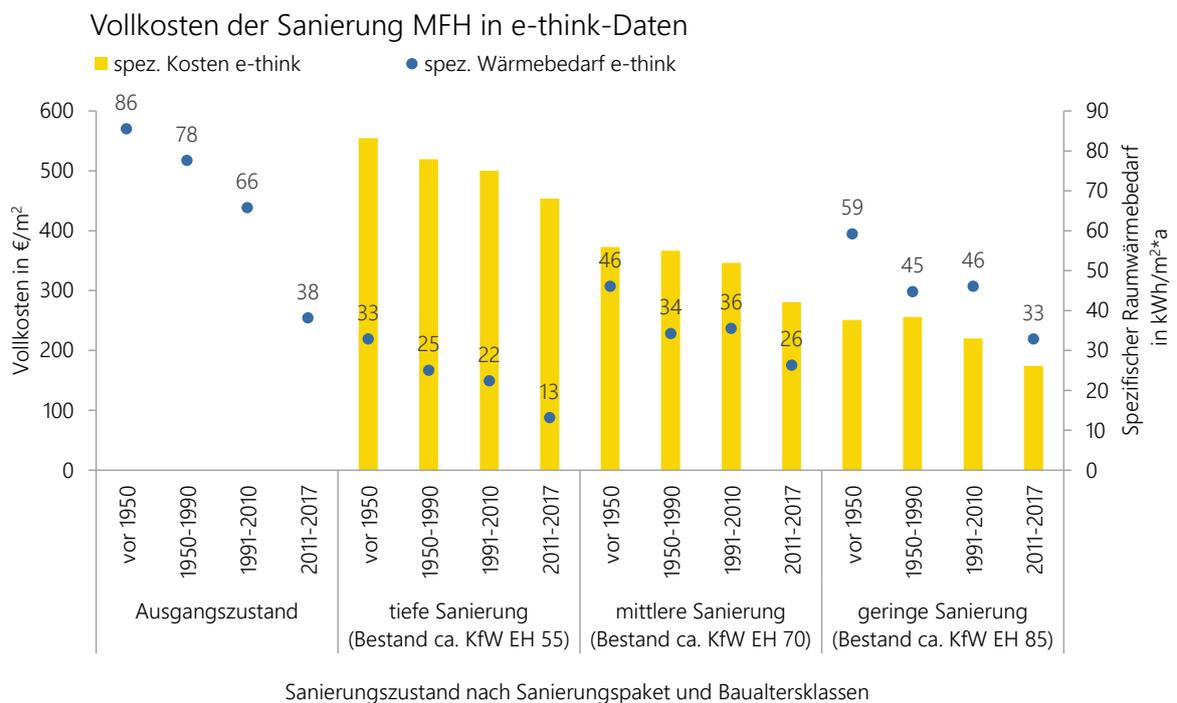


Abbildung 7-19: Vollkosten der Sanierung von e-think nach Sanierungspaket und Baualterklassen für MFH, Jahr 2022, angepasst auf Wärmebedarf und Energiebezugsfläche der Gebäude (inkl. MwSt.)

Abgleich der angesetzten Sanierungskosten in den Modellen

Für den Kostenvergleich zwischen FfE- und e-think-Daten wurden die Kosten bei ähnlichen spezifischen Raumwärmebedarfen nach der Sanierung gegenübergestellt. Die grafische Gegenüberstellung ist im Anhang in Kapitel 14.1 zu finden.

Generell ist festzuhalten, dass es Übereinstimmungen der Sanierungskosten eher beim Baualter vor 1991 gibt, da diese den Ursprungsgebäuden der FfE-Daten ähnlich sind. Hingegen unterscheiden sich die Werte maßgeblich, wenn Sanierungskosten für neuere Gebäude verglichen werden, da diese in den FfE-Daten nicht separat vorliegen. Hier ist es logisch, dass wie in den e-think-Daten abgebildet, spezifisch relevant geringere Kosten anfallen, um einen gewissen energetischen Standard zu erreichen. Daher wird im Folgenden nur der Unterschied der Kostendaten für Gebäude vor dem Baujahr 1990 schriftlich verglichen, in Kapitel 14.1 sind auch die Abgleiche der anderen Baualter dargestellt.

Bei den spezifischen Vollkosten der Sanierung ist bei EZFH grundsätzlich eine bessere Übereinstimmung erkennbar als bei MFH. Für EZFH bestehen in den Daten von e-think tendenziell leicht höhere Kosten als in den an der FfE vorliegenden Daten. Hierbei gibt es keinen relevanten Unterschied der Übereinstimmung für die verschiedenen Standards. Für MFH ist die umgekehrte Tendenz zu sehen, dass die der FfE vorliegenden Kosten höher sind. Im Bereich KfW EH 85 liegen die Werte fast doppelt so hoch, aber auch bei KfW EH 70 ist der Unterschied hoch. Für die tiefste und im Rahmen der Modellierung relevanteste Sanierung ist eine bessere Übereinstimmung der Vollkosten zu sehen, insbesondere für ältere Gebäude (ca. 650 €/m² bei FfE-Daten und 520 – 550 € bei e-think-Daten).

Für die energiebedingten Mehrkosten ist die Differenz der Kosten größer sowohl für EZFH als auch für MFH, wobei bei den EZFH die e-think-Kosten höher liegen und für MFH die FfE-Kosten. Bei EZFH sind die gleichen Kosten nur im KfW EH 85, Baualter von 1991-2020 zu beobachten. Für MFH werden gleiche Werte im relevantesten Bereich für die Modellierung von KfW EH 55 für ältere Gebäude bis 1990 erreicht. Bei MFH geht e-think von einer deutlichen Kostenreduktion im Vergleich zu kleineren Gebäuden aus (im Mittel - 56 %), da sich das Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis bei kleineren Gebäuden erhöht. Je nach Gebäudetyp beträgt dies nach e-think Analysen bei den verschiedenen Gebäudetypen:

- EFH 1,1
- ZFH 1,5
- kleines MFH 1,8
- mittleres MFH: 2,2
- großes MFH 2,5

Bei den an der FfE vorliegenden Daten beträgt der Unterschied im Mittel lediglich -19 %, es ist somit eine geringere Kostenreduktion durch die Skalierung der Gebäudegröße enthalten.

Hierzu ist zu erwähnen, dass in den grundlegenden Daten die Aufteilung der Sanierungskosten zwischen Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten nicht gleich ist. In den FfE-Daten beträgt der Anteil der energiebedingten Mehrkosten an den Vollkosten im Mittel 35 % bei EZFH bzw. 39 % bei MFH, da hier gemäß Verständnis der Grundlagendaten aus /ÖKO-01 19/ ausschließlich zusätzliche Kosten für die Sanierung enthalten sind. Bei e-think liegt der Anteil mit 51 % bei EZFH gegenüber 44 % bei MFH etwas höher. Dies liegt daran, dass in den e-think-Daten ein Teil der Ohnehin-Kosten der Modernisierung in die energiebedingten Mehrkosten einbezogen wird. Hiermit soll ein Vorzieheffekt der Modernisierung auf den Zeitpunkt der Sanierung abgebildet werden.

Auch wenn sich bei den verschiedenen Gebäudetypen und Baualtersklassen teilweise relevante Unterschiede ergeben, liegen die Kosten in der gleichen Größenordnung. Der Aspekt, dass die Kosten teilweise nach oben und teilweise nach unten abweichen, indiziert, dass es keinen systematischen Fehler in einem der Datensätze gibt.

Vorweg ist hier zu erwähnen, dass sich diese Unterschiede für die Gesamtstadt ausgleichen und Sanierungskosten in ähnlicher Höhe resultieren (Details hierzu siehe Kapitel 9.6).

Aufgrund der bestehenden Abweichungen wurde durch das RKU ein Vergleich der Vollkosten der Sanierung einzelner Gebäude mit den Modellergebnissen von e-think durchgeführt, um eine geeignete Validierung zu erreichen.

Abgleich der angesetzten Sanierungskosten im Modell München mit realen Daten

Für den Abgleich der hinterlegten spezifischen Sanierungskosten im Modell München mit realen Daten werden entsprechende Investitionskosten aus Energieberatungsberichten, welche der LHM aus dem Jahre 2023 vorliegen, verwendet. Hier wird immer der Sanierungsstandard KfW EH 55 erreicht. Zur Vergleichbarkeit werden die Investitionskosten auf die beheizte Fläche einer Wohneinheit bezogen.

Wie bereits in Kapitel 5.2 beschrieben, unterscheidet sich die Bezugsgröße der beheizten Fläche. Im Modell München werden die Investitionskosten je Gebäude berechnet, welche überwiegend mehrere Wohneinheiten beinhalten. Die Daten der LHM beziehen sich hingegen auf eine Wohneinheit innerhalb eines Gebäudes. Eine Skalierung der LHM-Investitionskosten auf ein Gebäude ist nur bedingt möglich, da Reihenhäuser aufgrund des größeren Verhältnisses zwischen Hüllfläche und beheizter Fläche höhere spezifische Investitionskosten aufweisen als Reihemittelhäuser. Die unterschiedlichen Referenzgrößen erschweren somit einen Vergleich der Sanierungskosten.

Im Vergleich der verwendeten Kosten im Modell München mit den insgesamt ausgewiesenen Kosten der Energieberatungsberichte ist allgemein zu beobachten, dass die Investitionskosten in den Energieberatungsberichten deutlich höher ausfallen als die modellierten Kosten (Abweichungen von bis zu 28 %). Allerdings werden in den Energieberatungsberichten neben den Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs für die Beheizung des Gebäudes auch Maßnahmen wie beispielsweise die Installation einer PV-Anlage auf der Dachfläche mitberücksichtigt. Zudem sind die Entsorgungskosten von Bauteilen und subjektive Kostenaufschläge des Verfassers bzw. der Verfasserin des Energieberatungsberichts in der Berechnung der gesamten Investitionskosten eingeschlossen.

In einem zweiten Schritt werden daher für die Vergleichbarkeit diese zusätzlichen Kosten nach Möglichkeit aus der Berechnung der Gesamtkosten ausgeschlossen. Da in den Energieberatungsberichten der Austausch von Bauteilen nicht detailliert nach Kostenpunkten beschrieben wird, können die Kosten der Entsorgung und der subjektive Preisaufschlag nicht ausgeschlossen werden, der Ausschluss der Investitionskosten für die PV-Anlage ist andererseits möglich. Diese Anpassung führt zur Senkung der spezifischen Investitionskosten von 28 % um 3 – 10 %. Aufgrund der nicht quantifizierbaren Aspekte sind, trotz der höheren spezifischen Investitionskosten in den Energieberatungsberichten im Vergleich zu den modellierten Werten im Modell München, die Investitionskosten des Modells München als realistisch einzuschätzen.

Ein Vergleich der energieeffizienzbedingten Mehrkosten der Sanierungsmaßnahmen ist nicht möglich, da diese in den Energieberatungsberichten nach der Förderung ausgewiesen werden. Im Modell München werden die energieeffizienzbedingten Mehrkosten vor der Förderung dargestellt.

7.2.5 Förderungen für Sanierung der Gebäudehülle und Heizungstausch

Zu Beginn der Simulationen und auch zum Abschluss der Studie gilt noch das hier dargestellte Förderregime der Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG). Zwar soll im Rahmen der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) die Förderung gemäß der im letzten Abschnitt genannten Anpassungen umstrukturiert werden, diese war zum Zeitpunkt der finalen Simulationen jedoch noch nicht final verabschiedet und ist somit nicht in der genannten Höhe sicher. Da sich die Förderungen zum Status quo nur minimal unterscheiden, aber nicht sicher sind, wird in den Szenarien mit den bestehenden Förderungen gerechnet.

Angesetzte Förderungen

In den folgenden Tabellen sind die in der Vorgängerstudie („Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/) festgehaltenen Entwicklungen der Förderungen inklusive Begründung sowie die aktualisierten Szenarien, angelehnt an das aktuell geltende Förderregime, enthalten. Hierbei wird differenziert in die Förderungen für Sanierungen (Tabelle 7-9) und für weitere Technologien (Tabelle 7-10). Die Basis für diese Szenarien bilden die aktuellen Förderungen der „Bundesförderung effiziente Gebäude – Wohngebäude“ (BEG WG) bzw. „Bundesförderung effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude“ (BEG NWG) /KFW-01 23/ und die „Bundesförderung effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM)“ /BAFA-02 23/ für die weiteren Technologien. Zusätzlich sind die Fördersätze des Förderprogramms Klimaneutrale Gebäude (FKG) der LHM enthalten /LHM-03 21/.

Sowohl für Sanierung als auch für Wärmeerzeuger und Effizienzmaßnahmen wurde die gleiche Reduktion der Fördersätze wie in /FFE-79 21/ angesetzt. Im Rahmen der aktuell steigenden gesetzlichen Anforderungen und positiver technischer Entwicklungen wurden die Jahre, in denen diese Reduktion jeweils greift, jedoch jeweils um 5 Jahre vorgezogen. Die Entwicklung der Fördersätze des FKG wurde analog zu den Entwicklungen der Bundesförderungen angesetzt.

Förderung der Sanierung der Gebäudehülle

In Tabelle 7-9 ist eine Übersicht der angesetzten Fördersätze enthalten. Bei der Sanierung sind nur die Tilgungszuschüsse durch die KfW berücksichtigt, der Zinsvorteil eines Kredites bei der KfW im Gegenzug zu anderen Kreditgebern ist jedoch nicht enthalten.

Tabelle 7-9: Vergleich der angesetzten Förderungen der Sanierung in der Vorgängerstudie und unter aktuellen Rahmenbedingungen

Sanierungsstandard	„Klimaneutrale Wärme München 2035“				Neue Szenarien		
	2020	2035	2045	Kommentar/Annahmen zur Weiterentwicklung der Förderkonditionen	2023	2030	2040
EH-40	45,0 %	33,8 %	22,5 %	Reduktion der Förderung in 2025 um 25 %; Halbierung des Fördersatzes in 2040	20 %	15 %	10 %
EH-55	40,0 %	30,0 %	20,0 %	Reduktion der Förderung in 2025 um 25 %; Halbierung des Fördersatzes in 2040	15 %	10 %	5 %
EH-70	35,0 %	26,3 %	17,5 %	Reduktion der Förderung in 2025 um 25 %; Halbierung des Fördersatzes in 2040	10 %	5 %	0 %
EH-85	30,0 %	15,0 %	-	Halbierung des Fördersatzes in 2035 mangels Zielkompatibilität Beendigung der Förderung in 2040	5 %	0 %	0 %
EH-Denkmal	25,0 %	25,0 %	25,0 %	Konstant belassen	5 %	5 %	5 %
Zuschuss FKG	-	-	-	-	10 %	5 %	0 %

Zwar gibt es folgende weitere Förderkomponenten, da im verwendeten Modell die Fördersätze jedoch nicht nach Gebäudetyp unterschieden werden können, sind diese jedoch nicht enthalten. Diese in Tabelle 7-9 nicht enthaltenen zusätzlichen Förderungen für die in der Tabelle genannten Standards (bei KfW 85 nur für Wohngebäude) sind:

- 5 % Zuschlag bei einem daraus folgenden Anteil Erneuerbarer Wärme in Höhe von 65 %
- 15 % Zuschlag für Kommunen
- Klassen (nicht kumulierbar)
 - 5 % Erneuerbare Energie Klasse: Effizienzhaus mit einem Anteil von mind. 65 % an der Wärme- und Kälteversorgung
 - 5 % Effizienzgebäude mit einem Qualitätssiegel: Nachhaltiges Gebäude
- Boni (max. 20 %, kumulierbar)
 - 10 % (Nur EH 40 – 70) Worst Performing Building, wenn das zu den energetisch schlechtesten 25 Prozent des deutschen Gebäudebestandes gehört.
 - 15 % Serielle Sanierung (nur Wohngebäude und Standard KfW EH 40 – 55)

Förderung des Heizungstausches

In Tabelle 7-10 sind die Förderquoten für Wärmeerzeuger und Effizienzmaßnahmen enthalten.

Tabelle 7-10: Vergleich der angesetzten Förderungen für Technologien in der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ und unter aktuellen Rahmenbedingungen

Technologie	Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“				Neue Szenarien		
	2020	2035	2045	Kommentar	2023	2030	2040
Wärmepumpen (alle Arten)	35,0 %	17,5 %	-	Halbierung des Fördersatzes in 2035; in 2045 keine Förderung mehr, da Wettbewerbsfähigkeit erreicht	35 % (Luft); 40 % (Wasser, Erdreich) (Annahme: Wechsel von fossil, daher inkl. Heizungstausch)	17,5 % (Luft); 20 % (Wasser, Erdreich)	-
Solarthermie	Nicht betrachtet				25 % (hybrid mit fossil), 30 % (hybrid mit anderem EE)	15 % (hybrid mit anderen EE)	-
Heizungs-optimierung	Nicht betrachtet				15 %	15 %	15 %
Anschluss Wärmenetz	Nach Bundesförderung effiziente Wärmenetze				30 %	15 %	
Anschluss Gebäudenetz	Nicht betrachtet				25 %	12,5 %	
Zuschuss FKG (für zuvor genannte Technologien)	-	-	-	-	15 %	10 %	5 %
Hybrid (WP+Gas)	30,0 %	15,0 %	-	Halbierung des Fördersatzes in 2035; in 2045 keine Förderung mehr, da Wettbewerbsfähigkeit erreicht	25 % (Luft); 30 % (Wasser, Erdreich)	10 % (Luft); 15 % (Wasser, Erdreich)	-
Hybrid (WP+Öl)	30,0 %	-	-	Unterstelltes Heizölverbot ab 2035	25 % (Luft); 30 % (Wasser, Erdreich)	-	-
Brennstoffzelle					25 %	12,5 %	-
Biomasse	-	-	-	-	10 % ohne Heizungstausch, 20 % mit Heizungstausch	-	-

Zusätzlich gilt in der Bundesförderung ein Heizungstauschbonus in Höhe von 10 %, wenn das Gebäude zuvor komplett fossil und nach dem Wechsel zu 100 % mittels erneuerbaren Energien beheizt wurde. Auch dieser Bonus ist in den Szenarien nicht enthalten, weil der Fördersatz nicht für individuelle Fälle unterschiedlich angesetzt werden kann.

Anpassung der Förderung des Heizungstausches mit dem GEG

Im Laufe der Projekterarbeitung wurde das neue Förderkonzept des Bundes neu strukturiert /BMWSB-02 23/, welches hier auszugsweise dargestellt ist. So sollen alle „Erfüllungsoptionen“ für die Anforderungen des GEG mit 30 % gefördert werden. Zusätzlich sind verschiedene Konstellationen möglich, um einen Klimabonus zu erhalten. Bei der Übererfüllung der Anforderungen und in Härtefällen wird die Förderquote um 10 % gesteigert. Wenn die Anforderungen erfüllt werden, bevor selbstnutzende Gebäudeeigentümer:innen dazu verpflichtet wären, erhalten sie zusätzlich 20 % Förderung. Bei „H₂-Ready“ Kesseln werden nur die Zusatzkosten gegenüber einem Standard-Kessel gefördert. /BMWSB-02 23/

Ergänzt wird das Förderprogramm um Förderkredite und eine steuerliche Abschreibung der Kosten für selbstnutzende Eigentümer:innen. /BMWSB-02 23/

7.2.6 Entwicklung der Emissionsfaktoren der Energieträger

Die Verwaltung der LHM rechnet in der eigenen stadtweiten (Treibhausgas-) Bilanz die Emissionen der Stadt München mit den BSKO-Emissionsfaktoren aus (detaillierte Erläuterungen hierzu siehe /IFEU-05 19/). Unter anderem werden in diesen Faktoren Teile der Emissionen aus der Vorkette der Bereitstellung von Energieträgern einbezogen (z. B. Emissionen durch Leckagen im Erdgasnetz sowie die Aufbereitung des Erdgases). Weiterhin wird genauer analysiert, aus welchen Herkunftsregionen die Energieträger kommen, da sich z. B. Erdgas aus verschiedenen Lagerstätten in der Zusammensetzung und somit in den spezifischen Emissionen unterscheiden kann. Diese Emissionsfaktoren können immer erst mit Zeitverzug im Nachhinein für eine Stadt berechnet werden.

Zur Berechnung der Szenarien in dieser Studie werden hingegen Emissionsfaktoren für die Zukunft benötigt. Hierzu liegen aus dem „Abschlussbericht zum Fachgutachten Klimaneutralität München 2035“ /ÖKO-03 22/ Entwicklungen der Emissionsfaktoren für die Fernwärme- und Strombereitstellung in München von 2018 bis 2050 vor. Die erarbeiteten spezifischen Emissionen basieren für die Fernwärme auf Szenarien einer Territorialbilanz für die Stadt München und bei Strom auf einem Szenario aus der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/. Für die anderen Energieträger wurden im Fachgutachten Daten des Umweltbundesamtes /UBA-08 21/ verwendet und zeitlich unverändert fortgeschrieben. Alle Emissionsfaktoren des Fachgutachtens beziehen sich nur auf die direkten Emissionen der genutzten Energieträger (Fachbegriff: Scope 1). Somit wird hier, anders als in der Bilanzierung nach BSKO, die Vorkette nicht betrachtet.

Im Rahmen des in diesem Bericht dokumentierten Projektes „Wärmestrategie München“ wurde darüber diskutiert, entsprechende Szenarien für die Entwicklung der Emissionsfaktoren einschließlich der Vorketten nach BSKO abzuleiten, damit die Berechnungen möglichst konsistent zur aktuellen Bilanzierung der Stadt sind. Hierzu sind jedoch zum einen fundierte Annahmen notwendig, wie sich die Emissionen der Vorkette für Heizöl, Erdgas, Biomasse etc. entwickeln, was komplex ist. Zum anderen müssten neue Szenarien für die Entwicklung der spezifischen Emissionen von Fernwärme und Strom berechnet werden, was ebenfalls aufwendig wäre. Hierfür sollte in der Zukunft zudem der Transformationsplan der Fernwärme von den SWM zu Grunde gelegt werden, welcher aktuell noch nicht offiziell vorliegt. Daher wurde im Konsortium entschieden, in den Szenarien die Emissionsfaktoren für direkte CO₂-Emissionen aus dem Zielszenario des Fachgutachtens Klimaneutralität München 2035 /ÖKO-03 22/, basierend auf /UBA-08 21/, zu verwenden.

Ein Abgleich der Emissionsfaktoren findet sich in Tabelle 7-11. Eine Abweichung zu den vorherigen Studien zeigt sich bei dem angesetzten Emissionsfaktor für Wasserstoff. Hier hat sich laut Experteneinschätzung von Öko-Institut und FfE ein Wandel vollzogen, sodass nicht davon ausgegangen wird, dass es einen erdgasbasierten,

sogenannten blauen Wasserstoff, geben wird. Dies liegt zum einen daran, dass dieser blaue Wasserstoff ursprünglich aus preisgünstigem russischem Erdgas hergestellt werden sollte. In Anbetracht der aktuellen politischen Lage scheidet dies jedoch aus. Zum anderen besteht bereits, speziell aus der Industrie, eine hohe Nachfrage nach grünem Wasserstoff zur Erreichung der Klimaneutralität. Hierbei scheinen auch höhere Preise als für den blauen Wasserstoff akzeptiert zu werden.

Daher wird insgesamt erwartet, dass direkt grüner Wasserstoff eingesetzt wird, wobei dessen Menge zunächst noch sehr gering ausfallen wird.

Tabelle 7-11: Abgleich der aktuell vorliegenden und zukünftigen Emissionsfaktoren (bezogen auf den Heizwert) nach BSKO-Standard /IFEU-05 19/¹, direkte Emissionen gemäß /UBA-08 21/², Szenarien aus /ÖKO-03 22/³ und einer aktualisierten Expertenschätzung⁴

Bilanzierungsform	Mit Vorkette		Ohne Vorkette	
	BSKO ¹	UBA ² bzw. Fachgutachten München ³	UBA ² bzw. Fachgutachten München ³	UBA ² bzw. Fachgutachten München ³
Jahr	2019	2022	2035	2045
Energieträger	gCO ₂ -Äquivalente pro kWh			
Fernwärme	226	213 ^{3*}	49 ³	26 ³
Strom Bundesmix	478	450 ^{3*}	129 ³	17 ³
Umgebungswärme	170 ^{**}	0 ²	0 ²	0 ²
Solarthermie	25	0 ²	0 ²	0 ²
Biogas	110	51,5 ²	51,5 ²	51,5 ²
Biomasse	22	0,36 ²	0,36 ²	0,36 ²
Erdgas	247	201,2 ²	201,2 ²	201,2 ²
Heizöl	318	267,1 ²	267,1 ²	267,1 ²
Steinkohle	438	375,8 ²	375,8 ²	375,8 ²
Wasserstoff	Nicht verfügbar ⁴	Nicht verfügbar ⁴	0 ⁴	0 ⁴

* Im Fachgutachten werden die Basisjahre 2018 und 2025 ausgegeben. Der Wert für 2022 wurde bestimmt aus einer Interpolation der Werte für 2018 und 2025. Für 2022 wird vom UBA ein Faktor der Stromemissionen von 442 gCO₂-Äquivalente pro kWh erwartet /UBA-18 20/, sodass der angesetzte Faktor und dessen Entwicklung als realistisch erscheint.

** Hier ist anzunehmen, dass bei den BSKO-Emissionsfaktoren vermutlich Wärme aus Wärmepumpen gemeint ist und die Emissionen des Strombedarfes hier angesetzt wurden.

7.3 Differenzierung der Szenarien

Nachfolgend werden relevante Parameter für das Basisszenario und das Zielszenario beschrieben. Die folgenden Parameter sind für beide Szenarien gleich:

Übergeordnete Annahmen

- Der Transformationsplan für die Fernwärme ist in den Szenarien hinsichtlich des räumlichen Umgriffs sowie hinsichtlich der verfügbaren Kapazität integriert (maximale Bereitstellung in 2045 bei ca. 5,4 TWh im Zielszenario - was seitens der SWM als ambitioniertes Potenzial angesehen wird).
- Für die Energieträgerpreise wurden Szenarien für die langfristige Entwicklung der Endkundenpreise erstellt (außer Fernwärme siehe Kapitel 7.2.1) und in den Szenarien übernommen.

- Die Entwicklung der spezifischen Kosten und der Förderungen für die Installation und Wartung von Wärmeerzeugern sowie die Sanierungskosten sind in den Szenarien identisch (siehe Kapitel 7.2.2 bis 7.2.5). Bezogen auf die Entwicklung von Förderungen und spezifischen Kosten wurden ebenfalls die gleichen Entwicklungen angesetzt.
- Zum Zeitpunkt der Berechnung der Szenarien ist die Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes noch nicht vollständig abgeschlossen. Gemäß des Ordnungsrechts besteht die Vorgabe, dass im Bestand ab 2024 beim Austausch eines Wärmeerzeugers 65 % Erneuerbare Energien oder Abwärme in der Versorgung enthalten sein müssen sowie 100 % ab 2045. Beim Neubau gilt direkt die Anforderung 65 % Erneuerbare Energien oder Abwärme.
- Wenn sich ein Baublock mittels Fernwärme und Wärmepumpen vollständig versorgen kann, dann darf keine Biomasse verwendet werden. Reichen die Potenziale der Versorgung mittels Fernwärme und Wärmepumpen nicht aus, so dürfen die Fehlmengen mit Biomasse versorgt werden.
- In den frühen 2030ern wird München voraussichtlich an das European Hydrogen Backbone angebunden sein, sodass erste Industriekunden mit Wasserstoff versorgt werden können. Zusätzlich zum Einsatz in der Industrie gehen die SWM langfristig vom Einsatz von Wasserstoff in zentralen Erzeugungsanlagen (Heizwerke und Heizkraftwerke) aus und prüfen derzeit die notwendigen Maßnahmen zur Umrüstung. Die Versorgung der Industriekunden sowie der SWM-Erzeugungsanlagen erfolgt dann mit 100 % Wasserstoff – nicht mit einer Beimischung. Nach derzeitiger Einschätzung wird davon ausgegangen, dass Wasserstoff für das private Heizen zunächst keine Rolle spielen wird. Denn grüner Wasserstoff steht in den nächsten Jahren nicht in ausreichenden Mengen zur Versorgung von Privathaushalten zur Verfügung.
- Die Eignungsgebiete (Details in Kapitel 8.3) stellen u.a. eine Kombination aus Sanierungsvariante und Versorgungslösung dar. Diese sind in beiden Szenarien nicht explizit in den Modellierungen vorgegeben. Es werden jedoch regional vorhandene Versorgungslösungen berücksichtigt - hierzu gehören u.a. Fernwärme, Luft-Wärmepumpen, Grabenkollektoren, Grundwasser-Wärmepumpen (individuell oder als netzbasierte Lösung), Biomasse. Weiterhin kann z.B. das Eignungsgebiet für Reihenhäuser nicht automatisiert im Modell verortet werden.

Basisszenario

Für das Basisszenario wurden nun weitere Annahmen unterstellt:

Der Hochlauf der Sanierungsrate und -tiefe erfolgt analog zu dem Referenzszenario aus der Vorgängerstudie (siehe Tabelle 7-12 bis

- Tabelle 7-14)
- Es gibt eine freie Akteursentscheidung zur Wahl der Wärmeerzeugung, wobei Potenzialgrenzen berücksichtigt werden (z. B. für Fernwärme und bei Grundwasser-Wärmepumpen).
- Die dezentrale Nutzung von Biomasse ist auf 1 TWh gedeckelt (Hinweis: dieser Deckel wird im Szenario nicht erreicht).
- Es wird erlaubt, dass die Gebäudeeigentümer:innen die Anforderung von 65 % Erneuerbare Energien oder Abwärme in der Wärmeversorgung auch über Biogas-Herkunftsnachweise realisieren.

Zielszenario

Da im Basisszenario langfristig noch ein signifikanter Anteil an Gasen zur dezentralen Wärmeversorgung benötigt wird, wurden für das Zielszenario weitere Parameter gesetzt:

Erhöhung des Hochlaufs der Sanierungsrate und -tiefe analog zu den zielorientierten Szenarien aus der Vorgängerstudie ((siehe Tabelle 7-12 bis

- Tabelle 7-14).

- Als Differenz zum Basisszenario sind im Zielszenario Lösungen für Gebiete enthalten, welche sich aktuell weder über dezentrale individuelle Lösungen versorgen können noch in einem Gebiet mit geplantem Fernwärmeausbau vorhanden sind.
- Schrittweise werden die ältesten Öl- und Gaskessel außer Betrieb genommen. Hierzu gehören alle Kessel mit einem gasförmigen Energieträger - auch Kessel, die Wasserstoff oder andere klimaneutrale Gase nutzen könnten, ebenso die Kessel von Hybrid-Wärmepumpen. Die Reihenfolge des Austauschs orientiert sich am Kesselalter. Dies ist mit folgender Maßnahme angelegt: Ab 2030 gibt es einen Bescheid zum verpflichtenden Austausch der Gasheizung an alle Gebäude mit Heizungssystemen älter als 4 Jahre und mit gasförmigem Energieträger. Das Heizungssystem muss innerhalb von 15 Jahren getauscht werden. In 2030 betrifft dieser Bescheid fast alle Gebäude, die mit Gas heizen, ab 2032 haben alle Gebäude einen solchen Bescheid.

Sanierungsraten und -tiefen im direkten Vergleich

Die in Tabelle 7-12 bis

Tabelle 7-13 dargestellten Sanierungsraten und -tiefen wurden im Rahmen eines Stakeholderprozesses in „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ erarbeitet und wurden auch in der neuen Modellierung so angesetzt. In

Tabelle 7-14 sind die von der Vorgängerstudie leicht abweichenden Sanierungstiefen enthalten. Wichtig ist hier bereits anzumerken, dass in den Kostenanalysen in der neuen Modellierung zusätzlich die Kosten für einen effizienten Neubau sowie zusätzliche Kosten von Gebäuden angesetzt werden, welche nur eine reine Modernisierung des Gebäudes durchführen. Dies war in der Vorgängerstudie nicht angesetzt.

Tabelle 7-12: Je betrachtetem Zeitraum und Gebäudetyp ansetzbare Sanierungsraten in Gebäude pro Jahr

		Ansetzbare Sanierungsrate je Jahr und Gebäudetyp			
		Bis 2025	2026-2030	2031-2035	2036-2050
Zielszenario	EZFH	1,3 %	1,7 %	2,1 %	2,4 %
	MFH & NWG	1,4 %	1,8 %	2,2 %	2,5 %
Basisszenario	Alle Gebäudetypen	1,1 %	1,2 %	1,4 %	1,5 %

Tabelle 7-13: Anteil der bis zum jeweiligen Stützjahr sanierten Gebäude

		Kumuliert erreichbare Sanierungsraten			
		Bis 2025	Bis 2030	Bis 2035	Bis 2050
Zielszenario	EZFH	5,2 %	13,7 %	24,2 %	60,2 %
	MFH & NWG	5,6 %	14,6 %	25,6 %	63,1 %
Basisszenario	Alle Gebäudetypen	5,5 %	11,5 %	18,5 %	41,0 %

Tabelle 7-14: Angestrebte Sanierungstiefen je Zeitraum und Verortung des Gebäudetyps im Zielszenario

Gebäudetyp	Bis 2025	2026-2030	2031-2035	2036-2050
	KfW Standard bzw. maximal angestrebte Reduktion des Raumwärmebedarfes			
EZFH, MFH & NWG in allen Clustern	KfW EH 85 (60 %)	KfW EH 70 (65 %)	KfW EH 55 (75 %)	KfW EH 55 (75 %)
EZFH, MFH & NWG, errichtet vor 1930	KfW EH 100 (40 %)	KfW EH 85 (50 %)	KfW EH 70 (65 %)	KfW EH 70 (65 %)
Ensembleschutz Gebäude	KfW EH 140 (17%)	KfW EH 120* (30 %)	KfW EH 100 (50 %)	KfW 100(50 %)
Denkmalgeschützte Gebäude	KfW EH Denkmal (10 %)	KfW EH Denkmal (15 %)	KfW EH Denkmal (20 %)	KfW EH Denkmal (20 %)

8 Ableitung von Eignungsgebieten und jeweilige energetische Entwicklung

Zunächst werden Ziel, Definition und relevante Hintergründe für die Festlegung der Eignungsgebiete dargelegt (Kapitel 8.1). Dann wird das schrittweise Vorgehen für die Festlegung dieser Gebiete genauer beschrieben (Kapitel 8.2). Nachdem die räumlichen Umrisse der Gebiete in Kapitel 8.3 visuell dargestellt sind, erfolgt abschließend die Beschreibung der einzelnen Gebiete in Form von kurzen Steckbriefen (Kapitel 8.4) sowie anhand der aus den Simulationen resultierenden energetischen Entwicklungen.

Die hier beschriebenen Eignungsgebiete bilden die Grundlage für die Studien zur „Wärmewendestrategie München“ des Hamburg Instituts und „Ausgewählte Rechtsfragen einer Wärmewendestrategie“ von AVR, da hier nach Eignungsgebieten ggf. differenzierte Instrumente und Maßnahmen ausgearbeitet werden und damit verbundene rechtliche Möglichkeiten einer Kommune beleuchtet werden.

8.1 Hintergründe zur Festlegung der Eignungsgebiete

Grund für die Festlegung von Eignungsgebieten

Das Ziel einer Definition von Eignungsgebieten ist die Erstellung eines stadtweiten, räumlich differenzierten Orientierungsrahmens für die technisch geeignete Lösung der zukünftigen Wärmeversorgung. Hieraus ergeben sich sowohl Gebiete mit verschiedenen Wärmeversorgungsmöglichkeiten als auch Ausschlusskarten für einzelne Lösungen, an denen sich einzelne Gebäudeeigentümer sowie Stadtplaner orientieren können. Diese Karten sollen im späteren Verlauf der Nutzung vor allem als Grundlage für die Quartiersarbeit, für Bebauungspläne und als Hilfestellung für die Flächensicherung herangezogen werden.

Insbesondere aus Sicht einer Kommune ist ein Nutzen der Festlegung von Eignungsgebieten, dass hierfür räumlich differenzierte regulatorische bzw. förderpolitische Maßnahmen festgelegt werden können. Dies können zum Beispiel eine nach Eignungsgebiet differenzierte Sanierungsförderung sein oder spezialisierte aufsuchende Beratung bezogen auf einzelne technische Lösungen (mehr dazu im Bericht „Wärmewendestrategie München“ des Hamburg Instituts). Weiterhin kann die Kommune über die Klassifikation in den Eignungsgebieten erkennen, in welchen Gebieten die Versorgung besonders herausfordernd ist, um möglichst früh mit den Bewohner:innen zusammen integrierte Lösungen zu entwickeln, um das Ziel der Klimaneutralität erreichen zu können.

Definition von Eignungsgebieten

Im Rahmen dieser Studie wird ein Eignungsgebiet als ein räumlich umrissenes Gebiet mit ähnlichen Eigenschaften und somit ähnlichen Lösungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung verstanden. Die Teilgebiete eines Eignungsgebietes müssen nicht zwangsläufig direkt nebeneinander verortet, sondern können auch über München verteilt sein. Einbezogen wurden in diese Festlegungen

- Wärmebedarfs- und Wärmebelegungsdichten,
- Gebäudestrukturen,
- die bereits bestehende Versorgung und
- die lokalen Potenziale klimaneutraler Wärmequellen.

Basierend darauf wird in den Eignungsgebietssteckbriefen beschrieben, welche Technologien zur Wärmeversorgung bzw. Bedarfsreduktion besonders geeignet sind.

Hierbei ist zu unterstreichen, dass alle in diesem Eignungsgebiet liegenden Gebäude diesem zugeordnet sind, sich die individuell beste technische Lösung jedoch pro Gebäude unterscheiden kann. So sind Wärmenetzgebiete

dadurch gekennzeichnet, dass ein Großteil der Gebäude am kosteneffizientesten mit einem Wärmenetz versorgt werden kann. In diesen großflächigen Gebieten liegen jedoch auch einzelne Gebäude mit einem geringen Wärmebedarf, bei welchen z. B. die Nutzung einer Luft-Wärmepumpe aus systemischer Sicht sowie aus der Sicht des individuellen Akteurs die zu präferierende Lösung darstellt. Somit sind Eignungsgebiete keine „Muss-Gebiete“, sondern es wird eine Präferenz für den Großteil der Gebäude vorgeschlagen.

Ziel war es, ca. zehn Eignungsgebiete zu identifizieren, welche sich für die Strategieerstellung in den wichtigsten technischen oder strukturellen Eigenschaften unterscheiden.

Gegebene Informationen zur Fernwärme

Im Rahmen der Festlegung der Eignungsgebiete lagen die räumlichen Planungen der SWM zur Ausgestaltung von Fernwärme-Verdichtungsgebieten sowie -Erweiterungsgebieten und -Untersuchungsgebieten vor. Weiterhin lag die durch die SWM angestrebte und als möglich erachtete klimaneutrale Erzeugungsmenge für die Fernwärme bis einschließlich 2045 vor. Die detaillierte Strategie für die Fernwärmeerzeugung und die hieraus resultierenden spezifischen Fernwärmekosten oder eine quantitative Abschätzung der Unsicherheiten für einzelne Erzeugungseinheiten lagen jedoch noch nicht vor. Diese befanden sich noch in der finalen Diskussion im Rahmen der Erstellung des Transformationsplanes der Fernwärme bei den SWM. Dies sollte im nächsten Iterationsschritt der kommunalen Wärmeplanung noch eingebunden werden.

Effekt des Zieles der gesamtstädtischen Klimaneutralität auf die Analysen

Im Rahmen der Festlegung von Eignungsgebieten ist es aus kommunaler Sicht besonders wichtig, dass am Ende des Prozesses für jedes Gebäude die Zuordnung zu mindestens einem Eignungsgebiet erfolgt. Während bisher für die Festlegung von Wärmenetz-Gebieten primär die Wärmeliniendichte, das Vorhandensein von Ankerkunden und ggf. lokale Wärmequellen herangezogen wurden, muss diese Herangehensweise zum Erreichen einer gesamtstädtischen klimaneutralen Wärmeversorgung um einen weiteren essenziellen Punkt ergänzt werden. So können Gebiete, welche durch lokal vorhandene erneuerbare Wärmequellen nicht ausreichend versorgt werden können, teilweise nur über ein Wärmenetz versorgt werden. Die Umsetzung dieser Wärmenetze ist somit notwendig, damit die gesamtstädtische Klimaneutralität erreicht werden kann, auch wenn diese Gebiete ggf. teilweise nicht als besonders attraktiv für ein Wärmenetze erscheinen. Hierbei kann es sich, je nach Lage, um neue Stränge des bestehenden Fernwärmenetzes handeln oder um neue Wärmenetze.

In den Analysen wurden daher die netzversorgten Gebiete außerhalb des vorgegebenen Fernwärme-Gebietes basierend auf dem Vorhandensein von alternativen Lösungen abgeleitet. In den Gebieten, die aktuell für eine dezentrale Versorgung vorgesehen sind, kann es somit sein, dass auch hier teilweise zusätzliche Wärmenetze ökonomisch sinnvoll sind. Aus systemischer Sicht sollte möglichst frühzeitig eine Lösung für die schwierig zu versorgenden Gebiete gefunden werden, was als Aufgabe für die Kommune zu sehen ist. Hingegen ist für die Kommune die Erstellung von genaueren Konzepten der Gebiete, die sich auch selbst versorgen könnten, von untergeordneter Relevanz. Dies liegt an der begrenzt verfügbaren Kapazität von Planern.

Hier ist bereits zu unterstreichen, dass die Versorgung der Gebiete, in denen die netzbasierte Versorgung notwendig ist, diese wahrscheinlich teilweise nicht zu aktuellen Wärmepreisen wirtschaftlich darstellbar ist. Hier braucht es somit eine entsprechende Lenkungswirkung, z.B. über eine gesonderte monetäre Unterstützung. Mehr Informationen dazu sind im Bericht „Wärmewendestrategie München“ des Hamburg Instituts enthalten.

Genutzte Datengrundlagen und ausgeschlossene Gebiete

Aus den bereits dargelegten Rahmenbedingungen lässt sich ableiten, dass folgende Kriterien besonders wichtig sind, um die Eignungsgebiete abzuleiten:

- Flurstückscharf
 - Gebäudeeigenschaften bezogen auf den Ausgangszustand des Wärmebedarfes sowie auf Sanierungsrestriktionen (Denkmal- und Ensembleschutz)
 - Grundwasser, oberflächennahe Geothermie
- Baublockscharf (mit Zuweisung für Flurstücke)
 - Luft-Wärmepumpen
- Flurstückübergreifende Wärmeliniendichte / Wärmebedarfsdichte

Diese sind daher im Folgenden von besonderer Relevanz für die räumliche Festlegung der Eignungsgebiete und der relevanten Lösung.

Die SWM erarbeiten zurzeit parallel zur kommunalen Wärmeplanung einen Transformationsplan für die Fernwärme. Der Transformationsplan für die Fernwärme wird ebenfalls unter Nutzung von Daten aus dem Modell München erstellt (z. B. gebäudescharfe Wärmebedarfe, Nutzungsarten, Vorhandensein von Gasetagenheizungen, Denkmalschutz etc.). Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung gab es einen Austausch zu den Gebieten und einen Abgleich mit alternativen Versorgungspotenzialen (z. B. Grundwasser). Nach Fertigstellung beider Pläne soll ein detaillierter finaler Abgleich inklusive einer Kostenanalyse in Absprache zw. SWM und RKU erfolgen. Von den SWM wurden für die Festlegung der Eignungsgebiete folgende Gebiete gemäß eigener Planung übermittelt.

- Fernwärme-Verdichtungsgebiet
- Fernwärme-Erweiterungsgebiet
- Potenzielle Fernwärme-Erweiterungsgebiete

Aus den Grundwasser-Analysen der TUM wurden weiterhin folgende Netzgebiete übergeben:

- Untersuchungsgebiete für lokale Wärmenetze

Da zur Ableitung von Versorgungskonzepten von industriellen bzw. gewerblichen Verbrauchern die gesamten Energiebedarfe (inkl. Prozesswärme und Kälte) genauer analysiert werden müssen, wurden diese Gebiete aus der genaueren Betrachtung ausgeschlossen:

- Reines Industriegebiet / Gewerbegebiet

Schrittweises Vorgehen zur räumlichen Festlegung der Eignungsgebiete

Die im folgenden beschriebenen Analysen wurden basierend auf von den SWM erarbeiteten Karten durchgeführt. Ergänzt wurde dies durch eine genauere Betrachtung einzelner Gebiete über den 3 D Modus von Google Maps.

Das schrittweise Vorgehen ist zunächst als Aufzählung dargestellt. Danach erfolgt eine genauere Erläuterung.

1. Erstellung grundlegender Karten mit der flurstückscharfen Verschneidung der Wärmebedarfe und Potenziale lokaler Wärmequellen bezogen auf die maximale Verbrauchs- bzw. Versorgungsleistung
 - a. unter Berücksichtigung der aktuellen energetischen Qualität der Gebäude
 - b. nach Sanierung aller geeigneten Gebäude auf den Standard KfW EH 55
2. Bestimmung der „unterversorgten“ Gebäude, die weder saniert noch unsaniert mit den Potenzialen des eigenen Flurstücks versorgt werden können
3. Abgleich der „unterversorgten“ Gebäude mit den Fernwärmegebieten

- a. Wenn Gebäude im Fernwärmegebiet (sowohl Verdichtungsgebiet als auch Erweiterungsgebiet) liegen, wird angenommen, dass diese an die Fernwärme angeschlossen werden können.
 - b. Wenn Gebäude im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet liegen, wird angeregt, diese Teilgebiete in die weiteren Analysen des Untersuchungsgebietes prioritär einzubeziehen
4. Genauere Prüfung der weiterhin „unterversorgten“ Gebäude
- a. Abstimmung mit den SWM, ob einzelne kritische Gebiete in Anbetracht der Netzhydraulik in das Wärmenetz-Verdichtungsgebiet oder Erweiterungsgebiet einbezogen werden können
 - b. Prüfen der naheliegenden Umgebung, ob hier Potenziale und Flächen zur Verfügung stehen, um Wärme zu erzeugen und durch Wärmenetze in das Gebiet zu bringen (Fokus: Abgleich der baublockscharfen Potenziale des Grundwassers mit den Wärmebedarfen)
 - c. Einbezug bestehender „Kühlnetze“ mit ca. 12 °C (Grundwassernetze), als Möglichkeit zur Einbindung von dezentralen Wärmepumpen und Abwärme

Durch die Erstellung der Karten in Schritt 1 soll in Schritt 2 zunächst geprüft werden, ob eine individuelle Versorgung der Gebäude eines Flurstücks mit den eigenen Potenzialen durch den Einsatz der verschiedenen Wärmepumpentechnologien möglich ist. Diese Analyse wurde zuerst durchgeführt, da dies in der Umsetzung als einfachste Lösung erscheint. Zum einen können einzelne Gebäudeeigentümer:innen selbst entscheiden, welche Lösung sie umsetzen wollen. Zum anderen entfallen hierdurch die Abhängigkeiten, welche im Falle einer gemeinsamen Lösung entstehen. Diese besteht insbesondere darin, dass möglichst viele Heizkessel in dem Fall gleichzeitig gewechselt werden müssen, unabhängig vom aktuellen Alter. In der Realität ist es aber bevorzugt, dass das Heizsystem dann gewechselt wird, wenn das bestehende Heizsystem defekt ist bzw. das erwartete Lebensdauerende erreicht hat.

Es ist festzuhalten, dass bis zur angestrebten Erreichung der Klimaneutralität nicht alle Gebäude in München saniert werden können und daher die Sanierungskapazitäten sinnvoll zugeordnet werden sollen. Daher erfolgte eine differenzierte Analyse im aktuellen energetischen Zustand sowie gemäß einer ambitionierten, aber als umsetzbar angesehenen Sanierungstiefe KfW EH 55 bzw. bei denkmalgeschützten Gebäuden KfW EH Denkmal. Hierdurch kann abgeleitet werden, wo eine Sanierung aus Vorsorgersicht besonders sinnvoll ist.

Aus diesen Untersuchungen wurden folgende Eignungsgebiete abgeleitet:

- Individuell zu versorgendes Gebiet
- Individuell zu versorgendes Gebiet mit Sanierung (ggf. seriell)

Diese individuell zu versorgenden Gebiete wurden aus den weiteren Analyseschritten für die Eignungsgebiete ausgeschlossen. Hier sei bereits erwähnt, dass in den Eignungsgebieten aus mehreren Gründen nicht zwischen den unterschiedlichen Wärmepumpen-Technologien unterschieden wurde. Der wichtigste Grund hierfür ist, dass die Qualität der Luft-Wärmepumpen-Potenzialdaten hierfür noch nicht ausreichend ist (siehe Erläuterungen in Kapitel 6.5). Weiterhin werden die Karten je Baublock ausgegeben, die reale Bewertung muss jedoch je Flurstück bzw. je Gebäude ausgegeben werden. Somit könnten die Modellergebnisse anzeigen, dass eine Technologie auf einem Baublock einsetzbar ist. Aufgrund besonderer, im Modell nicht vorhandener Eigenschaften des realen Flurstückes, ist diese Technologie aber nicht geeignet. Solche Fälle sind logisch, haben aber das Potenzial, missverstanden zu werden. Weiterhin besteht kein Bedarf der differenzierten Ausweisung, da die dargestellten Karten nicht die notwendige individuelle Energieberatung ersetzen sollen, in welcher alle Möglichkeiten im konkreten Anwendungsfall ganzheitlich geprüft und verglichen werden.

Die nicht selbst versorgbaren Flurstücke wurden im Schritt 3 mit den durch die SWM übermittelten Untersuchungen zu den Fernwärmegebieten abgeglichen. Wenn sie darin lagen, wurden sie nicht in die weiteren Stufen der Gebietsanalyse einbezogen.

In Schritt 4 a wurden Gebiete betrachtet, die sich nicht selbst versorgen können und auch nicht in einem der oben genannten Fernwärmegebiete der SWM liegen, aber nahe an ein solches Gebiet angrenzen. Hier wurde mit den

Ansprechpartnern seitens der SWM diskutiert, ob diese in die Fernwärmeversorgung integriert werden könnten. Hierbei wurde durch die SWM geprüft, ob dies gemäß der Netzhydraulik und unter Beachtung der Vorgaben für die verfügbaren Kapazitäten der Fernwärme möglich ist. Basierend auf den Ergebnissen dieser Diskussion wurden einzelne Anpassungen in den aktuell geplanten Fernwärmegebieten der SWM umgesetzt. Bei anderen Gebieten wurde festgelegt, dass hier eine fernwärmebasierte Lösung aufgrund technischer Restriktionen nicht möglich ist. Innerhalb der gleichen Diskussion wurde auch reflektiert, ob in einzelnen, für die Fernwärme vorgesehenen Gebieten, alternative Lösungen (sowohl als individuelle Versorgung als auch Nahwärmenetze) gegenüber der Fernwärme bestehen. Dies geschah primär, um die Integration nicht versorgbarer Gebiete zu ermöglichen und trotzdem die vorgegebene Fernwärmekapazität für München nicht zu überschreiten.

Aus diesen Untersuchungen wurden folgende Eignungsgebiete leicht angepasst:

- Fernwärme-Erweiterungsgebiet
- Wärmenetz-Untersuchungsgebiet
- Potenzielle Fernwärme-Erweiterungsgebiete: Diese wurden in Wärmenetz-Untersuchungsgebiete umbenannt, da hier sowohl Fernwärme als auch separate Wärmenetze denkbar sind.

In Schritt 4 b wurde für die nicht selbst versorgbaren Gebiete weiterhin überprüft, ob auf dem Baublock genügend Potenzial und auch Freifläche besteht, um alle Gebäude zu versorgen. Dies erfolgte sowohl zum energetischen Stand im Status Quo als auch nach Sanierung. Bei genauerer Betrachtung der Gebiete, in denen eine gemeinsame Versorgung nach Sanierung möglich ist, fiel auf, dass einige dieser Gebiete baulich sehr ähnliche Gebäude nebeneinander aufweisen, was gemeinsame Eigentümer:innen bzw. eine Verwaltungsgesellschaft nahelegt. In diesen Gebieten bietet sich somit ggf. eine serielle Sanierung an, was für die Umsetzung genauer geprüft werden muss (z. B. auch verkehrliche Aspekte).

Aus diesen Analyseschritten wurden folgende Eignungsgebiete erweitert:

- Wärmenetz-Untersuchungsgebiet
- Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung (ggf. seriell)

In der Detailbetrachtung der weiterhin nicht versorgbaren Gebiete sind Reihenhaus-Gebiete aufgefallen. Hier können sich die Reihenendhäuser häufig gut über eigene Wärmepumpen versorgen, für die Reihenmittelhäuser wird jedoch kein Potenzial ausgewiesen. Dies liegt primär daran, dass Reihenendhäuser freie Flächen haben, die einen ausreichenden Abstand zu benachbarten Gebäuden aufweisen, was bei Reihenmittelhäusern nicht der Fall ist. Somit können diese Gebiete als separate Gebiete festgelegt werden. Was hier die beste Lösung ist und warum diese Gebiete nicht für ganz München ausgewiesen werden können, wird im entsprechenden Steckbrief beschrieben (siehe Kapitel 8.4.5).

Aus diesen Analyseschritten wurden folgende Eignungsgebiete abgeleitet:

- Reihenhäuser mit Gebäudenetzen

Nach den vorherigen Schritten bleiben somit noch Gebäude übrig, welche weder individuell noch über die Fernwärme oder mit Grundwasser-Wärmepumpen versorgt werden können. Diese wurden im Schritt 4 c mit der Lokalisierung der Kältenetze der SWM abgeglichen. Dies erfolgte vor dem Hintergrund, dass hier potenziell dezentrale Wärmepumpen angeschlossen werden könnten, welche das Kältenetz (soweit dies technisch möglich ist) als kalte Nahwärme nutzen können. Der Vorteil hierbei wäre, dass ein Teil der angeschlossenen Gebäude Kälte braucht bzw. Wärme abgibt und das Kältenetz aufwärmt, während andere Gebäude dem Netz diese Wärme wieder entnehmen. Somit kann die Abwärme der Kühlung für die Heizung nutzbar gemacht werden. Weiterhin kann so die bestehende Infrastruktur der Netze kontinuierlich genutzt werden. Diese Diskussion wurde weniger detailliert geführt als jene in Bezug auf die Fernwärme, da es häufig Überlagerungen mit dem Fernwärme-

Verdichtungsgebiet gibt. Es war jedoch ersichtlich, dass hierzu genauere technische Analysen seitens der SWM sinnvoll erscheinen.

Auch ein Abgleich mit den industriellen Abwärmepotenzialen fand statt, wodurch jedoch kein relevanter Teil der bisher nicht versorgbaren Gebäude abgedeckt werden konnte. Dies stünde zudem unter Vorbehalt, da die Versorgung der Industriegebiete selbst im Rahmen der Studie nicht detaillierter analysiert wurde.

Abschließend wurde in den übrigen Gebieten geprüft, ob es sich um größere Gebiete handelt oder nur um einzelne Gebäude. Bei größeren Gebieten wurde entsprechend angeregt, direkt ein Energie- bzw. Quartierskonzept zu erstellen.

Aus diesen Analyseschritten wurden folgende Eignungsgebiete abgeleitet:

- Vertiefte Untersuchung durch ein Energiekonzept notwendig
- Wenige Gebäude ohne lokales EE-Potenzial

Als Diskussionsgrundlage für die Gespräche mit den SWM und für die weitergehende Betrachtung von kritischen Gebieten durch das RKU wurden die Ergebnisse für alle ca. 60 genauer betrachteten Gebiete an RKU und SWM als Präsentation übermittelt. Hierbei wurde jeweils eine individuelle Einschätzung überliefert, welche Lösung sinnvoll erscheint, auf der Frage basierend, ob in der Nähe der Gebiete eine Freifläche verfügbar ist, die zum Aufbau eines Nahwärmenetzes genutzt werden könnte.

8.3 Kartographische Darstellung übergeordneter Eignungsgebiete

In Abbildung 8-1 sind die gemäß der in Kapitel 8.2 dargestellten Logik und in Kapitel 8.4 genauer erläuterten Eignungsgebiete räumlich verortet. Wichtig ist dabei zu verstehen, dass sich diese Eignungsgebiete räumlich überlagern.

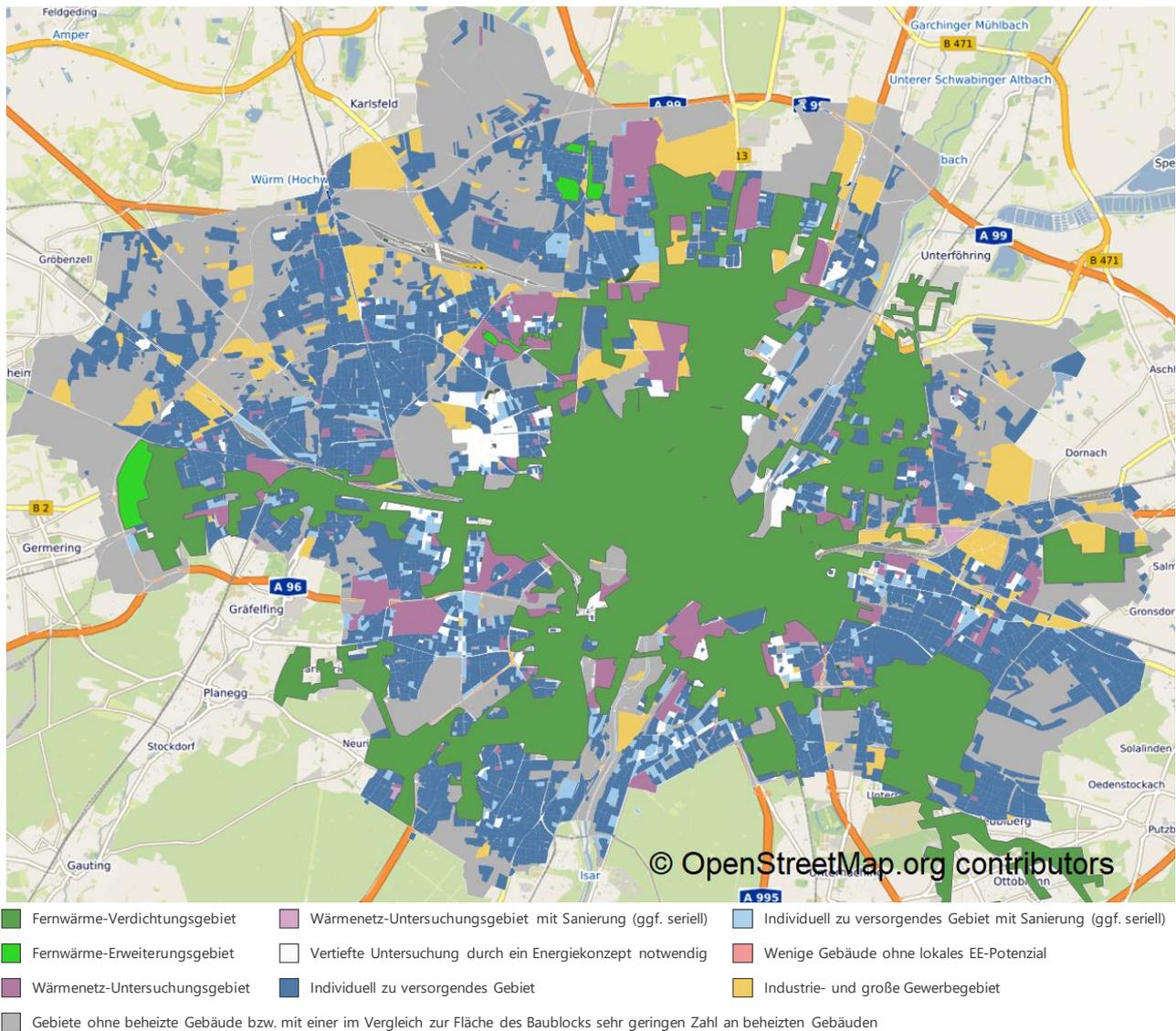
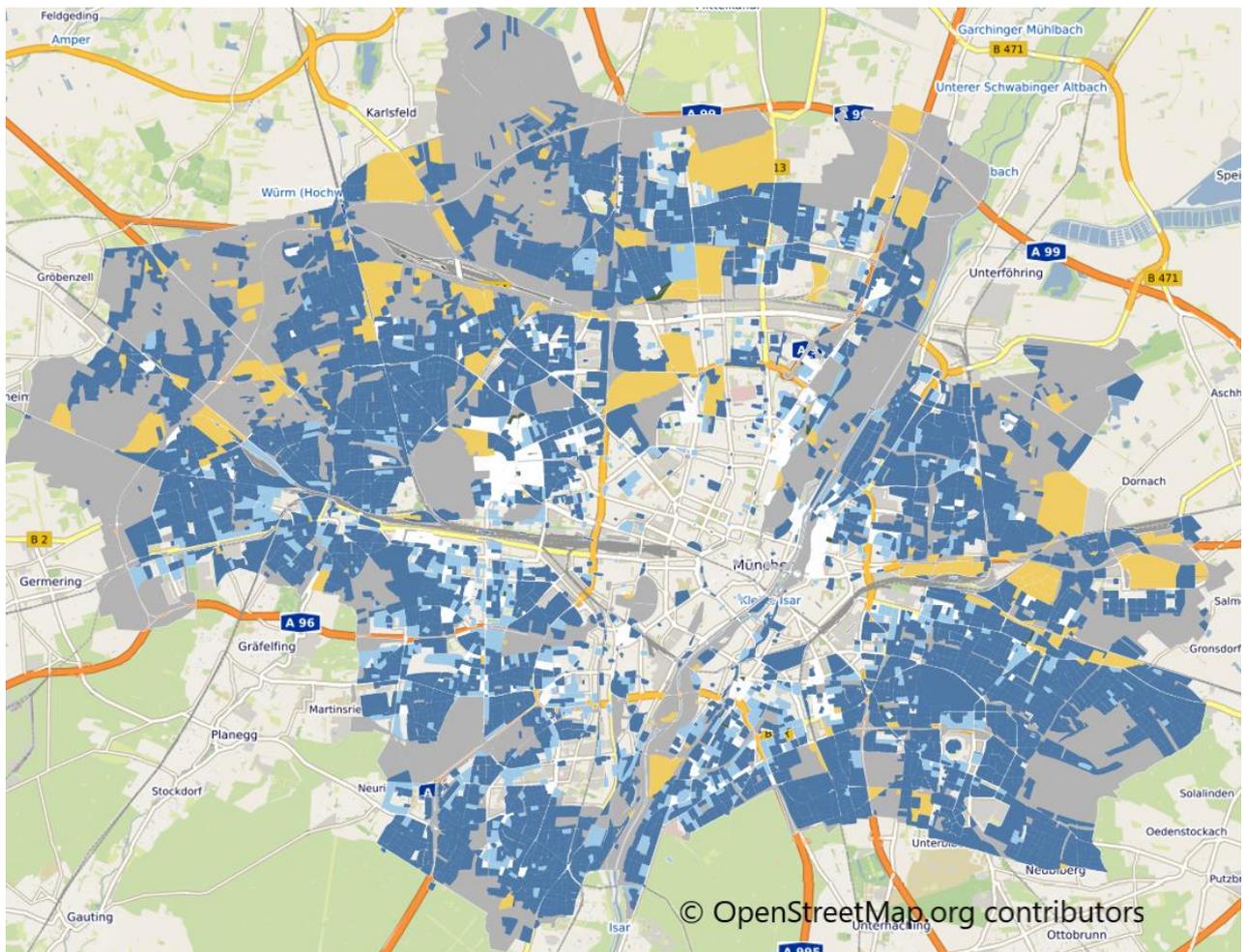


Abbildung 8-1: Visualisierung der Eignungsgebiete inklusive Fernwärme-Verdichtungsgebiet

Zum Vergleich der Verfügbarkeit von dezentralen Lösungen bzw. Wärmenetzen (Fernwärme und lokale Wärmenetze) wurden in Abbildung 8-2 die Wärmenetze ausgeblendet. Es ist deutlich zu erkennen, dass in hochverdichteten Siedlungsstrukturen mit hohen Wärmebedarfen, wie beispielsweise in der Innenstadt, kaum dezentrale Versorgungsoptionen möglich sind. Dies liegt u. a. an der hohen Bebauungsdichte. Häufig fehlt auch nach einer ambitionierten Sanierung der Gebäude der Platz für ausreichend dimensionierte Wärmepumpen. Zudem sind hier die Grundwasserpotenziale sehr gering bzw. reichen nicht zur Versorgung der tendenziell größeren Gebäude aus.

In Summe zeigt sich, dass sich die Potenziale für den Einsatz dezentraler Lösungen und die festgelegten Gebiete für Wärmenetze in München gut ergänzen.



- | | | |
|---|--|---|
| Vertiefte Untersuchung durch ein Energiekonzept notwendig | Wenige Gebäude ohne lokales EE-Potenzial | Gebiete ohne beheizte Gebäude bzw. mit einer im Vergleich zur Fläche des Baublocks sehr geringen Zahl an beheizten Gebäuden |
| Individuell zu versorgendes Gebiet | Industrie- und große Gewerbegebiet | |
| Individuell zu versorgendes Gebiet mit Sanierung (ggf. seriell) | | |

Abbildung 8-2: Visualisierung der Eignungsgebiete ohne das Fernwärme-Verdichtungsgebiet, Fernwärme-Erweiterungsgebiet und Wärmenetz-Untersuchungsgebiet

Für das Verständnis der Abbildungen zu den Ergebnissen je Eignungsgebiet ist folgender Umstand relevant: Die Gebiete für die Fernwärme-Verdichtung und Fernwärme-Erweiterung wurden als eigener Umriss (Fachbegriff: shape-Datei) erstellt. Dieser orientiert sich nicht an Baublöcken, da Baublöcke durchaus recht groß sein und zudem eine heterogene Bebauungsstruktur aufweisen können. Daher wurden bei der Fernwärme nicht komplette Baublöcke markiert, sondern nur die Flächen, die relevant sind – beispielsweise wenn in einem Baublock nur Gebäude an der Straße mit Fernwärme versorgt werden sollen. Alle weiteren Eignungsgebiete beziehen sich jedoch auf ganze Baublöcke. Für die nachfolgenden statistischen Auswertungen zu den Eignungsgebieten soll an dieser Stelle der Hinweis gegeben werden, dass sie sich aus technischen Gründen immer auf volle Baublöcke beziehen – auch bei der Fernwärme.

8.4 Detaillierte Beschreibung der Eignungsgebiete und der modellierten Entwicklungen

Nachfolgend werden die definierten Eignungsgebiete in Form von Steckbriefen beschrieben. Die Anordnung erfolgt von netzgebundenen hin zu individuell versorgten Gebieten. In Abbildung 8-3 sind die Wärmebedarfe differenziert nach Eignungsgebieten dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Gebiete sich überlagern und somit die Summe der Wärmebedarfe höher ist als der Gesamtbedarf.

Es zeigt sich, dass im Fernwärme-Verdichtungsgebiet der Wärmebedarf mit Abstand am höchsten ist und auch höher als der festgelegte Deckel (maximale Bereitstellung in 2045 bei ca. 5,4 TWh im Zielszenario – was seitens der SWM als ambitioniertes Potenzial angesehen wird) für die bereitstellbare Fernwärme. Dies ist auch insofern plausibel, da nicht von einer 100-prozentigen Anschlussquote auszugehen ist. Das zweitgrößte Gebiet ist das individuell zu versorgende Gebiet, worauf das Wärmenetz-Untersuchungsgebiet folgt.

Die Gebiete, für die basierend auf den vorliegenden Daten keine direkte Lösung gefunden werden konnte, machen in Summe ca. 350 GWh aus und somit ca. 3,5 % des gesamten Wärmebedarfes.

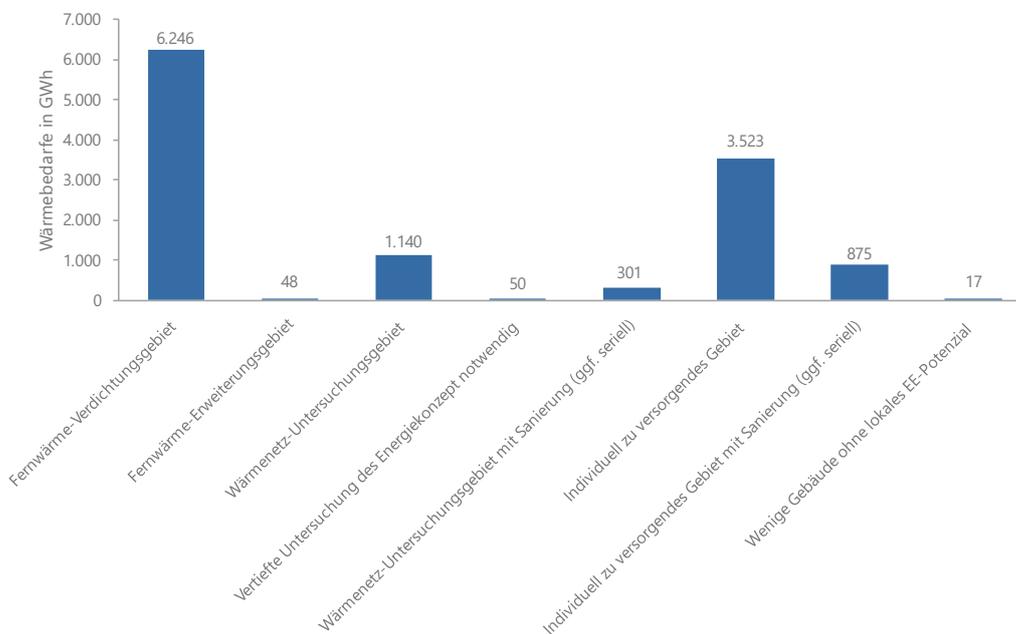


Abbildung 8-3: Wärmebedarfe nach Eignungsgebiet in der Stadt München

Kategorien für die Beschreibung der Eignungsgebiete

In den folgenden Unterkapiteln werden die Eignungsgebiete anhand der folgenden Kategorien beschrieben:

- Beschreibung und Bestimmung des Gebietes
- Kennzahlen des Gebietes im Status Quo
- Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet
- Abbildung im Modell
- Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Tabelle 8-1: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand in München insgesamt

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	10.343
	Fläche Baublöcke	261,3 Mio. m ²
	Anzahl Gebäude	218.327
	Grundfläche der Gebäude	43,1 Mio. m ²
	Bebauungsdichte (Grundfläche der Gebäude durch Fläche Baublock)	16 %
	Anzahl Wohneinheiten	793 Tsd.
	Bevölkerung	1,6 Mio.
	Anteil Denkmalsgeschützte an gesamter beheizter Fläche ²	11 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	11.450 GWh/a
	Wärmebedarf	10.299 GWh/a
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	234 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	39 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	2.484 Tsd. t CO ₂

Da im Basisszenario die Klimaneutralität nicht erreicht wird, wird bei den Kosten nur auf das Zielszenario eingegangen (Details hierzu siehe Kapitel 9.1). In Kapitel 9 sind Details dazu enthalten, wie die Modelldaten nach der Simulation nachbereitet wurden. Die gezeigten Daten sind immer die Modelldaten aus dem Modell München.

Weitere Herausforderungen für die Umsetzung der Wärmewende in München und des rechtlichen Rahmens werden im Rechtsgutachten von der Anwaltskanzlei AVR geschildert. Die Studie zur Wärmewendestrategie des Hamburg Institutes baut auf den nachfolgenden Steckbriefen auf und ergänzt insbesondere die abgeleiteten Maßnahmen und Instrumente.

8.4.1 Fernwärme-Verdichtungsgebiet

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

Das von den SWM angegebene Fernwärme-Verdichtungsgebiet wurde hier als gesetzt angenommen. In dem Gebiet besteht bereits die benötigte Fernwärme-Infrastruktur der SWM und es sind Kunden angeschlossen. Durch weitere Anschlüsse wird in diesem Gebiet nachverdichtet. Daher beinhaltet es neben den Straßenzügen, in denen bereits Fernwärmenetze vorhanden sind, auch das Gebiet in räumlicher Nähe zum vorhandenen Fernwärmenetz. Unter der getätigten Annahme ist davon auszugehen, dass keine langen Verbindungsleitungen an die Fernwärme verbaut werden müssen. Es besteht aktuell keine Mindestleistung, ab der Gebäude an die Fernwärme angeschlossen werden.

Eine Differenzierung des Gebiets nach folgenden Teilgebieten könnte im Rahmen der weiteren Planungen und Kommunikation nach außen hilfreich sein:

- Wie in „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ umgesetzt, könnte eine differenzierte Darstellung des verbleibenden Dampfnetzgebietes sinnvoll sein. Hier wird das Netz auch langfristig mit

² Hier sind ausschließliche denkmalgeschützte Gebäude enthalten, aber kein Ensembleschutz, da hier die Auflagen geringer sind. Bei separater Ausweisung würde es weiterhin zu Doppelzählungen kommen,

dem Medium Dampf betrieben, was dazu führt, dass die Kosten für Netzerweiterungen und Hausanschlüsse deutlich höher sind.

- Für die Verbraucher:innen wäre speziell der Zeitraum, innerhalb dessen ein Anschluss an die Fernwärme möglich wäre, von Interesse.

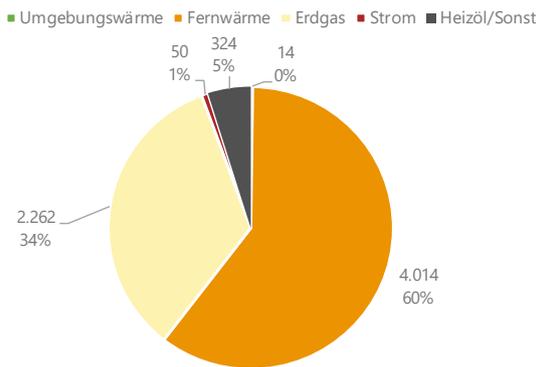
Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

Relevante Kennzahlen zur Charakteristik des Fernwärme-Erweiterungsgebietes sind in Tabelle 8-2 enthalten und eine differenziertere Beschreibung des vorhandenen Gebäudebestands in Abbildung 8-4. Im Vergleich zu den anderen Gebieten liegt hier sowohl der größte Endenergiebedarf vor (60 % des gesamten wärmebedingten Endenergiebedarfes) und auch die Bebauungsdichte ist am höchsten. Die spezifischen Wärmebedarfe, bezogen auf die Baublockfläche, sind im Eignungsgebiet „Wenige Gebäude ohne lokales EE-Potenzial“ leicht höher und bezogen auf die Gebäudegrundfläche sogar doppelt so hoch. Nichtsdestotrotz sind diese Parameter im Fernwärmeverdichtungsgebiet höher als in den weiteren Gebieten.

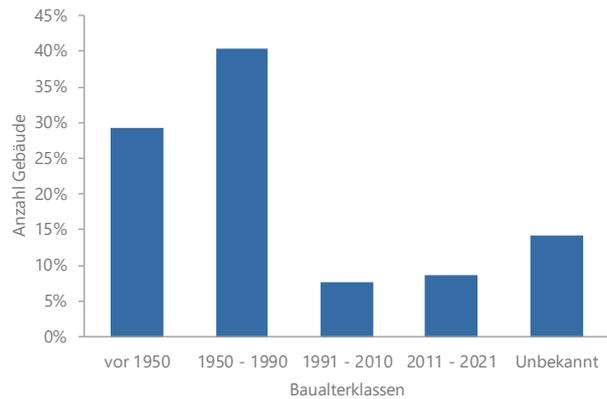
Tabelle 8-2: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im Fernwärme-Verdichtungsgebiet

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	3.121
	Fläche Baublöcke	63,5 Mio. m ²
	Anzahl Gebäude	54.909
	Grundfläche der Gebäude	21,8 Mio. m ²
	Bebauungsdichte (Grundfläche der Gebäude durch Fläche des Baublocks)	34 %
	Anzahl Wohneinheiten	475 Tsd.
	Bevölkerung	911 Tsd.
	Anteil Denkmalschutzte an gesamter beheizter Fläche	15 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	6.664 GWh/a
	Wärmebedarf	6.246 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	60 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	287 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	98 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	1.468 Tsd. t CO ₂
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	59 %

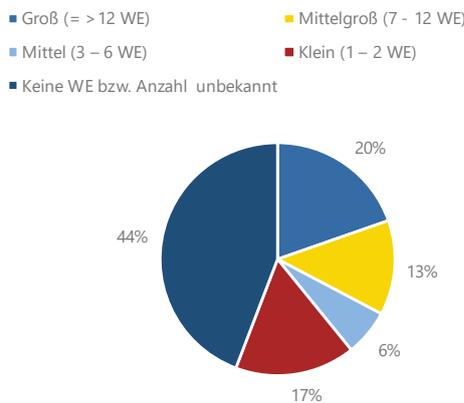
Endenergiebedarf in GWh und %



Verteilung des Baualters in %



Anteile der Wohneinheiten in %



Verteilung der Nutzungsarten in %

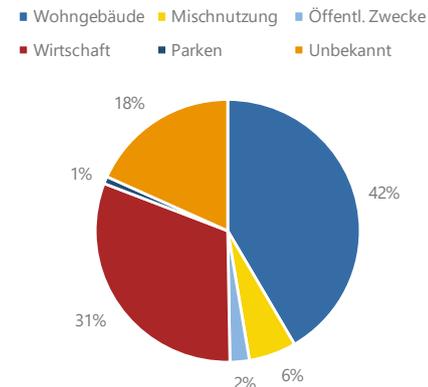


Abbildung 8-4: Aufteilung des Gebäudebestandes im Fernwärme-Verdichtungsgebiet im Status Quo

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

Insgesamt ist im Fernwärme-Verdichtungsgebiet eine Erhöhung der Anschlussrate an die Fernwärme sinnvoll, denn, wie in Kapitel 8.3 beschrieben, bestehen in einigen Bereichen des Gebietes wenig Alternativen für die Wärmeversorgung. Aufgrund von individuellen Entscheidungen der Gebäudeeigentümer:innen sowie durch Restriktionen wie die begrenzte Erzeugungskapazität oder hydraulische Begrenzungen der Fernwärme, wird jedoch nicht jedes Gebäude im Fernwärme-Verdichtungsgebiet an die Fernwärme angeschlossen werden. Bei der Entscheidung, welche Gebäude im Fernwärme-Verdichtungsgebiet an die Fernwärme angeschlossen werden, sollte aus Sicht der kommunalen Wärmetransformation die Verfügbarkeit alternativer Potenziale klimaneutraler Wärmequellen auf dem Flurstück / Baublock berücksichtigt werden. Gebäude ohne andere Versorgungsoptionen sollten präferiert einen Anschluss erhalten. Für Gebäude mit alternativen Potenzialen, wie z. B. Grundwasser-Wärmepumpen, kann dies aus Sicht des Gesamtsystems vorteilhaft sein, da diese Gebäude dann die verfügbare Fernwärmekapazität nicht reduzieren.

Auch im Fernwärme-Verdichtungsgebiet ist zur Reduktion des Wärmebedarfes eine energetische Sanierung der Gebäude sinnvoll, um die Fernwärme mit den verfügbaren Potenzialen zu dekarbonisieren und die mögliche Anschlussquote in einzelnen Gebieten zu steigern. Da die begrenzten Sanierungskapazitäten (v. a. Personal) dringend in dezentral zu versorgenden Gebieten benötigt werden, in denen die Sanierung teilweise für den Wechsel des Heizsystems auf eine klimaneutrale Technologie erforderlich ist, können die Sanierungsrate und -tiefe im Fernwärme-Verdichtungsgebiet weniger ambitioniert sein (genauere Darlegung in /FFE-79 21/).

Da der Wärmebedarf von Neubauten aufgrund der hohen Anforderungen an die Energieeffizienz gering ist, sollte beim Neubau im Fernwärme-Verdichtungsgebiet eine eigenständige Versorgung bzw. der Aufbau eines

Nahwärmenetzes gesamtsystemisch mit dem Anschluss an die Fernwärme verglichen werden. Vor allem aufgrund der regulatorischen Hürden zum Anschluss von Bestandsgebäuden an die Fernwärme, war in den letzten Jahren der Anschluss von Neubauten an Wärmenetze erfolgreicher. Allerdings ist in Neubauten die effiziente Einbindung klimaneutraler Wärmequellen einfacher, sodass möglichst wenig der begrenzten Fernwärme hier eingesetzt werden sollte. Bei der Entscheidungsfindung kann eine Betrachtung der vorgeschlagenen Erzeugungslösungen der näheren Umgebung helfen.

Abbildung im Modell

Im Modell München ist das Fernwärme-Verdichtungsgebiet als regionales Potenzial hinterlegt. Gebäude innerhalb dieses Gebiets können zur Fernwärme wechseln, können aber auch alternative Lösungen nutzen. Die Entscheidung hierzu wird von den einzelnen Akteur:innen der Gebäude in Abhängigkeit von den Wärmegestehungskosten und der Potenzialverfügbarkeit getroffen. Da im genutzten Modell die Akteur:innen auch über die präferierte Ausgestaltung einer Sanierung entscheiden, werden übergeordnet keine abweichenden Vorgaben zur Sanierungsrate und -tiefe gegenüber anderen Eignungsgebieten gemacht.

Für die Szenarien wurde im Modell München neben der regionalen Zuordnung des Fernwärme-Verdichtungsgebiets das maximal mögliche Potenzial aus dem Transformationsplan Fernwärme hinterlegt. Dieses liegt jahresscharf vor und steigt bis 2045 auf 5.450 GWh. Bei einer Änderung der Annahmen zur Sanierung würde sich die Anzahl der Gebäude, die an die Fernwärme angeschlossen werden können, verändern.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Die Entwicklung des Endenergiebedarfes im Fernwärme-Verdichtungsgebiet im simulierten Zielszenario ist in Abbildung 8-5 enthalten und die hieraus resultierenden Emissionen in Abbildung 8-5. Der Endenergiebedarf sinkt bis 2045 um 18 %, wobei im Gebiet ein zusätzlicher Wärmebedarf von ca. 450 GWh durch Neubauten erwartet wird. Rechnet man diesen heraus, reduziert sich der Endenergiebedarf um 25 %.

Es ist klar ersichtlich, dass der Großteil der Gebäude an das Fernwärmenetz angeschlossen wird. Während im Fernwärme-Verdichtungsgebiet aktuell ca. 60 % des Wärmebedarfes durch Fernwärme gedeckt werden, liegt dies in 2045 bei 88 %. Die restliche Wärme wird primär über Wärmepumpen bereitgestellt und in vernachlässigbarer Höhe durch Biomasse.

Die verbleibenden Emissionen aus der Fernwärme sind der Verwendung von Abwärme aus der Müllverbrennung zuzurechnen (genauere Diskussion hierzu in /FFE-79 21/).

Entwicklung des Endenergiebedarfes im Zielszenario im Fernwärme-Verdichtungsgebiet

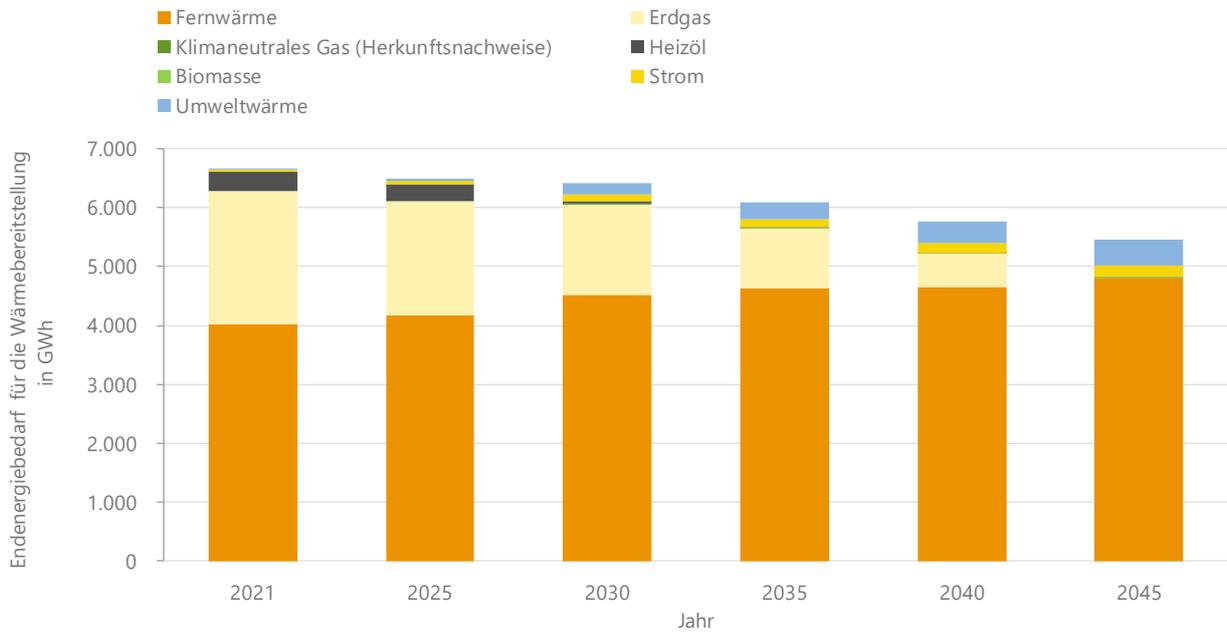


Abbildung 8-5: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Fernwärme-Verdichtungsgebiet

Entwicklung der CO₂-Emissionen im Zielszenario im Fernwärme-Verdichtungsgebiet

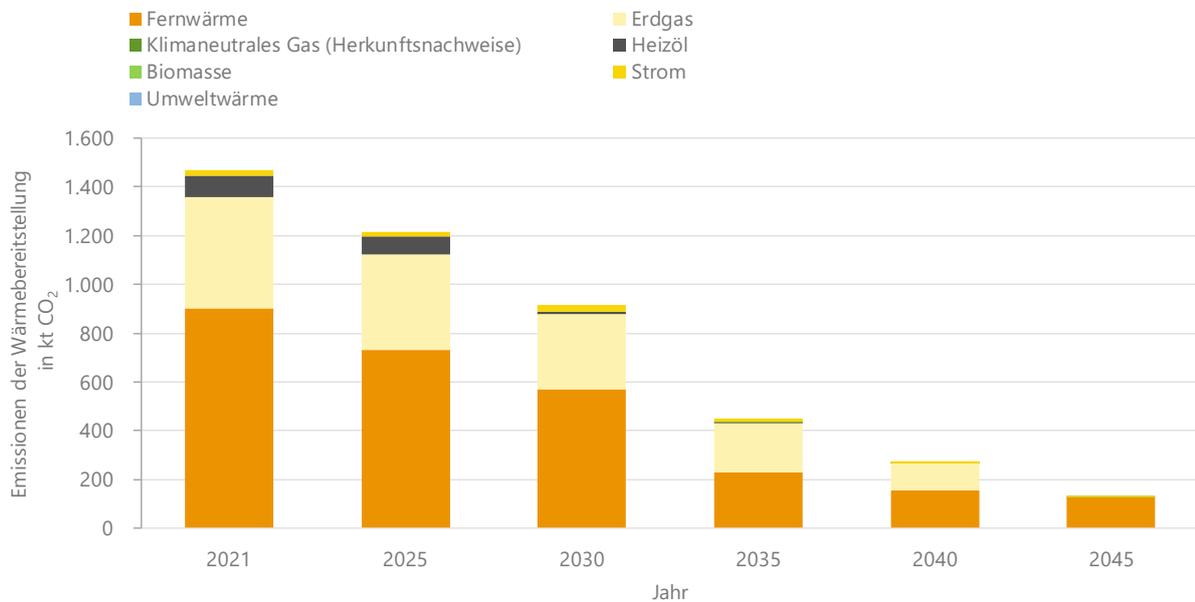


Abbildung 8-5: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im FW-Verdichtungsgebiet

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

Im Fernwärme-Erweiterungsgebiet sind aktuell noch keine Verbindungsleitungen zum Fernwärmenetz vorhanden, sodass der Aufwand und die Kosten zur Erschließung höher sind als im Fernwärme-Verdichtungsgebiet. Die SWM planen die Fernwärmeversorgung auszubauen. Die Auswahl der Gebiete erfolgt basierend auf wirtschaftlichen Kriterien wie hohen Wärmebedarfsdichten, technischen Restriktionen wie der Netzhydraulik, einer geeigneten Eigentümerstruktur sowie lokalen Erzeugungskapazitäten und -standorten. Aus Sicht der SWM sind Erweiterungsgebiete dann sicher, wenn ein Beschluss der SWM-Geschäftsführung vorliegt, diese zu erschließen.

Diese Festlegung der Fernwärme-Erweiterungsgebiete wurde im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung reflektiert (siehe Kapitel 8.2). Eine finale Entscheidung über alle Gebiete, welche aus Sicht der gesamtstädtischen Transformation als Fernwärme-Erweiterungsgebiete zu behandeln sind, kann erst erfolgen, wenn die Ergebnisse des Transformationsplans und der kommunalen Wärmeplanung in einem offenen Diskurs zwischen LHM und SWM ganzheitlich und gesamtsystemisch abgeglichen wurden. Für die weiteren Planungen und Kommunikation nach außen eine Unterteilung bezogen auf die Zeitschiene der Umsetzung gemäß des Transformationsplanes der Fernwärme hilfreich sein.

Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

Relevante Kennzahlen zur Charakteristik des Fernwärme-Verdichtungsgebietes sind in Tabelle 8-3 enthalten. Eine differenziertere Beschreibung des vorhandenen Gebäudebestands findet sich in Abbildung 8-6. Zwar sind im bisher festgeschriebenen Fernwärme-Erweiterungsgebiet die Wärmebedarfsdichten nicht besonders groß, sie zeichnen sich jedoch durch eine hohe Anzahl an Wohneinheiten pro Gebäude aus. Daher kann in diesen Gebieten wahrscheinlich mit einer relativ geringen Anzahl an Anschlüssen ein hoher Wärmebedarf abgedeckt werden.

Tabelle 8-3: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im Fernwärme-Erweiterungsgebiet

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	44
	Fläche Baublöcke	1,2 Mio. m ²
	Anzahl Gebäude	749
	Summierte Grundfläche der Gebäude	200 Tsd. m ²
	Bebauungsdichte	17 %
	Anzahl Wohneinheiten	6 Tsd.
	Bevölkerung	12 Tsd.
	Anteil Denkmalschutzte an gesamter beheizter Fläche	0 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	56 GWh/a
	Wärmebedarf	48 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	< 1 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	237 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	40 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	12 Tsd. t CO ₂
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	< 1 %

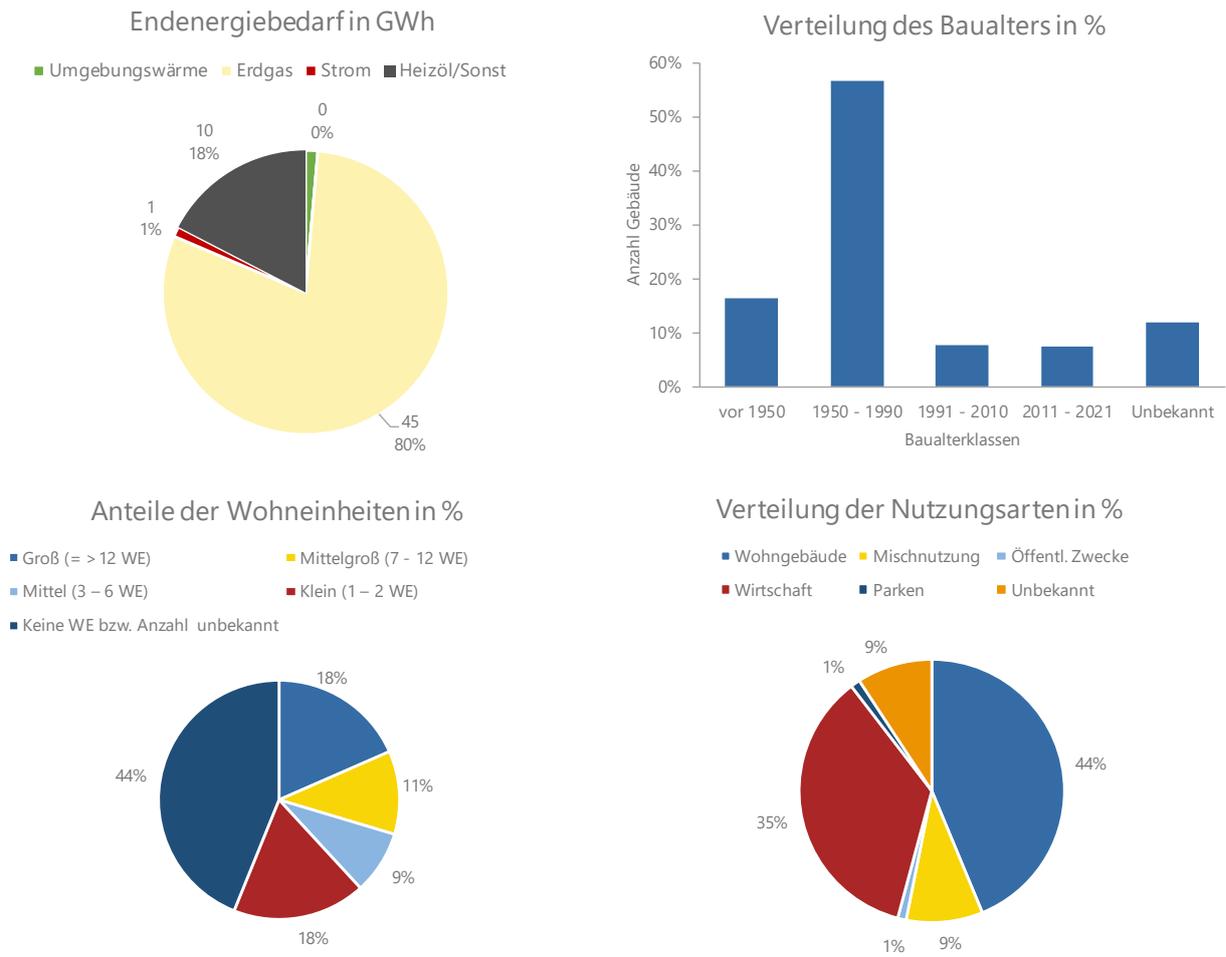


Abbildung 8-6: Aufteilung des Gebäudebestandes im Fernwärme-Erweiterungsgebiet im Status Quo

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

Analog zum Fernwärme-Verdichtungsgebiet ist Fernwärme in den Erweiterungsgebieten die überwiegend empfohlene Lösung. Auch hier ist eine Abwägung, ob Neubauten und Gebäude, welche sich selbst versorgen können, angeschlossen werden nötig (wie bereits in Kapitel 8.4.1 beschrieben). Aufgrund der benötigten Investitionen in Verbindungsleitungen vom Fernwärme-Verdichtungsgebiet in diese Gebiete sind sichere Investitionsbedingungen durch eine erwartbar hohe Anschlussdichte für den Bau der Verbindungsleitungen notwendig.

Abbildung im Modell

Analog zum Fernwärme-Verdichtungsgebiet wurden auch die Fernwärme-Erweiterungsgebiete regional im Modell München verortet. Sie entsprechen ebenfalls den Planungen im Transformationsplan für die Fernwärme. Im Modell ist es im Fernwärme-Erweiterungsgebiet wie auch im Fernwärme-Verdichtungsgebiet möglich, dass die Akteur:innen alternativ vorhandene Versorgungsoptionen wählen.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Die Entwicklung des Endenergiebedarfes im Fernwärme-Erweiterungsgebiet im simulierten Zielszenario ist in Abbildung 8-7 enthalten. Die hieraus resultierenden Emissionen finden sich in Abbildung 8-8. Der Endenergiebedarf sinkt um 26 % bzw. ohne den hier erwarteten Zubau von 4 GWh um 33 %. Hier steigt der Anteil der Fernwärme am Endenergiebedarf auf ca. 42 % in 2045. Mit 50 % wird der größte Anteil des Bedarfes über Wärmepumpen abgedeckt und ein geringer Anteil von 7 % über Biomasse. Der Anteil der Fernwärme scheint recht niedrig in Anbetracht dessen, dass hier ein Ausbau der Fernwärme als besonders sinnvoll eingeschätzt wird.

Hierbei ist daran zu erinnern, dass die Eignungsgebiete immer auf Baublock-Ebene festgelegt werden, die favorisierte Versorgung jedoch auf Gebäudeebene entschieden wird. So kann es sein, dass sich Akteur:innen in einzelnen Gebäuden eines Baublocks unterschiedlich entscheiden. Speziell im gemischten Baublöcken aus großen und kleineren Gebäuden ist dies der Fall. Weiterhin kann in diesem Gebiet der Fall auftreten, dass grundsätzlich die Nutzung von Fernwärme zu bevorzugen wäre, jedoch ein Tausch des Heizungssystems ansteht, bevor im Gebiet der Fernwärmeausbau vorangetrieben werden kann.

Gemäß der Betrachtung in Google Maps liegt im Falle der bereits festgelegten Erweiterungsgebiete z. T. eine entsprechende Diversität der Gebäude vor. Zudem besteht in den Gebieten ein gutes Grundwasser-Potenzial, was diese Gebäude nutzen können.

Weiterhin sind im Erweiterungsgebiet zwei größere Neubaugebiete enthalten, bei denen zwar entschieden wurde, dass sie mit Fernwärme versorgt werden sollen, im Modell kann es jedoch dazu kommen, dass eine Entscheidung zugunsten von Wärmepumpen erfolgt.

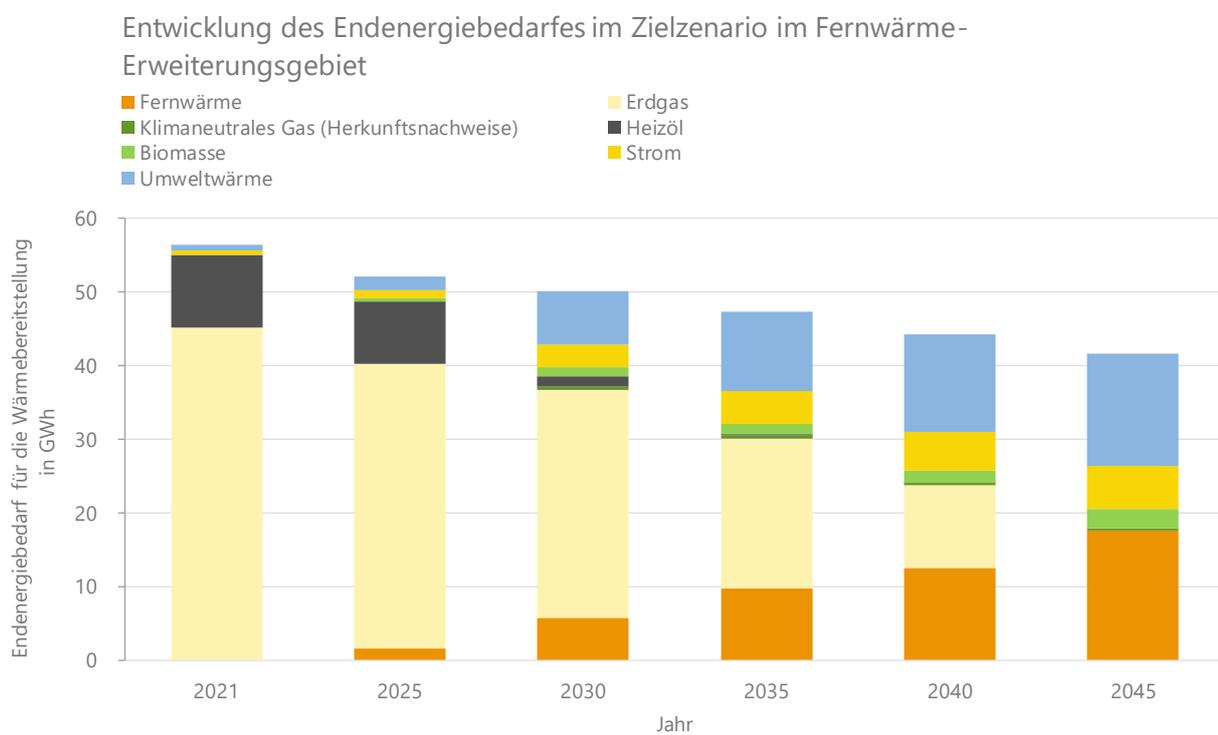


Abbildung 8-7: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Fernwärme-Erweiterungsgebiet

Entwicklung der CO₂-Emissionen im Zielzenario im Fernwärme-Erweiterungsgebiet

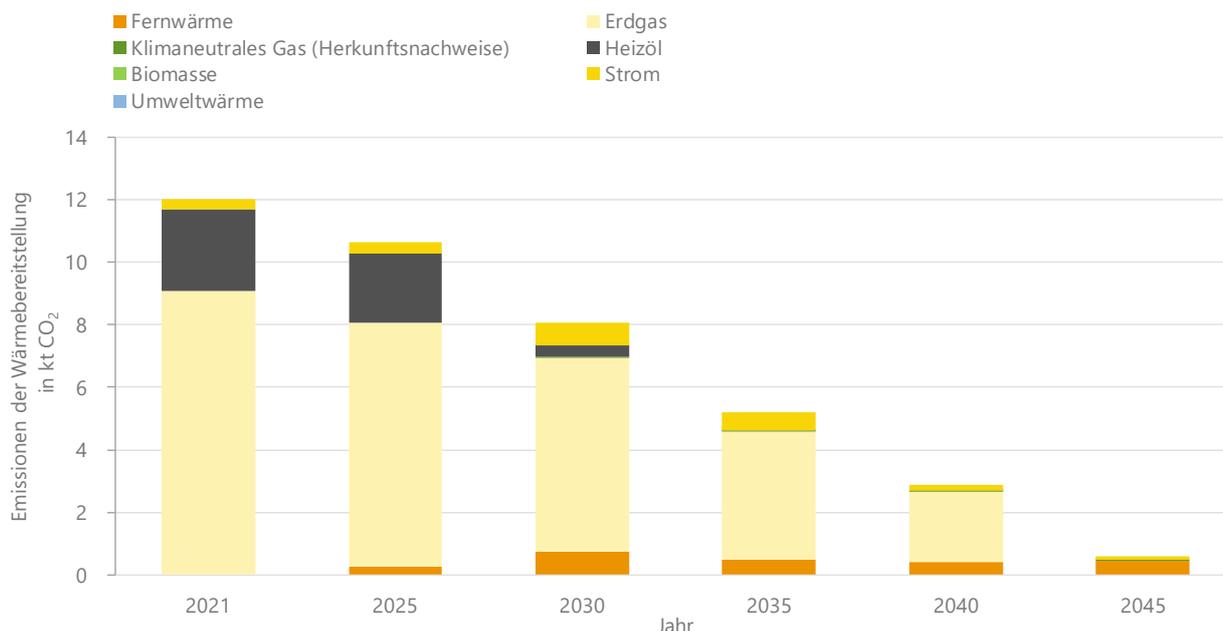


Abbildung 8-8: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im Fernwärme - Erweiterungsgebiet

8.4.3 Wärmenetz-Untersuchungsgebiete

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

Dieses Gebiet umfasst sowohl Gebiete, die als Fernwärme-Erweiterungsgebiet denkbar sind als auch Gebiete, die durch eigenständige Nahwärmenetze versorgt werden. Da diese Unterscheidung noch nicht klar getroffen werden kann, sondern erst im Abgleich zwischen kommunaler Wärmeplanung und Transformationsplan Fernwärme erfolgen kann, sind diese hier zusammengefasst.

Nahwärmenetze werden im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung als Lösung vorgeschlagen, wenn sich nur ein Teil der Einzelgebäude eines Gebietes / Baublocks individuell versorgen könnte, die Potenzialanalysen aber zeigen, dass im gesamten Gebiet ausreichende Potenziale vorhanden sind (siehe Kapitel 8.2). Bei zentral gelagerten Potenzialen wie Abwärmequellen wäre ohnehin eine netzgebundene Anbindung notwendig. Entsprechende Gebiete, die mit Abwärme versorgt werden sollten, wurden jedoch nicht identifiziert. Aufgrund des Verhältnisses des vorhandenen Potenzials zum unsanierten Wärmebedarf wird davon ausgegangen, dass in diesem Gebiet keine breitflächige Sanierung notwendig ist.

Anmerkung: In der Bestimmung lag der Fokus auf den Gebieten, die mit Wärmenetzen erschlossen werden müssen. Zusätzlich gibt es einzelne Gebiete in München, in denen die Eigenversorgung aller Gebäude möglich ist, die Versorgung über ein Wärmenetz jedoch wirtschaftlicher oder von der lokalen Bevölkerung gewollt ist. Hier sollte in Anbetracht begrenzter Kapazitäten (Handwerk, Material etc.) ganzheitlich verglichen werden, ob die netzbasierte oder individuelle Versorgung zu präferieren ist.

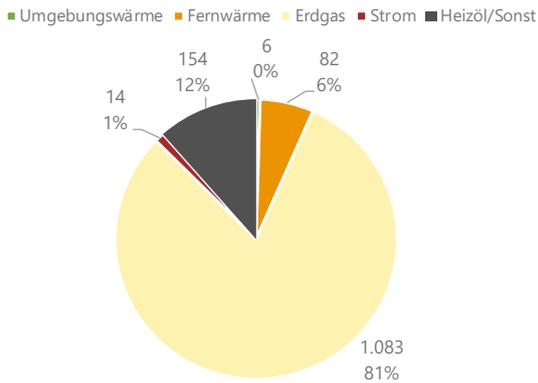
Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

Relevante Kennzahlen zur Charakteristik des Wärmenetz-Untersuchungsgebietes sind in Tabelle 8-4 enthalten. Eine differenziertere Beschreibung des vorhandenen Gebäudebestands findet sich in Abbildung 8-9. Im Abgleich der Kennzahlen mit den anderen Gebieten zeigen sich keine besonders auffälligen Eigenschaften. Dies liegt vor allem daran, dass sowohl Gebiete mit sehr hohen Wärmebedarfsdichten (eher Fernwärme-Erweiterung) als auch Gebiete mit geringen Wärmebedarfsdichten (eher Wärmenetz-Untersuchungsgebiete) enthalten sind.

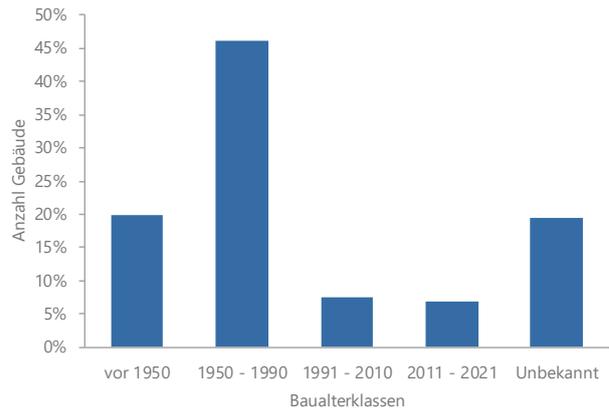
Tabelle 8-4: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	935
	Fläche Baublöcke	18,1 Mio. m ²
	Anzahl Gebäude	20.293
	Summierte Grundfläche der Gebäude	5 Mio. m ²
	Bebauungsdichte	28 %
	Anzahl Wohneinheiten	112 Tsd.
	Bevölkerung	223 Tsd.
	Anteil Denkmalschutz an gesamter beheizter Fläche	6 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	1.340 GWh/a
	Wärmebedarf	1.140 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	11 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	227 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	63 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	284 Tsd t CO ₂
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	11 %

Endenergiebedarf in GWh und %

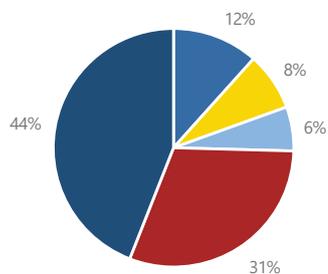


Verteilung des Baualters in %



Anteile der Wohneinheiten in %

- Groß (= > 12 WE)
- Mittelgroß (7 - 12 WE)
- Mittel (3 - 6 WE)
- Klein (1 - 2 WE)
- Keine WE bzw. Anzahl unbekannt



Verteilung der Nutzungsarten in %

- Wohngebäude
- Mischnutzung
- Öffentl. Zwecke
- Wirtschaft
- Parken
- Unbekannt

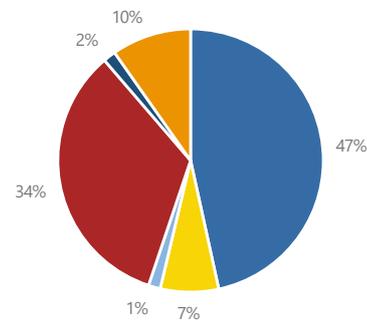


Abbildung 8-9 Status Quo für das Wärmenetz-Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von der Anzahl an Gebäuden.

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

In diesen Gebieten scheint primär die gemeinschaftliche Versorgung über ein Wärmenetz sinnvoll zu sein. Je nach lokalen Anforderungen der Abnehmer und vorhandenen Potenzialen können dies Netze auf verschiedenen Temperaturniveaus sein. Neben höheren Temperaturniveaus zur direkten Versorgung inklusive Einhaltung der Trinkwasserhygiene (mindestens 65 °C bis 75 °C im Wärmenetz) könnten kalte Nahwärmenetze (Temperaturniveaus von 10 – 12 °C) aufgebaut werden. Diese kalten Netze dienen als gemeinsam nutzbare Wärmequelle für die je Gebäude bzw. Gebäudeabschnitt installierten Wärmepumpen. Da die benötigte Vorlauftemperatur je nach Gebäude und verbauter Technik variieren kann, können die Wärmepumpen jeweils optimal ausgelegt und betrieben werden. Dabei eröffnet sich ebenfalls die Möglichkeit der Kühlung durch die gleiche Infrastruktur, wobei hierzu in Bestandsgebäuden entsprechende zusätzliche konstruktive Eingriffe zu tätigen sind.

Studien zeigen, dass bei hohen Wärmebedarfsdichten tendenziell eine direkte Versorgung mit 65 °C bis 75 °C im Wärmenetz wirtschaftlicher ist. In Gebieten ohne Potenziale je Flurstück und mit zu geringem Platz, um zentrale Wärmeerzeuger bzw. Luft-Wärmepumpen aufzustellen, kann kalte Nahwärme sinnvoll sein.

Als Energieträger und -speicher können verschiedene Technologien zum Einsatz kommen. Im Rahmen dieser Studie stehen insbesondere Nahwärmenetze auf Basis von Grundwasser im Fokus der Analysen des Hydrogeologie Lehrstuhls der TUM /TUM-03 22/. Die Potenzialkarten zeigen, in welchen Baublöcken ausreichend lokales Potenzial für die Bereitstellung der Wärme über Nahwärmenetze vorhanden sind.

Bei räumlicher Nähe können industrielle und gewerbliche Abwärme sowie Niedertemperatur-Umweltwärmequellen in die Wärmeversorgung einfließen. Teilweise wird wahrscheinlich eine Unterstützung in der Spitzenlast über Biomasse notwendig sein, eine detaillierte Analyse der Gebiete ist im Rahmen der hier durchgeführten Analysen jedoch nicht möglich. Die Sanierung ist hier zur Reduktion der Bedarfs- und somit Betriebskostenreduktion wünschenswert, jedoch in den individuellen Gebieten ökonomisch sowie ökologisch zu bewerten. Weiterhin ist in die finale Festlegung der erwünschten Entwicklungen im Gebiet einzubeziehen, dass es für die Gesamtstadt begrenzte Kapazitäten im Handwerk gibt.

Die Detailbetrachtung der Potenzialkarten hat gezeigt, dass in diesen Gebieten in einigen Fällen eine räumliche Nähe zu öffentlichen Flächen, wie z. B. Parks, besteht, deren Nutzung den Aufbau eines Nahwärmenetzes ermöglichen könnte. Die Möglichkeit der Flächenbereitstellung an die Betreiber:innen der Nahwärmeversorgung ist hier früh zu bewerten und eine baldige Flächensicherung anzustreben. Darüber hinaus ist es notwendig, potenziellen Wärmenetzbetreiber:innen eine Investitionssicherheit zu geben.

Abbildung im Modell

Im Zielszenario sind die Wärmenetz-Untersuchungsgebiete im Modell regional mit dem jeweils verfügbaren Potenzial verortet. Im Basisszenario stehen lokale Nahwärmenetze nicht zur Verfügung, da in diesem Szenario davon ausgegangen wird, dass organisatorische Probleme und Fragestellungen des richtigen Timings nur in den wenigsten Fällen überwunden werden. Dies ist in Bezug auf das Basisszenario damit verbunden, dass keine kommunale Wärmeplanung vorliegt, welche die entsprechenden Gebiete identifiziert hat und auch sonst keine Maßnahmen ergriffen werden, um den entsprechenden Aufbau der Netze zu ermöglichen.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Die Entwicklung des Endenergiebedarfes im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet im simulierten Zielszenario ist in Abbildung 8-10 enthalten und die hieraus resultierenden Emissionen zeigt Abbildung 8-11. Hier sinkt der Endenergiebedarf um 21 %, bei herausgerechnetem Zubau von 78 GWh um 27 %.

Der Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung liegt in 2045 bei 56 %, gefolgt von Wärmepumpen mit einem Anteil von 28 % und Biomasse mit einem Anteil von 16 %. Dieser recht hohe Anteil an Biomasse könnte im Tool nochmals genauer reflektiert werden, um Maßnahmen für eine Reduktion abzuleiten. Speziell diese Nutzung zusätzlich zu einer möglichen Nutzung von Biomasse in der Spitzenlast der Wärmenetze, ist nicht wünschenswert.

Entwicklung des Endenergiebedarfes im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet

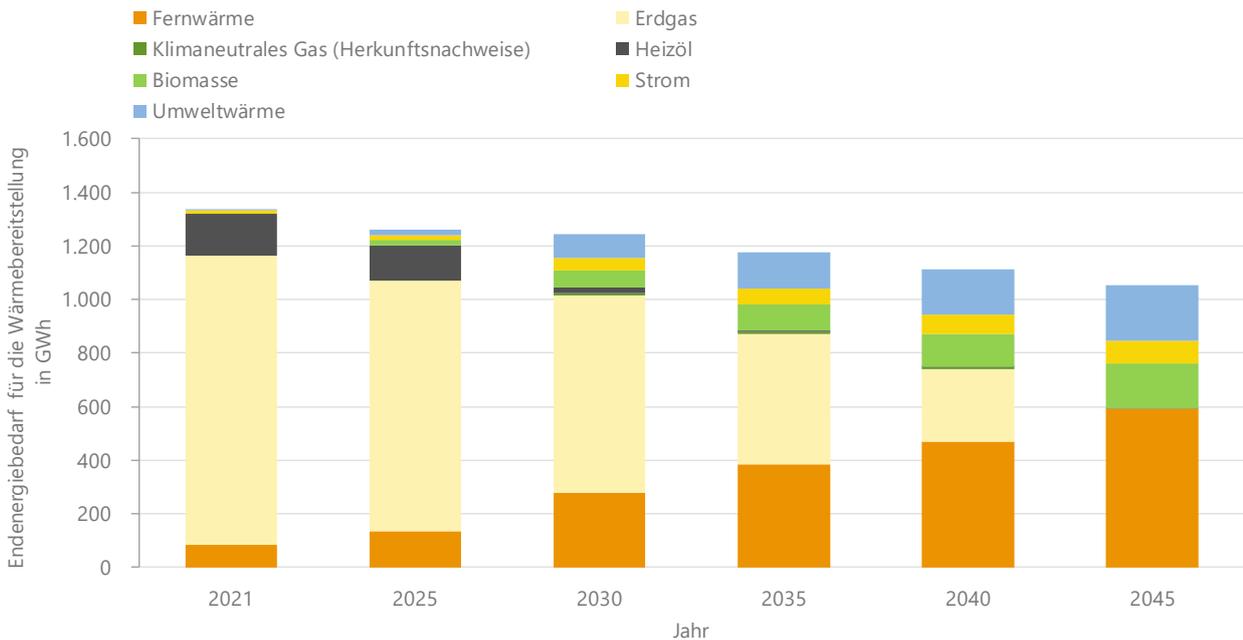


Abbildung 8-10: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet

Entwicklung der CO₂-Emissionen im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet

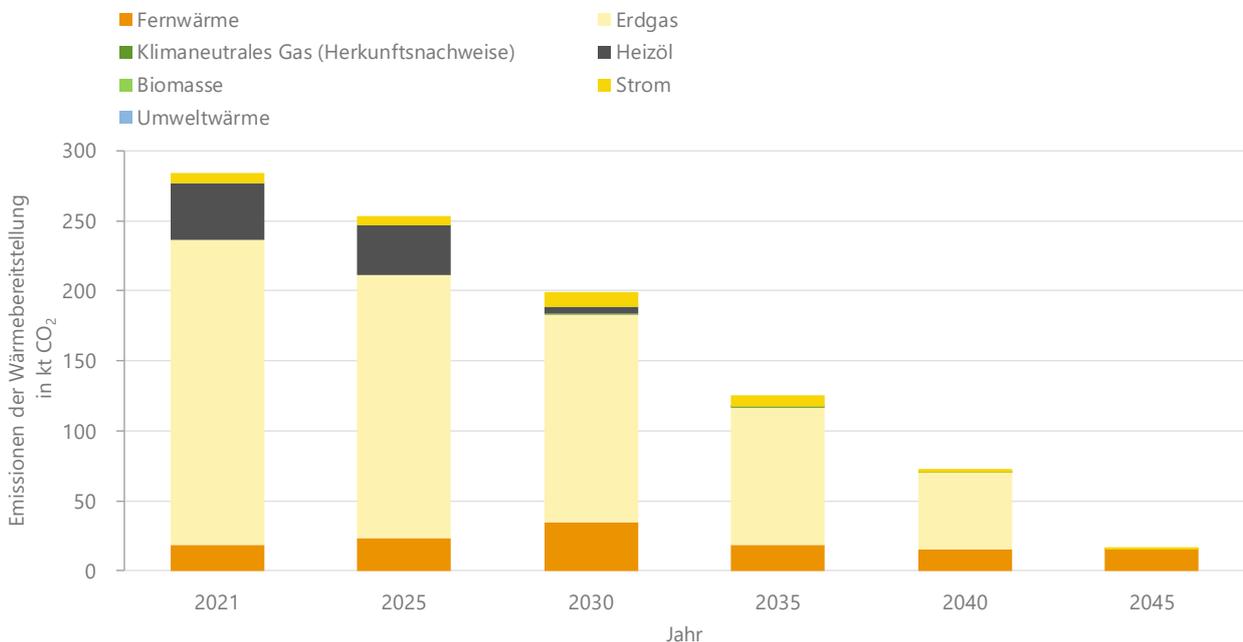


Abbildung 8-11: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

Gegenüber den zuvor beschriebenen Wärmenetz-Untersuchungsgebieten, bei denen eine Versorgung auch ohne Sanierung möglich erscheint, handelt es sich hierbei um Baublöcke / Gebiete, in denen sich ein relevanter Anteil an Gebäuden nicht mit dem Potenzial des eigenen Flurstückes versorgen kann. Abgrenzend zum bereits beschriebenen Wärmenetz-Untersuchungsgebiet (ohne Sanierung), ist in diesen Gebieten wahrscheinlich eine Sanierung erforderlich, um den Bedarf zu reduzieren und diesen mit den verfügbaren Potenzialen über eine gemeinschaftliche netzbasierte Versorgung decken zu können. Hier sind sowohl Gebiete enthalten, die über Verbindungsleitungen mit Fernwärme versorgt werden könnten als auch über separate Wärmenetze.

Zudem liegt in einzelnen Teilgebieten dieses Eignungsgebietes eine sehr ähnliche Gebäudestruktur vor. Dies weist auf eine gemeinsame Bauzeit und -art sowie gemeinsame Eigentümer:innen hin. Hier ist wahrscheinlich die Möglichkeit zur Umsetzung einer serielle Sanierung gegeben.

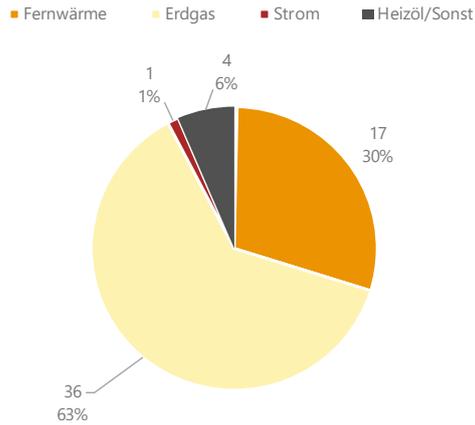
Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

Relevante Kennzahlen zur Charakteristik des Wärmenetz-Untersuchungsgebietes mit Sanierung sind in Tabelle 8-5 enthalten. Eine differenziertere Beschreibung des vorhandenen Gebäudebestands in Abbildung 8-12. Insgesamt weist dieses Gebiet bezogen auf die Gebäudestruktur keine besonderen Eigenschaften auf. Dieses Gebiete weisen bei gleich hohem Wärmebedarf wie das Fernwärme-Erweiterungsgebiet eine höhere Bebauungsdichte sowie einen recht hohen Anteil denkmalgeschützter Gebäude auf (bezogen auf die beheizte Fläche von 18 %), haben jedoch nur halb so viele Wohneinheiten je Gebäude.

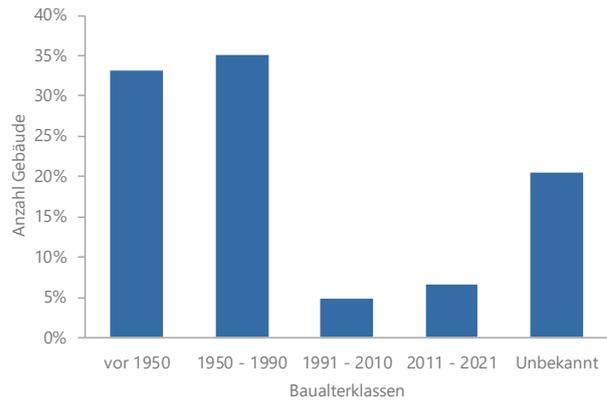
Tabelle 8-5: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung (ggf. seriell)

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	46
	Fläche Baublöcke	667 Tsd. m ²
	Anzahl Gebäude	1.169
	Summierte Grundfläche der Gebäude	206 Tsd. m ²
	Bebauungsdichte	31 %
	Anzahl Wohneinheiten	5 Tsd.
	Bevölkerung	10 Tsd.
	Anteil Denkmalgeschützte an gesamter beheizter Fläche	18 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	57 GWh/a
	Wärmebedarf	50 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	0,49 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	245 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	76 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	12 Tsd. t CO ₂
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	< 1 %

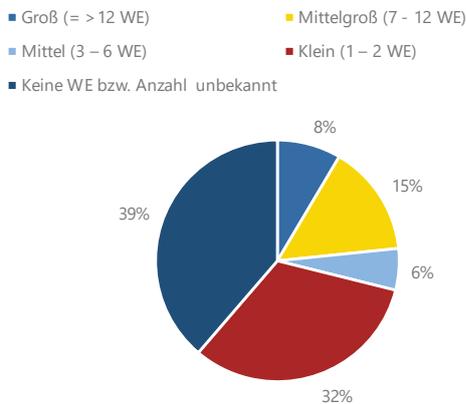
Endenergiebedarf in GWh und %



Verteilung des Baualters in %



Anteile der Wohneinheiten in %



Verteilung der Nutzungsarten in %

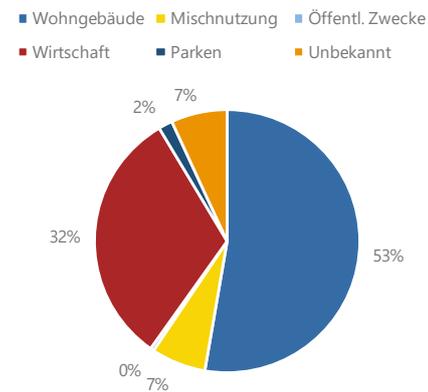


Abbildung 8-12: Aufteilung des Gebäudebestandes im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung (ggf. seriell) im Status Quo

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

Insgesamt ist in diesem Gebiet der Aufbau von Wärmenetzen inklusive einer Sanierung der vorhandenen Gebäude als sinnvoll zu erachten.

Abbildung im Modell

Analog zu Wärmenetz-Untersuchungsgebieten sind auch hier im Modell die regionalen Potenziale verortet. Um das jeweilige Gebiet versorgen zu können, ist jedoch eine Sanierung erforderlich. Unsanieret würden die Potenziale nicht für alle Gebäude ausreichen.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Die Entwicklung des Endenergiebedarfes im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung im simulierten Zielszenario ist in Abbildung 8-13 enthalten und die hieraus resultierenden Emissionen in Abbildung 8-14. Hier sinkt der Endenergiebedarf um 21 %. Ohne den Zubau von ca. 4 GWh läge die Reduktion bei 29 % und somit leicht höher als im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet.

In 2045 wird mit 73 % der Großteil des Endenergiebedarfes für die Wärmebereitstellung über Fernwärme gedeckt, weitere 17 % über die Wärmepumpen und 8 % über die Biomasse. Damit ist der Anteil der Fernwärme höher als im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet. Dies liegt wahrscheinlich an dem recht hohen Anteil an denkmalgeschützten Gebäuden in Kombination mit den vielfach nicht ausreichenden Potenzialen für die eigene Deckung des Bedarfes.

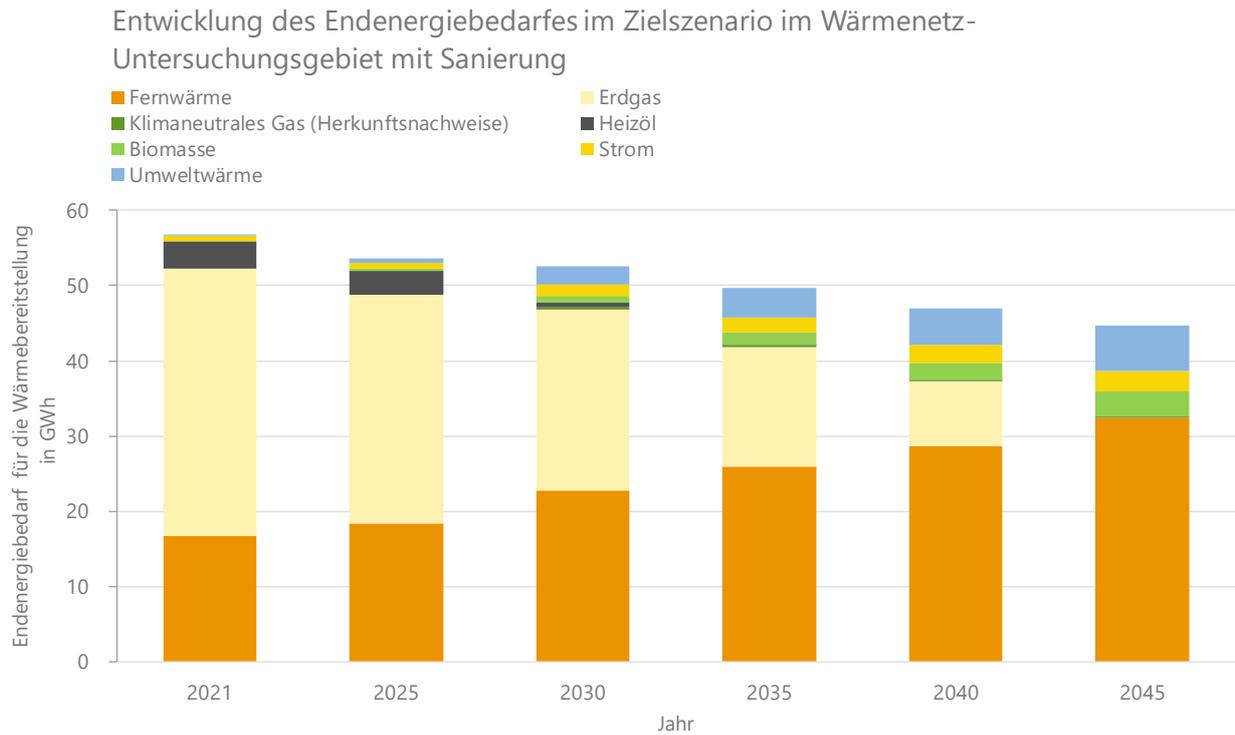


Abbildung 8-13: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung

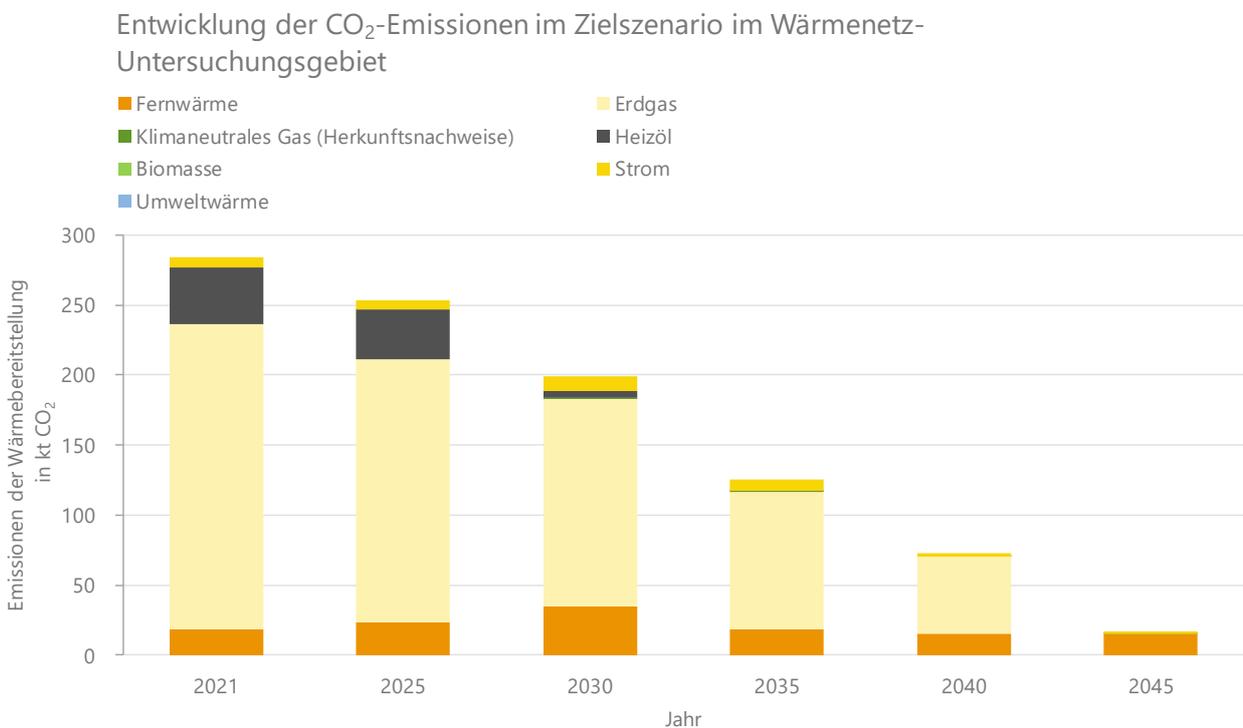


Abbildung 8-14: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet mit Sanierung

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

Gemäß der Definition der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) sind Gebäudenetze definiert als Netze, welche mindestens zwei und maximal 16 Gebäude bzw. bis zu 100 Wohneinheiten gemeinsam mit Wärme versorgen /BAFA-01 23/. Abgrenzend dazu wird hier unter einem Gebäudenetz ein kleinerer Maßstab verstanden, in welchem sich mehrere angrenzende Gebäude über eine Verbindungsleitung zusammenschließen und gemeinsam versorgen, wobei keine Einschränkungen bei der Anzahl an Wohneinheiten bestehen.

Reihenhausreihen mit Gebäudenetzen, welche meist auch so in die Definition gemäß BEG fallen würden, stellen einen Sonderfall der Nahwärme dar. Bei Reihenmittelhäusern besteht teilweise kein Potenzial für eine individuelle Versorgung über Wärmepumpen auf dem eigenen Flurstück, während dies gemäß der vorliegenden Daten bei Reihenendhäusern häufig möglich ist. Besonders die Abstandsregelungen zu Nachbargrundstücken limitieren den Einbau von Luft-Wärmepumpen und sowohl Abstände als auch die Kältefahren der Nachbar:innen den Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen. Da in diesem Gebäudetyp die Bedarfe tendenziell geringer sind, reichen oftmals die insgesamt in der Häuserreihe verfügbaren Potenziale, um die gesamte Häuserreihe zu versorgen.

Im Modell München können Gebiete mit Reihenhäusern nicht automatisiert bestimmt werden, sodass hierfür keine Kenndaten für den Status Quo ermittelt wurden und auch keine dezidierten Simulationsergebnisse vorliegen.

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

Durch ein Gebäudenetz, welches die Häuserreihe gemeinschaftlich versorgen kann, werden die in der Beschreibung des Eignungsgebietes erläuterten Herausforderungen ausgeglichen. Am kostengünstigsten kann die Verbindungsleitung bei aneinander anschließenden Häusern und wahrscheinlich in vielen Fällen durch Kellerverlegung erfolgen /UMSICHT-01 98/. Bei der alternativen Verlegung im öffentlichen Grund oder durch Gartenflächen fallen höhere Wiederherstellungskosten an. Ähnlich verhält es sich bei der Brunnenbohrung. Auch hier gibt es eine Kostensteigerung, wenn die Bohrung außerhalb der Grundstücksfläche erfolgen muss.

Alternativ müssen in diesen Gebieten Sonderregelungen für Abstandsregelungen festgelegt werden oder Sonderlösungen, wie PVT-Anlagen oder Luftwärmepumpen, welche die Außeneinheit auf dem Dach bzw. unter einem PV-Panel aufgebaut haben, genutzt werden. Hier gilt es, je Reihenhäussiedlung ein geeignetes Gesamtkonzept zu erstellen, welches absichert, dass alle Gebäude versorgt werden können.

Es besteht die Herausforderung, dass sich die Eigentümer:innen der Gebäude zu gemeinsamen Investitionen und zum Betrieb entscheiden müssen. Weiterhin muss wahrscheinlich mindestens eine Partei Freifläche im Garten bzw. Kellerfläche für die Aufstellung der Versorgungsanlage zur Verfügung stellen, dies sind beispielsweise die Brunnen und die Wärmepumpen-Technik.

Aufgrund der geringen Abnahmedichte entlang eines Reihenhäuser-Gebäudenetzes kann es sein, dass eine netzbasierte Lösung ggf. für einzelne der anzuschließenden Gebäude nicht wirtschaftlich gegenüber der individuellen Versorgung ist. Im Fall, dass die Gebäude mit lokalen Potenzialen diese alleine nutzen und andere dies nicht nutzen können, müsste hier auf die Notfalllösungen Biomasse oder bei lokal günstigen Gegebenheiten hierfür auf Wasserstoff, z. B. bei einem H₂-Netzstrang in der Nähe, ausgewichen werden. Hier ist zu unterstreichen, dass sowohl für Biomasse als auch für Wasserstoff mit sehr hohen spezifischen Kosten zu rechnen ist, sodass diese Reihenmittelhäuser einen klaren finanziellen Nachteil gegenüber den anderen Gebäuden hätten.

Abbildung im Modell

Dieses Eignungsgebiet ist im Modell nicht gesondert ausgeprägt, da Reihenhäuser nicht völlig fehlerfrei automatisiert anhand der vorliegenden Daten ermittelt werden können. Die konkrete Identifikation von Reihenhäusern, bei denen ein Gebäudenetz in Frage kommt, müsste daher händisch erfolgen. Identifiziert werden konnten jedoch Baublöcke, bei denen ein Wärmenetz eingesetzt werden sollte, weil sich nicht alle Gebäude des

Baublocks selbst versorgen können. Somit ist damit zu rechnen, dass ein relevanter Anteil der Reihenhaussiedlungen im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet enthalten ist. Zudem sind etwaige vorhandene, lokale Potenziale für Wärmepumpen hinterlegt und generell die Möglichkeit, beispielsweise Biomasse zu nutzen.

8.4.6 Vertiefte Untersuchung durch ein Energiekonzept notwendig

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

Gebiete, in denen keine bzw. auch nach Sanierung zu geringe Potenziale klimaneutraler Wärmeerzeuger bestehen und welche auch nicht an die Fernwärme angeschlossen werden können (z. B. zu weit vom Fernwärmenetz entfernt, hydraulische Restriktionen, Gebäude zu weit verstreut etc.), sind in diesem Eignungsgebiet enthalten. Um auch hier die Erreichung einer klimaneutralen Wärmeversorgung und einen möglichst geringen Einsatz von Biomasse zu ermöglichen, sollte hier baldmöglichst eine ausführlichere Analyse der bestehenden Bedarfsstruktur und künftig möglichen Wärmeversorgung erfolgen. Idealerweise sollte dies direkt im Rahmen der Erstellung eines Quartiers- bzw. Energiekonzeptes erfolgen.

Da voraussichtlich überwiegend netzgebundene Lösungen bei diesem Eignungsgebiet in Frage kommen, wurden nur Gebiete mit fünf oder mehr Gebäuden pro Baublock berücksichtigt. Baublöcke mit weniger Gebäuden werden dem in Kapitel 8.4.9 erläuterten Eignungsgebiet "wenige Gebäude ohne lokales EE-Potenzial" zugeordnet.

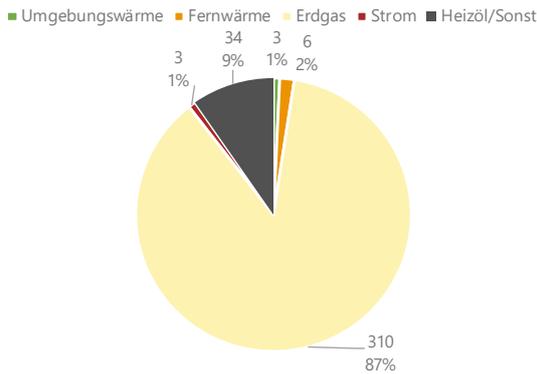
Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

Relevante Kennzahlen zur Charakteristik des Gebietes sind in Tabelle 8-6 enthalten und eine differenziertere Beschreibung des vorhandenen Gebäudebestands findet sich in Abbildung 8-15. Im Vergleich zu den anderen Gebieten fallen keine besonderen Eigenschaften in der Gebäudestruktur auf, außer dass hier mit 19 % der beheizten Fläche der höchste Anteil denkmalgeschützter Gebäude vorliegt.

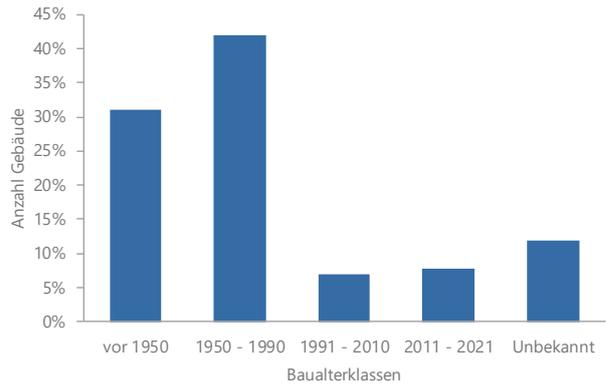
Tabelle 8-6: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand, für den eine vertiefte Untersuchung des Energiekonzeptes notwendig ist

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	266
	Fläche Baublöcke	4,1 Mio. m ²
	Anzahl Gebäude	7.927
	Summierte Grundfläche der Gebäude	1,3 Mio. m ²
	Bebauungsdichte	30 %
	Anzahl Wohneinheiten	30 Tsd.
	Bevölkerung	57 Tsd.
	Anteil Denkmalgeschützte an gesamter beheizter Fläche	19 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	356 GWh/a
	Wärmebedarf	301 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	2,92 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	239 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	73 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	74 Tsd. t CO ₂
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	3 %

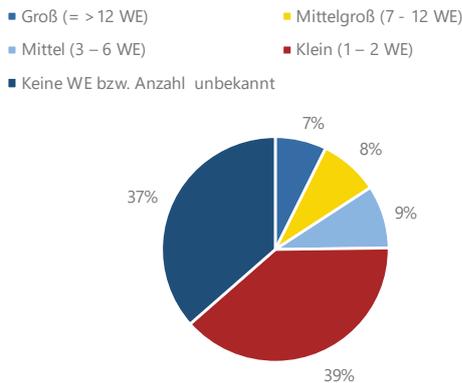
Endenergiebedarf in GWh und %



Verteilung des Baualters in %



Anteile der Wohneinheiten in %



Verteilung der Nutzungsarten in %

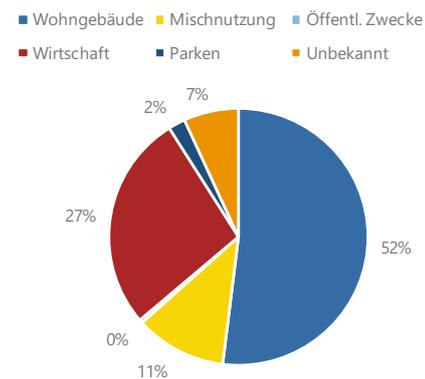


Abbildung 8-15: Aufteilung des Gebäudebestandes mit benötigter vertiefter Untersuchung des Energiekonzepts im Status Quo

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

Da es sich um Gebiete handelt, in welchen eine ortsspezifische Analyse benötigt wird, kann in diesem Betrachtungsniveau keine Priorisierung der Versorgungslösungen erfolgen. Wahrscheinlich muss hier über eine Kombination verschiedener Erzeugungstechnologien nachgedacht werden. In solchen Fällen bietet sich zudem generell eine netzbasierte Wärmeversorgung an. Wenn diese Gebäude in räumlicher Nähe zur langfristig betriebenen Gasinfrastruktur mit grünen Gasen wie Wasserstoff oder Biomethan und weiterbetriebenen Reduzierstationen liegen, ist dies eine denkbare Option. Dies sollte jedoch die letzte mögliche Option sein, da diese Lösungen wahrscheinlich mit spezifisch sehr hohen Kosten einhergehen werden.

Diese Gebiete werden in der kommunalen Wärmeplanung als kritisch eingeschätzt, da aus der angewendeten hohen Flugebene keine Versorgungslösung gefunden wird. Daher ist es für die Planungssicherheit der Anwohner:innen sinnvoll, zeitnah mit der Umsetzung der detaillierten Analyse zu starten.

Abbildung im Modell

Da eine umfassende Analyse der Versorgungsmöglichkeiten in diesen Gebieten erst noch erfolgen muss, wurde das Wärmenetz mit Grundwasser-Wärmepumpen behelfsmäßig als klimaneutrale Versorgungslösung im Modell ermöglicht - wohl wissend, dass in einigen Gebieten ggf. Biomasse oder andere Optionen gewählt werden müssen. Schlussendlich ist diese Unschärfe zu verschmerzen, da die Anzahl dieser Gebiete und ihr benötigter Wärmebedarf gegenüber der Gesamtstadt verhältnismäßig klein sind.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Da in diesem Gebiet noch keine finale Festlegung bezogen auf die Versorgungslösung getroffen werden kann, werden hier keine Ergebnisse der Simulation gezeigt.

8.4.7 Individuell zu versorgendes Gebiet

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

In diesem Gebiet sind laut Abgleich der Potenzialanalyse mit den Wärmebedarfen im Ist-Stand ausreichend Potenziale klimaneutraler Wärmequellen verfügbar, um je Flurstück den Wärmebedarf eigenständig zu decken.

Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

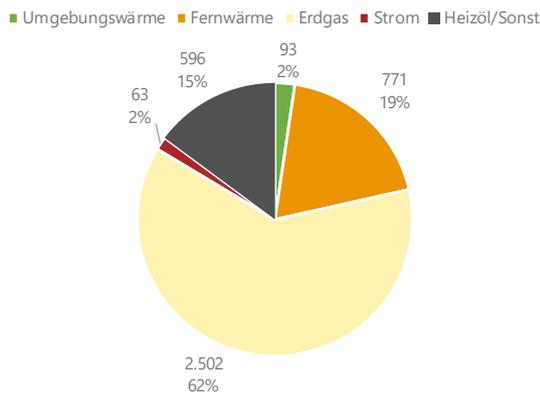
Relevante Kennzahlen zur Charakteristik des Gebietes sind in Tabelle 8-7 enthalten und eine differenziertere Beschreibung des vorhandenen Gebäudebestands zeigt Abbildung 8-16. Dieses zweitgrößte Versorgungsgebiet weist, abgesehen von den reinen Industrie- und Gewerbegebieten, die geringsten Bedarfsdichten bezogen auf Baublockfläche und Gebäudegrundfläche auf.

Bezogen auf den Anteil der Energieträger an der Wärmebereitstellung im Status Quo scheint der Anteil an Fernwärme auffällig hoch. Der Grund hierfür ist, dass sich dieses Gebiet räumlich teilweise mit dem Fernwärme-Verdichtungsgebiet überschneidet. Dies liegt zum einen daran, dass sich im Fernwärme-Verdichtungsgebiet Gebäude befinden, die sich selbst versorgen könnten, aber bereits heute die Fernwärme nutzen bzw. dies perspektivisch tun werden. Zum anderen sind die nachfolgenden Daten auf der Ebene ganzer Baublöcke ausgegeben, wobei nicht immer alle Gebäude die Fernwärme nutzen oder sich individuell versorgen.

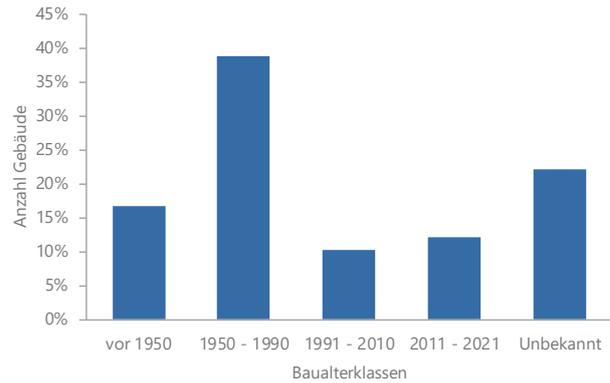
Tabelle 8-7: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im individuell zu versorgenden Gebiet

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	4.963
	Fläche Baublöcke	94 Mio. m ²
	Anzahl Gebäude	146.727
	Grundfläche der Gebäude	18,7 Mio. m ²
	Bebauungsdichte	20 %
	Anzahl Wohneinheiten	278 Tsd.
	Bevölkerung	623 Tsd.
	Anteil Denkmalsgeschützte an gesamter beheizter Fläche	4 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	4.025 GWh/a
	Wärmebedarf	3.523 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	34,2 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	189 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	38 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	866 Tsd. t CO ₂
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	35 %

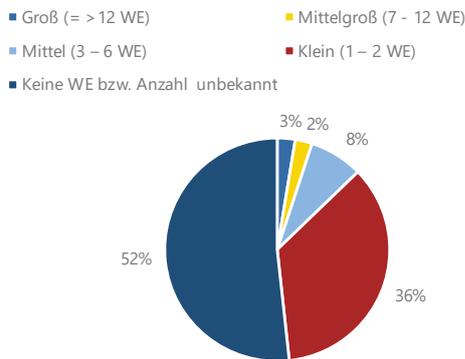
Endenergiebedarf in GWh und %



Verteilung des Baualters in %



Anteile der Wohneinheiten in %



Verteilung der Nutzungsarten in %

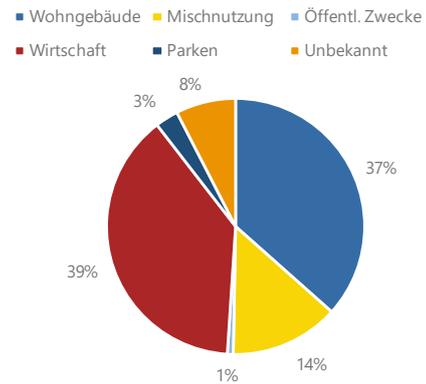


Abbildung 8-16: Aufteilung des Gebäudebestandes im individuell zu versorgenden Gebiet im Status Quo

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

In diesem Gebiet wird bei einem Wechsel des Heizungssystems die klimaneutrale Einzelobjektlösung über Wärmepumpen vorgeschlagen. Hierbei ist keine Priorisierung der verschiedenen Wärmepumpen-Arten vorgegeben. Prinzipiell könnte man basierend auf Effizienz und Kosten der Anlagen priorisieren in der Reihenfolge Grundwasser-Wärmepumpen gefolgt von Wärmepumpen mit Erdwärmeerschließung über Grabenkollektoren und zuletzt Luft-Wärmepumpen. Allerdings ist diese Priorisierung nicht bei allen Gebäuden gleich, da bei kleineren Gebäuden oder Gebäuden mit geringen Systemtemperaturen die Luft-Wärmepumpe durchaus kosteneffizienter sein kann als eine Grundwasser-Wärmepumpe. Weiterhin kann es in einzelnen Regionen sinnvoll sein, keine Grundwasser-Wärmepumpen einzusetzen, damit die sonst hierdurch entstehenden Kältefahnen und eingeschränkte Nutzbarkeit von Grundwasser-Wärmepumpen in diesen Kältefahnen umgangen werden können. Um diese detaillierten Entscheidungen zu treffen, braucht es weitere gesamtheitliche Simulationen und deren Analyse.

In dem Gebiet erscheint prinzipiell keine Sanierung der Gebäude notwendig, damit diese versorgt werden können und auch ein Zusammenschluss mit anderen Gebäuden ist nicht notwendig. Würden tatsächlich in einem Großteil des Gebietes Wärmepumpen genutzt, ohne dass Sanierungen unternommen werden, hätte dies einen relevanten Effekt auf den Strombedarf im Eignungsgebiet und besonders auf die Entwicklung des Spitzenlast-Strombezugs im Winter sowie auf die resultierenden Kältefahnen im Grundwasser. Somit sollte auch in diesem Gebiet zumindest teilweise eine Sanierung durchgeführt werden.

Abbildung im Modell

Individuell zu versorgende Gebiete können verschiedene Heizungssysteme nutzen. Hierzu sind im Modell die regionalen Potenziale für Grundwasser-Wärmepumpen, Wärmepumpen mit Grabenkollektoren sowie Luft-Wärmepumpen hinterlegt. Da diese Potenziale regional unterschiedlich stark ausgeprägt sein können, gibt es bei diesem Eignungsgebiet Regionen, in denen nur eine der drei genannten Wärmequellen vorhanden ist.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Die Entwicklung des Endenergiebedarfes im individuell zu versorgenden Gebiet im simulierten Zielszenario ist in Abbildung 8-17 enthalten und die hieraus resultierenden Emissionen in Abbildung 8-18. Es ist erkenntlich, dass der aufgrund der Überlappung der Eignungsgebiete bereits in 2021 vorhandene Anteil an Fernwärme nur leicht weiter steigt. Der gesamte Endenergiebedarf im Gebiet sinkt von 2021 bis 2045 um fast 26 % bzw. nach Abzug des erwarteten Zubaus von 414 GWh um ca. 36 %. Ca. 70 % des Endenergiebedarfes für die Wärmebereitstellung wird über Wärmepumpen gedeckt und die restlichen 10 % über die Fernwärme. Andere Lösungen spielen in diesem Gebiet keine relevante Rolle.

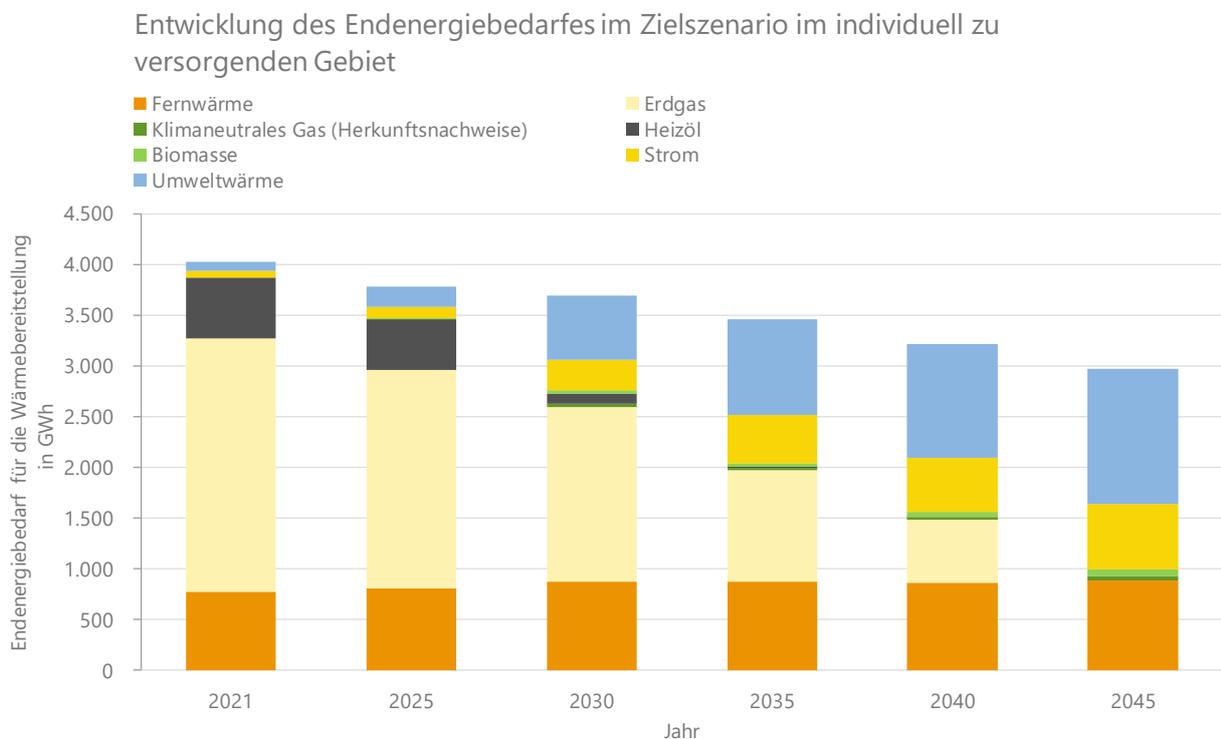


Abbildung 8-17: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet

Entwicklung der CO₂-Emissionen im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet

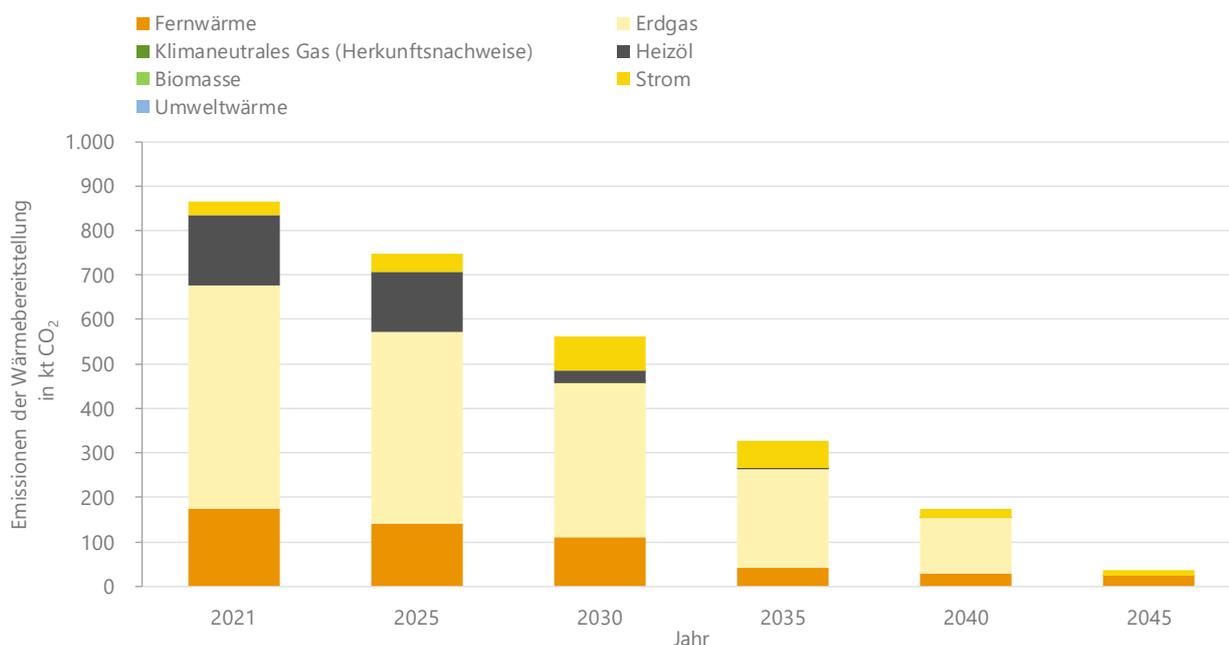


Abbildung 8-18: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet

8.4.8 Individuell zu versorgendes Gebiet mit Sanierung (ggf. seriell)

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

Wenn im Abgleich des Wärmebedarfes auf einem Flurstück im energetischen Status Quo mit dem vorhandenen Potenzialen keine Versorgungslösung gefunden wird, ist zu untersuchen, ob durch eine Sanierung erreicht werden kann, dass diese Eigenversorgung doch möglich ist. Entsprechend wurde dieses Eignungsgebiet im Modell München dadurch identifiziert, dass geprüft wurde, in welchen Gebieten die Sanierung dazu führt, dass die Potenziale auf dem Grundstück ausreichen, um den Wärmebedarf zu decken.

Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

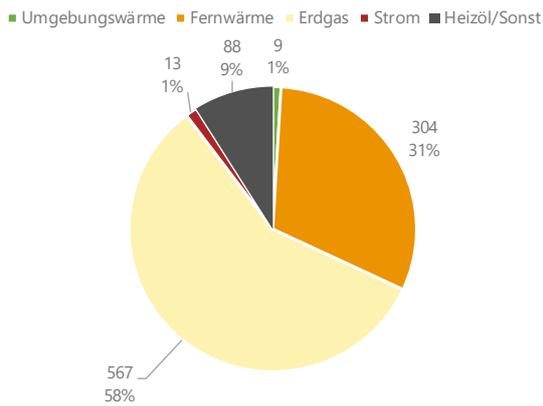
Relevante Kennzahlen zur Charakteristik des Gebietes sind in Tabelle 8-8 enthalten und eine differenziertere Beschreibung des vorhandenen Gebäudebestands zeigt Abbildung 8-19. Insgesamt fallen auch hier keine Kennwerte besonders auf. Im Gegensatz zum individuell zu versorgenden Gebiet (ohne Sanierungspriorität) sind die Wärmebedarfsdichten deutlich höher, was dazu führen könnte, dass hier eine Sanierung notwendig ist, damit die Potenziale reichen. Auch der Faktor, dass hier durchschnittlich 5 Wohneinheiten je Gebäude vorliegen, statt 2 Wohneinheiten wie im individuell zu versorgenden Gebiet, unterstreichen diesen Unterschied.

Auch in diesem Gebiet wird bereits ein großer Teil der Gebäude über Fernwärme versorgt, was mit den Überschneidungen der Eignungsgebiete zu begründen ist.

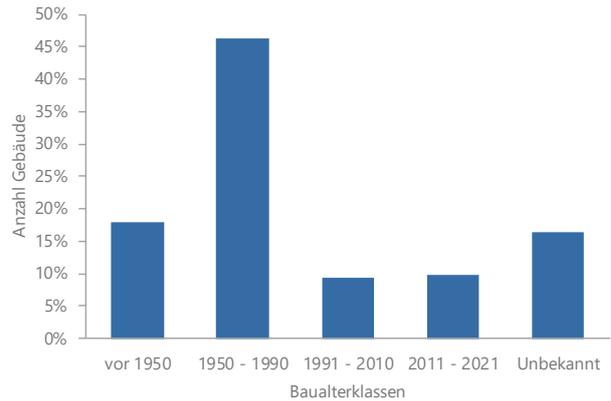
Tabelle 8-8: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand im individuell zu versorgenden Gebiet mit Sanierung (ggf. seriell)

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	671
	Fläche Baublöcke	13,2 Mio. m ²
	Anzahl Gebäude	16.757
	Summierte Grundfläche der Gebäude	3,5 Mio. m ²
	Bebauungsdichte	26 %
	Anzahl Wohneinheiten	83 Tsd.
	Bevölkerung	174 Tsd.
	Anteil Denkmalschutz an gesamter beheizter Fläche	4 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	981 GWh/a
	Wärmebedarf	875 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	8,5 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	254 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	66 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	212 Tsd. t CO ₂
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	9 %

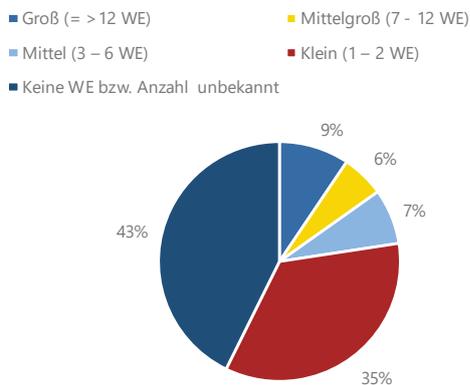
Endenergiebedarf in GWh und %



Verteilung des Baualters in %



Anteile der Wohneinheiten in %



Verteilung der Nutzungsarten in %

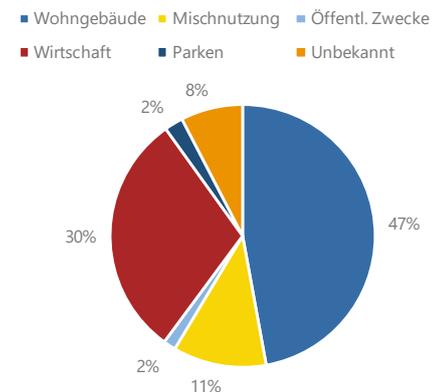


Abbildung 8-19: Aufteilung des Gebäudebestandes im individuell zu versorgenden Gebiet mit Sanierung (ggf. seriell) im Status Quo

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

Die möglichen individuellen Versorgungslösungen unterscheiden sich nicht von dem Eignungsgebiet mit individuell zu versorgenden Gebäuden, abgesehen davon, dass die Sanierung zur Nutzung von Wärmepumpen als notwendig erscheint. Bis zum Zeitpunkt der Sanierung können Hybridsysteme, bestehend aus Wärmepumpen und Erdgaskesseln (minimal 65 % Wärmepumpe und 35 % Erdgaskessel) eine Übergangslösung für Mehrfamilienhäuser darstellen. Dabei wird die Wärmepumpe für den sanierten Zustand dimensioniert und der erneuerte oder vorhandene fossil befeuerte Kessel mit geringerer Nutzungsdauer zur Spitzenlastdeckung weiterbetrieben. Für allein stehende Ein- und Zweifamilienhäuser stellt dies zur Not ebenfalls eine Alternative dar, hier sollte jedoch meist bereits jetzt eine Wärmepumpe ohne Gaskessel reichen (genauere Ausführungen hierzu siehe Kapitel 6.7).

In diesem Gebiet ist gemäß der Analyse eine Sanierung der Gebäude notwendig, damit sich diese über die Potenziale auf dem eigenen Flurstück in Kombination mit einer Wärmepumpe versorgen können. Gemäß der Betrachtung der Gebiete scheint hier teilweise eine serielle Sanierung möglich zu sein, welche rechtzeitig vor dem notwendigen Austausch des Wärmeerzeugers umgesetzt werden sollte. Speziell in Siedlungen mit Mehrfamilienhäusern besteht sonst die Herausforderung, dass sich hier Hybrid-Wärmepumpen etablieren und der Wechsel zu einer Wärmepumpe dadurch „auf die lange Bank geschoben wird“.

Abbildung im Modell

Im Modell sind auch hier die regionalen Potenziale für Grundwasser-Wärmepumpen, Wärmepumpen mit Grabenkollektoren sowie Luft-Wärmepumpen hinterlegt. Dabei ist zu beachten, dass diese Potenziale nur dann für die jeweiligen Gebäude ausreichen, wenn diese saniert werden.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Die Entwicklung des Endenergiebedarfes im individuell zu versorgenden Gebiet im simulierten Zielszenario ist in Abbildung 8-20 enthalten und die hieraus resultierenden Emissionen in Abbildung 8-21. Der Endenergiebedarf sinkt lediglich um 20 % und somit um 6 % weniger als im individuell zu versorgenden Gebiet ohne Sanierung. Auch nach Abzug des Zubaus von ca. 94 GWh verbleibt mit 30 % eine um 6 % geringere Reduktion des Endenergiebedarfes als im individuell zu versorgenden Gebiet ohne Sanierung. Auch hier liegt aufgrund der Überlagerung der Eignungsgebiete in 2021 mit 31 % bereits ein relevanter Anteil an Fernwärme vor. In dem Gebiet steigt der Fernwärmeabsatz auf einen Anteil von ca. 56 % des Endenergiebedarfes für die Wärmeversorgung in 2045. Wärmepumpen stellen lediglich 29 % des Endenergiebedarfes für die Wärmebereitstellung und Biomasse ca. 14 %.

Die geringere Sanierung und der hohe Anteil der Biomasse sowie die Zunahmen der Fernwärme lassen sich wahrscheinlich in Teilen über folgenden Zusammenhang erklären: Im Modell wird die zeitliche Reihenfolge der Maßnahmenumsetzung von thermischer Sanierung und Heizungstausch nicht gekoppelt berücksichtigt. Ist in einem Gebäude, für welches z. B. eine Wärmepumpe und Biomasse verfügbar sind, ein Kesseltausch notwendig, bevor das Gebäude thermisch saniert ist, so ist die Nutzung der Biomasse gegenüber einer Wärmepumpe eventuell aus ökonomischer Sicht von Vorteil, obwohl die Nutzung der Wärmepumpe in dem Gebäude nach einer Sanierung vorteilhaft wäre.

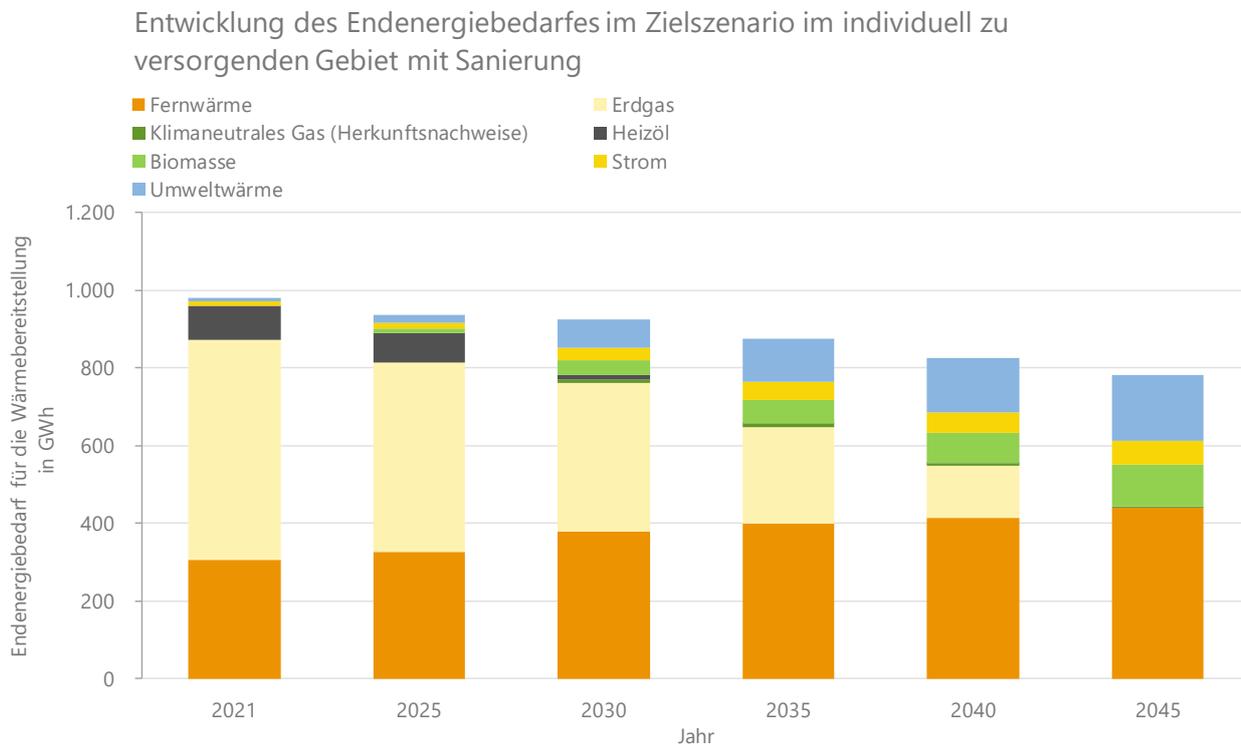


Abbildung 8-20: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet mit Sanierung

Ein weiterer Grund für die geringere Reduktion des Endenergiebedarfes (um 24 %) besteht darin, dass hier in 2021 ein geringerer Anteil fossiler Heizungen besteht als im Eignungsgebiet „individuell zu versorgendes Gebiet“. Fossile Heizungen weisen höhere Verluste auf als Wärmepumpen und die Fernwärme.

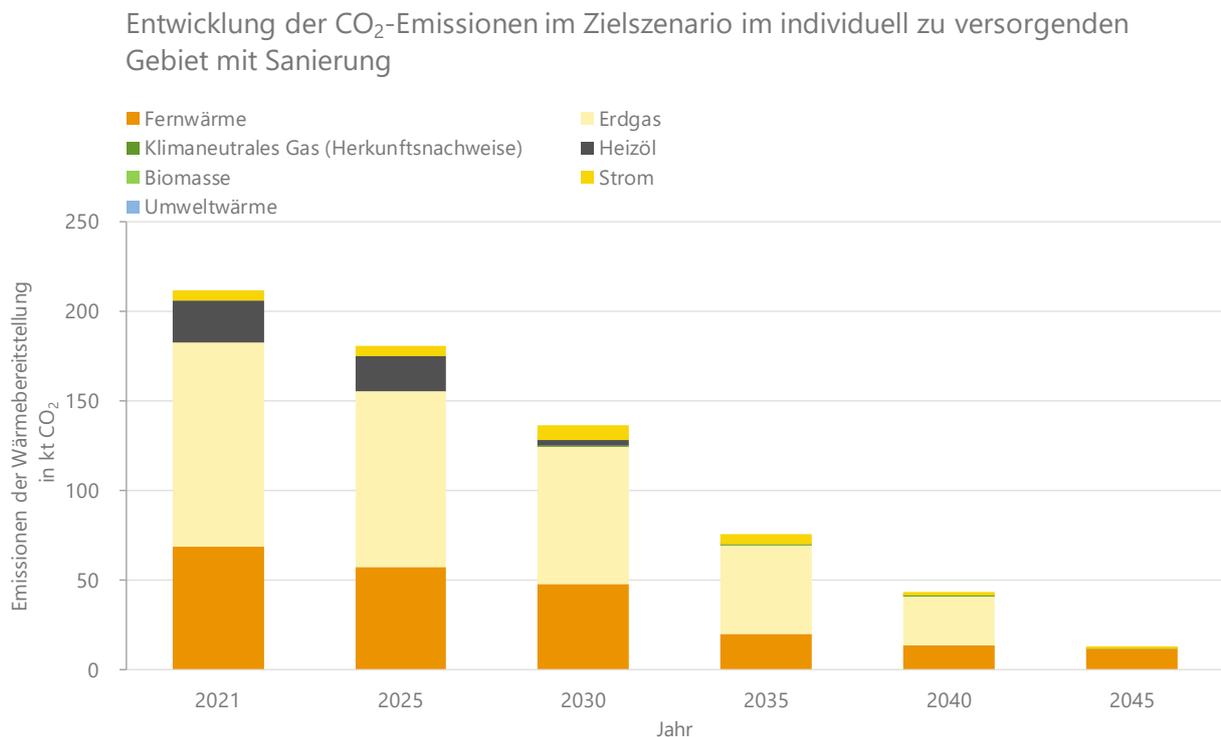


Abbildung 8-21: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im individuell zu versorgenden Gebiet mit Sanierung

8.4.9 Wenige Gebäude ohne lokales EE-Potenzial

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

Im Ausschlussprinzip der bereits beschriebenen Gebiete verbleiben wenige Gebäude, für welche keine lokale Versorgungslösung gefunden werden kann. Die auszugsweise Betrachtung der Gebäude in Google Maps hat gezeigt, dass es sich vielfach um Großverbraucher wie Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen handelt.

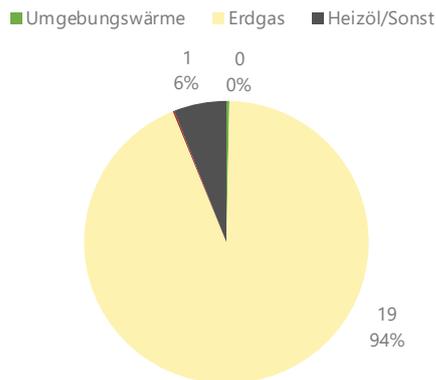
Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

Relevante Kennzahlen zur Charakteristik des Gebietes sind in Tabelle 8-9 enthalten und eine differenziertere Beschreibung des vorhandenen Gebäudebestands in Abbildung 8-22. Dieses kleinste Eignungsgebiet weist diverse Spitzenwerte aus, dies sind die Anzahl an Wohneinheiten je Gebäude (Durchschnittlich ca. 10) sowie die spezifischen Bedarfe sowohl bezogen auf die Gebäudegrundfläche als auch auf die Baublockfläche. Keines der Gebäude fällt unter Denkmalschutz, sodass eine tiefgreifende Optimierung möglich sein sollte.

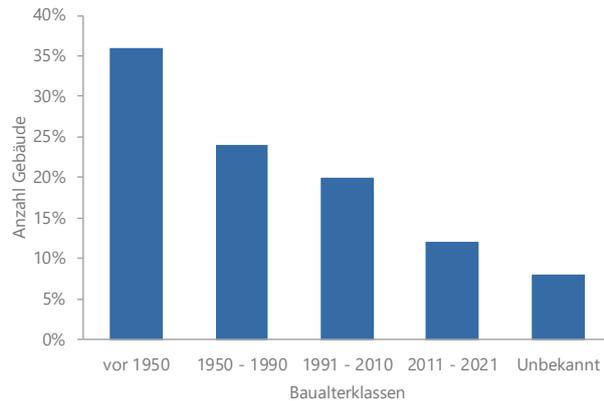
Tabelle 8-9: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand für Gebäude ohne lokales EE-Potenzial

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	13
	Fläche Baublöcke	143 Tsd. m ²
	Anzahl Gebäude	25
	Summierte Grundfläche der Gebäude	30 Tsd. m ²
	Bebauungsdichte	21 %
	Anzahl Wohneinheiten	248 Tsd.
	Bevölkerung	613 Tsd.
	Anteil Denkmalschutz an gesamter beheizter Fläche	2 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	20 GWh/a
	Wärmebedarf	17 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	< 1 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	581 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	120 kWh/m ³ *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	4 Tsd. t CO ₂
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	< 1 %

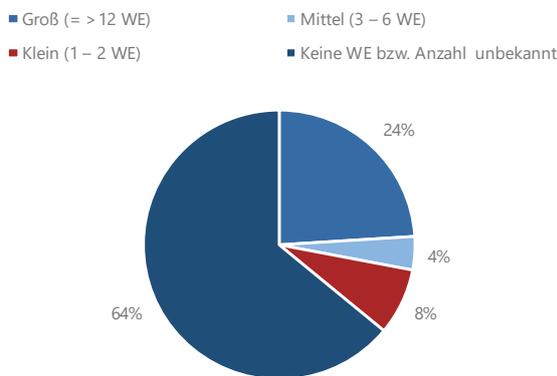
Endenergiebedarf in GWh und %



Verteilung des Baualters in %



Anteile der Wohneinheiten in %



Verteilung der Nutzungsarten in %

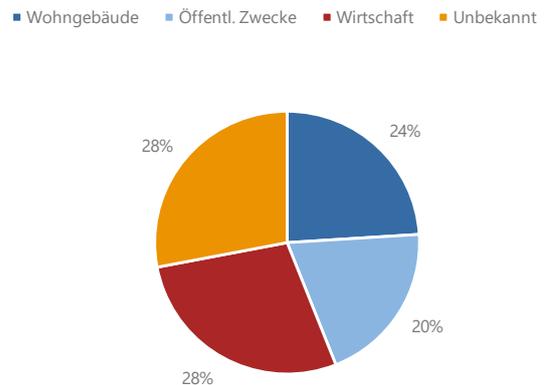


Abbildung 8-22: Aufteilung des Gebäudebestandes für Gebäude ohne lokales EE-Potenzial im Status Quo

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

Wie in den Gebieten „vertiefte Untersuchung des Energiekonzeptes notwendig“ sollte auch hier zunächst eine tiefgreifende, detaillierte und sektorübergreifende Analyse der Wärmebedarfe umgesetzt werden. Erst basierend darauf kann eine fundierte Analyse zur Festlegung der geeigneten Energieversorgung abgeleitet werden. Hierbei sollten insbesondere Einsparoptionen beleuchtet werden. Da es sich bei den Gebäuden vielfach um Krankenhäuser handelt, scheint die Erstellung eines Energiekonzeptes unter Einbezug von zumindest zwei unterschiedlichen Technologien als sinnvoll, um immer eine Redundanz vorliegen zu haben. So könnte beispielsweise eine kombinierte Versorgung über eine Grundwasser-Wärmepumpe mit einem Biomasse-Heizkraftwerk sinnvoll sein, oder die Versorgung über grüne Gase in einem BHKW, welches über ein Netz bzw. in einem Tank angeliefert wird.

Neben dem besonders hohen Bedarf auf kleinem Raum bestehen in Krankenhäusern besonders hohe Anforderungen an Ausfallsicherheit, Versorgungssicherheit und auch teilweise Bedarfe auf höheren Temperaturniveaus als nur zur Raumwärmebereitstellung, z. B. Dampf für die Desinfektion. Weiterhin sollte der Betrieb der Gebäude nicht langfristig durch umfassende Bauarbeiten blockiert werden. Somit müssen frühzeitig Konzepte erstellt werden, um die Gebäude nach und nach umrüsten zu können oder es sollten besonders gute und schnell umsetzbare Konzepte entwickelt werden.

Abbildung im Modell

Im Modell unterscheiden sich diese Gebiete von der Eignungsart „vertiefte Untersuchung des Energiekonzeptes notwendig“ dadurch, dass hier weniger als fünf Gebäude pro Baublock vorhanden sind.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Die Entwicklung des Endenergiebedarfes im individuell zu versorgenden Gebiet im simulierten Zielszenario ist in Abbildung 8-23 enthalten und die hieraus resultierenden Emissionen in Abbildung 8-24. In 2045 werden in diesem Gebiet ca. 57 % des Wärmebedarfes über Wärmepumpen bereitgestellt, 32 % über Biomasse und 10 % über Fernwärme. Der recht hohe Anteil war aufgrund der Gebäudebeschaffenheit zu erwarten und scheint in diesem Eignungsgebiet auch insgesamt sinnvoll genutzt zu sein.

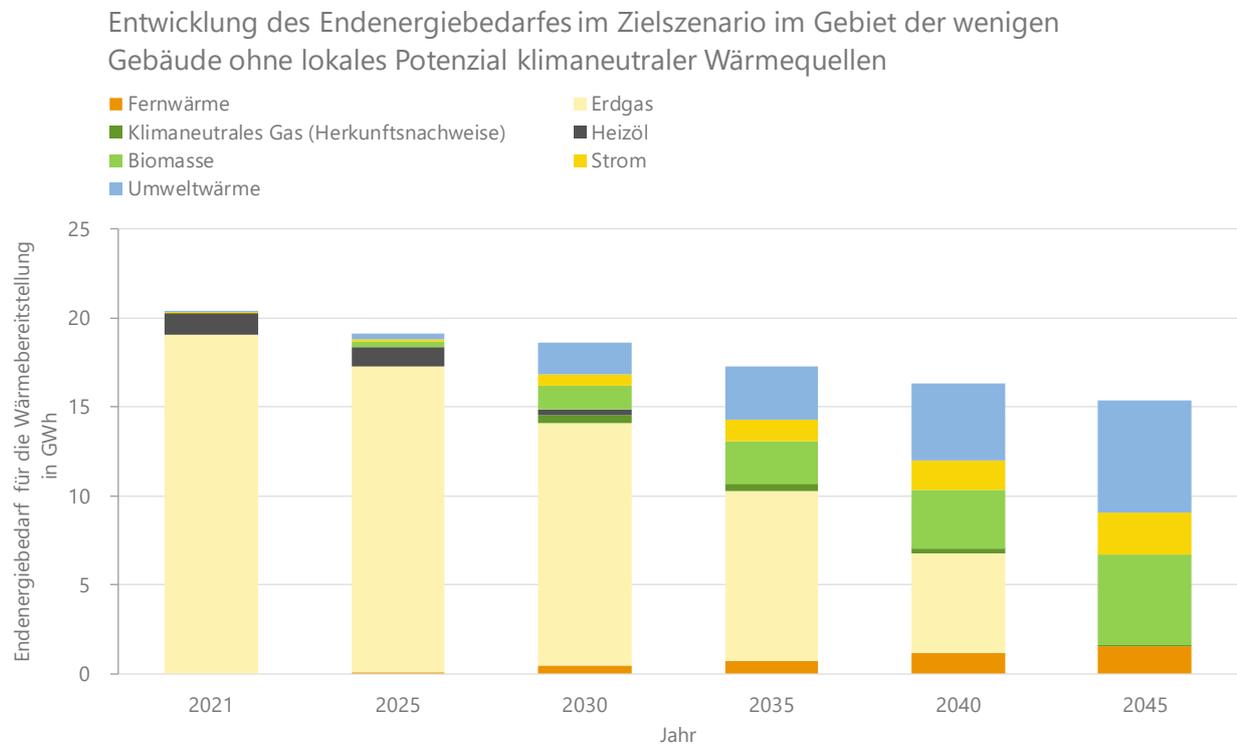


Abbildung 8-23: Entwicklung der Endenergie im Zielszenario im Gebiet der wenigen Gebäude ohne lokales Potenzial klimaneutraler Wärmequellen

Entwicklung der CO₂-Emissionen im Zielszenario im Gebiet der wenigen Gebäude ohne lokales Potenzial klimaneutraler Wärmequellen

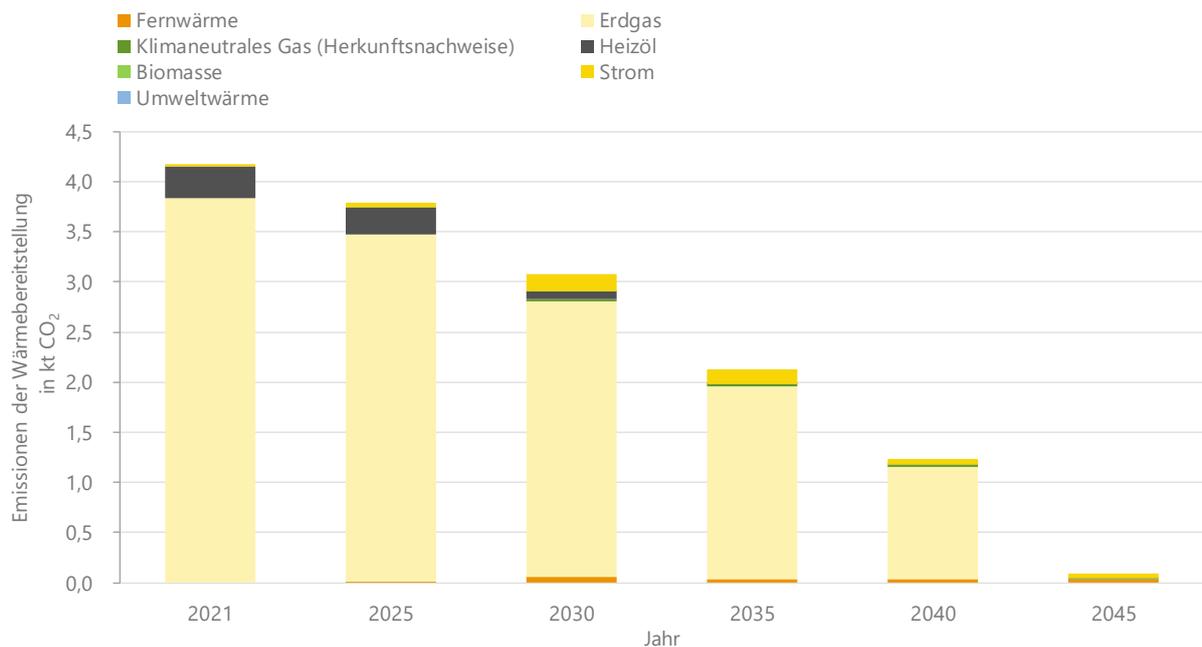


Abbildung 8-24: Entwicklung der wärmebedingten Emissionen im Zielszenario im Gebiet der wenigen Gebäude ohne lokales Potenzial klimaneutraler Wärmequellen

8.4.10 Industrie- und große Gewerbegebiete

Beschreibung und Bestimmung des Gebietes

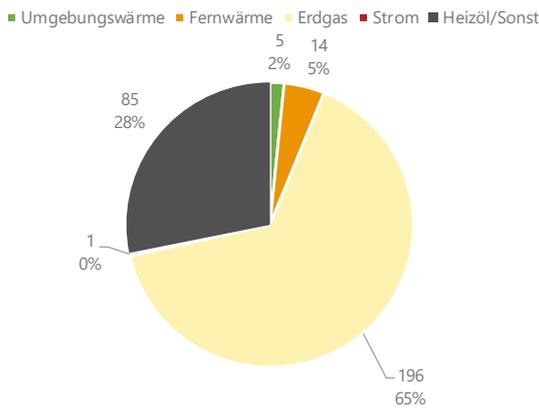
Da im Rahmen dieser Studie Prozesswärme und stoffliche Nutzung von Brennstoffen nicht betrachtet werden, können Industrie- und Gewerbegebiete nicht detailliert auf die geeignete Versorgungslösung hin analysiert werden. Hier gilt es, eigene Energiekonzepte unter Berücksichtigung von Prozesswärme und -kälte sowie internen Abwärmequellen zu erstellen.

Kennzahlen des Gebietes im Status Quo

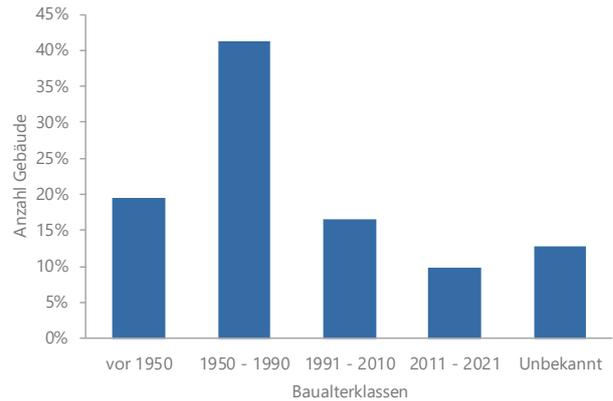
Tabelle 8-10: Kennzahlen des Status Quo zum Gebäudebestand in Industrie- und großen Gewerbegebieten

Kategorie	Parameter	Wert bzw. Beschreibung
Bebauungsstruktur	Anzahl Baublöcke	207
	Fläche Baublöcke	15,8 Mio. m ²
	Anzahl Gebäude	3.322
	Summierte Grundfläche der Gebäude	3,3 Mio. m ²
	Bebauungsdichte	21 %
	Anzahl Wohneinheiten	2 Tsd.
	Bevölkerung	7 Tsd.
	Anteil Denkmalschutzte an gesamter beheizter Fläche	7 %
Ausgangszustand der Bedarfe	Endenergiebedarf für die Wärmebereitstellung	300 GWh/a
	Wärmebedarf	255 GWh/a
	Anteil des Wärmebedarfes am gesamtstädtischen Wärmebedarf	2,48 %
	Wärmebedarfsdichte je Gebäudegrundfläche	78 kWh/m ² *a
	Wärmebedarfsdichte je Baublockfläche	16 kWh/m ² *a
Emissionen	Kumulierte Emissionen der Wärmebereitstellung	ubk
	Anteil der Emissionen an den gesamtstädtischen Emissionen	ubk

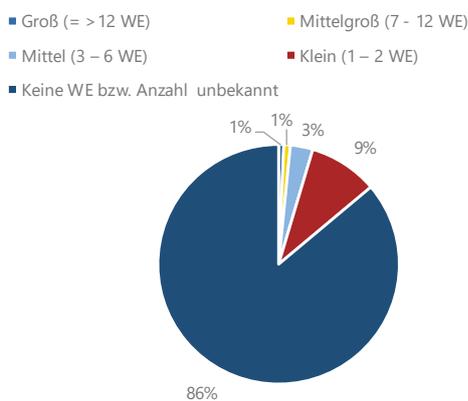
Endenergiebedarf in GWh und %



Verteilung des Baualters in %



Anteile der Wohneinheiten in %



Verteilung der Nutzungsarten in %

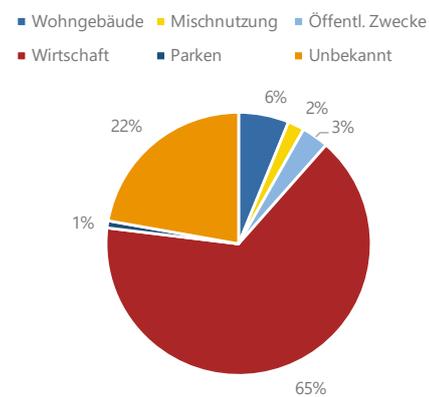


Abbildung 8-25: Aufteilung des Gebäudebestandes in Industrie- und große Gewerbegebiete im Status Quo

Prioritär umgesetzte Technologiekombination im Gebiet

Im Rahmen der individuellen Versorgungskonzepte kann die durchgeführte Potenzialanalyse einen ersten Anhaltspunkt geben. Allerdings kann hier keine klare Empfehlung für einzelne Technologien ausgesprochen werden, da in die Analysen in der kommunalen Wärmeplanung bisher keine Prozesswärme mit einbezogen wurde.

Besondere Herausforderungen

In diesen Gebieten müssen Konzepte für die Wärmeversorgung immer sowohl Prozess- als auch Raumwärme einbeziehen und auch Prozess- sowie Klimakälte. Die größte Herausforderung besteht somit zunächst darin, diese Daten in geeigneter Qualität zu erarbeiten und dann basierend darauf geeignete Energiekonzepte zu entwickeln. Häufig wollen Industriebetriebe diese Konzepte selbst gestalten und haben teilweise auch entsprechend geeignetes Personal vor Ort, sodass deren Planungen jedoch nicht in die kommunale Wärmeplanung integriert werden können.

Abbildung im Modell

Außerhalb der Gebiete im Transformationsplan Fernwärme werden Baublöcke mit überwiegender Nutzung durch Industrie und Gewerbe separat kenntlich gemacht. Auch für diese Gebiete werden regional vorhandene Wärmeversorgungspotenziale angegeben. Etwaige zusätzliche Potenziale durch Prozesswärme und Abwärmequellen könnten diese Potenziale erweitern – sie sind derzeit aufgrund der Datenlage jedoch nicht im Modell integriert.

Energetische Ergebnisse der Szenarien und Emissionen

Da in diesem Gebiet noch keine finale Festlegung bezogen auf die Versorgungslösung getroffen werden kann, werden hier keine Ergebnisse der Simulation gezeigt. Für die Umsetzung der Simulation selbst wurden Annahmen zur Erweiterung der Potenzialdaten getroffen. Dies diente primär dem Erreichen einer Klimaneutralität zum Ende des Simulationszeitraums.

9 Techno-ökonomische Ergebnisse für die gesamte Stadt München

Um die Ergebnisse richtig interpretieren zu können, werden zunächst relevante Modell-Effekte benannt, welche dazu führen, dass die Ergebnisse nach Durchführung der Simulation nachbereitet wurden (Kapitel 9.1). Danach werden die Ergebnisse zur energetischen und emissionsseitigen Entwicklung im gesamten Stadtgebiet der Stadt München für das Ziel- und Basisszenario dargestellt (Kapitel 9.2). Anschließend wird genauer betrachtet, wie sich die Sanierungstiefe in den Szenarien jeweils entwickelt (Kapitel 9.3) und analysiert, wofür sich Gebäude mit unterschiedlichen Handlungsoptionen entscheiden (Kapitel 9.4). Basierend darauf wird auf die Auswertung der ökonomischen Kennzahlen eingegangen (Kapitel 9.5). Abschließend erfolgt eine Abgrenzung der Ergebnisse zu denen der Vorgängerstudie (Kapitel 9.6).

9.1 Hintergründe für die Interpretation der Ergebnisse

Entstehende Versorgungslösungen

Bezogen auf die Einbindung von Biogas und Wasserstoff findet die Simulation unabhängig vom Vorkommen einer entsprechenden separaten Infrastruktur statt. So kann es sein, dass sich ein Akteur aufgrund des Preisvergleiches seiner Optionen für Wasserstoff oder reines Biogas entscheidet, diese Option aber infrastrukturseitig gar nicht zur Verfügung steht. In Szenarien, in denen eine geringe Menge an entsprechenden Gasen von in der Stadt verteilten Akteuren bezogen wird, ist in der realen Welt nicht mit einer Umstellung der kompletten Infrastruktur zu rechnen, da sonst die kompletten Kosten des Gasnetzbetriebes auf diese wenigen Kunden verteilt werden müssten. In den Szenarien ist bereits eine Steigerung der Gasnetzentgelte enthalten (Details siehe Kapitel 7.2.1), was dazu führt, dass sich wenig Akteure für Wasserstoff oder Biogas entscheiden. Somit ist nach Durchführung der Simulation zu prüfen, ob die bezogenen Energieträger durch die Akteure an entsprechenden Stellen nachgebessert werden müssen.

In den Berechnungen steigt die Nutzung von Solarthermie kaum (in München gesamt von 6 GWh auf 16 GWh bzw. < 1 % des gesamten Wärmebedarfes). Diese Option wird im Modell nicht gezogen, da sie nur einen geringen Teil des Wärmebedarfes eines Gebäudes abdecken kann und somit nicht ausreicht, um die Anforderung 65 % Erneuerbare in der Wärme zu erfüllen, jedoch trotzdem mit relevanten Investitionen einhergeht. Eine Solarthermie in Kombination mit Fernwärme (sofern die Netzstränge im Sommer nicht abgedreht werden) oder mit Luftwärmepumpen macht keinen Sinn, da die Fernwärme im Sommer eher Überschüsse hat, die verbraucht werden sollten und Wärmepumpen im Sommer besonders effizient laufen. Bisher sind im Tool noch keine Photovoltaik-Thermie-Systeme (kurz PVT-Systeme) integriert, bei denen die Solarthermie im Sommer das Erdreich von Grabenkollektoren regeneriert und gleichzeitig Strom erzeugt werden kann. Dies könnte die Relevanz der Technologien in folgenden Simulationen leicht steigern. Aufgrund der geringen Durchdringung wird die Solarwärme in den Ergebnisse unter Umweltwärme gefasst.

Effekt der Eintrittswahrscheinlichkeiten

Aufgrund der Eintrittswahrscheinlichkeiten in der „Entscheidungsfindung“ können geringe Anteile von Energieträgern im System verbleiben, selbst wenn diese anhand regulatorischer Bestimmungen ausgeschlossen werden. So kann es im Rahmen der hier durchgeführten Simulationsläufe für die Erreichung der klimaneutralen Wärmeversorgung sein, dass sich einzelne Akteure auch in den Jahren 2040 ff noch mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % für einen Erdgaskessel entscheiden und 95 % für einen Fernwärme-Anschluss. Somit verbleiben im Modell entsprechende Rest-Bedarfe von Erdgas.

9.2 Entwicklung von Endenergiebedarf und Emissionen

Abbildung 9-1 zeigt den Verlauf des Endenergiebedarfes für die Bereitstellung des Wärmebedarfes (im Folgenden immer nur Raumwärme und Trinkwarmwasser ohne Prozesswärme) auf dem Gebiet der Landeshauptstadt München im Zielszenario. Generell sinkt der Endenergiebedarf von ca. 11.330 GWh bis 2045 auf knapp 8.740 GWh (Reduktion um 24 %), was am Hochlauf der Sanierung liegt. Der Neubau macht in 2045 hiervon knapp unter 745 GWh aus, sodass der Rückgang durch Sanierung mit ca. 30 % eingeordnet werden kann. Zu erkennen ist, dass Gase ab 2045 keine Rolle mehr in der dezentralen Wärmeversorgung spielen, während Erdgas aktuell noch ca. 6.010 GWh des dezentralen Wärmebedarfes bereitstellt. Während der Anteil von Erdgas an der Gesamtversorgung bis 2040 ca. alle 5 Jahre um 10 % sinkt, ist hin zum Verbotstermin in 2045 eine Beschleunigung des Transformationsprozesses zu sehen.

Der Absatz der Fernwärme steigt kontinuierlich an von ca. 4.090 GWh im Status Quo auf 5.450 GWh in 2045, sodass diese 62 % des gesamten Endenergiebedarfes bereitstellt.

Aktuell machen Strom und Umgebungswärme jeweils ca. 120 GWh des Endenergieeinsatzes für die Wärmebereitstellung aus. Das recht hohe Verhältnis von Strom zu Umgebungswärme gegenüber einer Wärmepumpe liegt an dem in 2021 noch relevant hohen Anteil an Elektrospeicherheizungen. Im Jahre 2045 werden ca. 1.970 GWh Umweltwärme und 880 GWh Strom verbraucht, womit diese gemeinsam den zweitgrößten Anteil an Wärme bereitstellen (33 % des Endenergiebedarfes). Hieraus ergibt sich als durchschnittliche Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen ein Wert von 3,2, welcher in Anbetracht der hohen Sanierungsraten und -tiefe als realistisch erscheint. Aus den Modellierungen im Tool selbst ist eine genauere Aufschlüsselung des Einsatzes verschiedener Arten von Wärmepumpen enthalten.

Im Jahre 2045 werden ca. 380 GWh an Biomasse für die dezentrale Wärmeversorgung eingesetzt, sodass fast 4 % des Endenergiebedarfes über Biomasse gedeckt wird. Weiterhin werden gemäß der Szenarienergebnisse in 2045 ca. 60 GWh klimaneutrales Gas eingesetzt. Hier ist jedoch direkt zu unterstreichen, dass die Aufrechterhaltung des Gasnetzes für diese geringen Absatzmengen als unrealistisch erscheint.

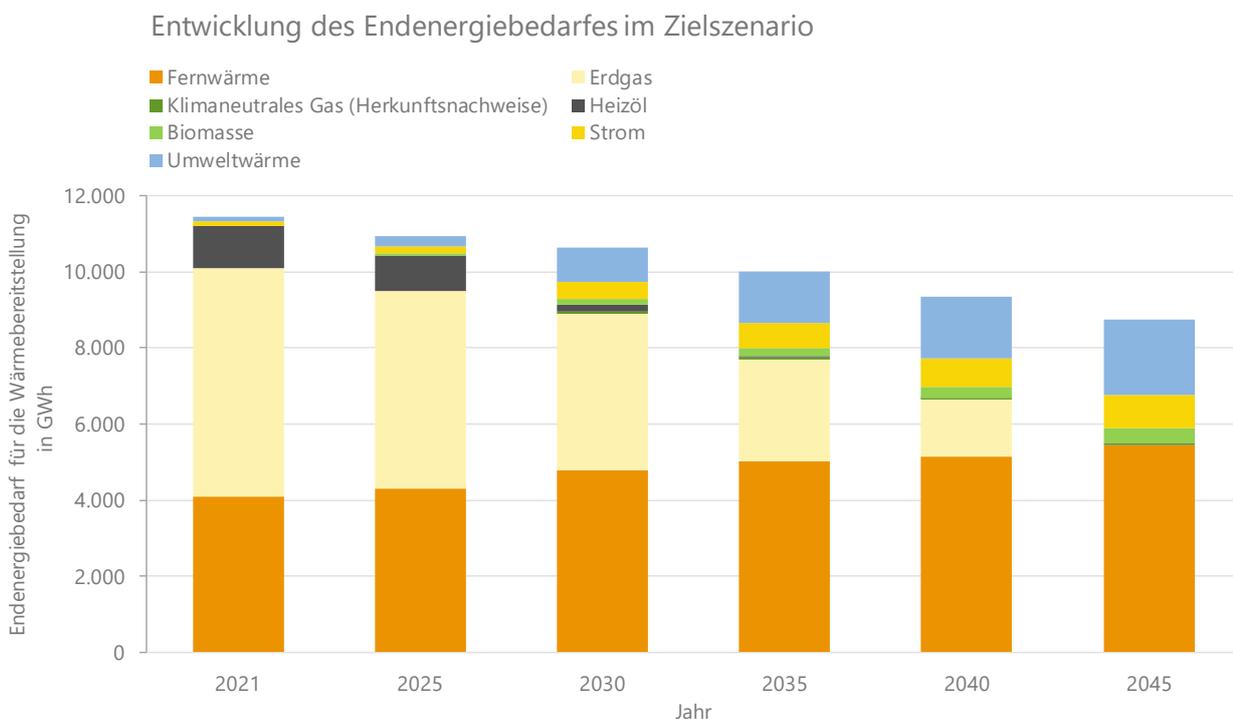


Abbildung 9-1: Aufteilung Entwicklung des wärmebedingten Endenergiebedarfes im Zielszenario

Abbildung 9-2 zeigt die Entwicklung des Endenergiebedarfes im Basisszenario. Gegenüber dem Zielszenario zeichnet sich dieses durch eine geringere Sanierungsrate aus. Zudem wird weniger tief saniert (genauere Analyse in Kapitel 9.3). Hieraus resultiert der Unterschied der reduzierten Abnahme des Endenergiebedarfes von 11.330 GWh in 2021 knapp 8.740 GWh in 2045 bzw. etwa 12 %.

Weiterhin fällt die stetige Zunahme des Anteils klimaneutraler Gase auf (ca. 690 GWh in 2045 bzw, 7 % des Endenergieverbrauches) sowie das auch in 2045 weitere Vorhandensein fossiler Energieträger in der Wärmebereitstellung (ca. 1.020 GWh Erdgas bzw. 10 % des Endenergieverbrauches und 230 GWh Heizöl bzw. 2 % des Endenergieverbrauches). Der Anteil klimaneutraler Gase steigt kontinuierlich, da sich einige Akteur:innen hierfür entscheiden, um die gesetzliche Anforderung zur Einhaltung der 65 % Erneuerbare Energien in der Wärme zu erreichen, wohingegen sie im Zielszenario direkt in Technologien investieren, welche auch ohne Herkunftsnachweise eine Erreichung der gesetzlichen Anforderungen erfüllen. Das Erdgas verbleibt, weil die verbauten Kessel noch nicht getauscht werden mussten.

Der Absatz der Fernwärme steigt von ca. 4.090 GWh im Status Quo auf 5.290 GWh in 2045 (bzw. 52 % des Endenergieverbrauches) Umweltwärme stellt 1.720 GWh der in 2045 verbrauchten Endenergie bereit und Strom 760 GWh (gemeinsam 25 % des Endenergieverbrauches), woraus eine durchschnittliche Jahresarbeitszahl von 3,3 bestimmt werden kann. Diese leichte Erhöhung gegenüber dem Zielszenario ist als nicht relevant einzuschätzen. Weiterhin werden 450 GWh Biomasse für die Bereitstellung der Wärme verbraucht, was 4 % des Endenergieverbrauches ausmacht.

Die geringe Reduktion des Endenergiebedarfes von 2025 auf 2030 ist mit einer relevanten Menge an Wärmebedarfszunahme durch Zubau in den Jahren 2025 – 2040 begründet, welche die Effizienzsteigerung durch Sanierung überkompensiert. Dieser Effekt tritt nur im Basisszenario auf, da hier der Neubaustandard sowie die Sanierungsraten und –tiefen der Bestandsgebäude geringer sind.

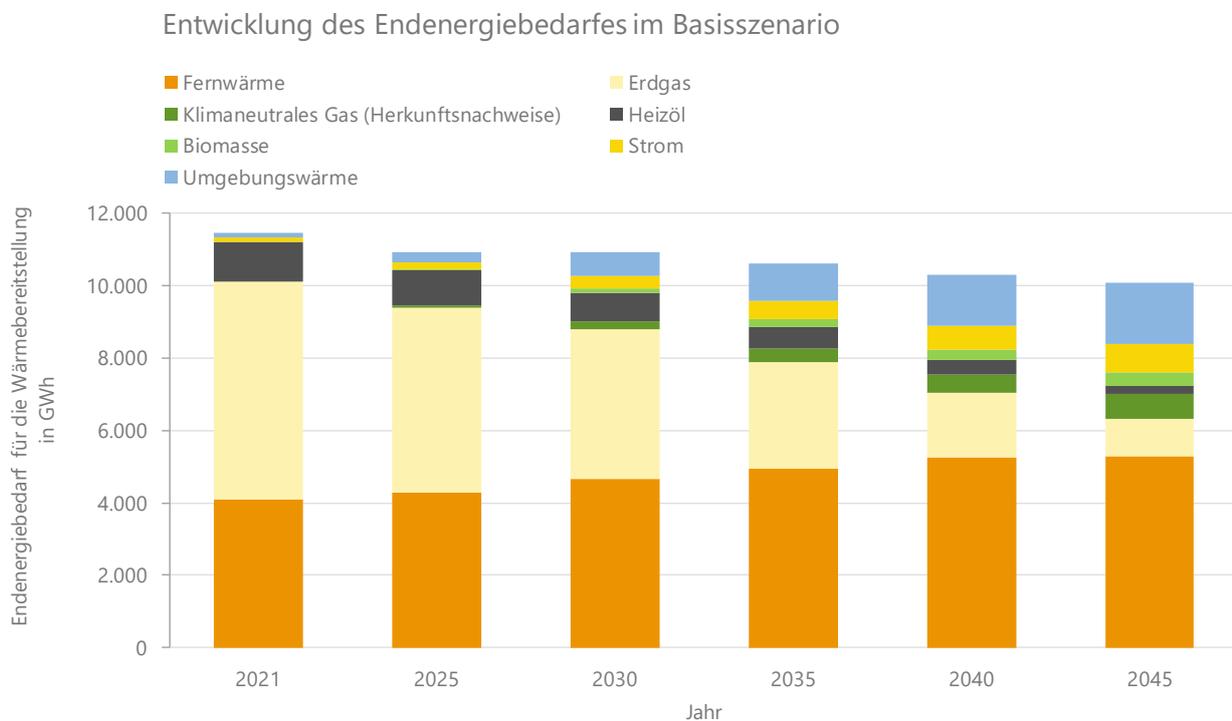


Abbildung 9-2: Aufteilung Entwicklung des wärmebedingten Endenergiebedarfes im Basisszenario

Um im Basisszenario die Klimaneutralität zu erreichen, müssten ab 2045 relevante Mengen an Herkunftsnachweisen für klimaneutrale Gase wie Biogas gekauft werden. Derartig hohe Mengen sind aus heutiger Sicht

weder realistisch noch für die Zielerreichung sinnvoll. Zum einen werden keine relevanten Mengen an klimaneutralen Gasen für den Sektor private Haushalte vorhanden sein und zum anderen werden die Preise wahrscheinlich durch besser zahlende Sektoren (Industrie, Flugverkehr) getrieben werden.

Eine detaillierte Analyse zum Effekt der Szenarien und der einhergehenden Grundwassernutzung in München, befindet sich in /TUM-05 21/.

Die Aufteilung der beheizten Fläche nach genutzter Heiztechnologie ist in Abbildung 9-3 enthalten. Insgesamt steigt die zu versorgende Fläche in München von 100 Mio. m² in 2023 auf 111 Mio. m² in 2045. Im Zielszenario liegt der Anteil der durch Fernwärme versorgten Fläche in 2045 bei ca. 61 % und somit in gleicher Höhe wie der bereitgestellte Endenergiebedarf. Weitere 33 % werden über Wärmepumpen versorgt und 4 % über Biomasse. Im Basisszenario ist die Zusammensetzung der Technologien diverser und es werden in 2045 weiterhin Technologien eingesetzt, welche zumindest teilweise auf fossilen Energieträgern basieren.

Folgender Aspekt ist interessant bezogen auf die versorgbaren Flächen: In 2045 wird im Basisszenario 5.290 GWh Fernwärme verbraucht und im Zielszenario 5.450 GWh (+ 3 %), allerdings liegt die über Fernwärme versorgte Fläche im Zielszenario bei 68 Mio. m² statt 60 Mio. m² (+ 14 %). Dies liegt daran, dass die Kapazität der Fernwärme begrenzt ist. Wird mehr saniert, reicht die Fernwärme für die Versorgung von mehr beheizter Fläche aus.

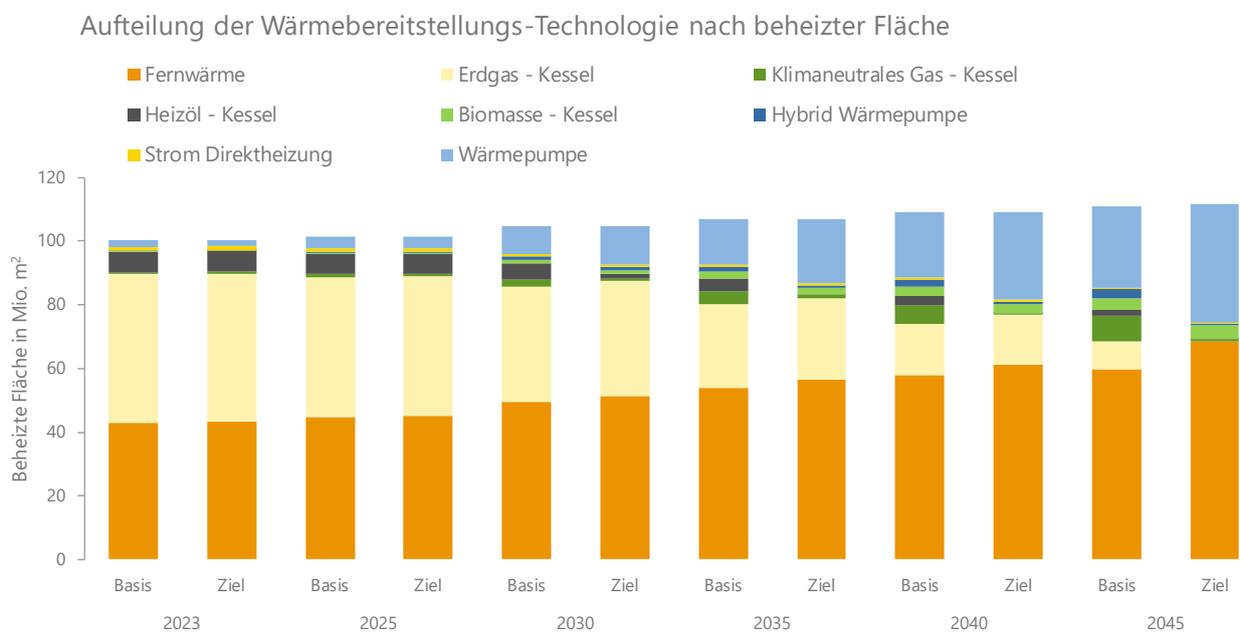


Abbildung 9-3: Aufteilung der Wärmebereitstellung nach beheizter Fläche in beiden Szenarien

Entwicklung der Emissionen

Die Entwicklung der Emissionen in beiden Szenarien nach Energieträgern sowie die für die Wärmebereitstellung bis 2045 kumuliert entstehenden Emissionen sind in Abbildung 9-4 enthalten. Während aktuell die jährlichen Emissionen bei ca. 2,5 Mio. t CO₂ liegen, sinken diese bis 2045 im Basisszenario auf ca. 390 Tsd. t CO₂ und im Zielszenario auf 160 Tsd. t CO₂. Kumuliert stößt die Wärmeversorgung der Stadt München bis 2045 im Basisszenario ca. 34 Mio. t CO₂ aus, im Zielszenario hingegen ca. 31 Mio. t CO₂. Diese Reduktion um 10 % wirkt nicht massiv, allerdings fallen danach im Zielszenario keine Emissionen mehr an (außer jener der Abwärmenutzung aus der Müllverbrennung), während im Basisszenario weiterhin Emissionen entstehen und somit das Ziel der Klimaneutralität in der Territorialbilanz nicht erreicht wird.

Ergänzend ist in Abbildung 9-5 die Entwicklung der gesamten sowie der pro Kopf Emissionen dargestellt. Diese reduzieren sich von 1,55 t CO₂/Einwohner in 2021 im Basisszenario bis 2045 auf 0,24 t CO₂/Einwohner und im

Zielszenario auf 0,08 t CO₂/Einwohner. Dies ist näher an dem angestrebten Ziel der Klimaneutralität der Wärmeversorgung von 0,06 t CO₂/Einwohner als in /FFE-79 21/, allerdings wird dieses weiterhin nicht erreicht. Hier spielen wie in /FFE-79 21/ die Emissionen der in die Fernwärme einspeisenden Müllverbrennung und der hier weiterhin nicht bei null Emissionen liegende Strombezug eine relevante Rolle.

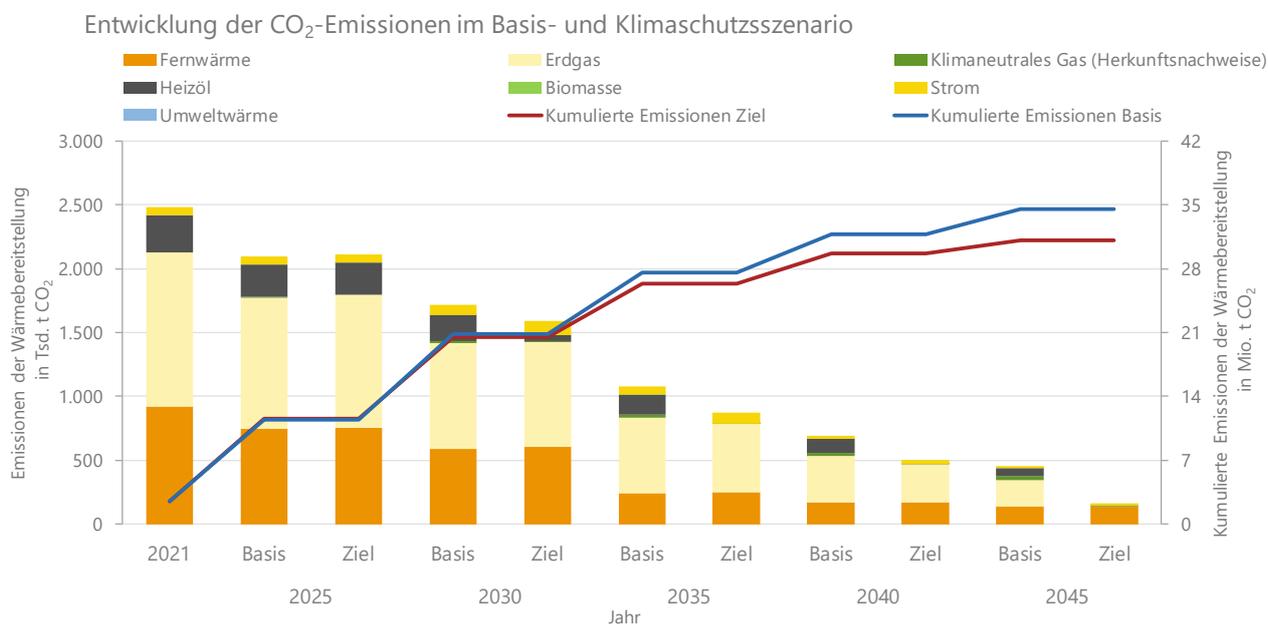


Abbildung 9-4: Entwicklung der CO₂-Emissionen in beiden Szenarien

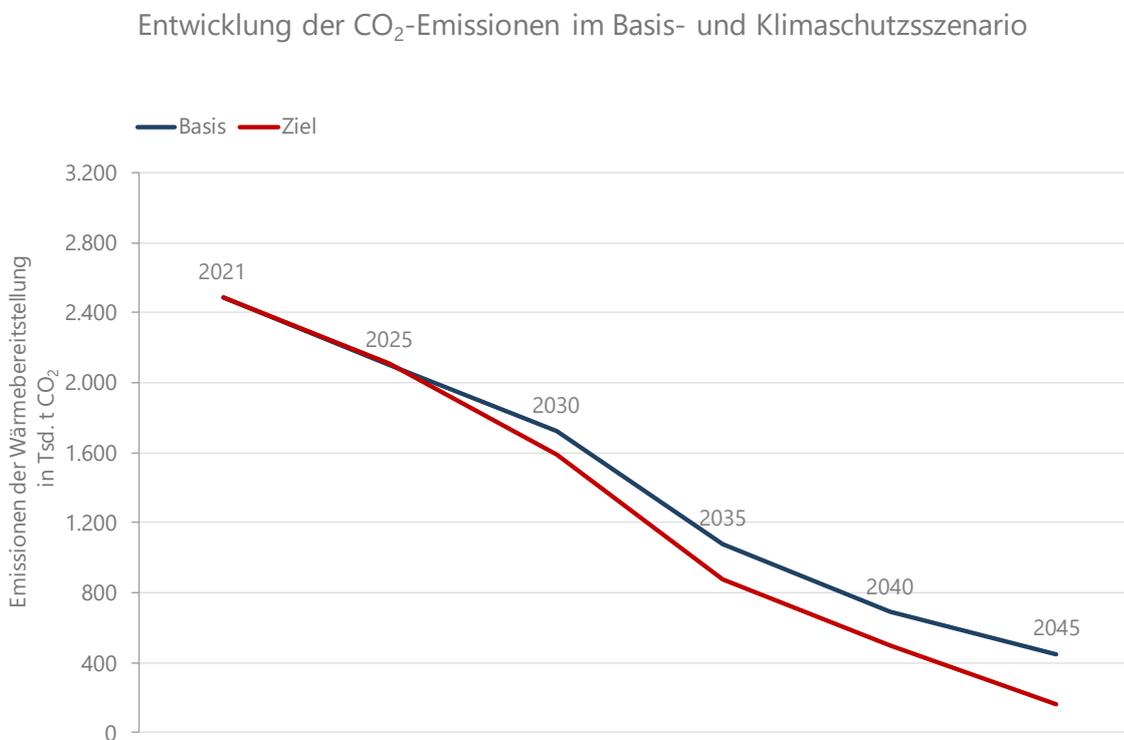


Abbildung 9-5: Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen in beiden Szenarien

9.3 Entwicklung der Sanierungstiefe

Wie bereits in Kapitel 7.3 dargelegt sind die Sanierungsraten und -tiefen für die beiden Szenarien übergeordnet festgelegt. Für eine entsprechende Betrachtung der Entwicklung der Sanierungstiefe dienen die folgenden Abbildungen. In 2021 weisen alle Gebäude ihren energetischen Ist-Zustand auf. Im Verlauf der Zeit werden sukzessive Teile der Gebäude gemäß der verfügbaren drei Sanierungspakete der Gebäudehülle im Modell (siehe Erläuterung in Kapitel 7.2.4) saniert. Durch die Umsetzung einer der drei Sanierungsoptionen sinkt trotz des stattfindenden Neubaus die benötigte Endenergie im Zeitablauf, wie zuvor bereits beschrieben, im Zielszenario um knapp 24 % und im Basisszenario um 12 %. Die genaue Aufschlüsselung der Sanierungstiefen zu den KfW EH Standards in Abhängigkeit vom betrachteten Gebäude befindet sich in Tabelle 7-8, wobei jeweils der zugeordnete Standard bei Sanierungen von nicht geschützten Bestandsgebäuden genannt wird.

Während im Zielszenario in 2025 die Modernisierung sowie geringe Sanierung (im Bestand KfW EH 85) bzw. mittlere Sanierung (im Bestand KfW EH 70) dominieren, steigt ab 2030 der Anteil der tiefen Sanierungen (im Bestand KfW EH 55). Gemäß der Ergebnisse wird bei Gebäuden, welche einen Anteil am Endenergiebedarf von ca. 14 % ausmachen, bis 2045 nur eine reine Modernisierung ohne Sanierung vorgenommen und bei 45 % finden keine Maßnahmen statt. In 2045 teilen sich die Anteile der Endenergieverbräuche auf die Sanierungstiefen folgendermaßen auf: 30 % tief saniert (im Bestand KfW EH 55), 6 % gering saniert (im Bestand KfW EH 85) und 4 % mittel saniert (KfW EH 70). Hierbei ist zu unterstreichen, dass dies nicht mit dem Anteil an der Gebäudefläche gleichzusetzen ist, sondern der Anteil an der Gebäudefläche höher ist, da die sanierten Gebäude einen geringeren Endenergiebedarf je Fläche aufweisen.

Im Basisszenario hingegen wird kaum tief saniert (im Bestand KfW EH 55), sondern bei den Gebäuden, welche in 2045 ca. 24 % des Endenergiebedarfes ausmachen, findet eine reine Modernisierung statt, bei 56 % keine Aktion sowie bei jeweils 17 % eine geringe Sanierung (im Bestand KfW EH 85) bzw. mittlere Sanierung (im Bestand KfW EH 70).

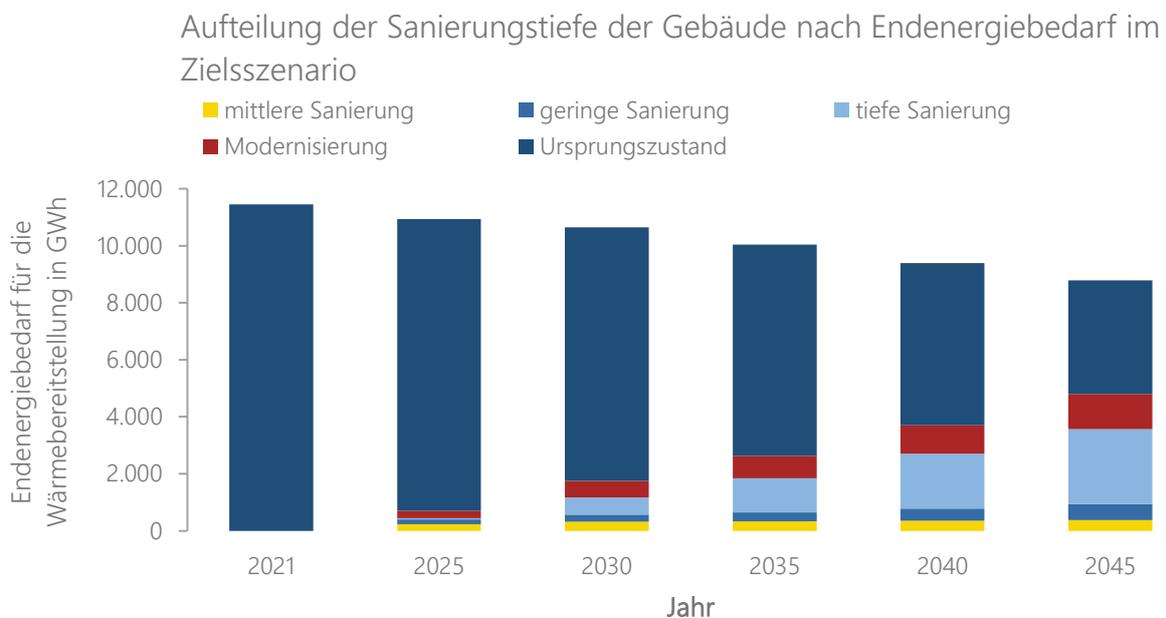


Abbildung 9-6: Aufteilung der Sanierungstiefe der Gebäude nach Endenergiebedarf im Zielszenario

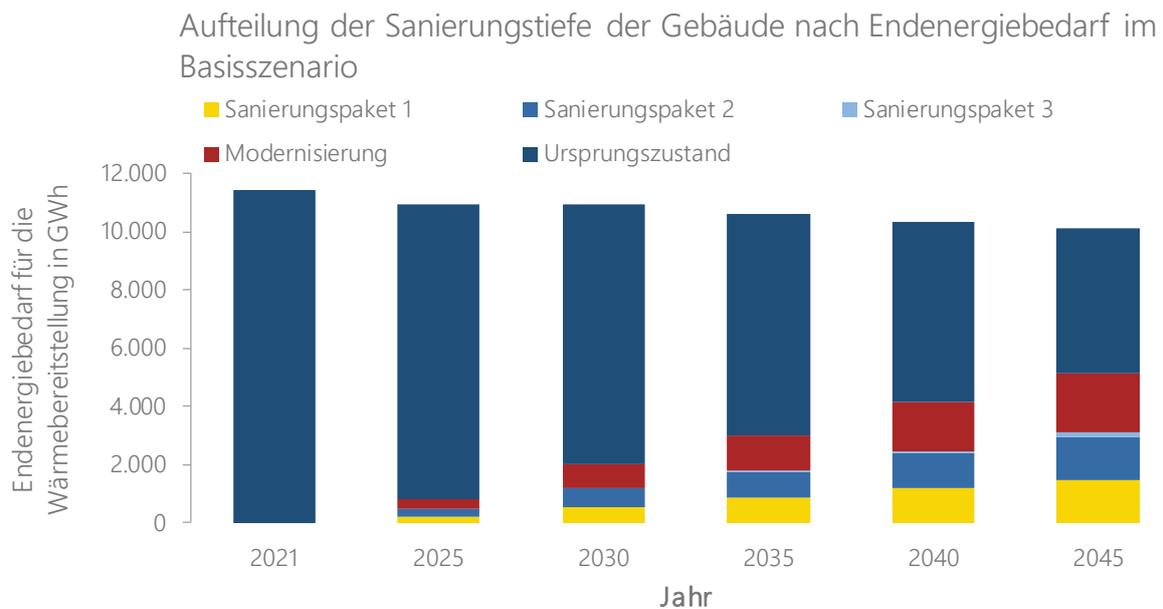


Abbildung 9-7: Aufteilung der Sanierungstiefe der Gebäude nach Anzahl Fläche im Basisszenario

9.4 Analyse der Gebäude mit mehreren Handlungsoptionen

Während in Kapitel 7.1 das genutzte Modell und das Vorgehen bei der Entscheidungsfindung genauer beschrieben wurden, wird hier auf die daraus resultierenden Entwicklungen in den Gebieten mit Potenzialen für Wärmepumpen und Fernwärme eingegangen.

Die im Zielszenario dargestellte Erreichung der Klimaneutralen Wärmeversorgung in München basiert, neben einer substantiellen Steigerung der Gebäudeeffizienz, auf der zentralen Wärmeversorgung mittels CO₂-neutraler Fernwärme sowie der dezentralen Wärmeversorgung mittels Wärmepumpen. Hierbei eignen sich nicht alle Gebiete Münchens gleichermaßen für beide Versorgungstechnologien, weswegen bereits in Kapitel 8.4 unterschiedliche Eignungsgebiete erarbeitet wurden. Während im Fernwärme-Verdichtungsgebiet sowie in Teilen des Fernwärme-Erweiterungsgebietes aufgrund einer geringen räumlichen Distanz zum bestehenden Netz gute Möglichkeiten einer Versorgung mittels Fernwärme bestehen, liegt ein großer Teil der Gebiete, die sich besonders gut mittels Wärmepumpen versorgen lassen, außerhalb dieser Gebiete.

In Abbildung 9-8 ist das anteilige Potenzial der verschiedenen möglichen Wärmequellen der Wärmepumpen über die Anzahl der Baublöcke aufgetragen. Hierbei wurden alle Linien nach der Höhe des Nutzungspotenzials der Wärmepumpen sortiert. So kann beispielhaft abgelesen werden, dass in der gesamten Stadt (10.501 Baublöcke) ca. 51 % der Gebäudefläche über Wärmepumpen mit Wärme versorgt werden könnten (grüne Linie). Im Zielszenario kommt allerdings heraus, dass nur 27 % Wärmepumpen umgesetzt werden (blaue Linie). Somit wird nur etwas mehr als die Hälfte des gesamtstädtischen Potenzials ausgeschöpft. Die Differenz hieraus ist das nicht genutzte Potenzial von 24 % (rote Linie). Bei näherer Betrachtung wird ersichtlich, dass ein großer Teil Energiebezugsflächen, bei denen Wärmepumpen nicht ihr volles Potenzial ausschöpfen, bereits heute mit Fernwärme versorgt wird. Werden von dem „übrigen“ Potenzial die Gebäude abgezogen, welche bereits in 2021 mit der Fernwärme versorgt werden, ergibt sich nur ein nicht genutztes Wärmepumpenpotenzial von 8 % der gesamten beheizten Fläche (orangene Linie). Hierbei ist, basierend auf Beobachtungen in der realen Umsetzung, in der Modellierung der Szenarien unterstellt, dass ein Umstieg von Fernwärme auf Wärmepumpen selten erfolgt.

Wichtig für die Bewertung des nicht genutzten Potenzials ist zu beachten, dass hier nur Einzelpotenziale beachtet wurden aber nicht deren Kombinierbarkeit. Zum Beispiel geht mit der intensiven Nutzung von Grundwasserbasierten Wärmepumpen eine gegenseitige Beeinflussung durch Kältefahnen einher. Diese Restriktionen wurden

im Prozess der Szenarienerstellung auf den unterschiedlichen regionalen Auflösungen ausgewertet und die Potenziale wurden iterativ angepasst.

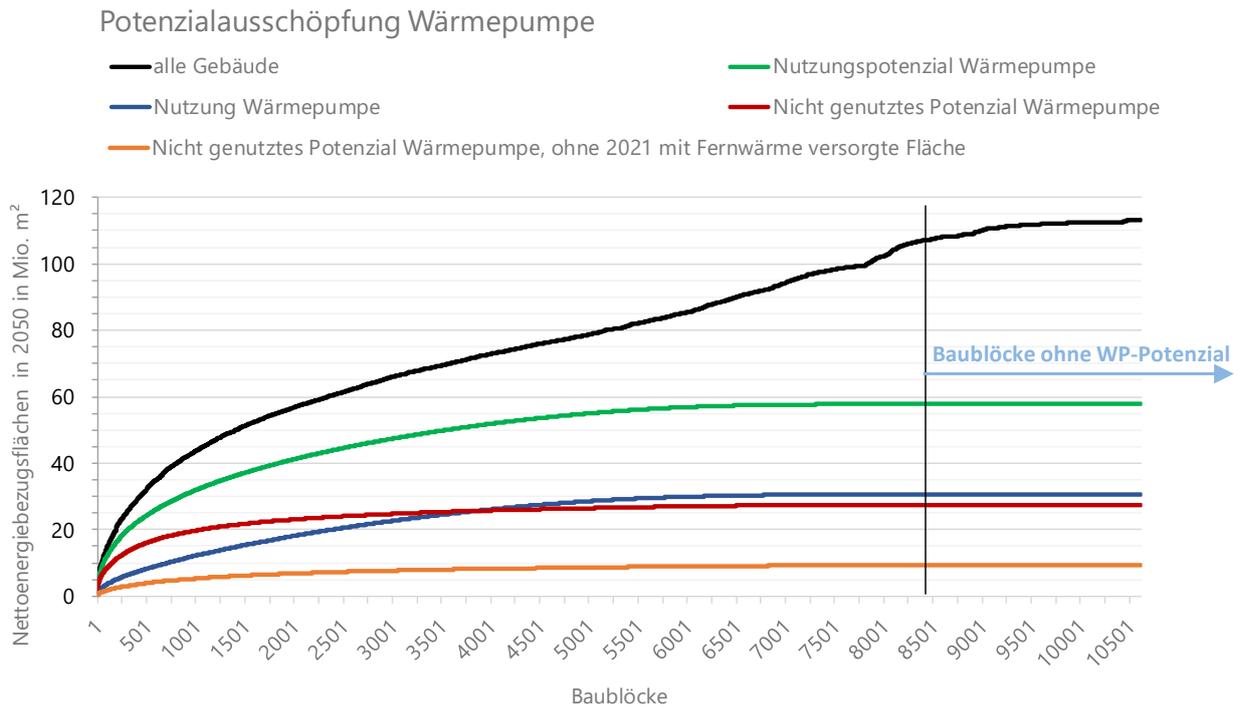


Abbildung 9-8: Potenzialausnutzung der Wärmepumpen (erstellt von e-think)

Eine analoge Darstellung findet sich in Abbildung 9-9 für die Fernwärme, wobei die Baublöcke mit Potenzial für die Fernwärme durch die durch die SWM gegebenen Gebiete des Fernwärme-Verdichtungsgebietes und der -Erweiterungsgebiete festgelegt wurden. Auch hier wurden alle Linien nach der Höhe des Nutzungspotenzials der Fernwärme sortiert, woraus eine schnellere Steigung der Energiebezugsfläche mit der kumulierten Anzahl an Baublöcken resultiert. Dies ist logisch, da Fernwärme prinzipiell in Baublöcken mit viel bebauter Fläche (hohe Wärmebelegungsdichte) sinnvoll ist, bei Wärmepumpen ist dies tendenziell eher andersherum, da hier keine Freiflächen für deren Aufbau bestehen.

Die Abbildung zeigt, dass über die gesamte Stadt ca. 70 % der Energiebezugsflächen in der Stadt München über Fernwärme versorgt werden könnten (grüne Linie), was allerdings mit dem vorhandenen erneuerbaren Fernwärme-Erzeugungspotenzial nicht möglich wäre. Im Zielszenario wird jedoch insgesamt ein Anteil von 60 % der Energiebezugsfläche an die Fernwärme angeschlossen (blaue Linie). Dieser ist wiederum unterteilt in die bereits bestehende Fernwärmeversorgung (blau schraffiert) und den Fernwärmeausbau (dünne blaue Linie). Auch bei der Fernwärme liegt das nicht genutzte Potenzial (rote Linie) im Bereich von ca. 20 %, wobei zu beachten ist, dass sich dies nur auf die Flächenpotenziale – also die Flächen der im Fernwärmegebiet befindlichen Gebäude – bezieht, die energetischen Potenziale – also die bereitstellbare Fernwärme – werden in den Simulationen voll ausgereizt.

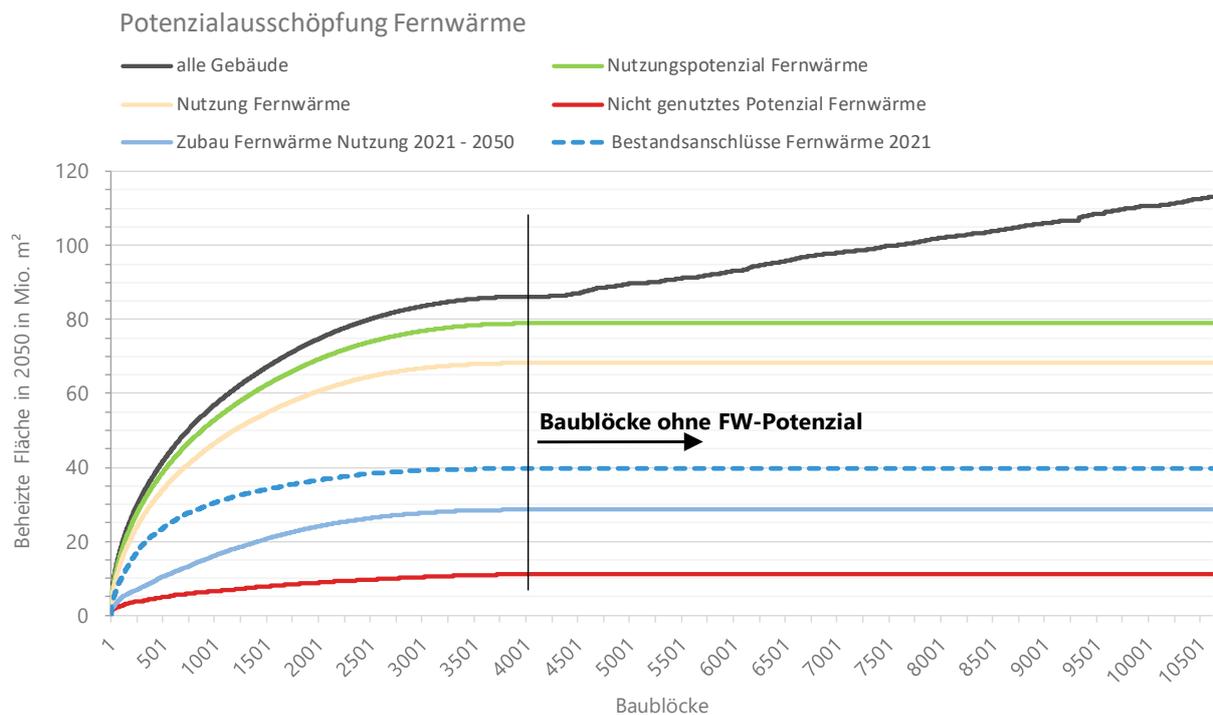


Abbildung 9-9: Potenzialausnutzung der Fernwärme (erstellt von e-think)

Analysen von e-think zeigen weiterhin folgenden Zusammenhang: Berücksichtigt man die Überschneidungen der Gebiete, so zeigt sich, dass 46 % der Flächen mittels Fernwärme, aber nicht mit Wärmepumpen versorgt werden können. Umgekehrt stehen bis 2012 bei ca. 28 % der Flächen Wärmepumpen, aber nicht Fernwärme zur Verfügung. Bei 24 % der Flächen können beide Technologien eingesetzt werden, diese haben somit eine prinzipielle Wahlmöglichkeit zwischen den beiden zukünftigen Haupttechnologien. Die von beiden Technologien nicht abdeckbaren ca. 3 % der Gebäudefläche müssen über andere Optionen, z. B. Biomasse oder gebäudeübergreifende Quartierslösungen versorgt werden.

9.5 Ökonomische Auswertung

Im Folgenden sind ausschließlich die ökonomischen Ergebnisse für das Zielszenario dargestellt, da im Basisszenario die Klimaneutralität nicht erreicht werden kann. Hierbei wird zunächst auf die Kosten für die gesamte Stadt eingegangen und später erfolgt eine Einordnung der durchschnittlichen Kosten je Gebäude sowie der annuitätischen Kosten. Die Kosten beziehen sich ausschließlich auf die Transformation des Gebäudebestands (ohne Zubau).

Auswertung anfallender Investitionen in Wärmeerzeuger

Die kumulierten Investitionen zum Einbau der Heizsysteme inklusive bzw. exklusive des Einbezuges der entsprechenden Szenarien für die Förderung sind in Abbildung 9-10 enthalten. Um den Anteil der in Anspruch genommenen Förderung im Modell mit den festgelegten Szenarien zu vergleichen, sind in Abbildung 9-12 erneut die gesamten Investitionen sowie der kumulierte Anteil der Förderung an den Gesamtkosten dargestellt. Während sich die Investitionen ohne Förderung bis 2045 auf ca. 3,6 Mrd. € belaufen, sind dies nach Abzug der in den Szenarien erwarteten Förderung ca. 2,6 Mrd. €, sodass der gesamte Anteil der Förderung durch Bund und Stadt bei ca. 30 % liegt. Die genaue Aufteilung der Kosten zwischen Bund und Stadt liegt aus den Modellierungen nicht vor. In Anbetracht der angesetzten Fördersätze (siehe Tabelle 7-10) würde mehr als zwei Drittel der Förderungen beim Bund liegen.

Im Basisszenario liegen die kumulierten Investitionen bis 2045 bei ca. 2,8 Mrd. €, nach Abzug der in den Szenarien erwarteten Förderung bei ca. 2,0 Mrd. €.

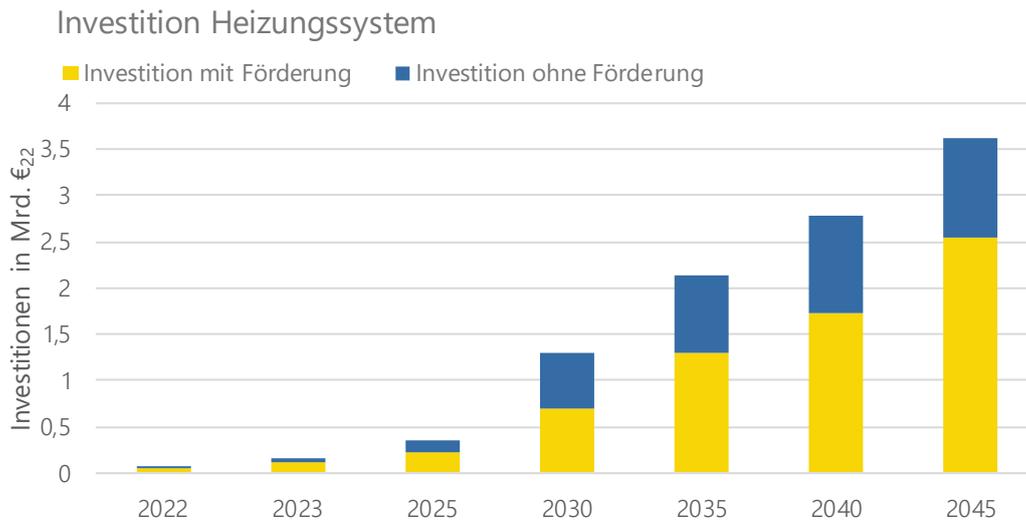


Abbildung 9-10: Kumulierte Investitionen in Heizsysteme in den Bestandsgebäuden

Da in den Szenarien ab 2030 eine Reduktion der Förderquote angenommen wird (siehe Kapitel 7.2.5), ist es logisch, dass ab 2030 der Anteil der Förderung an den gesamten Investitionen sinkt. Der steigende Anteil der Förderung an den Investitionen bis 2030 ist darin begründet, dass im Zeitraum bis 2023 noch in nicht geförderte Erdgaskessel und Biogas-Kessel investiert wird. Ab 2025 erfolgen keine Investitionen mehr in Erdgaskessel und nur in geringem Umfang in Biogaskessel. Somit steigt der Anteil der stark geförderten Wärmeerzeuger.

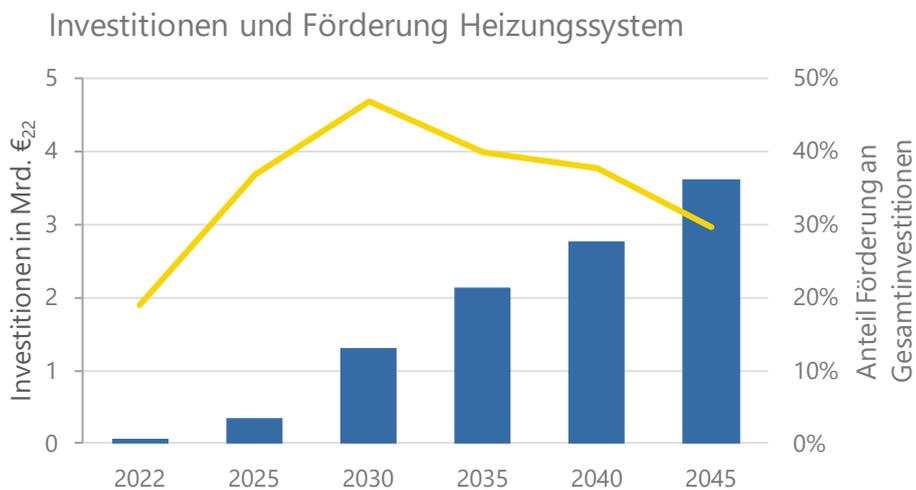


Abbildung 9-11: Kumulierte Investitionen in Heizsysteme und Anteil der Förderung

Auswertung anfallender Investitionen in die Sanierung

Die kumulierten Investitionen in die Gebäudesanierung, unterteilt in Ohnehin-Kosten und energiebedingte Mehrkosten sowie ohne bzw. mit Förderung sind in Abbildung 9-12 dargestellt. Hierbei wird die Förderung in der Abbildung immer von den energiebedingten Mehrkosten abgezogen, da es ohne den energetischen Mehrwert einer Sanierung gegenüber der Modernisierung keine Förderung gäbe. Auch hier werden in einer separaten Grafik zusätzlich die Gesamtkosten und der Anteil der Förderung an den Gesamtkosten ausgewiesen (siehe Abbildung 9-13).

Während sich die kumulierten Vollkosten der Sanierung bis 2045 auf ca. 27,0 Mrd. € belaufen, sind dies nach Abzug der Förderung noch ca. 24,2 Mrd. €, sodass hier die gesamte Förderquote mit im Durchschnitt ca. 10 % geringer ist als bei den Wärmeerzeugern. Die genaue Aufteilung der Förderungen zwischen Bund und Stadt liegt aus den Modellierungen nicht vor, in Anbetracht der angesetzten Fördersätze (siehe Tabelle 7-9 und Tabelle 7-10) würde mehr als die Hälfte der Förderungen beim Bund liegen.

Weiterhin ist auffällig, dass beim Vergleich der Investitionen ohne Förderung die Kosten für den Heizsystemwechsel in etwa 13 % der Sanierungskosten ausmachen. Hierbei ist allerdings zu unterstreichen, dass in den Investitionen in die Heizsysteme die Kosten für die Fernwärmeleitungen und -erzeuger noch nicht enthalten sind. Somit sind diese Werte nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar.

Während die beschriebenen Vollkosten auch die Kosten enthalten, welche im Rahmen einer normalen Modernisierung des Gebäudes auftreten (z. B. Farbe zum Streichen, Aufstellen des Gerüsts), beinhalten die sogenannten energiebedingten Mehrkosten nur die Kosten, welche ausschließlich der energetischen Verbesserung der Gebäudehülle zuzurechnen sind. Diese belaufen sich für München auf 14,2 Mrd. € exklusive Förderung bzw. Abzug der Förderung sind dies 11,3 Mrd. €.

Im Basisszenario liegen die kumulierten Kosten der Sanierung bis 2045

- Sanierungsvollkosten bei ca. 12,2 Mrd. €, nach Abzug der Förderung noch ca. 11,6 Mrd. €
- Energiebedingte Mehrkosten bei ca. 4,1 Mrd. €, nach Abzug der Förderung noch ca. 3,5 Mrd. €

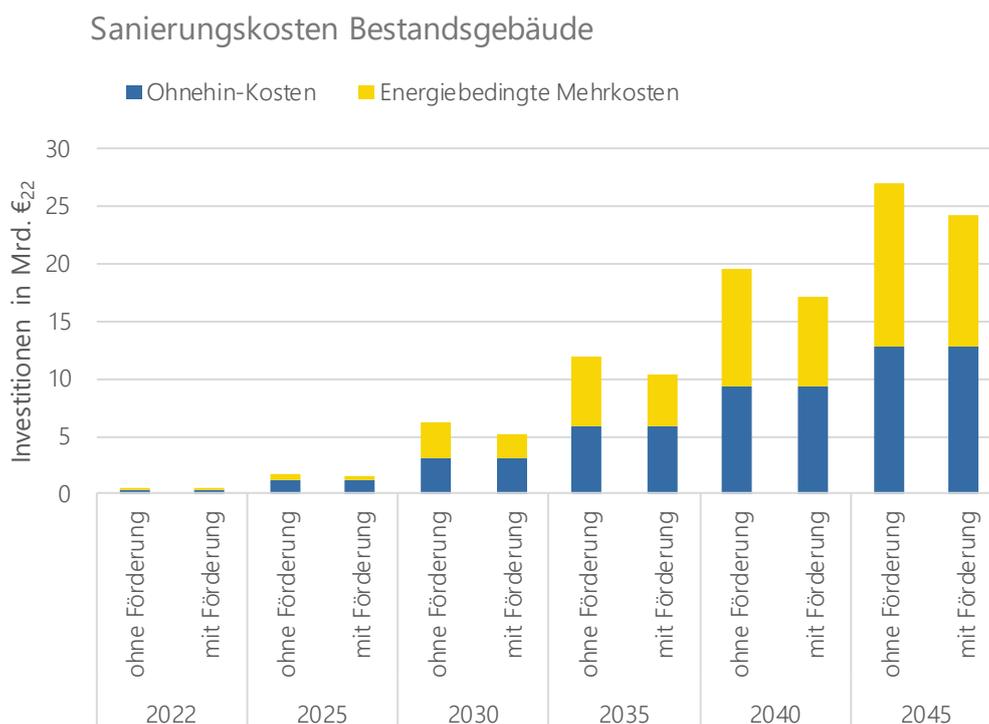


Abbildung 9-12: Kumulierte Investitionen in die Sanierung der Bestandsgebäude

Die ansteigende und dann wieder abfallende Förderquote der Sanierung ist konsistent zur Entwicklung der vorherrschenden Sanierungstiefe nach Stützjahr (siehe Abbildung 9-6). Nachdem in den ersten Jahren noch Sanierungstiefen mit niedriger Förderquote umgesetzt werden, wandelt sich dies kontinuierlich hin zum Standard KfW EH 55. Ab 2030 sinken in den Szenarien die Förderquoten, sodass auch die durchschnittliche Förderungsquote der Sanierung sinkt.

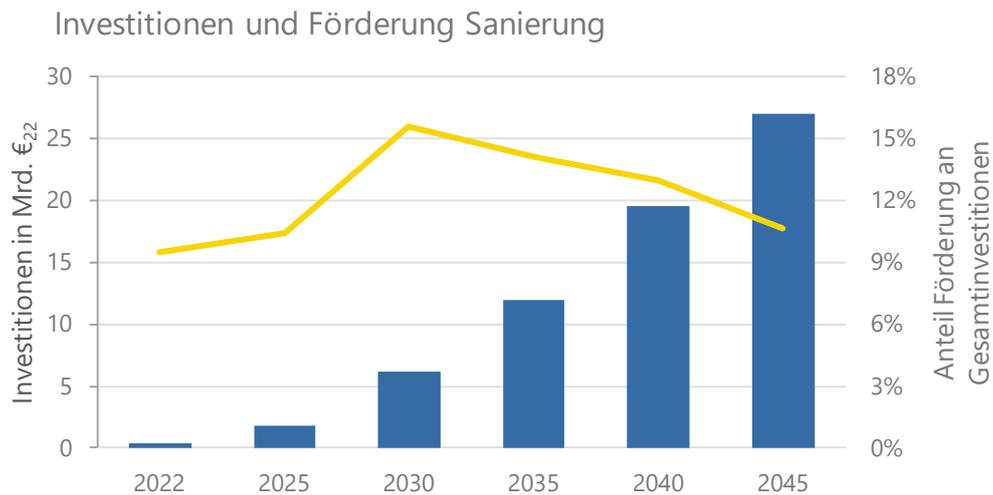


Abbildung 9-13: Kumulierte Investitionen in die Sanierung der Bestandsgebäude und Anteil der Förderung

Entwicklung der Betriebskosten

Die Entwicklung der jährlichen Betriebskosten (fixe und variable Betriebskosten) ist in Abbildung 9-14 dargestellt. Die ersichtliche Reduktion der Betriebskosten von 2022 hin zu 2025 ist primär den in den Szenarien hinterlegten Entwicklungen der Energieträgerpreise an den Energiemärkten geschuldet (siehe Kapitel 7.2.1). Ab 2030 verlaufen die Energiepreise als Realwerte zum Basisjahr 2022 nahezu konstant, nur die Erdgaspreise steigen von 2030 auf 2035. Weiterhin findet kontinuierlich der Wechsel von spezifisch günstigem Erdgas zu Strom für Wärmepumpen und zur Fernwärme statt, welche spezifisch mit höheren Kosten einhergehen. Daher sinken die Betriebskosten noch nicht relevant. Ab 2035 steigen die Sanierungsraten relevant an, sodass hier die Effizienzsteigerung und somit Reduktion des Endenergiebedarfes die Steigerung der spezifischen Kosten des Endenergiebedarfes überlagert.

Im Basisszenario liegen die Betriebskosten um 36 % höher bei 1,2 Mrd. € pro Jahr.

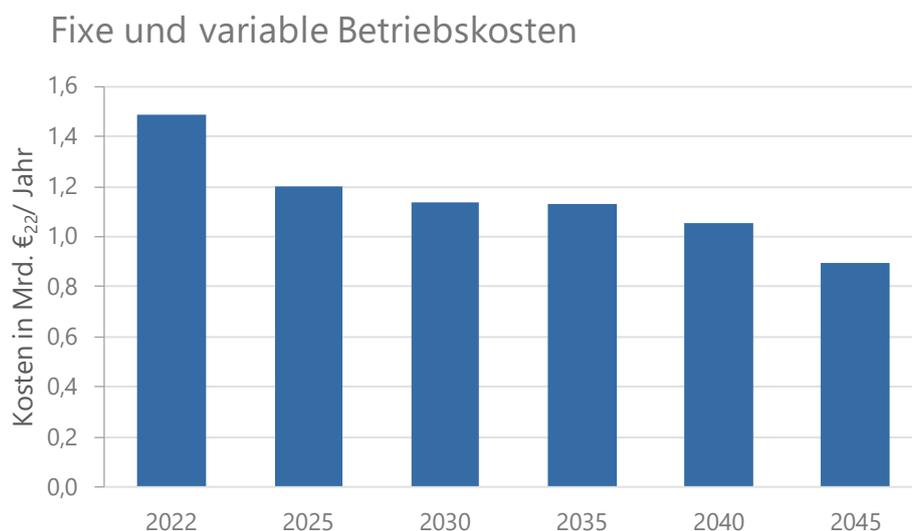


Abbildung 9-14: Jährliche Betriebskosten aller Wärmeerzeuger

Zusätzlich relevante Kosten

Durch die relevante Zunahme an Wärmepumpen und deren hoher Gleichzeitigkeit in Zeiten mit Spitzenlastbedarf ist zu erwarten, dass speziell in von Wärmepumpen dominierten Gebieten der Ausbau des Stromnetzes essenziell

ist. Die konkret zu erwartenden Netzausbaukosten werden zurzeit im Rahmen des Forschungsprojekts Grid4Electrification in enger Zusammenarbeit mit der Hochschule Augsburg, der TU München und unter Einbeziehung des Modells München sowie der Ergebnisse aus der kommunalen Wärmeplanung ermittelt, wobei das RKU ebenfalls regelmäßig an den Projekttreffen teilnimmt. Das Forschungsprojekt läuft noch bis Ende 2025. Dann können Zahlen über den zu erwartenden regional aufgelösten Netzausbaubedarf und die damit verbundenen Kosten genannt werden.

Erste Abschätzungen und Hochrechnungen der SWM auf dem aktuellen Datenstand zeigen, dass im Stromnetz Ausbaukosten von > 1 Mrd. € und ein zusätzlicher Personalbedarf von > 100 Vollzeitstellen bis 2050 zu erwarten sind, um die zusätzlichen Lasten durch die Wärmewende in das Stromnetz integrieren zu können.

Weiterhin wurden in der Studie /FFE-79 21/ zusätzlich zu den hier dargestellten Kosten auch Kosten für die Bereitstellung der Fernwärme dargestellt. Diese sind in den hier beschriebenen Kosten noch nicht enthalten, fundierte Abschätzungen hierzu liegen den SWM jedoch aus dem Transformationsplan der Fernwärme vor. Weiterhin wurden die in /FFE-79 21/ ausgewiesenen Kosten für die Kompensation von Emissionen ab dem Zieljahr der Münchener Klimaneutralität in 2035 nicht erneut berechnet. Da es hierzu bisher keine Festlegung gibt, ob, zu welchem Preis und von wem diese Emissionen kompensiert werden, sind diese hier nicht separat ausgewiesen.

Die im Folgenden dargestellten Kosten verstehen sich alle inklusive Mehrwertsteuer, für das Basisjahr 2022 und ausschließlich für die Transformation des Gebäudebestands (ohne Zubau). Eine Übersicht der Kosten für ganz München, durchschnittlich je Gebäude und annuitätisch, ist in Tabelle 9-1 enthalten. Hierbei ist zu beachten, dass die durchschnittlichen Kosten bezogen auf alle Gebäude in München dargelegt sind, allerdings in Summe nur ca. 60 % der Gebäude wirklich saniert werden und diese Kosten somit nur für diese Gebäude anfallen. Um das Zielszenario zu erreichen, sind gemäß der Szenarioergebnisse bis 2045 Investitionen in die verbauten Heizsysteme von ca. 3,6 Mrd. € notwendig, bzw. ca. 16,6 Tsd. € pro Gebäude in München. Nach Abzug der erarbeiteten Szenarien zur Entwicklung der Bundesförderung für effiziente Gebäude und dem Münchener Förderprogramm Klimaneutrale Gebäude belaufen sich die von den Gebäudeeigentümer:innen zu zahlenden Investitionen auf ca. 2,6 Mrd. € bzw. ca. 11,7 Tsd. € pro Gebäude in München.

Die Vollkosten für die Sanierung der Gebäudehülle gehen mit ca. 27,0 Mrd. € einher bzw. ca. 124 Tsd. € pro Gebäude. Nach den angenommenen Entwicklungen der Förderungen durch die KfW und das Münchener Förderprogramm Klimaneutrale Gebäude ca. 24,2 Mrd. € bzw. 110,8 Tsd. € durchschnittlich pro Gebäude. Während die Vollkosten auch die Kosten enthalten, welche im Rahmen einer normalen Modernisierung des Gebäudes auftreten (z. B. Farbe zum Streichen, Aufstellen des Gerüsts), beinhalten die sogenannten energiebedingten Mehrkosten nur die Kosten, welche ausschließlich der energetischen Verbesserung der Gebäudehülle zuzurechnen sind. Diese belaufen sich für München auf 14,2 Mrd. € exklusiver Förderung bzw. ca. 64,9 Tsd. € pro Gebäude nach Abzug der Förderung sind dies 11,3 Mrd. € bzw. 51,5 Tsd. € pro Gebäude.

Die fixen und variablen Betriebskosten aller Gebäude in München zusammen werden in 2045 auf 892 Mio. € taxiert.

Tabelle 9-1: Übersicht zu den entstehenden Investitionen im Zielszenario

Betrachtete Kosten	Investitionen	Investitionen je Gebäude bei 218 Tsd. Gebäuden in München	Investitionen je Gebäude und Jahr (bei Heizsysteme 10 Jahre, Sanierung 40 Jahre)
Heizungstausch ohne Förderung	3,6 Mrd. €	16,6 Tsd. € / Gebäude	830 € / Gebäude / Jahr
Heizungstausch mit Förderung	2,6 Mrd. €	11,7 Tsd. € / Gebäude	580 € / Gebäude / Jahr
Vollkosten der Sanierung ohne Förderung	27,0 Mrd. €	124,0 Tsd. € / Gebäude	3,1 Tsd. € / Gebäude / Jahr
Vollkosten der Sanierung mit Förderung	24,2 Mrd. €	110,8 Tsd. € / Gebäude	2,8 Tsd. € / Gebäude / Jahr
Energiebedingte Mehrkosten ohne Förderung	14,2 Mrd. €	64,9 Tsd. € / Gebäude	1,6 Tsd. € / Gebäude / Jahr
Energiebedingte Mehrkosten mit Förderung	11,3 Mrd. €	51,5 Tsd. € / Gebäude	1,3 Tsd. € / Gebäude / Jahr
Fixe und variable Betriebskosten	892 Mio. € / Jahr ab 2045	4,1 Tsd. € / Gebäude / Jahr ab 2045	4,1 Tsd. € / Gebäude / Jahr ab 2045 Hier gleich Investitionen, da diese jährlich anfallen.

Überschlägige Kostenbewertung der Sanierung

Eine wirtschaftliche Bewertung der Sanierung auf Basis der vorliegenden Szenarioergebnisse ist nicht einfach möglich. Im Basisszenario wird die Klimaneutralität nicht erreicht, somit widerspricht dieses den Anforderungen der deutschen Zielsetzung und es kann eigentlich nicht als Vergleich herangezogen werden. Eine andere Möglichkeit zum Abgleich der Kosteneinsparung durch die Sanierung ist eine Bestimmung der Betriebskosten bei gleichem gesamtem Endenergiebedarf in 2045 wie im Basisjahr, aber unter Annahme einer Aufteilung der genutzten klimaneutralen Wärmequellen aus 2045. Hierbei ist zu beachten, dass teilweise der Einsatz der klimaneutralen Technologien erst nach Umsetzung einer Sanierung möglich ist und somit der aktuelle Endenergiebedarf gar nicht gedeckt werden könnte. Damit ist auch dies als Vergleichsszenario schwierig, die folgenden Kennzahlen dienen damit nur dem Ziel, ein Gefühl für die Relationen zu entwickeln.

Im Basisszenario liegen die Betriebskosten um 319 Mio. € pro Jahr höher als im Zielszenario, wobei im Basisszenario trotzdem energiebedingte Mehrkosten in Höhe von 4,1 Mrd. € entstehen. Zieht man diese Kosten von den energiebedingten Mehrkosten im Zielszenario ab, verbleibt eine Differenz von 10,1 Mrd. € bzw. 252 Mio. € pro Jahr. Die Kosten der Sanierung liegen somit unter den Mehrkosten der Betriebskosten.

Im Zielszenario sinkt der Endenergiebedarf in den Szenarien bis 2045 um ca. 30 %. Bei einer Erhöhung der Betriebskosten in 2045 um diesen Anteil lägen diese für ganz München bei 1.159 Mio. € / Jahr statt 892 Mio. € / Jahr und somit 268 Mio. € / Jahr höher. Die annuitätischen energiebedingten Mehrkosten der Sanierung für ganz München liegen im Vergleich dazu in 2045 ohne Abzug der Förderung bei 354 Mio. € (14,2 Mrd. € abgeschrieben über 40 Jahre) bzw. nach Abzug der angenommenen Förderung bei 282 Mio. € (11,3 Mrd. € abgeschrieben über 40 Jahre). Somit sind die annuitätischen Kosten der Sanierung im Zielszenario nur minimal höher als die eingesparten Betriebskosten, wobei ohne Sanierung die Erreichung der Klimaziele wahrscheinlich nicht möglich ist. Hierdurch relativieren sich die Kosten der Sanierung. Zu beachten ist jedoch, dass

sich bei einzelnen Gebäuden diese Kennzahlen unterscheiden, da nicht alle Gebäude gleichermaßen saniert werden müssen

9.6 Abgleich der Ergebnisse mit denen aus der Vorgängerstudie

In diesem Kapitel wird der Fokus darauf gelegt, welche unterschiedlichen Erkenntnisse aus den Modellierungen im Projekt „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ und dem hier dokumentierten Projekt „Wärmestrategie München“ gezogen werden können. Ein Abgleich der Rahmenbedingungen der Analysen für verschiedene Ebenen findet sich in Kapitel 3. Für eine bessere Vergleichbarkeit mit den Werten aus dem Projektbericht des Vorgängerprojektes wird hier auf die Simulationsergebnisse bis 2050 zurückgegriffen.

Logik der Modellierung

In der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ wurde zur Simulation der Wärmetransformation ein Stock-and-flow-Modell erarbeitet. In diesem wurde je Eignungsgebiet klar vorgegeben, wie hoch der Anteil der zu sanierenden Gebäude ist, mit welcher Sanierungstiefe diese sanieren und wie schnell die Heizsysteme zu einer klimaneutralen Alternative gewechselt werden. So konnten die Entwicklungen meist gut vorab prognostiziert werden. Im genutzten Modell von e-think können in der grundlegenden Ausgestaltung die Akteure selbst entscheiden, welches Heizsystem sie verwenden und welche Sanierung stattfindet. Diese angedachte komplette Entscheidungsfreiheit der Akteure wurde zur Erreichung der Klimaneutralität in der durchgeführten Modellierung jedoch eingeschränkt. Hierdurch wurden die Modelle in gewissem Rahmen aneinander angenähert, nichtsdestotrotz arbeiten die Modelle unterschiedlich.

Energetische Entwicklung

Einen Abgleich zur Entwicklung des Endenergiebedarfes nach Stützjahr aus den beiden Studien „Klimaneutrale Wärme München 2035“ und „Wärmestrategie München“ ist in Abbildung 9-15 enthalten. Trotz gleicher Sanierungsraten und ähnlicher Sanierungstiefen ergeben sich in „Wärmestrategie München“ mit einer Reduktion des Endenergiebedarfes für die Wärmebereitstellung auf 72 % geringere Einsparungen als in „Klimaneutrale Wärme München 2045“ mit einer Reduktion auf 64 %. Gemäß e-think ist dies dem Umstand geschuldet, dass in dem Modell München nicht nur bei denkmalgeschützten Gebäuden Sanierungsrestriktionen hinterlegt sind, sondern auch bei anderen Gebäuden, die gemäß der Grundlagendaten aktuell einen spezifisch sehr hohen Bedarf haben.

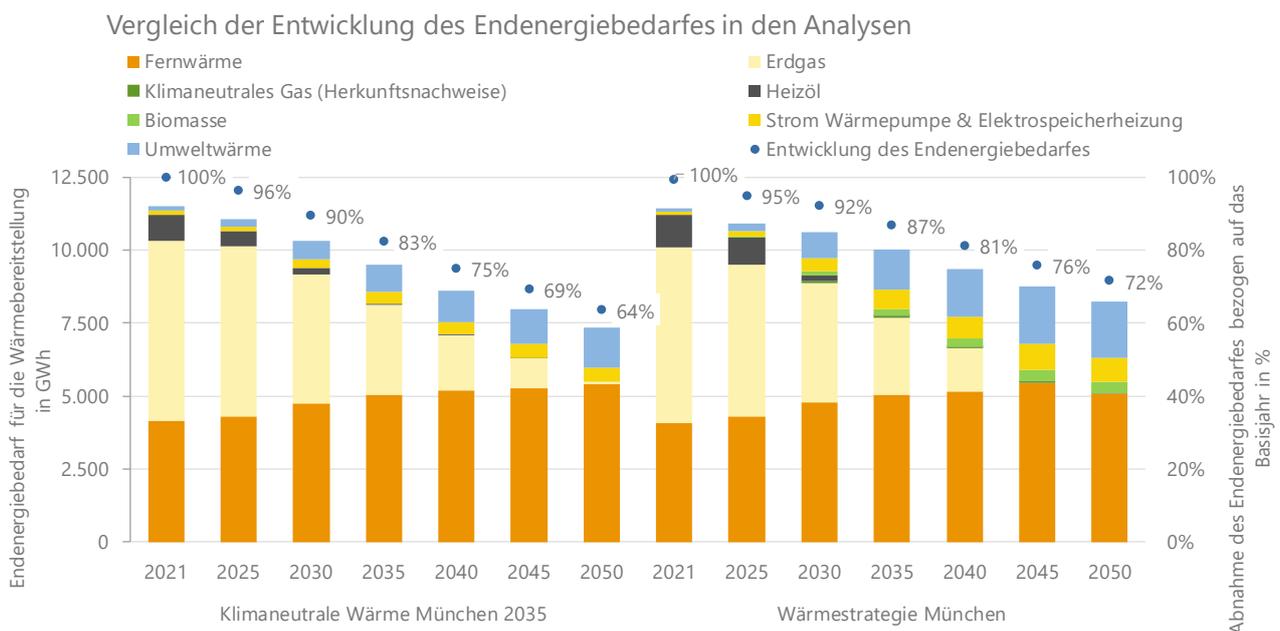


Abbildung 9-15: Entwicklung des wärmebedingten Endenergiebedarfes in den Zielszenarien aus „Klimaneutrale Wärme München 2035“ und „Wärmestrategie München“

Aufteilung der Endenergieträger

Der Effekt der im Folgenden genannten Anpassungen auf die Entwicklung der Zusammensetzung des Endenergiebedarfes in 2045 ist in Abbildung 9-15 enthalten.

Weiterhin liegen die Gebäudedaten in „Wärmestrategie München“ gebäudescharf vor. Die Potenzialdaten stehen je Flurstück oder Baublock zur Verfügung. In der Vorgängerstudie lagen zwar Gebäudedaten auf der gleichen Ebene vor, jedoch in einem älteren Stand mit geringerer Qualität und ohne die reale Zuordnung der Heizsysteme und Wärmebedarfe zu den Gebäuden. Weiterhin waren die Potenziale auf einem älteren Stand und lagen der FfE nur auf Ebene der Postleitzahlen vor. Zudem gab es nur ältere und qualitative weniger gute Analysen zu Grundwasser- und Luft-Wärmepumpen, während zur oberflächennahen Geothermie über Nutzung von Sonden und Kollektoren noch keine Potenziale vorlagen. In /FFE-79 21/ wurden die gebäudeseitigen Simulationen durchgeführt und danach abgeglichen, ob das Potenzial für Wärmepumpen je Postleitzahlengebiet reicht. Da das Potenzial hierbei immer größer war, als der verbleibende Endenergiebedarf, wurde vereinfacht abgeleitet, dass alle Gebäude mit einer Wärmepumpe versorgt werden können.

Wie in /FFE-79 21/ erwartet, zeigt sich mit den neueren Daten, dass es auch im primär dezentral zu versorgenden Gebiet durchaus Gebäude gibt, die kein eigenes Potenzial für die Nutzung von Wärmepumpen besitzen. Daher spielen Nahwärmenetze in den neueren Analysen eine relevante Rolle und auch Biomasse wird teilweise eingesetzt werden, damit sich einzelne Gebäude, die kein Potenzial haben und keine Möglichkeit, netzbasiert versorgt zu werden, ohne fossile Energieträger versorgt werden können.

In /FFE-79 21/ wurde angenommen, dass gemäß Zeitverzug zwischen der Festlegung einer neuen Regelung und deren praktischer Umsetzbarkeit erst ab dem Jahr 2026 bei jedem Heizsystemwechsel von fossilen auf erneuerbare Wärmeerzeuger umgestellt werden muss. In Anlehnung an das GEG 2024 gilt die Anforderung der Einhaltung von 65 % erneuerbare Wärme, wobei der Zeitpunkt des Inkrafttretens von der Verabschiedung der Wärmepolitik abhängt. In „Wärmestrategie München“ wurde als Startjahr der Erfüllung dieser Anforderung vereinfacht das Jahr 2024 angesetzt, womit zwei wertvolle Jahre für die Beschleunigung der Umsetzung gewonnen wurden. Während im Zielszenario in „Wärmestrategie München“ zum Verbotstermin fossiler Heizungen in 2045 eine Beschleunigung des Transformationsprozesses zu sehen ist, war eine entsprechende Beschleunigung in „Klimaneutrale Wärme München 2035“ nicht implementiert. Dies ist u. a. damit zu begründen, dass die Bundesgesetzgebung die Klimaneutralität Deutschlands zu diesem Zeitpunkt erst im Jahr 2050 vorgesehen hat.

Der in „Wärmestrategie München“ 2045 erreichte Endenergiebedarf der Fernwärme von ca. 5.410 GWh liegt gleichauf mit dem in „Klimaneutrale Wärme München 2035“ in 2050 maximal erreichten Fernwärmeezeugung. Daher wird der Großteil des nun höher liegenden Endenergiebedarfes über zusätzliche Wärmepumpen bereitgestellt und zu einem kleinen Teil über Biomasse. Die Kombination aus einer höheren durchschnittlichen Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von 3,6 in /FFE-79 21/ gegenüber 3,2 mit den Modellierungen in „Wärmestrategie München“ und dem gesteigerten Endenergiebedarf in „Wärmestrategie München“ ergibt eine Erhöhung des Strombedarfes der Wärmepumpen in 2045 von 460 GWh in /FFE-79 21/ auf 880 GWh in „Wärmestrategie München“.

Entwicklung der Emissionen

In Abbildung 9-16 ist ein Vergleich der Entwicklungen der Emissionen zwischen der hier dargestellten Studie „Wärmestrategie München“ und dem Szenario Fokus Fernwärme aus der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ dargelegt. Bis 2030 sinken in /FFE-79 21/ die Emissionen leicht stärker. Dies liegt bis 2030 an der stärkeren Absenkung des Einsatzes von Heizöl in /FFE-79 21/ (siehe „Energetische Entwicklung“).

Ab 2035 sind die Emissionen in /FFE-79 21/ höher, obwohl der Endenergiebedarf stärker sinkt. Zunächst ist festzuhalten, dass die stärkere Absenkung des Endenergiebedarfes für die insgesamt resultierenden Emissionen kaum ins Gewicht fällt, da die Sanierung an einen Energieträgerwechsel hin zu klimaneutralen Wärmequellen gekoppelt ist. Damit wird der Endenergiebedarf leicht stärker reduziert, der Effekt auf die Emissionen ist jedoch noch geringer bis nicht relevant. Die geringeren Emissionen ab 2035 in „Wärmestrategie München“ sind vielmehr damit begründet, dass ein geringerer wärmebedingter Erdgasbedarf vorliegt und stattdessen schon ein größerer Anteil des Wärmebedarfes über strom- und biomassebasierte Technologien bereitgestellt wird. Dies zieht sich weiter in die abschließenden Jahre der Simulation in denen in /FFE-79 21/ noch länger fossile Energieträger für die Wärmebereitstellung eingesetzt werden als in „Wärmestrategie München“.

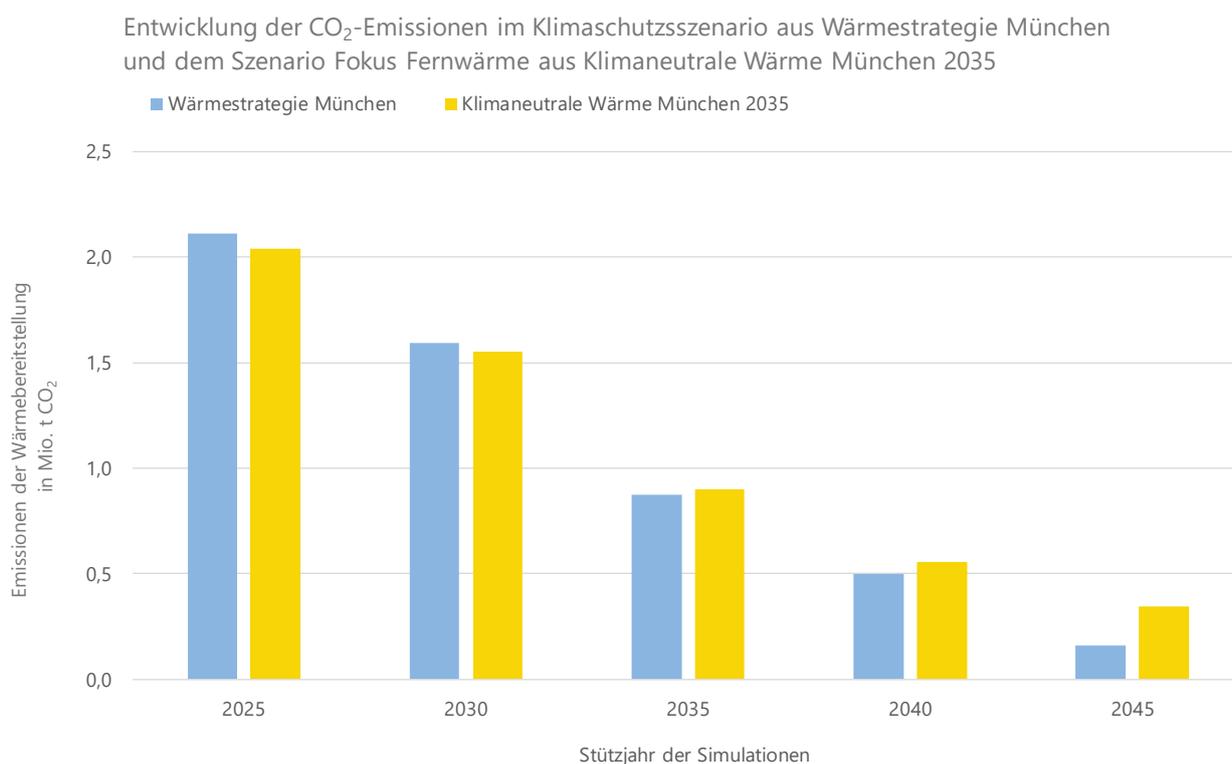


Abbildung 9-16: Vergleich der resultierenden Emissionen in den Studien „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ bzw. „Wärmestrategie München“

Abgleich der Sanierungskosten im Zielszenario

Aus den Ergebnissen der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ wurden im Bericht ausschließlich die energiebedingten Mehrkosten der Sanierung ohne Einbezug der Mehrwertsteuer, aber nach Abzug der Förderung ausgegeben. Diese beliefen sich auf ca. 3,3 Mrd. € bis 2050 in den zielorientierten Szenarien. Die Vollkosten der Sanierung ohne Abzug der Förderung wurden bis 2050 mit 17,2 Mrd. € beziffert. In der Studie „Wärmestrategie München“ werden nun Vollkosten der Sanierung in Höhe von 34,9 Mrd. € bis 2050 ausgewiesen. Der Unterschied ergibt sich aus folgenden Faktoren:

Die Inflation von 2019 (Basisjahr für „Klimaneutrale Wärme München 2035“) auf 2022 (Basisjahr für „Wärmestrategie München“) betrug ca. 30 %. In den neuen Simulationen ist ein Großstadtaufschlag von 15 % für die Sanierungskosten integriert. Zudem ist in den Ergebnissen in „Wärmestrategie München“ immer die Mehrwertsteuer (19 %) bereits enthalten.

Weiterhin wurde in „Klimaneutrale Wärme München 2035“ die damals bei den SWM vorhandenen Gebäudedaten verwendet und aufbereitet (Details zum Unterschied siehe Kapitel 5.2). Wichtig für das Verständnis der Ergebnisse ist, dass aufgrund der geringeren gesamten Gebäudefläche in den Modellierungen in der Vorgängerstudie auch die sanierte Fläche geringer ist und somit die hiermit einhergehenden Sanierungskosten. Der Vollständigkeit halber sei folgender Aspekt erwähnt, auch wenn dieser von untergeordneter Bedeutung ist: In „Klimaneutrale Wärme München 2035“ wurde die Sanierungsrate immer auf den Gebäudebestand im Basisjahr bezogen, im Modell München jedoch auf die in dem Jahr vorhandene Gebäudefläche. In Summe resultiert hieraus, dass in der Vorgängerstudie ca. 48 Mio. m² Energiebezugsfläche saniert wurden, in „Wärmestrategie München“ sind es hingegen ca. 57 Mio. m² und somit ca. 20 % mehr.

Wenn man diese Anpassungen in die Ergebnisse der Vorgängerstudie einbezieht, so erhält man ebenfalls Sanierungsvollkosten (inklusive Mehrwertsteuer, ohne Abzug der Förderung) von ca. 36 Mrd. €. Gleich verhält es sich bei den energiebedingten Mehrkosten. Hierzu ergeben sich in „Wärmestrategie München“ bis 2050 ca. 18 Mrd. €. Bei gleichen Betrachtungsweisen ergeben sich aus „Klimaneutrale Wärme München 2035“ ebenfalls Kosten von ca. 18 Mrd. €.

Somit scheinen die Ergebnisse unterschiedlich zu sein, dies liegt jedoch am Betrachtungszeitraum, den geänderten Rahmenbedingungen und den hinterlegten Annahmen in den Modellen.

Abgleich der Kosten für Heizsysteme im Zielszenario

In den neuen Modellberechnungen werden Kosten für die Installation der zukunftsfähigen Heizsysteme bis 2045 von ca. 3,6 Mrd. € ausgewiesen (Preisbasis 2022, inkl. MwSt und inkl. Aufschlag für München). In /FFE-79 21/ lagen diese Kosten nur leicht darunter mit etwa 3,3 Mrd. € (Preisbasis 2020, exkl. MwSt und exkl. Aufschlag für München) als Mittelwert aus den beiden zielorientierten Szenarien. Da der Großteil der hier betrachteten Investitionen die Wärmepumpen betrifft (in /FFE-79 21/ ca. 86 % Wärmepumpen und 14 % Hausübergabestationen), ist in Abbildung 9-17 und Abbildung 9-18 ein visueller Abgleich der in /FFE-79 21/ und „Wärmestrategie München“ genutzten Kostenfunktionen mit der jeweils verwendeten Kostenbetrachtung enthalten.

Trotz unterschiedlicher Rahmenbedingungen der Betrachtung liegen die Kosten bei gleicher Leistung in einer ähnlichen Größenordnung. Bei kleinen Luft-Wärmepumpen und großen Grundwasser-Wärmepumpen liegen die neuen Kostenfunktionen sogar unterhalb der in /FFE-79 21/ genutzten Kostenfunktionen. Der Effekt kann damit begründet werden, dass sich die Kostenreduktion bei Wärmepumpen schneller eingestellt hat, als dies in der in /FFE-79 21/ verwendeten Literaturgrundlage angenommen wurde.

Dieser Unterschied zeigt vor allem, dass hier eine große Unsicherheit besteht und die Kosten auch bei der Überarbeitung des Wärmeplans erneut validiert werden sollten.

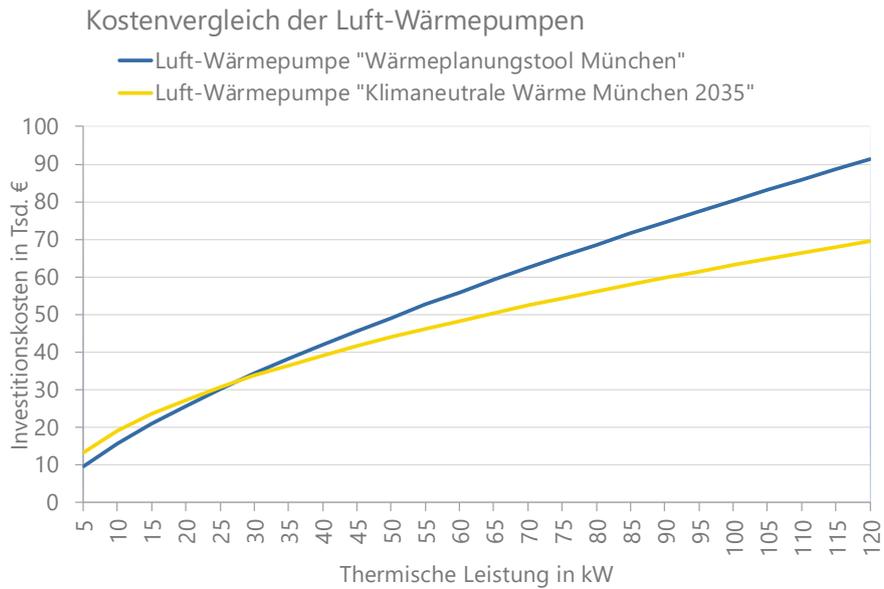


Abbildung 9-17: Vergleich der angesetzten Investitionen in Luft-Wärmepumpe in den Studien „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ bzw. „Wärmestrategie München“

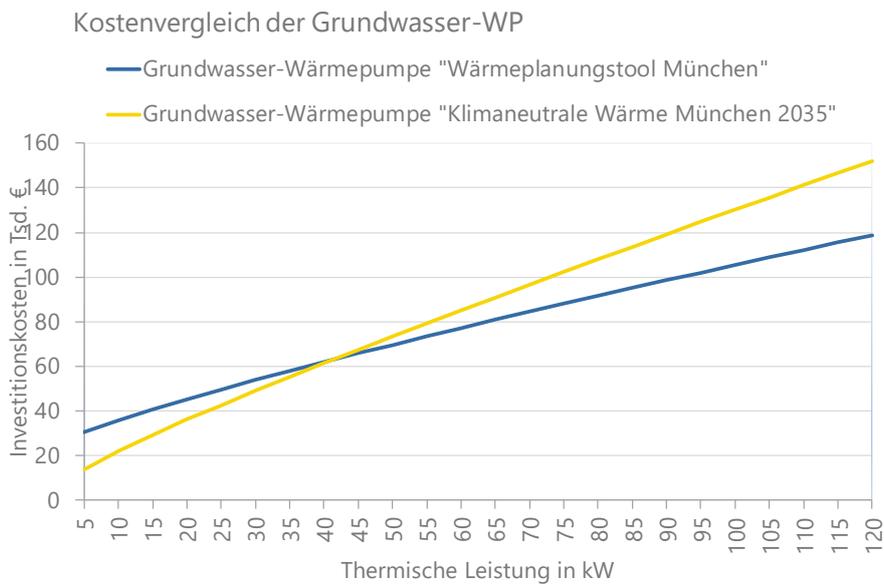


Abbildung 9-18: Vergleich der angesetzten Investitionen in Grundwasser-Wärmepumpe in den Studien „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ bzw. „Wärmestrategie München“

10 Fachkräftebedarf der Wärmewende in München

Zurzeit wird in thematisch unterschiedlichen Diskussionen, z. B. bezogen auf Krankenhäuser, Kindergärten, Pflege und im Kontext der Energiewende, häufig der Personalmangel als Grund für Verzögerungen genannt, dies gilt auch bei der Wärmewende. Damit die Wärmewende in München umgesetzt werden kann, ist neben den durchgeführten Analysen zu den regional am besten geeigneten Technologien für die Wärmeversorgung eine Quantifizierung der benötigten Kapazitäten für die Umsetzung essenziell. Daher sollte im Rahmen des Projektes der Fachkräftebedarf je Kompetenzbereich im Handwerk und in Genehmigungsbehörden zur Umsetzung der Wärmewende abgeschätzt werden. Hierzu sollten die im Rahmen des FfE-Projektes „Personalbedarfe Wärmewende“ (beauftragt durch MVV, Stadtwerke Heidelberg und Technische Werke Ludwigshafen) erarbeiteten Kenndaten für die Metropolregion Rhein-Neckar herangezogen werden. Diese sollten zunächst auf München angepasst und dann zur Bestimmung des Personalbedarfes für die Münchener Wärmewende genutzt werden.

Leider hat die geplante Form der Erarbeitung der Kennzahlen weder für die Metropolregion Rhein-Neckar noch für München zum Erfolg geführt. Ein Überblick zur Methodik und den aufgetretenen Problemen findet sich in Kapitel 10.1. Die Ergebnisse einer angelehnten Metastudienanalyse sind in Kapitel 10.2 dargestellt. In Kapitel 10.3 sind im Projekt diskutierte übergeordnete Hemmnisse und Handlungsempfehlungen für die Fachkräftesicherung enthalten. Abgeleitete Implikationen für den weiteren Umgang hierzu in München sind in Kapitel 10.4 dargestellt. In /HIC-01 23/ findet sich eine Maßnahme „Fachkräftesicherung“ mit Vorschlägen für die Stadt München.

10.1 Erhebung der Personalbedarfe

Im Folgenden werden Ziel, geplantes methodisches Vorgehen und die Herausforderungen in der Umsetzung des Projektes „Personalbedarfe Wärmewende“ beschrieben.

Ziel der Studie

Das übergeordnete Ziel der Studie bestand darin, den Personalbedarf für die Umsetzung der Wärmewende in der Metropolregion Rhein-Neckar mit Fokus auf die Städte Heidelberg, Ludwigshafen und Mannheim zu bestimmen, eine ggf. auftretende Lücke gegenüber den verfügbaren Personalkapazitäten zu bestimmen und hieraus in einem Stakeholderprozess konkrete Maßnahmen abzuleiten. Hierbei wurden explizit die Personalbedarfe sowohl für die benötigten Planungen und Genehmigungen als auch für die konkrete Umsetzung eingeschlossen. Eine illustrative Darstellung des angestrebten Ergebnisses ist in Abbildung 10-1 enthalten.

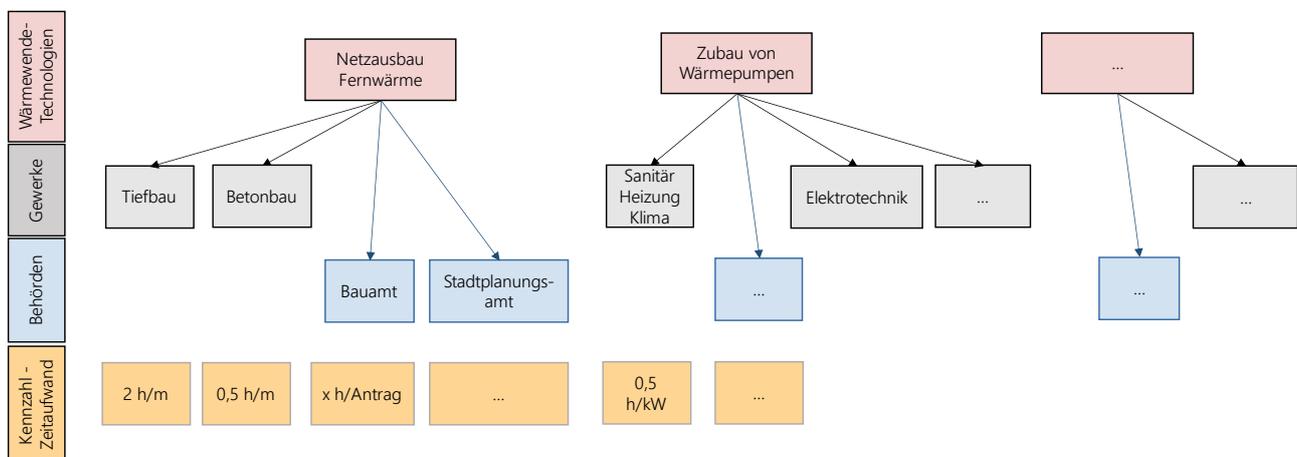


Abbildung 10-1: Angestrebte Differenzierung der erarbeiteten Kennzahlen

Methodische Vorgehensweise und Herausforderungen

Das stufenweise methodische Vorgehen zur Bestimmung der Kennzahlen ist in Abbildung 10-2 visuell aufbereitet und wird danach schrittweise erläutert.

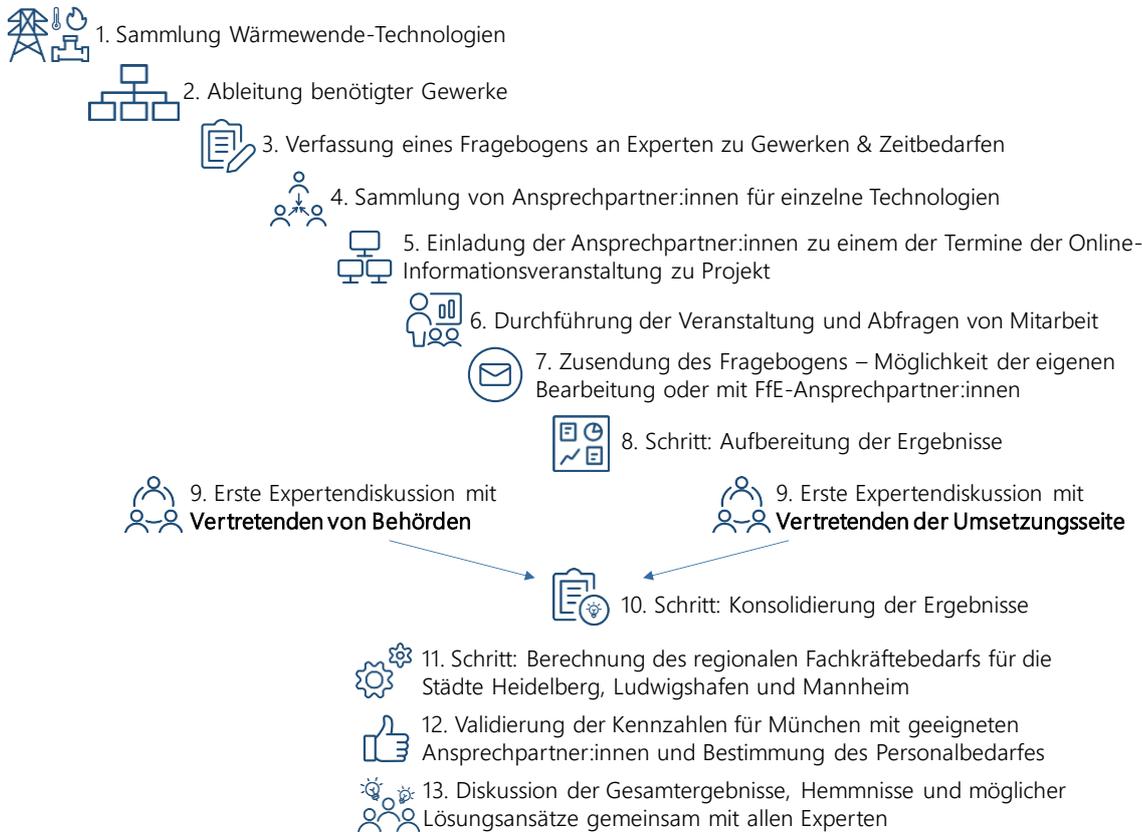


Abbildung 10-2: Angestrebtes Vorgehen zur Ermittlung der Kennzahlen

Zur Erreichung des Zieles wurden im ersten Schritt die relevanten Gewerke, welche typischerweise für die Umsetzung einzelner Wärmewende-Technologien benötigt werden, strukturiert aufbereitet und die Übersicht mit Umsetzenden validiert. Der Fokus hierbei lag auf den neun technischen Komponenten: Energetische Gebäudesanierung, Stromnetzausbau, Fernwärme-Verteilung, Fernwärme-Hausanschluss, Fernwärme-Hausübergabestationen, Luft-Wärmepumpe, Erdwärmepumpe (Kollektorfelder), Erdwärmepumpe (Grundwasserbohrungen) und Pelletkessel. Dieser Schritt war wichtig, um gezielt aus allen relevanten Bereichen geeignete Ansprechpartner:innen zu kontaktieren. Mit diesen sollte anhand eines erarbeiteten Fragebogens eine Abschätzung zum zeitlichen Aufwand für einzelne Teilschritte zur Fertigstellung der genannten Technologien abgestimmt werden. Dieser Fragebogen wurde vorab durch private Kontakte aus dem Bereich Handwerk auf Verständlichkeit und Dauer zum Ausfüllen geprüft.

Um die Motivation zur Unterstützung des Projektes zu steigern, wurden die identifizierten Ansprechpartner:innen vor Zusendung des Fragebogens zu einer Online-Informationsveranstaltung zum Projekt eingeladen (teilweise telefonisch bzw. per E-Mail). Diese Einladung wurde in einige Fällen bereits weiter geleitet. In der Veranstaltung, welche zur leichteren Zugänglichkeit auch als Video online verfügbar ist, wurden das Ziel, die gewünschte Form der Unterstützung durch die Ansprechpartner:innen sowie die Struktur des Fragebogens diskutiert. Im Nachgang zur Veranstaltung wurde der Fragebogen an Personen übermittelt, welche sich geeignet fühlten und bereit waren, diesen auszufüllen, inklusive des Angebotes der FfE, diesen gemeinsam auszufüllen.

Nach Zusendung der ausgefüllten Fragebögen an die FfE sollten diese auf Konsistenz in sich und untereinander geprüft, eventuelle Rückfragen mit einzelnen Personen geklärt und allgemein gültige Kennzahlen zum spezifischen Personalbedarf für die Technologien abgeleitet werden. Nach Diskussion der Erkenntnisse mit

Fachleuten sollten diese wiederum mit den Wärmewende-Strategien der Städte verschnitten werden, um den gesamten Fachkräftebedarf je Stadt, Fachbereich und Ausbildungsniveau herzuleiten. Die finalen, quantitativen Ergebnisse sollten schlussendlich mit den aktuell vorhandenen Handwerker:innen abgeglichen werden, um die wahrscheinlich auftretende Differenz mit Umsetzer:innen und politischen Gremien diskutieren zu können. Hieraus sollten zeitlich gestaffelte Maßnahmen nach Fachbereich und Stadt abgeleitet werden können.

Als Nebeneffekt des Stakeholder-Dialoges zu den Kennzahlen sollte das Thema in den Diskussionen auf eine quantitative Ebene gehoben und bei den Ansprechpartner:innen auf das Thema aufmerksam gemacht werden.

Herausforderungen und Rücklaufquote

In der Kontaktphase für den Online-Termin haben sich bereits die ersten relevanten Herausforderungen gezeigt. Zum einen war den kontaktierten Personen für den Online-Informationstermin häufig nicht klar, ob sie selbst die richtigen Ansprechpartner:innen seien. Hierdurch ergab sich ein relevanter Zeitverzug für die Nennung der geeigneten Personen. Dies konnte meist erst nach mehrfachem Anfragen geklärt werden. In den Online-Informationsveranstaltungen haben sich nur einzelne Ansprechpartner:innen als geeignete Person zur Bearbeitung des Fragebogens gesehen, die meisten haben jedoch an andere Personen verwiesen oder mitgeteilt, dass sie nicht die richtigen Ansprechpartner:innen seien.

Von den insgesamt 83 angesprochenen Personen in der Metropolregion Rhein-Neckar haben 19 Personen an den drei Informationsveranstaltungen teilgenommen. Hiervon haben wiederum 17 Personen zugesagt, einen Fragebogen auszufüllen bzw. wollten diesen weiterleiten. Bis zur Veröffentlichung dieses Berichtes sind 9 Fragebögen eingegangen davon 7 Fragebögen in ausreichender Qualität., wobei sich die angegebenen Kennzahlen relevant unterschieden.

Aufgrund der niedrigen Rücklaufquote wurden durch die FfE mit SWM und LHM Kontakte für die Erhebung der angestrebten Kennzahlen in München zusammengestellt. Von den 16 telefonisch angesprochenen Personen im Münchener Umfeld liegen bis zur Veröffentlichung dieses Berichtes 4 ausgefüllte Fragebögen vor.

Gründe für die geringe Resonanz und Möglichkeiten zur künftigen Auflösung

Im Rahmen der ersten Ansprachen wurde klar, dass es für das Thema „Fachkräftesicherung“ aktuell noch entweder an klarer Verantwortung fehlt oder diese den kontaktierten Ansprechpartner:innen nicht klar ist. Es scheint auch eine große Vorsicht zu herrschen, sich auf entsprechende Kennzahlen festzulegen, da man nachher ggf. an diesen gemessen werden könnte. Bisher werden in vielen Bereichen der Wirtschaft Engpässe bei Personalbedarfen tendenziell nicht mittelfristig / langfristig strategisch analysiert, sondern Stellen ausgeschrieben, wenn kurzfristig entsprechender Bedarf herrscht. Die angestrebte Analyse sollte hingegen weit in die Zukunft blicken, was aufgrund der vielen Einflussfaktoren für die künftige Entwicklung des Zeitaufwandes ggf. zu Verunsicherung bei den Ansprechpartner:innen geführt hat.

Der aktuell bereits teilweise bestehende und sich ggf. weiter verstärkende Fachkräftemangel ist ein politisch heikles Thema, da hiermit eine Fehlplanung impliziert wird. Es war zwar nicht das Ziel der Studie, solche Fehler zu benennen, sondern die Herausforderung neutral quantitativ greifbar zu machen, dies wurde jedoch eventuell nicht entsprechend aufgenommen.

Vor Versendung der Fragebögen wurden diese mit den Ansprechpersonen diskutiert, das Ausfüllen hat hierbei ca. 30 Minuten in Anspruch genommen. Allen wurde angeboten, den Fragebogen gemeinsam auszufüllen, dies wurde aber in keinem Fall in Anspruch genommen. Somit ist es wahrscheinlich, dass einige Personen durch den Fragebogen abgeschreckt wurden. Aus eigenen Erfahrungen werden entsprechende Fragebögen „eben kurz“ ausgefüllt und wenn es beim ersten Blick mehr Arbeit ist, werden diese zunächst zur Seite gelegt. Diese Ablage endet tendenziell damit, dass die Fragebögen nicht mehr angeschaut werden. Mögliche Lösungsansätze hierzu werden in Kapitel 10.4 beschrieben.

Das Projekt war über einen Zeitraum von 6 Monaten ausgelegt und mit einem personell fixen Aufwand ausgestattet. Die lange Dauer bis zum Rücklauf von Ergebnissen sowie das notwendige Nachhaken haben dann jedoch eine Verlängerung notwendig gemacht. Durch das häufige Nachfragen entstand ein erheblicher Aufwand, so dass dann nicht mehr ausreichende Kapazitäten zur Verfügung standen, um auf viele weitere "Ersatz-Ansprechpartner:innen" zugehen zu können. Somit hätten möglicherweise mehr personelle Kapazitäten beim bearbeitenden Konsortiums dazu geführt, dass Nachfragen intensiver hätten getätigt werden können und somit eine erhöhte Rücklaufquote erreicht worden wäre.

10.2 Abgleich mit Ergebnissen aus der Metastudienanalyse zu Personalbedarfen

Um Vergleichswerte aus anderen Studien heranziehen zu können, wurde begleitend zur Studie „Personalbedarfe Wärmewende“ eine Metastudienanalyse entsprechender Studien zum aktuellen und zukünftigen Fachkräftebedarf durchgeführt. Da in einem Teil der Studien nicht klar abgeleitet werden konnte, wie die genannten Kennzahlen erarbeitet wurden, wird hier nur auf zwei Studien /GREE-01 22/ und /IDW-05 22/ eingegangen.

Vorab ist zu erwähnen, dass gemäß /DESTATIS-34 21/ aktuell ca. 5,4 Mio. Personen im Handwerk tätig sind, davon 4,1 Mio. sozialversicherungspflichtig und 650 Tsd. geringfügig Beschäftigte.

Aktueller Fachkräftebedarf

In /IDW-05 22/ wird aus Hochrechnungen der gemeldeten offenen Stellen aus der Stellenstatistik der Bundesagentur für Arbeit und den Meldequoten aus der Stellenerhebung des Institutes für Stellenerhebung ein aktueller Fachkräftebedarf in Bereichen mit Bezug zum Ausbau der Wind und Solartechnik von 216 Tsd, wobei alle offenen Stellen in Berufen mit direktem Bezug, wie Bauelektrik-Fachkräfte und Elektrotechnik-Experten, aber auch „Hilfstätigkeiten“ wie Lagerwirtschaft einbezogen sind. Darin einbezogen sind auch Fachkräfte mit direktem Bezug zur Wärmewende von 14 Tsd. Fachkräften für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik sowie angelehnt relevante 10 Tsd. für Bauplanung und-überwachung.

Prognosen zum Fachkräftebedarf

In /GREE-01 22/ wird basierend auf dem Monitoring-Bericht der KfW /IWU-05 18/ der Personalbedarf der Wärmewende abgeschätzt. In /IWU-05 18/ wird bei typischerweise jährlichen Investitionen von 9,1 Mrd. € netto ein Beschäftigungseffekt von ca. 118.000 Personenjahren abgeschätzt, davon 60.300 in der Bauwirtschaft. Daraus wird ein Kennwert von 13 Beschäftigtenjahren pro Mio. € an Netto-Investitionen abgeleitet, welcher aufgrund der gestiegenen Baukosten von 2018 auf 2022 (gemäß /GREE-01 22/ bei 20 %) wiederum auf 11 Beschäftigtenjahre pro Mio. € an Netto-Investitionen angepasst wird.

In /GREE-01 22/ wird mit Netto-Investitionen für die Wärmeversorgung bis 2035 von 100 Mrd. €/Jahr gerechnet, woraus ein jährlicher Fachkräftebedarf von 1,1 Mio. Personen resultiert. Hierbei ist gemäß /GREE-01 22/ der anteilige Bedarf von 500 Tsd. Personen (ca. 45 % des Gesamtbedarfes) allein auf den Effekt von den Maßnahmen rund um die Wärmewende zurückzuführen, der Rest ist dagegen der ohnehin benötigte Fachkräftebedarf.

Abgleich der angesetzten Netto-Investitionen und resultierender Fachkräftebedarf

Als Vergleichswert für die Investitionen werden in /PROG-01 22/ Netto-Investitionen in die Wärmeversorgung (inkl. Wärmewende) von ca. 18 Mrd. €/ Jahr für die Wärmeversorgung bis 2045 angegeben. In /VIF-01 18/ werden mit ca. 12 - 13 Mrd. €/Jahr Netto-Investitionen bis 2050 zwar geringere Werte angenommen, diese beziehen sich jedoch auf das Basisjahr 2018, sodass diese Kosten inklusive der Inflation von 2018 auf 2022 von ca. 20 % und eines Vorzieheffektes des Jahres der Klimaneutralität auf 2045 als sehr ähnlich zu den Daten von /PROG-01 22/ sind. Hieraus resultiert mit den gleichen Kennzahlen des spezifischen Personalbedarfes wie in /GREE-01 22/ ein Gesamtbedarf von insgesamt nur 198 Tsd. Personen im Vergleich zu 1,1 Mio. Personen für die Wärmeversorgung bzw. 89 Tsd. verglichen mit 500 Tsd. für die Wärmewende.

Folgender Abgleich der Kosten erfolgt zur Einordnung, ist jedoch aufgrund eines eingeschränkten Einblicks in die durchgeführten Studien sowie die jeweils konkret enthaltenen Kostenkomponenten und deren Grundlagendaten als nicht final abgeschlossen anzusehen: Die Netto-Investitionen aus „Wärmestrategie München“ für Sanierung und Heizsysteme (ohne Investitionen in Wärmenetze und angelegte Erzeuger) liegen in Summe bei ca. 26,0 Mrd. € bis 2045 bzw. bei angepasster Preisbasis auf 2022 bei ca. 23,5 Mrd. € bis 2045. Hiermit fehlen hier zwar die Investitionen in Wärmenetze und angeschlossene Erzeuger, diese würden gemäß der Erfahrungen aus /FFE-79 21/ die Investitionen erhöhen aber nicht verdoppeln. Im Vergleich dazu werden in den Analysen für ganz Deutschland bis zur erfolgreich abgeschlossenen Wärmewende Netto-Investitionen in Höhe von 448 Mrd. € /PROG-01 22/ bzw. 1.300 Mrd. € /GREE-01 22/ ausgegeben. Damit ergibt sich bei gleicher Preisbasis ein Anteil der Kosten für die Stadt München an den Gesamtkosten von ca. 5 % verglichen mit /PROG-01 22/ bzw. ca. 2 % verglichen mit /GREE-01 22/. Im Abgleich mit einer aktuellen Bevölkerung in München von 1,6 Mio. Personen (siehe Tabelle 8-1) im Vergleich zu aktuell ca. 84,5 Mio. in Deutschland /DESTATIS-22 22/ ergibt sich ein Anteil an der Bevölkerung von leicht unter 2 %. Somit scheinen die für Deutschland abgeschätzten Kosten aus /PROG-01 22/ vergleichsweise sehr gering.

Abschätzung der Kennzahlen für München

Im Projekt wurden zwischen 2022 und 2045 durchschnittliche jährliche Netto-Investitionen für München (ohne Ausbau der Fernwärmeleitungen und Kapazitäten zur Erzeugung) von 1.122 Mio. € bestimmt mit Basisjahr 2023. Zur Konsistenz mit der Studie /GREE-01 22/ werden diese für das Basisjahr 2022 umgerechnet und liegen bei 1.020 Mio. €/Jahr. Daraus ergibt sich rechnerisch ein gesamter Fachkräftebedarf von ca. 11.220 Personen für die Wärmewende in München. Durch die Annahme des gleichen Kennwertes wie für Deutschland sind hier Verlagerungen der Arbeiten, z. B. in das Umland, oder eine Wandlung hin zum verstärkten Import vorgefertigter Waren nicht enthalten. Weiterhin sind Neubau-Aktivitäten und sonstige Infrastrukturprojekte nicht einbezogen. Für München stehen Daten über die Anzahl der Beschäftigten nach Wirtschaftsbereich zur Verfügung. Die Beschäftigtenzahlen für Handwerker im Bereich der Wärmewende im Status Quo lassen sich jedoch hieraus nicht ableiten.

10.3 Personalsicherung – Hemmnisse und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen der Besprechungen zum Ausfüllen der Fragebögen gab es einen regen Austausch zwischen FfE und den Diskussionspartner:innen. Hieraus konnte eine Vielzahl an Hemmnissen und Lösungsansätzen für die Personalsicherung abgeleitet werden. In den folgenden Tabellen sind diese thematisch zugeordnet aufgelistet und mit Literatur unterlegt. Zur Steigerung der Übersichtlichkeit wurden die Literaturschlüssel in Zahlen umgeschlüsselt, diese Umschlüsselung ist in Tabelle 10-11 enthalten.

Ein Überblick über die Anzahl der in der Recherche erarbeiteten Hemmnisse und Lösungsansätze je Themenbereich ist in Abbildung 10-3 enthalten. Diese soll aufzeigen, wie vielfältig die genannten Hemmnisse sind. Hierbei ist zu unterstreichen, dass eine hohe Anzahl an Hemmnissen in einem Bereich nicht unbedingt mit einer hohen Priorität dieser einhergeht. Weiterhin liegen, bezogen auf die Anzahl, teilweise gleich viele oder mehr Lösungsansätze als Hemmnisse vor. Dies impliziert nicht, dass in dieser Kategorie die Lösung besonders einfach ist, sondern nur, dass es verschiedene denkbare Lösungsansätze gibt.

Diverse Möglichkeiten der Vernetzung und des Wissensaustauschs und best practice Beispiele aus anderen Städten in Deutschland sind in /HIC-01 23/ beschrieben.

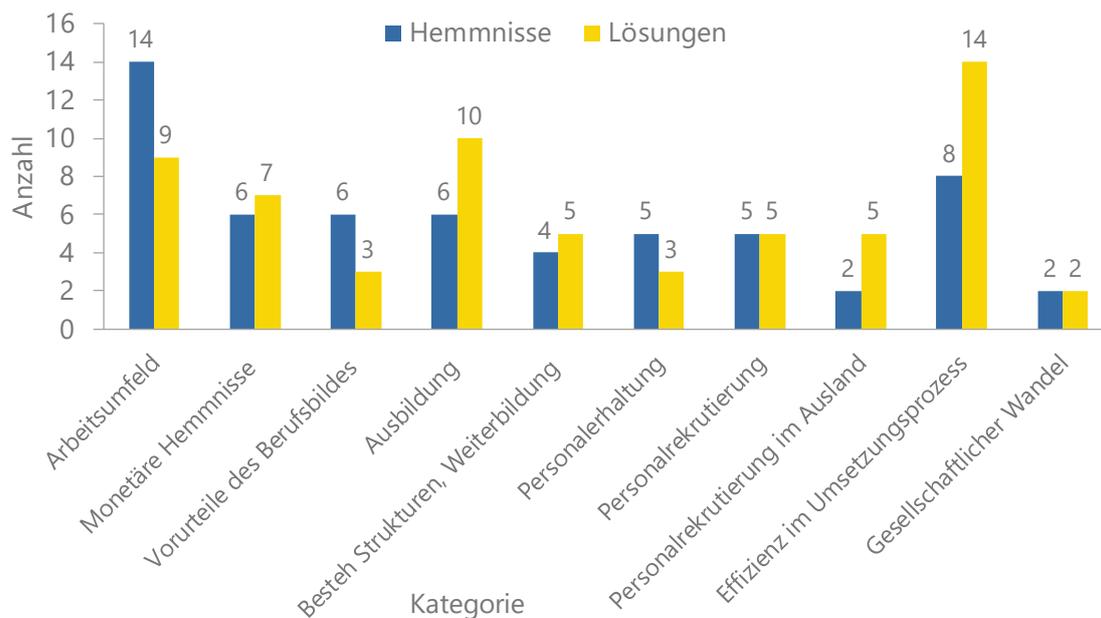


Abbildung 10-3: Anzahl gefundener Hemmnisse und Lösungsansätze zur Bereitstellung des benötigten Fachkräftebedarfes – enthält keine Priorisierung!

Tabelle 10-1: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Arbeitsumfeld

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> Lokale Erbringung von Handwerkerleistungen notwendig, keine bzw. begrenzte Auslagerung auf internationale Märkte und Dienstleister¹ Home-Office für Erledigung privater Termine eng angrenzend an die Arbeitszeit nicht möglich (z. B. Arzttermine, Reparaturen im Haus) – hierfür muss Urlaub genommen werden² Meist früher Arbeitsstart am Morgen und somit schlecht kompatibel mit familiären Aufgaben² "Generation Z" gilt als qualifiziert und flexibel, legt aber in gleichen Bereichen auch hohe Maßstäbe an ihre Arbeitgeber³ 	<ul style="list-style-type: none"> Flexible Arbeitsplatzgestaltung stärken durch Bündelung von Personen mit ähnlichen zeitlichen Einschränkungen. Anreise von privaten Terminen erleichtern (aktuell meist Start ab der Zentrale) und ggf. geeignete Kunden in der Nähe hiermit koppeln. Handwerkernetzwerk und Plattformen nutzen – Tools als Vereinfachung zum Netzwerken² Unterstützung in der Personalpolitik und -führung durch externe Beratung (z.B. über Handwerkskammern)² Bereitstellung von Lösungen für Elternzeit für Mitarbeiter:innen²
<ul style="list-style-type: none"> Notwendige Dokumentationspflichten (Bürokratie) führen zu hohem Anteil an Hintergrundarbeit, die der Kunde nicht wahrnimmt - der empfundene Zeitmangel führt zu Kundenunzufriedenheit und mangelnder Kommunikation mit dem Kunden² Frustration durch lange Genehmigungsverfahren, die zeitaufwändig sind² 	<ul style="list-style-type: none"> Einsatz digitaler Hilfsstrukturen (z. B. Terminplanung, ausgelagerte Terminvereinbarung)² Gebündelte Instanzen zur Trennung Bürokratie und Handwerk (Teilzeit Sekretariat, Energieberater als Planungsinstanz)²
<ul style="list-style-type: none"> Körperliche Anstrengung in handwerklichen Berufen¹ Ausführung harter körperlicher Arbeit schwierig für ältere Arbeitende² 	<ul style="list-style-type: none"> Stärkung Berufsimage und Arbeitgeberattraktivität (z. B. durch eine „lebenszyklusorientierte Personalpolitik“, bei der Karrierewege aufgezeigt werden)⁵ Einsatz technischer Hilfsmittel zur Unterstützung der körperlichen Arbeit (z.B. Exoskelett)⁶
<ul style="list-style-type: none"> Teilweise anstrengender Kundenkontakt als wichtiger Bestandteil des Berufes, auf den nicht explizit vorbereitet wird² Regelmäßig Schwierigkeiten mit Kunden (Bemängelungen, Unzufriedenheiten / Ansprüche der Kunden)² 	<ul style="list-style-type: none"> Entsprechende Schulungen entwickeln, die auf diese Herausforderungen eingehen.

Tabelle 10-2: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Vorurteile des Berufsbildes

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Handwerkliche Berufe wenig geeignet für Frauen² • Themen wie Elternzeit in Kleinbetrieben mit vielen Aufträgen schwierig² • Rauer Umgangston in Betrieben² • Kommunikation/ Gespräche im Betrieb oft mit diskriminierenden Themen² • Wenig geistig herausfordernde Tätigkeit, daher geringes Ansehen² • Schlechtes Image des Handwerks⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Imagekampagnen⁴ • Berufe positiv besetzen⁴ •

Tabelle 10-3: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich monetäre Hemmnisse

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Bezahlung der Mitarbeitenden im Vergleich zu studierten Tätigkeiten² • Gehalt von Handwerkern mit gleichem Beruf in KMU liegt ca. bei 36.000 € brutto, während die Gehälter in großen Unternehmen bei ca. 44.000 € brutto liegen^{7,8} • Bessere Bezahlung bei größeren Unternehmen als bei kleinen Betrieben⁷ • Schwierig, einen finanziellen Puffer aufzubauen² 	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Ausbildungsvergütung⁵ • Förderung zukunftsicheres Handwerk⁹ • Anhebung der Vergütung und damit der Angebotspreise für Arbeiten² • Angebot von freiwilligen Zusatzleistungen u. a. mit Nutzung von Steuervorteilen (z. B. private Nutzung von Dienstwagen)² • Selbstständige Handwerker verdienen deutlich besser als Angestellte in Handwerksbetrieben (z. B. selbstständiger Meister vergleichbar/besser mit Akademiker),⁸ daher prioritär generellen Verdienst angleichen. Die Förderung der Selbstständigkeit würde eine Bündelung von administrativen Aufgaben bei gezielt hierfür eingestelltem Personal konterkarieren.
<ul style="list-style-type: none"> • Geringer finanzieller Spielraum bei Handwerkern (tendenziell kein Aufbau großer Ersparnisse möglich)² • Tendenziell geringe Liquidität von Betrieben – Hierdurch langer Zeitverzug sowie schlechte Planbarkeit von Beauftragung zu Einbau von Anlagen bzw. Druck, wenn Rechnungen erst mit Verzug beglichen werden² 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschleunigung und Sicherstellung von Fördermittelauszahlung und Zahlungsflüssen¹ • Gebündelte Prozesse über Dritte zur Beschaffung von Materialien, dann kurzfristiger Abkauf (speziell Wärmepumpen und zusätzliche Aggregate)²

Tabelle 10-4: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Ausbildung

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Verstärkung des Effektes des Mangels an Fachkräften zum Einbau von Wärmewende-Technologien durch tendenziell geringe Qualität der Lehre zu dem Thema (z.B. Einbau von Wärmepumpen)⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderne, aktuelle Lehrpläne² • Praxisbezug und Kreativität schulen²
<ul style="list-style-type: none"> • Konkurrenz mit Hochschulen, da oft Entscheidung für ein Studium⁴ • Steigende Anzahl an Abiturienten, die mit ihrem Abschluss eine Ausbildung ausschließen⁴ • Hohe Akademisierung in der Stadt München, ggf. in ländlichen Regionen anders⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Imagekampagnen⁴ • Berufe positiv besetzen⁴ • Fachschulen stärken und ausbauen⁴ • Einführung verpflichtender Praktika im Handwerk¹¹ • Praktischen Bezug schaffen, z.B. „Woche des Handwerks“ in Schulen²
<ul style="list-style-type: none"> • Bewertung der Ausbildung in Bezug auf neue Technologien in Deutschland im internationalen Vergleich nicht gut¹⁰ • Je nach Ausbildungsbetrieb Lernplan der Auszubildenden nicht ausreichend im Bereich moderne Technologien (z.B. Wärmepumpen)¹⁰ 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnellere und häufigere Lehrplananpassungen für Auszubildene¹⁰ • Modernisierte Berufsausbildung¹⁰ • Quereinsteiger und angelernte Montagehelfer:innen¹

Tabelle 10-5: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich bestehende Strukturen und Weiterbildung

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Fachwissen der Monteure erforderlich, hier Umschulung zu neuen Technologien benötigt¹² • Fort- und Weiterbildungen überdurchschnittlich oft Bestandteil beruflicher Werdegänge im Bereich erneuerbare Energien, was manche Arbeitnehmer nicht wollen¹³ • Kaum Zeit für Qualifizierung der Mitarbeiter in kleinen Betrieben - Mitarbeiter wegen der hohen Nachfrage nach Gasheizungen und wegen des Handwerkermangels bereits im Dauereinsatz¹⁰ 	<ul style="list-style-type: none"> • Weiterbildung & Umschulung⁴ • Technologieoffenheit der Mitarbeiter fördern⁵ • Bereitschaft zum lebenslangen Lernen, durch bspw. Schulungen⁵ • Ergänzende und angepasste Berufsabschlüsse für die Energiewende¹
<ul style="list-style-type: none"> • Kapazitäten durch andere Dienstleistungen (Wohnungsneubau, Einbau nicht klimaneutraler Heizsysteme) besetzt¹⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung modularer, vorgefertigter Komponenten in einem Baukastensystem¹

Tabelle 10-6: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Personalerhaltung

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Vorzeitige Rente vieler Erwerbstätiger durch abschlagsfreie Rente mit 63 Jahren¹⁵ • Langfristige Schäden durch einseitige körperliche Belastung¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesunderhaltung der Beschäftigten durch Verhinderung von frühzeitigem Aussteigen aus dem Erwerbsleben (z.B. Fitnessstudio oder Physiotherapie gegen die einseitige Belastung)⁵ • Ermöglichung Erwerbsbeteiligung Älterer (z. B. durch Entlastung von körperlich beanspruchenden Tätigkeiten)⁵
<ul style="list-style-type: none"> • Konkurrenz um Fachkräfte groß, da Arbeitnehmerwechsel zu einem anderen Arbeitgeber innerhalb des Handwerks leichter als früher, aber auch Abwanderung zur Industrie¹⁵ • Imageproblem des Handwerks¹⁵ • Häufig kleine Firmen mit Chefs ohne dedizierte Ausbildung und großem Interesse für Konzentration auf Personalführung² 	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung Berufsimago und Arbeitgeberattraktivität (z. B. durch eine „Lebenszyklusorientierte Personalpolitik“, durch Aufzeigung von Karrierewegen, zur Verhinderung von Abwanderung in die Industrie)⁵

Tabelle 10-7: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Prozesse der Rekrutierung

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Unbesetzte Stellen am Markt (Handwerkerberufe mit höchstem Mangel in Deutschland) rufen große Konkurrenz in Betrieben hervor¹⁶ • Wenig Wissen bei Mitarbeiter-Akquise (v. a. bei Online-Plattformen, Marketingstrategie, etc.)¹⁷ • Keine Zeit für Mitarbeiter-Akquise in Kleinbetrieben¹⁷ 	<ul style="list-style-type: none"> • Hilfe von Online-Plattformen zur Unterstützung bei der Mitarbeitersuche² • Fachkräftegewinnung im Ausland⁴ • Nutzung von Zuwanderung¹⁹
<ul style="list-style-type: none"> • Einstufung Klempnerei, Sanitär, Heizung und Klimatechnik als Männerberuf¹⁸ • Potenzieller Arbeitsmarkt nicht groß, da aktuell primär als Männerberuf angesehen⁵ 	<ul style="list-style-type: none"> • Erschließung neuer Zielgruppen z. B. durch Qualifizierungs- und Integrationsmaßnahmen von Frauen, Menschen mit Behinderung, Migranten (z. B. Sprachkurse)⁵ • Bereitstellung einer beruflichen Perspektive und Entwicklung für Männer und Frauen gleichermaßen¹⁹ • Durchführung von Kampagnen zur Förderung von Frauen¹⁹ • Ermöglichung eines Quereinstiegs und Umschulungen zur Erschließung von neuen Zielgruppen⁴

Tabelle 10-8: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Personalrekrutierung im Ausland

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Betriebsgröße Überforderung bei Suche nach Fachkräften im Ausland (Visa, Aufenthaltsgenehmigung)⁴ • Sprachbarriere möglich, in Bezug auf Kunden und Mitarbeiter, die Dialekte oder andere Sprachen sprechen (Deutsch schwierige Sprache)² 	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung von Informationen, die Leben und Arbeiten für Ausländer erleichtern, in verschiedenen Sprachen⁴ • Zentral koordinierte Projekte, mit Unterstützung der Anwerbung aus dem Ausland (z. B. Habizu)²⁰ • Gebündeltes Angebot zur Einwanderung für Familien (Jobsuche für Partner:innen, Kinderbetreuung, Sprachförderung etc.)²¹

Tabelle 10-9: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Effizienz im Umsetzungsprozess

Hemmnisse	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Lange Bearbeitungszeiten durch fehlende Standardisierung in Genehmigungsprozessen⁴ • Fehlendes Personal in Behörden zur Durchführung von Genehmigungsprozessen²² • Entscheidungen (Bürokratie) in Behörden werden hinausgezögert²³ 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierung der Genehmigungsverfahren sowie Verwaltungsdigitalisierung²² • Personalgewinnung in Behörden z. B. durch qualifizierte Zuwanderung²² • Für effiziente und nutzerfreundliche Interaktion zwischen Bürgern und Behörden bedarf es einer Automatisierung von Prozessen²²
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Arbeitsaufwand durch fehlende Koordination bei Tiefbauarbeiten an Straßen⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Koordination und längerfristige Zeitpläne von Tiefbaumaßnahmen in Straßen⁴
<ul style="list-style-type: none"> • Schwächung der gesamtheitlichen Umsetzungskapazität durch Konkurrenz zwischen Betrieben⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> • Kooperation und gemeinsame Nutzung von Infrastruktur und unterstützenden Tätigkeiten (geteiltes Sekretariat)²
<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung alter Technologien durch hohen Mangel an Energieberatern¹⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Förderungen von Ausbildungen für Energieberatung¹ • Effiziente Kommunikations- und Lernstrukturen etablieren¹
<ul style="list-style-type: none"> • In Deutschland aufgrund noch geringer Erfahrung in den meisten Betrieben hoher Zeitaufwand bei Installation von Wärmewende-Technologien, speziell Wärmepumpen¹⁰ • Arbeiten bei der Sanierung und Baubranche oft zeitverzögert, ineffizient und zeitintensiv² 	<ul style="list-style-type: none"> • Investitionen in die Entwicklung von einfach montierbaren Geräten¹⁰ • Einführung von Start-ups mit neuen Geschäftsmodellen¹⁰ • Einsatz von Montagehelfer:innen bei der Installation¹ • Digitale Unterstützung von Aufgaben vor Ort¹ • Nutzung von modular vorgefertigten Komponenten in einem Baukastensystem¹ • Optimierung der Logistik und Beschaffung zur Verkürzung von Wartezeiten und Verzögerungen¹ • Effizienzsteigerung in Methodik, Dokumentation und Arbeitsvorbereitung²

Tabelle 10-10: Hemmnisse und Lösungsansätze zur Personalfindung aus dem Bereich Gesamtgesellschaftlicher Wandel

Hemmnisse	• Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> • Demografischer Wandel: Fehlender Nachwuchs bei gleichzeitigem Austritt der geburtenstarken Jahrgänge (Baby-Boomer) aus dem Arbeitsmarkt²⁴ • Das Verhältnis Anzahl Arbeitsstunden Männer / Frauen im Arbeitsmarkt hat sich hin zu mehr Arbeitszeit der Frauen gewandelt – Diese sind im Handwerk stark unterrepräsentiert und bei Männern steigender Anteil von Teilzeitkräften² 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesunderhaltung der Beschäftigten, durch Verhinderung von frühzeitigem Aussteigen⁵ • Erschließung neuer Zielgruppen⁵

Tabelle 10-11: Umschlüsselung der Quellen in den Tabellen zu Hemmnissen und Lösungsansätzen

Umschlüsselung der Quellen			
1. /THERM-01 23/	7. /STE-01 23/	13. /IDW-06 22/	19. /STOCK-01 22/
2. Eigene Annahmen der FfE	8. /IAB-01 20/	14. /TAG-02 23/	20. /DIE-04 23/
3. /TAG-03 23/	9. /AGORA-06 22/	15. /HAN-02 20/	21. /JOB-01 22/
4. Runder Tisch München: Fachkräftesicherung und -qualifikation im Baugewerbe	10. /WIWO-01 23/	16. /AFA-01 22/	22. /EEVG-01 22/
5. /IFEU-06 19/	11. /HAN-01 19/	17. /HAN-01 23/	23. /CGI-01 21/
6. /FHD-01 23/	12. Fragebogen und Online-Informationstermine im Projekt	18. /BMAS-01 23/	24. /VDZ-05 18/

10.4 Weiterentwicklung der Analysen und Implikationen für München

Eine genauere Beschreibung von Maßnahmen zur „Fachkräftesicherung“ und den sogenannten „Runden Tisch“ hierzu findet sich in /HIC-01 23/. Somit wird hier nur auf einzelne Aspekte eingegangen.

Aus Sicht der Projektbearbeitenden ist eine weitere Verfolgung der Analysen zur Ermittlung spezifischer Kennzahlen für die Bestimmung des Fachkräftebedarfes durchaus sinnvoll. Hierzu bedarf es allerdings einer anderen Kommunikationsform, damit abgesichert werden kann, dass die Fragebögen ausgefüllt werden. Wahrscheinlich sollten diese von vorneherein zusammen mit den zu befragenden Personen ausgefüllt werden. Im Idealfall vor Ort, da ein Teil der Umsetzer:innen vor Ort eine größere Distanz zu Online-Konferenzen hat, als dies der primär am Schreibtisch arbeitende Teil der Bevölkerung hat. Hierfür müssen entsprechende zeitliche Kapazitäten und Flexibilitäten auf der Seite der Begleiter:innen zum Ausfüllen des Fragebogens vorhanden sein. Durch diesen direkten Kontakt kann ggf. auch die eventuell vorliegende emotionale Barriere bzw. Befürchtung, dass die Daten eine „bindende Wirkung“ haben, abgesenkt werden. Weiterhin zeigt sich, dass ein Zeitbedarf von schätzungsweise mindestens einem Jahr besteht, um eine geeignete Anzahl von ausgefüllten Fragebögen zu erhalten.

Alternativ könnte bei durch die LHM und SWM durchgeführten Umsetzungsprojekten das Thema Fachkräftesicherung obligatorisch mitgedacht und genau dokumentiert werden. Nach einer gewissen Anzahl von Projekten und den dortigen Erfahrungen könnte dann vergleichend untersucht werden, wie die Fachkräftesituation verbessert werden könnte.

Beispielhaft sollten dann folgende Auswertungen möglich sein: Gemäß Praxiserfahrungen sind Wärmepumpen und Hausübergabestationen wartungsärmer als fossile Kessel und der Bedarf für einen Schornsteinfeger entfällt. Diese frei werdenden Kapazitäten könnten anhand der vorliegenden Modellierungen der Szenarien für München bestimmt werden, wenn die entsprechenden Kenndaten zum Zeitbedarf der Tätigkeiten aus Umfragen bestimmt werden. Anhand dessen kann dann bewertet werden, wie relevant die frei werdenden Kapazitäten an Personen sind und bei Relevanz im Gesamtkontext genauer überlegt werden, wie diese Kapazitäten in die Installation der gewünschten Geräte gelenkt werden können.

11 Einordnung der Szenarioergebnisse und abgeleitete Erkenntnisse

Im Folgenden werden zunächst Erkenntnisse aus den Analysen im Projekt dargestellt. Anschließend werden Aspekte aus weitergehenden Analysen mit dem genutzten Modell ergänzt. Weitere Analyseschritte, um den Erkenntnisgewinn zu steigern bzw. abzusichern, sind in Kapitel 12 enthalten.

Ableitungen aus den durchgeführten Analysen

Übergeordnet lässt sich für beide Szenarien festhalten, dass die eingebettete Regelung eines Mindestanteils von 65 % erneuerbarer Energie beim Heizungstausch auch im Basisszenario einen signifikanten Hebel in Richtung der Erreichung der Klimaziele ist. Zwar lassen sich hiermit die Klimaziele nicht vollends erreichen, es ist jedoch ein erster relevanter Schritt. Ohne diese Vorgabe (Beispiel siehe Basisszenario in „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/) wäre Erdgas sicher weiterhin ein dominierender Energieträger in der dezentralen Wärmeversorgung in München. Nichtsdestotrotz reicht diese Vorgabe nicht, um die Klimaneutralität der Wärmeversorgung in München spätestens zum Zieljahr der bundespolitisch festgelegten Klimaneutralität in 2045 zu erreichen. Hierfür sind weitere Maßnahmen notwendig. Das Ziel der Landeshauptstadt München, bereits im Jahre 2035 klimaneutral zu sein, kann nur basierend auf diesen hinterlegten Annahmen im Modell nicht erreicht werden.

Im Falle einer „harten“ Grenze des maximalen Betriebsjahres der fossilen Kessel, wie im Zielszenario in 2045 implementiert, könnten im Jahre 2044 Probleme in der Umsetzung auftreten, da die eingeschränkten Kapazitäten an Handwerker:innen nicht den gesamten Bedarf schnell genug abarbeiten können.

Aus den ökonomischen Ergebnissen zeigt sich, dass für die Gebäudeeigentümer:innen vor allem die Sanierung mit hohen Investitionen einhergeht. Aktuell wird im Modell und auch in der Realität neben der gewünschten Sanierung auch weiterhin die reine Modernisierung der Gebäude betrieben. Im Sinne des kosteneffizienten Klimaschutzes ist dies nicht zielführend. Somit wäre es sinnvoll, Akteure in energetisch schlechten Gebäuden von einer reinen Modernisierung abzuhalten und stärker zu einer Sanierung zu bewegen, um damit die Gesamtkosten zu senken.

Speziell in den Gebieten „Vertiefte Untersuchung durch ein Energiekonzept notwendig“ und „Wenige Gebäude ohne lokales EE-Potenzial“ sollten baldmöglichst Konzepte erstellt werden, da die klimaneutrale Versorgung als besondere Herausforderung erscheint.

In den Szenarien besteht auf Basis der hinterlegten Preisentwicklungen der einzelnen Energieträger eine sehr geringe Nachfrage nach Wasserstoff in der dezentralen Versorgung. Daher sollte aus aktueller Sicht keine breitflächige Umstellung des Erdgasnetzes auf Wasserstoff umgesetzt werden. Dies sollte früh in eine eigene Strategie für das Gasnetz eingebunden und möglichst frühzeitig an die Gebäudeeigentümer:innen kommuniziert werden, um Fehlinvestitionen, z. B. in H2-ready-Kessel zu minimieren.

Analyseergebnisse aus weiteren Modellierungen

Neben den hier dargestellten Szenarien wurde im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung eine Vielzahl weiterer Szenarien gerechnet, bei denen einzelne Parameter variiert wurden. Folgende Erkenntnisse ließen sich aus der Analyse der Szenariosimulationen von SWM und e-think ableiten:

- Für die Steigerung der Sanierungsrate und Sanierungstiefe braucht es wirkungsvolle Maßnahmen. Allein die jetzigen monetären Anreize wie eine Förderung und hohe Brennstoffkosten genügen nicht, um die Sanierungsrate und -tiefe des Zielszenarios zu erreichen.

- Hybridwärmepumpen ermöglichen es, die 65 % EE-Vorgabe des GEG einzuhalten. Werden diese jedoch recht spät installiert und erfolgt die Sanierung des Gebäudes noch später, bleibt die zugehörige Gastherme auch in 2045 noch in Betrieb. Folglich wird in einem Szenario mit einem starken und langfristigen Hochlauf an Hybrid-Wärmepumpen noch lange ein Gasnetz in München benötigt.
- Bei schrittweise greifenden Verboten von Technologien wie beispielsweise Heizöl- und Erdgaskessel muss das regionale Vorhandensein alternativer Lösungen berücksichtigt werden. Hierzu gehört sowohl der schrittweise Ausbau von Wärmenetzen wie der Fernwärme, aber auch der Stromnetze, damit diese rechtzeitig relevante Mengen an Wärmepumpen vertragen. Andernfalls stehen Eigentümer vor praktisch unlösbaren Problemen.
- Nur durch Verbote von fossil befeuerten Kesseln können diese rasch aus dem System entfernt werden. In Szenarien ohne entsprechende Verbote werden die Technologien in den Szenarioergebnissen auch in späteren Jahren noch als hybride Systeme eingesetzt. Hierbei ist zu beachten, dass ein zu frühes Verbot der Kessel problematisch sein kann, wenn die Wärme- und Stromnetze sowie die Sanierung der Gebäude nicht weit genug fortgeschritten sind. Folglich muss eine zu große Jahresarbeit auf alternative Lösungen umgestellt werden, die u. U. noch nicht regional verfügbar sind. Hier bestünde die Gefahr, dass großflächiger auf den Einsatz von Biomasse umgestellt wird.
- Betrachtet man den Fernwärmeabsatz in Szenarien mit einer hohen Sanierungsrate und -tiefe, so fällt dieser von 2045 auf 2050. Das Fernwärmesystem mit seinen Leitungen und Erzeugungsanlagen (zumeist Tiefengeothermie) ist also nicht mehr voll ausgelastet. Hier wäre es überlegenswert, die Sanierungsaktivitäten am langen Ende auf ein volkswirtschaftliches Optimum zu reduzieren bzw. in Gebiete zu lenken, in denen diese weiterhin sinnvoll sind.

Methodischen Grenzen der gewählten Modellierung

Insgesamt ist das genutzte Modell gut geeignet, um die angestrebten Simulationen im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung durchzuführen. Folgende Aspekte könnten hilfreiche Ergänzungen sein, um den Detailgrad der Simulationen zu erhöhen. Zum einen ist kein Spill-Over-Effekt enthalten, welcher in der Realität dazu führt, dass benachbarte Akteur:innen die Entscheidungen des jeweils anderen in gewisser Weise beeinflussen. Dieser Effekt ist im Rahmen der Energiewende speziell für Photovoltaik-Anlagen bekannt, könnte aber auch den Einbau von Wärmepumpen in Quartieren unterstützen. Spezielle Präferenzen der Münchener Gebäudeeigentümer:innen wurden ebenfalls nicht integriert, da hierzu keine Daten vorliegen.

Auch der fehlende Kapitalzugang einzelner Akteur:innen wird aktuell nicht in der Entscheidungsfindung berücksichtigt.

12 Ausblick zur kontinuierlichen Verbesserung der Wärmeplanung

Im Rahmen des in diesem Bericht dokumentierten Projektes und den angelegten Studien wurde eine sehr gute Basis für die kontinuierliche Vertiefung und Verbesserung der kommunalen Wärmeplanung für die Stadt München geschaffen. Im Folgenden ist dargestellt, welche Erweiterungen sinnvoll erscheinen bzw. teilweise bereits geplant sind.

12.1 Weitere Validierungen und Erhebung von Daten

Im Rahmen der hier dargestellten Analysen wurden die Gebäudedaten des Modells München mit realen Daten aus vorliegenden Energieberichten verglichen. In den kommenden Jahren könnten weitere qualitativ hochwertige Grundlagendaten zum Abgleich der Gebäudedaten verfügbar werden. Daher wurde in den Projekttreffen diskutiert, künftig verfügbare Daten möglichst kontinuierlich mit den bereits vorliegenden abzugleichen. Bei keinem der im folgenden genannten Datensätze ist aktuell geklärt, ob und in welchem Detailgrad diese zur Verfügung stehen werden.

Aufteilung Wohngebäude und Nichtwohngebäude

In den bisherigen Vergleichen auf Basis realer Daten lag der Fokus auf Gebäudedaten von Wohngebäuden, da hierzu Vergleichsdaten aus Energieberatungsberichten bei der LHM vorlagen. Hier war das Fazit, dass diese gut übereinstimmen. Bei größeren Nichtwohngebäuden könnte es ebenfalls sinnvoll sein, die Gebäudeeigentümer zu den realen Werten anzufragen. Weiterhin streben die Vertreter:innen der Stadt an, entsprechende Daten zur Aufteilung von Wohngebäuden, Nichtwohngebäuden und Mischnutzungen in der Stadt München zu ermitteln, um diese dann mit dem Verhältnis im Modell München abzugleichen.

Daten aus den Grundbuchämtern

Auch hier wurden Daten zu einzelnen Gebäuden abgefragt. Da in den Analysen reale Daten aus den Grundbüchern der Gebäude bzw. Flurstücke eingetragen werden mussten, sind diese Daten wahrscheinlich qualitativ hochwertiger als jene aus dem Mikrozensus. Allerdings muss geklärt werden, ob diese, gemäß § 10 Abs. 3 der aktuell in der Konsultation befindlichen Version des Wärmeplanungsgesetzes, der planungsverantwortlichen Stelle der kommunalen Wärmeplanung zur Verfügung gestellt werden.

Ergebnisse des Mikrozensus

Aus dieser Umfrage sind vor allem die Gebäudedaten wie die Wohnfläche zum Abgleich mit dem Modell von Interesse. Auch die Anzahl der Bewohner:innen könnte hiermit gut in das Modell integriert werden, wobei hierfür aktuell die ZIMAS-Datenbank verwendet wird, welche wahrscheinlich genauere Daten beinhaltet.

Einbindung der Prozesswärme

Sowohl für die Wärmenetze als auch für die dezentrale Versorgung ist der Prozesswärmebedarf von Industrie- und Gewerbebetrieben von Relevanz. Sofern dieser auf niedrigem Temperaturniveau besteht, ist hier eine Deckung durch Fernwärme / Wärmepumpen denkbar. Soll dies geschehen, ist anhand neuer Modellierungen zu prüfen, ob dies einen Effekt auf die Verfügbarkeit der entsprechenden Potenziale klimaneutraler Wärmequellen für die Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasser hat. Weiterhin ist zu analysieren, wie die Betriebe den Bedarf auf höheren Temperaturniveaus decken wollen und welche Implikationen hierdurch für die Infrastruktur entstehen.

12.2 Möglichkeiten zur gesteigerten Differenzierung der Eignungsgebiete

Das übergeordnete Ziel der Vertiefung der Eignungsgebiete ist die möglichst finale Festlegung, in welchen Gebieten und zu welchem Zeitpunkt Wärmenetze zu erwarten sind. Dann können Gebäudeeigentümer:innen besser entscheiden, auf welche Lösung sie setzen wollen und auch die potenziellen Wärmenetz-Betreiber können die Detailplanungen vorantreiben.

Für die finale Festlegung der Gebiete sind neben technischen Rahmenbedingungen auch sozio-ökonomische Faktoren von Bedeutung. Hierzu liegen im Modell München nur wenige Daten vor. Beispielhafte interessante Faktoren für eine Erweiterung der Analysen sind:

- Eigentümerstruktur (inklusive Ankerkunden)
- Erfahrungen zur Kooperationsbereitschaft
- Infrastruktur des Fernwärme-, Fernkälte-, Gas- und Stromnetzes:
 - Aktuelle Auslastung der vorhandenen Infrastruktur
 - besonders relevante Regionen für kritische Lastspitzen und Maßnahmen zur Minderung
 - Geplanter Ausbau der kommenden 20 Jahre
- Konkretisierung des Zusammenspiels der Fern- und Nahwärme mit der dezentralen Versorgung
- Unterscheidung nach priorisierter Wärmepumpen-Technologie
- Regionale Planungen zum Neubau
- Mögliche Geschwindigkeit zur Umsetzung / Personalverfügbarkeit
- Einordnung der Eignungsgebiete nach Wahrscheinlichkeiten

Die zuerst genannten zwei Faktoren (Eigentümerstruktur, Kooperationsbereitschaft) können bei der Entscheidung für bzw. gegen Wärmenetze im Wärmenetz-Untersuchungsgebiet hilfreich sein. Die Ankerkunden werden seitens der SWM bereits jetzt in die Festlegung von Fernwärme-Erweiterungsgebieten einbezogen, da sie eine relevante Investitionssicherheit geben. Für neu zu errichtende Wärmenetze ist diese Investitionssicherheit ebenfalls von essenzieller Bedeutung, sodass auch im Falle neuer Netze entsprechende Ankerkund:innen identifiziert werden müssen.

Für die finale Festlegung der Eignungsgebiete in einem möglichst kostenoptimalen Zuschnitt ist der Einbezug der Rückwirkungen von Technologien auf die Versorgungsinfrastruktur und damit speziell die Stromnetze von Bedeutung. Prinzipiell ist es denkbar, dass bei zwei Gebieten ähnlicher Struktur in einem bereits eine angespannte Situation des Stromnetzes vorliegt. In diesem Gebiet könnte der Fernwärmeausbau frühzeitig umgesetzt werden, um den Ausbau von Wärmepumpen und deren potenziell negativen Effekt auf die Stromnetze zu mindern. Hierfür können die Analysen aus dem aktuell umgesetzten Projekt Grid4Electrification herangezogen werden. Weiterhin sollte in Regionen, in denen vor 2045 eine finanziell relevante Ertüchtigung des Gasnetzes notwendig wird, die Transformation hin zu der im Gebiet angestrebten klimaneutralen Versorgung möglichst früh angegangen werden.

Im Rahmen der Diskussionen zu den Eignungsgebieten wurde die Lage von Kältenetzen mit den Wärmeverbräuchen abgeglichen, aber keine quantifizierende Analyse durchgeführt. Weiterhin sind im Modell München bisher noch nicht die Kältebedarfe in München sowie eine Projektion derer in die Zukunft enthalten. Diese Daten sind generell sehr schwer zu ermitteln und stellen für alle Planungen in diesem Bereich eine große Herausforderung dar. Diese Analysen im Bereich der Kältebereitstellung sollten in einer künftigen Wärmeplanung genauer betrachtet werden.

Der geplante Erzeugungspark der SWM und die damit wahrscheinlich einhergehenden Fernwärmekosten für die Abnehmer:innen lagen im Bearbeitungsbereich dieser Studie nicht vor (Preise sind generell mit Unsicherheiten behaftet aufgrund der nicht vorhersehbaren Entwicklung der Energiemärkte). Daher konnte kein klarer Anschlusswert bestimmt werden, ober- bzw. unterhalb dessen ein Anschluss an die Fernwärme ökonomisch

sinnvoller ist als die Versorgung mit dezentralen Lösungen. In den Modellierungen hat sich gezeigt, dass im Fernwärmegebiet beachtet werden sollte, inwieweit sich Gebäude überhaupt mit dezentralen Lösungen klimaneutral versorgen können (siehe genauere Beschreibungen hierzu in Kapitel 8.4.2). Auch die geeigneten Gebäudeeigenschaften in Abhängigkeit von Anschlussleistung, Gebäudecharakteristik etc. können erst genauer bewertet werden, wenn konkretere Informationen zum Transformationsplan der Fernwärme vorliegen. Zum Beispiel wurde in „Klimaneutrale Wärme München 2035“ /FFE-79 21/ eine erste differenzierte Priorisierung von Lösungen basierend auf dem Gebäudewärmebedarf und dessen räumlicher Zuordnung abgeleitet. Allerdings liegen nun genauere Daten vor, sodass diese Analysen aktualisiert werden könnten.

Weiterhin sind noch Gebiete zu identifizieren, in denen je Flurstück versorgt werden kann, aber eine netzbasierte Lösung wirtschaftlicher erscheint, z. B. weil Abwärme vorhanden ist bzw. eine hohe Bedarfsdichte und Anschlusswahrscheinlichkeit (z. B. über Schlüsselkunden) vorliegt. Diese Gebiete sind insbesondere aus Sicht wirtschaftender Unternehmen relevant und auch aus übergeordneter Sicht ist es sinnvoll, dass die Verbraucher:innen mit möglichst kosteneffizienten Lösungen versorgt werden. Wie bereits zuvor beschrieben, sollten aus kommunaler Sicht jedoch zunächst für die Gebiete, in denen die Potenziale gemäß der verfügbaren Datenlage nicht reichen, Vor-Ort-Analysen durchgeführt werden, um Lösungen ableiten zu können.

Der wirtschaftliche Vorteil der netzbasierten Gebiete wird durch folgenden Umstand ermöglicht: Je höher die Anzahl der Abnahmestellen an einem Wärmenetz, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass alle zur gleichen Zeit ihre maximal mögliche Wärmeleistung nachfragen. Dies ermöglicht, dass die Wärmeerzeuger nicht auf die Summe aller Einzelleistungen dimensioniert werden müssen.

In Städten wie München, wo die Grundwassernutzung wohl für relevante Anteile der Wärmeversorgung herangezogen wird, bietet der Aufbau von Nahwärmenetzen einen weiteren Vorteil: Der negative Effekt der Kältefahne einer Grundwasserbohrung eines Gebäudes hat eine planbare Auswirkung auf die Versorgungsmöglichkeit der benachbarten Gebäude. Durch die netzbasierte Versorgung einer größeren Fläche kann zudem potenziell den Kältefahnen von früher errichteten Brunnenanlagen ausgewichen werden.

Wie bereits vorab beschrieben, wurde keine separate Ausweisung der Prioritätsgebiete für verschiedene Wärmepumpen ausgegeben. Prinzipiell könnte man die Arten der Wärmepumpen übergeordnet priorisieren und dann die Eignungsgebiete hiernach geschichtet festlegen. Allerdings ist diese Priorisierung nicht bei allen Gebäuden gleich. Zwar sind Grundwasser-Wärmepumpen generell effizienter, bei kleineren Gebäuden oder Gebäuden mit geringen Systemtemperaturen kann die Luft-Wärmepumpe jedoch durchaus kosteneffizienter sein als eine Grundwasser-Wärmepumpe. Weiterhin kann es in einzelnen Regionen sinnvoll sein, keine Grundwasser-Wärmepumpen einzusetzen, damit die sonst hierdurch entstehenden Kältefahnen und eingeschränkte Nutzbarkeit von Grundwasser-Wärmepumpen in diesen Kältefahnen umgangen werden können. Um diese detaillierten Entscheidungen zu treffen, braucht es weitere gesamtheitliche Simulationen und deren Analyse.

Im Rahmen des Projektes wurden der Neubau gemäß der Logik aus /FFE-79 21/ in das Modell München integriert. Es erfolgte jedoch keine detaillierte Betrachtung zu deren Versorgungsart. Dies könnte im Zuge der weiteren Planungen integriert werden, genauso wie eine genauere Untersuchung der Industrie- und Gewerbegebiete, um deren Prozesswärmebedarfe sowie ggf. bekannt größere Kältebedarfe in die Analysen zu integrieren.

Es ist denkbar, dass die mögliche Geschwindigkeit zur Umsetzung von klimaneutralen Lösungen und die hiermit einhergehende Verfügbarkeit von Personal einen Effekt auf die zu priorisierende Lösung für die Wärmeversorgung haben. Hierbei ist ganzheitlich zu vergleichen, wie viele Anlagen geplant, genehmigt, errichtet und betrieben werden müssen, um die klimaneutrale Versorgung zu ermöglichen. Ein fundierter Abgleich der Personalbedarfe war im Rahmen des Projektes nicht möglich, könnte in einzelnen Quartieren aber einbezogen werden, um hieraus eine Aussage für die Stadt insgesamt abzuleiten.

Gemäß der Bundesgesetzgebung soll den Eignungsgebieten eine Wahrscheinlichkeit nach Zeitraum zugeordnet werden. In den bisher bestimmten Eignungsgebieten unterscheidet sich die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung

jedoch nicht nach Zeitraum. Eine besondere Relevanz bekommt die Wahrscheinlichkeit, sobald das bestehende Wärmenetz-Untersuchungsgebiet so analysiert wurde, dass einzelne konkrete Wärmenetzgebiete benannt werden können. Bei Wärmenetzen hat der Zeitpunkt des Beginns der Umsetzung einen relevanten Effekt auf die Wahrscheinlichkeit, dass diese überhaupt mit ausreichenden Anschlussraten umgesetzt werden können.

12.3 Aktualisierung, Vertiefung und Variation der Annahmen für die Szenarien

Entlang der Erarbeitung der Studien wurde sowohl im Bundestag als auch in der gesamten Bevölkerung intensiv diskutiert, ob und wie das Gebäudeenergiegesetz (sogenanntes Heizungsgesetz) zielführend angepasst werden kann. Somit unterlag die Gestaltung der Szenarien und deren grundlegender Annahmen einer Unsicherheit, wie sich die Gesetzgebung bezogen auf die Wärmeversorgung final entwickelt. Daher kann es sein, dass bereits kurz nach Abschluss der Studie die Gesetzgebung durch den Bundesrat insoweit angepasst wird, dass einzelne getroffene Annahmen nicht mehr gültig sind. Dies verdeutlicht, dass die Durchführung der kommunalen Wärmeplanung ein kontinuierlicher Prozess ist, der nach geänderten Rahmenbedingungen (Gesetzgebung Energiepreise, Förderungen) erneut bewertet werden muss. Daher ist es für die finale Festlegung einer Strategie essenziell, eine Vielzahl verschiedener Sensitivitäten zu prüfen. Dies war im Rahmen dieses Projektes nicht möglich, es sind aber Erkenntnisse aus früheren Sensitivitätsanalysen der SWM eingeflossen.

Die Umsetzung folgender Sensitivitäten wurde im Projektkreis diskutiert und soll im Nachgang zur Studie durch LHM und SWM, unterstützt von e-think, durchgeführt werden:

Heizsystemwechselraten

Wie bereits in Kapitel 11 dargelegt, sind die Lebensdauern der Heizsysteme bzw. erreichten Heizsystemwechselraten als konservativ einzuschätzen. Daher soll eine Sensitivitätsrechnung umgesetzt werden, in der die erwarteten Lebensdauern einzelner Technologien gemäß des Technikkataloges der KEA-BW / des Bundes genutzt werden. Hier ist, speziell für fossile Kessel, eine geringere Lebensdauer enthalten, als aktuell in dem Modell München angesetzt wird. Wie sich diese wirklich entwickeln, kann aktuell nicht sicher gesagt werden.

Im Zielszenario ist ein Tauschzwang für Kessel bis zum Jahre 2045 enthalten. Eine Modellierung, ob dies bei reduzierter Lebensdauer weiterhin notwendig ist, wäre spannend.

Optimierte Sanierung der Gebäude

In dem Modell werden aktuell die einzuhaltenden Sanierungsraten sowie die präferierten Sanierungstiefen vorgegeben. Teilweise ist die Sanierung notwendig, damit überhaupt klimaneutrale Wärme genutzt werden kann. Wie die ökonomischen Ergebnisse zeigen, gehen mit dieser Sanierung jedoch recht hohe Kosten einher. Somit wäre eine gebäudescharfe Analyse, wie hoch die Sanierungstiefe sein muss und welche Sanierungsrate gesamtstädtisch notwendig ist, interessant. In den hier dargestellten Analysen wurden die Sanierungsraten und -tiefen aus der Studie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ verwendet, welche nicht als notwendige, sondern maximal mögliche Raten bestimmt wurden. Diese notwendigen Sanierungsraten mit den in den Simulationen hinterlegten Raten abzugleichen, könnte ein Gefühl dafür geben, ob so viel Sanierung notwendig ist wie angenommen, oder ob der Sanierungsbedarf durch eine gezielte Sanierung hierfür relevanter Gebäude reduziert werden kann.

Ein Abgleich der Szenarioergebnisse mit den aktuellen Annahmen zu Sanierungsraten und -tiefen mit den notwendigen Sanierungsraten und -tiefen inklusive der Analyse des Effektes auf die Infrastrukturausbaukosten könnte helfen, im Modell ein gesamtsystemisches Optimum zu erreichen. Hieraus könnten wiederum auch Handlungsempfehlungen für die räumliche Gestaltung von Fördermaßnahmen und der aufsuchenden Energieberatung gezogen werden. Diese Idee wurde im Projektkreis bereits diskutiert, erfordert jedoch wahrscheinlich einen größeren Umbau des Tools und wäre somit zeitaufwendig.

Integration des Transformationsplanes der Fernwärme

Zurzeit sind im Modell noch literaturbasierte Werte für die Kosten der Fernwärme enthalten. Weiterhin werden nur die Kosten für die Hausübergabestation angesetzt, aber keine Anschlusskosten. Sobald der Transformationsplan der Fernwärme der SWM vorliegt, sollte mit der real erwarteten Kostenentwicklung gerechnet werden. Hier ist darauf zu achten, dass für die grundlegenden Endenergieträger (vor allem Strom, Erdgas, Pellets/Hackschnitzel, Biogas und Wasserstoff) die gleichen Preisszenarien in den Berechnungen im Transformationsplan und in der kommunalen Wärmeplanung angesetzt sind, um einen konsistenten Fernwärmepreis zu den Szenarien der Wärmeplanung zu ermitteln.

Weiter könnte man nach dem Einbau der ökonomischen Kennwerte aus dem Transformationsplan die aktuell implementierten Fernwärmerestriktionen aufheben und sehen, wie viel Fernwärme die Akteure im Modell beziehen wollen. Prinzipiell könnte hierzu ein Ansatz auf der Basis marginaler Kosten gewählt werden, sodass die spezifischen Kosten der Fernwärme mit dem Absatz steigen. Dies würde bedeuten, dass ab einem gewissen Absatz nicht mehr die relativ betriebskostengünstige Geothermie eingesetzt wird, sondern andere, spezifisch teurere Technologien (Merit Order). Somit könnte man eine Art Sättigung des Anlagenparks bestimmen.

Reduktion des regionalen Einsatzes der systemisch nicht gewünschten Energieträger

Im Jahre 2045 werden ca. 380 GWh an Biomasse für die dezentrale Wärmeversorgung eingesetzt (4 % des Endenergiebedarfes) und ca. 60 GWh klimaneutrales Gas (< 1 % des Endenergiebedarfes). Beide Energieträger sind jedoch aus gesamtstädtischer Sicht nicht in der dezentralen Versorgung gewünscht. Bezogen auf Biomasse liegt das zum einen an der starken Begrenzung der Potenziale nachhaltiger Biomasse und dem Wunsch, den Anlieferverkehr, die CO₂- und auch Feinstaubemissionen der Anlagen zu umgehen. Aufgrund der kleinen Menge an verbrauchtem klimaneutralem Gas in der dezentralen Wärmeversorgung wiederum scheint die vollständige Aufrechterhaltung des heute bestehenden Niederdruck-Gasnetzes nicht sinnvoll. Klimaneutrale Gase werden in der Fernwärmeerzeugung benötigt sowie voraussichtlich bei Industrie- und Gewerbetunden, denen der Umstieg auf andere Energieträger schwerfällt.

Eine Deckung von etwas unter 5 % des Wärmebedarfes aus Biomasse scheint aus gesamtsystemischer Sicht nicht kritisch, da dies weiterhin eine untergeordnete Rolle spielt. Nichtsdestotrotz darf hier nicht vergessen werden, dass ggf. auch in der Fernwärme die kostbaren Energieträger Biomasse und klimaneutrales Gas zum Einsatz kommen sollen, was den Anteil von Biomasse an der Gesamtversorgung der Stadt erhöhen könnte.

Um die Absatzmengen dieser beiden Energieträger weiter zu reduzieren, vor allem in den Eignungsgebieten "Vertiefte Untersuchung des Energiekonzepts notwendig" und "Einzelne Gebäude ohne lokales EE-Potenzial", müssen die Nutzungen der Energieträger regionalisiert analysiert werden. Hieraus kann abgeleitet werden, ob es gewisse Schwerpunktregionen gibt, für welche gebündelt eine alternative Lösung erarbeitet werden sollte, oder ob es sich um Einzelgebäude handelt, bei denen alternative Technologien tatsächlich nicht zur Verfügung stehen.

13 Literatur

- AFA-01 22 Engpassanalyse. In <https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Statistiken/Interaktive-Statistiken/Fachkraeftebedarf/Engpassanalyse-Nav.html>. (Abruf am 2023-7-7); Nürnberg: Agentur für Arbeit, 2022.
- AGFW-05 20 Stark, Susanne: Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung. Frankfurt am Main: AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., 2020.
- AGORA-03 22 Bürger, Veit; Braungardt, Sibylle; Miara, Marek: Durchbruch für die Wärmepumpe - Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand. Berlin: Agora Energiewende, 2022.
- AGORA-06 22 Volle Leistung aus der Energiekrise - Mit Zukunftsinvestitionen die fossile Inflation bekämpfen. Berlin: Agora Energiewende, 2022.
- ALUF-01 12 Schwinghammer, Florian: Thermische Nutzung von Oberflächengewässern. Freiburg i.Br.: Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., 2012.
- AMA-01 08 Amann, Wilfried et al.: Leitfaden zur Nutzung der Erdwärme mit Erdwärmekollektoren. 2008.
- ARIAS-01 05 Arias, Jaime: Energy Usage in Supermarkets - Modelling and Field Measurements. Dissertation. Herausgegeben durch Royal Institute of Technology (KTH): Stockholm, Sweden, 2005.
- ATMO-01 22 Hayes, Christina: Danfoss Heat Recovery Unit Cuts Danish Supermarket's Heating Bill by 89.7%. In <https://r744.com/danfoss-heat-recovery-unit-cuts-danish-supermarkets-heating-bill-by-89/>. (Abruf am 2023-5-3); Brussels, Belgium: Atmosphere, 2022.
- AWG-01 15 Heizenergie aus Mensaluft energieeffiziente Großküche. In <https://www.diekaelte.de/sonstiges-thema/duerr-aktuelles-heizenergie-aus-mensaluft-energieeffiziente-grosskueche>. (Abruf am 2023-6-14); Stuttgart: Alfons W. Gentner Verlag GmbH & Co. KG, 2015.
- BAFA-01 23 Merkblatt zur Antragstellung für Wärme- und Gebäudenetz - Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) – Zuschuss. Eschborn: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2023.
- BAFA-02 23 Förderübersicht: Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM). Eschborn: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), 2023.
- BAYWA-01 23 BayWa Heizöl. In https://www.baywa.de/waerme_strom/heizoel/heizoelpreisrechner/suche/heizoel/?zipCode=80995&quantity=3000&deliveryFacility=&deliveryDeadline=5&deliveryTime=24&tanker=11&pipe=9&sourcePage=resultPage. (Abruf am 2023-5-24); München: BayWa AG München, E-Commerce, 2023.
- BBV-01 23 Abwärme hilft beim Beheizen. In https://www.shk-profi.de/artikel/shk_Abwaerme_hilft_beim_Beheizen-1487309.html. (Abruf am 2023-6-14); Gütersloh: Bauverlag BV GmbH, 2023.
- BCG-01 21 Boston Consulting Group: Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Berlin: Bundesverband der Deutschen Industrie, 2021.
- BDEW-01 20 BDEW-Strompreisbestandteile Januar 2020 - Haushalte und Industrie. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2020.
- BMAS-01 23 Zahlen und Fakten zur Fachkräfte-entwicklung - Fachkräfteentwicklung in den nächsten fünf und den nächsten zwanzig Jahren. In <https://www.bmas.de/DE/Arbeit/Fachkraeftesicherung/Fachkraeftemonitoring/fachkraeftemonitoring.html>. (Abruf am 2023-4-26); Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2023.
- BMF-04 22 Bundesministerium für Finanzen: FAQ „Temporäre Senkung des Umsatzsteuersatzes auf Gaslieferungen über das Erdgasnetz“. In

- BMJ-01 20 <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/FAQ/2022-11-14-FAQ-temporaere-Senkung-USt-Gas.html>. (Abruf am 2023-5-16); Berlin: Bundesministerium der Finanzen, 2022.
- BMJ-01 23 Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV). Ausgefertigt am 2016-6-20, Version vom 2020-12-9; Berlin: Bundesministerium der Justiz (BMJ), 2020.
- BMJV-01 22 Energiesteuergesetz (EnergieStG) § 2 Steuertarif. In https://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/_2.html. (Abruf am 2023-5-24); Berlin: Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz, 2023.
- BMWK-12 23 Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz) (BEHG). Ausgefertigt am 2019-12-12, Version vom 2022-11-9; Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2022.
- BMWSB-01 23 Entwurf eines Gesetzes zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes (EnEfG). Ausgefertigt am 2023, Version vom 2023-03-04; Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2023.
- BMWSB-02 23 Referentenentwurf der Bundesregierung Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (WPG). Ausgefertigt am 2023, Version vom 2023-06-01; Berlin: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2023.
- BNGF-01 18 Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: Bundesregierung einigt sich auf neues Förderkonzept für erneuerbares Heizen. In <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/Webs/BMWSB/DE/2023/04/geg-foerderkonzept.html>. (Abruf am 2023-8-23); Berlin: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Referat Öffentlichkeitsarbeit, 2023.
- BWB-01 23 Seifert, Kurt: Gewässerökologisches Gutachten zum Antrag auf Neuerteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis zur Einleitung von Kühl- und Abwasser in die Isar. Pähl: Büro für Naturschutz-, Gewässer- und Fischereifragen (BNGF), 2018.
- CAR-03 23 Heizen und Kühlen mit Abwasser. In <https://www.bwb.de/de/heizen-und-kuehlen-mit-abwasser.php>. (Abruf am 2023-5-15); Berlin: Berliner Wasserbetriebe, 2023.
- CAS-01 20 C.A.R.M.E.N. e.V.: Marktpreisvergleich Preisentwicklung bei Heizöl, Erdgas, Holzpellets und Hackschnitzel. In www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreisvergleich/. (Abruf am 2023-1-10); Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2023.
- CGI-01 21 Castell, Charlotte et al.: Vergleich von Machine Learning Ansätzen zur Ermittlung des Alters der Gebäude in München. In: Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften; Düren: Wittmann, Jochen, 2020.
- DCM-01 23 Nacken, Alexander: Papierkrieg und langwierige Prozesse? Workflow-Systeme forcieren die Agilität in Behörden! In <https://www.cgi.com/de/de/blog/public-services/papierkrieg-und-langwierige-prozesse-workflow-systeme-forcieren-die-agilitaet>. (Abruf am 2021-6-28); Stuttgart: CGI, 2021.
- DESTATIS-03 2 3 Rechenzentren in Deutschland. In <http://www.rechenzentrum-datacenter.de/>. (Abruf am 2023-6-14); Egtved, Denmark: Data Center Map ApS, 2023.
- DESTATIS-05 2 Statistischer Bericht Verbraucherpreisindex für Deutschland - Lange Reihen ab 1948 - Statistisches Bundesamt: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Verbraucherpreisindex/Publikationen/Downloads-Verbraucherpreise/statistischer-bericht-verbraucherpreisindex-lange-reihen-5611103231015.xlsx?__blob=publicationFile; Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2023.
- DESTATIS-10 2 3 Erzeugerpreisindex gewerblicher Produkte: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (GP2009 2-/3-/4-/5-/6-/9-Steller/ Sonderpositionen); Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022.
- Baupreisindizes: Deutschland, Jahre, Messzahlen mit/ohne Umsatzsteuer, Gebäudearten, Bauarbeiten (Hochbau): <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1697790118894&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=61261-0001&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb>; Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2023.

- DESTATIS-22 2 Statistisches Bundesamt (destatis): Bevölkerungsstand: Amtliche Einwohnerzahl Deutschlands 2022. In https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html. (Abruf am 2023-10-16); Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (destatis), 2022.
- DESTATIS-34 2 Statistisches Bundesamt (destatis): Branchen und Unternehmen - Handwerk. In https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Handwerk/_inhalt.html. (Abruf am 2023-10-16); Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (destatis), 2021.
- DFBE-03 17 Foster, Sam: Hybrid Heat Pumps - Final report. Cambridge: Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2017.
- DIE-04 23 Aktuelle Projekte zur Fachkräftegewinnung. In <https://www.make-it-in-germany.com/de/unternehmen/unterstuetzung/fachkraeftegewinnung>. (Abruf am 2023-7-07); Berlin: Die Bundesregierung, 2023.
- DKV-01 15 Ackermann, Michael: Potenziale der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik für die (Ab)Wärmeerzeugung. Hannover: Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V. DKV, 2015.
- DNV-02 21 Hybride warmtepompen, haalbaar en betaalbaar - De hybride route: haalbare en betaalbare verduurzaming voor de bestaande bouw. Zoetermeer: De Nederlandse Verwarmingsindustrie, 2021.
- DOELL-01 23 Ilsfeld: Wärmepumpe nutzt Abwasser der Kläranlage. In <https://www.energie-experten.org/projekte/ilsfeld-waermepumpe-nutzt-abwasser-der-klaeranlage>. (Abruf am 2023-5-17); Hamburg: Greenhouse Media GmbH, 2023.
- DTI-01 19 Heerup, Christian: Super Supermarkets. Benefitting from excess heat. Heat recovery to the district heating grid. Taastrup, Dänemark: Danish Technological Institute, 2019.
- DTV-01 16 Ganzheitliche Betrachtung von Wäschereien hinsichtlich Wäschelogsitik, Maschinentechnik und Aufbereitungsverfahren zur prozessintegrierten Steigerung der Energieeffizienz von Wäschereien (2. Phase) - Abschlussbericht. Bonn: Deutscher Textilreinigungs-Verband, 2016.
- EEEA-01 23 EEX Marktdaten Strom Futures. In <https://www.eex.com/de/marktdaten/strom/futures>. (Abruf am 2023-5-10); Leipzig: European Energy Exchange AG, 2023.
- EEVG-01 22 Der nächste Flaschenhals: Fachkräftemangel in Behörden wächst. In <https://www.erneuerbareenergien.de/technologie/onshore-wind/der-naechste-flaschenhals-fachkraeftemangel-behoerden-waechst>. (Abruf am 2023-9-25); Stuttgart: Erneuerbare Energien von Gentner, 2022.
- EEX-01 23 Marktdaten der EEX AG. In <https://www.eex.com/en/market-data/environmentals/futures>. (Abruf am 2023-5-15); Leipzig: European Energy Exchange AG (EEX), 2023.
- EEX-03 23 Marktdaten der EEX AG für Erdgas. In <https://www.eex.com/de/marktdaten/erdgas/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%22264%22%7D>. (Abruf am 2023-5-17); Leipzig: EEX AG, 2023.
- EEX-04 23 Marktdaten der EEX AG - Natural Gas. In <https://www.eex.com/de/marktdaten/erdgas/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%22292%22%7D>. (Abruf am 2023-5-17); Leipzig: EEX AG, 2023.
- EHI-02 22 Klitzsch, Cathrin: Energiekrise beherrscht den Handel - EHI-Studie zum Energieverbrauch im Handel. In <https://www.ehi.org/presse/energiekrise-beherrscht-den-handel/>. (Abruf am 2023-05-03); Köln: EHI Retail Institute e. V., 2022.
- ENERG-01 23 ICE Brent Crude Futures. In <https://www.energate-messenger.de/markt/gas-oel-und-wasserstoff/preisgruppe/38388/ice-brent-crude-futures>. (Abruf am 2023-5-17); Essen: energate GmbH, .
- ENERKO-01 23 Maximini, Marius: iKWK Heidelberg – ENERKO plant innovative Großwärmepumpen. In <https://enerko.de/ikwk-heidelberg-enerko-plant-innovative-grosswaermepumpen/>. (Abruf am 2023-5-10); Aldenhoven: EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH, 2023.
- ENI-01 20 Solarpotenzialanalyse für Gebäude in der Landeshauptstadt München - Projektbericht. München: ENIANO GmbH, 2020.
- EURA-01 20 Supermarkets as heat pumps with heat recovery units. Online: Eurammon, 2020.
- FFE-25 22 Entwicklung der Energie- und CO2-Preise 2022. München: FFE München, 2022.

- FFE-67 22 Greif, Simon et al.: Wärmepumpen-Ampel - Räumlich hochaufgelöstes Potenzial für den Einsatz von Wärmepumpen in Deutschland zur Erreichung der Klimaziele. In <https://www.ffe.de/projekte/waermepumpen-ampel/>. (Abruf am 2022-10-27); München: FfE eV, 2022.
- FFE-68 18 Kleinertz, Britta et al.: EU Displacement Mix - A Simplified Marginal Method to Determine Environmental Factors for Technologies Coupling Heat and Power in the European Union. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2018.
- FFE-69 22 Dossow, Patrick et. al.: European Application-oriented Energy and Emission Balances: <https://opendata.ffe.de/european-application-oriented-energy-and-emission-balances/>; München: FfE, 2022.
- FFE-79 21 Kleinertz, Britta et al.: Klimaneutrale Wärme München 2035 - Ermittlung der Möglichkeiten zur Umsetzung von Lösungspfaden für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Landeshauptstadt München. München & Freiburg: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH & Öko-Institut e.V., 2021.
- FFE-96 22 Kleinertz, Britta: Wärmenetze 4.0 - Transformation des Inselbad-Netzes unter Einbezug der Möglichkeit einer Netzkopplung aller Netze. München: FfE, 2022.
- FFW-01 23 Wärmeschutz und Wärmepumpe – warum beides zusammengehört - Studie im Auftrag des Verbandes für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V.. München, Berlin, Heidelberg: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München, 2023.
- FHD-01 23 Exoskelett im Handwerk – Produktivität statt Muskelkater. In <https://www.forum-handwerk-digital.de/2019/08/exoskelett-im-handwerk-produktivitaet-statt-muskelkater/>. (Abruf am 2023-7-19); Würzburg: forum handwerk digital, 2023.
- GEG-01 19 Heizwert - Brennwert. In: <https://www.gammel.de/de/lexikon/Heizwert---Brennwert/4838?>. (Abruf am 2019-04-11); (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/77YTAGDbv>); Abensberg: Gammel Engineering GmbH, 2019.
- GEOKW-01 22 Zosseder, Kai: Geo.KW. In <http://www.geo-kw.de>. (Abruf am 2022-10-27); München: Technische Universität München, 2022.
- GREE-01 22 Heizen ohne Öl und Gas bis 2035. Hamburg: Greenpeace e.V., 2022.
- GÜNT-01 20 Günther, Maik: Ortsaufgelöste Transformation des Gebäudebestands in München zur Prognose der Fernwärmebedarfs. Bayreuth, Germany: Shaker Verlag, 2020.
- HAN-01 19 Fröhlich, Rainer: Pflichtpraktikum im Handwerk angeregt. In <https://www.handwerksblatt.de/betriebsfuehrung/pflichtpraktikum-im-handwerk-angeregt>. (Abruf am 2023-7-7); Düsseldorf: handwerksblatt.de, 2019.
- HAN-01 23 Arbeitgebermarkenbildung - Fachkräfte im Handwerk (Employer Branding). Koblenz: Handwerkskammer Koblenz, 2023.
- HAN-02 20 Fachkräftemangel – Ursachen und Lösungsvorschläge für das Handwerk. In <https://handwerkconnected.de/magazin/fachkraeftemangel-ursachen-und-loesungsvorschlaege-fuer-das-handwerk/>. (Abruf am 2023-7-7); Wermelskirchen: Handwerk Connected, 2020.
- HEISE-01 22 Green IT: Abwärme aus Rechenzentren für Heizungen nutzen . In <https://www.heise.de/hintergrund/Green-IT-Abwaerme-aus-Rechenzentren-fuer-Heizungen-nutzen-6327090.html#:~:text=Wer%20im%20Hotel%20%22Inside%22%20im%20Frankfurter%20Eurotheum-Hochhaus%20%C3%BCbernachtet%2C,hei%C3%9Fes%20Wasser%20in%20den%20Heizungskreislauf%20des%20Geb%C3%A4udes%20ein..> (Abruf am 2023-6-14); Hannover: Heise Medien GmbH & Co. KG, 2022.
- HHW-01 22 Hybrid Heat Pumps - A Flexible Route to Decarbonise Heat. Kenilworth: Heating & Hot Water Industry Council, 2022.
- HIC-01 23 Sandrock, Matthias et al.: Studie zur Wärmewendestrategie München. Hamburg: HIC Hamburg Institut Consulting GmbH, 2023.
- HMGC-01 14 Abwärme für das Rathaus. In <https://www.rw-textilservice.de/abwaerme-fuer-das-rathaus-324734/>. (Abruf am 2023-6-14); Bad Wörishofen: Holzmann Medien GmbH & Co. KG, 2014.

- HSW-01 11 Wolff, Dieter; Jagnow, Kati: Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung. Wolfenbüttel: Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel, 2011
- IAB-01 20 Bellmann, Lutz: Konkurrenz um Auszubildende und Fachkräfte – wie reagieren die Betriebe?. In <https://www.iab-forum.de/konkurrenz-um-auszubildende-und-fachkraefte-wie-reagieren-die-betriebe/>. (Abruf am 2023-7-7); Nürnberg: IAB-Forum, 2020.
- IDW-05 22 Energie aus Wind und Sonne - Welche Fachkräfte brauchen wir?. Köln: Institut der Deutschen Wirtschaft Köln e. V., 2022.
- IDW-06 22 Hickmann, Helen: Die Berufe mit den aktuell größten Fachkräftelücken. Köln: Institut der Deutschen Wirtschaft Köln e. V., 2022.
- IEA-07 22 World Energy Outlook 2022. Paris: International Energy Agency (IEA), 2022.
- IER-02 08 Blesl, M.; Kempe, S.; Ohl, M.; Fahl, U.; König, A.; Jenssen, T.; Eltrop, L.: Wärmeatlas Baden-Württemberg - Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen. Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, 2008
- IFEU-05 19 Hertle, Hans et al.: Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland Kurzfassung - Aktualisierung 11/2019. Heidelberg: Institut für Energie und Umweltforschung (IFEU), 2019.
- IFEU-06 19 Das Handwerk als Gestalter der Wärmewende. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2019.
- ISE-01 23 Ist es in manchen Fällen besser, eine Wärmepumpe mit einer fossilen Heizung zu kombinieren? In <https://blog.innovation4e.de/2021/04/29/ist-es-in-manchen-faellen-besser-eine-waermepumpe-mit-einer-fossilen-heizung-zu-kombinieren/>. (Abruf am 2023-02-07); Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2023.
- ISI-05 22 Sensfuß, Frank: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Treibhausgasneutrale Szenarien T45 [Überblickswebinar 15.11.2022]. In: www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3_T45_Szenarien_15_11_2022_final.pdf (Abruf am 2022-11-15); Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2022
- IWU-01 21 Müller, André: Anpassung der Kostenfunktionen energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten auf das Preisniveau 2020. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt (IWU), 2021.
- IWU-05 18 Diefenbach, Nikolaus et al.: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ und „Energieeffizient Bauen“ 2017. Darmstadt, Bremen: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2018.
- JC-01 20 Conrad, Jochen: Modellierung und Bewertung von Maßnahmen zur kosteneffizienten CO₂-Verminderung im Sektor private Haushalte. Dissertation. Herausgegeben durch Technische Universität München - Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, geprüft von Wagner, Ulrich und Auer, Thomas: München, 2020.
- JOB-01 22 Arbeitsmarkt- und Integrationsprogramm 2022. München: Jobcenter München, 2022.
- KEABW-01 23 Technikcatalog zur kommunalen Wärmeplanung. In <https://www.keabw.de/waermewende/wissensportal/technikcatalog>. (Abruf am 2023-5-24); Karlsruhe: KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA-BW), 2023.
- KFW-01 23 Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). In <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/>. (Abruf am 2023-7-17); Frankfurt a. M.: KfW, 2023.
- KTH-03 18 Frisk, Malin: Identification of waste heat sources in Uppsala - with potential use in Bergsbrunna as a case study. Masterarbeit. Herausgegeben durch KTH School of Industrial Engineering and Management: Stockholm, Schweden, 2018.
- KUP-01 15 Fritz, Susanne: Realisierte Abwasserwärmenutzungsanlagen - Recherche im Rahmen des Initialisierungsprogrammes in Baden - Württemberg. Stuttgart: Klinger und Partner, 2015.
- LFU-02 23 Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Wassertemperatur Bayern. In <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/wassertemperatur>. (Abruf am 2023-5-5); Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2023.

- LFU-03 23 Merkblatt Nr.4.5/18 (Beurteilung von Wärmeeinleitungen). Ausgefertigt am 2023-1; Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2023.
- LFU-04 23 Merkblatt Nr. 4.5/19 (Gewässerökologische Begutachtung von Wärmeeinleitungen). Ausgefertigt am 2023-1; Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2023.
- LFU-05 13 Oberflächennahe Geothermie - UmweltWissen – Klima & Energie. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2013.
- LFU-05 23 Wassertemperatur Gesamtzeitraum München / Isar. In <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/wassertemperatur/kelheim/muenchen-16005701/gesamtzeitraum>. (Abruf am 2023-5-10); Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2023.
- LFU-06 23 Wassertemperatur Gesamtzeitraum München Himmelreichbrücke / Eisbach - Wassertemperatur vom 02.03.2004 bis zum 10.05.2023. In <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/wassertemperatur/kelheim/muenchen-himmelreichbruecke-16515005/gesamtzeitraum>. (Abruf am 2023-5-10); Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2023.
- LFU-07 23 Wassertemperatur Gesamtzeitraum München Tierärztl. Hochschule / Schwabinger Bach - Wassertemperatur vom 07.03.2014 bis zum 10.05.2023. In <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/wassertemperatur/kelheim/muenchen-tieraerztlich-hochschule-16516008/gesamtzeitraum>. (Abruf am 2023-5-10); Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2023.
- LFU-08 23 Wassertemperatur Gesamtzeitraum Leutstetten / Würm - Wassertemperatur vom 11.05.2011 bis zum 10.05.2023. In <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/wassertemperatur/isar/leutstetten-16665008/gesamtzeitraum>. (Abruf am 2023-5-10); Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2023.
- LHL-01 18 Freedom Project - Final report. Bridgend: Living Heat Laboratory, 2018.
- LHM-01 12 Turnusmäßige Erhebung 2012 als Grundlage zur weiteren Fortschreibung des Zentrenkonzeptes der Landeshauptstadt München - Statistische und grafische Aufbereitung der Erhebungsergebnisse des Einzelhandels. München: Landeshauptstadt München, 2012.
- LHM-01 22 Sitzungsvorlage 20-26/ V 05040. In <https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/6635836>. (Abruf am 2022-10-24); München: Landeshauptstadt München, 2022.
- LHM-01 23 Stadtentwässerung in München. In <https://stadt.muenchen.de/infos/abwasserentsorgung-lhm.html>. (Abruf am 2023-6-14); München: Landeshauptstadt München, 2023.
- LHM-02 23 Beschlussvorlage; Klaerwerk Gut Grosslappen, Neubau der Klaerschlamverbrennungsanlage, Projektgenehmigung (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V09787). Ausgefertigt am 2023-6-21, Version vom 2023-7-04; München: Baureferat der Landeshauptstadt München, 2023.
- LHM-03 21 Förderprogramm Klimaneutrale Gebäude (FKG). In <https://stadt.muenchen.de/infos/foerderprogramm-klimaneutrale-gebaeude.html>. (Abruf am 2023-7-17); München: Landeshauptstadt München, Stadtwerke München, 2021.
- LHM-03 22 Die aktuelle Solarpotenzialkarte für alle Gebäude in der Stadt. In <https://stadt.muenchen.de/infos/solarpotenzialkarte-muenchen.html>. (Abruf am 2022-10-26); München: Landeshauptstadt München, 2022.
- MIG-01 11 Erfahrungen mit CO2 als Kältemittel. Bonn: Migros, 2011.
- MVV-01 23 R(h)ein mit der Wärme - MVV installiert eine der größten Flußwärmepumpen Europas. In <https://www.mvv.de/ueber-uns/unternehmensgruppe/mvv-umwelt/aktuelle-projekte/mvv-flusswaermepumpe>. (Abruf am 2023-5-10); Mannheim: MVV Energie AG, 2023.
- ÖKO-01 19 Repenning, Julia et al.: Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Freiburg: Öko-Institut e.V., 2019.

- ÖKO-03 22 Abschlussbericht zum Fachgutachten Klimaneutralität München 2035. Freiburg, München, Hamburg: Öko-Institut e.V., HIC Hamburg Institut Consulting GmbH, INTRAPLAN Consult GmbH, 2022.
- ÖWV-01 23 Mega-Großwärmepumpen in Wien angekommen. In <https://www.handwerkundbau.at/wirtschaft/mega-grosswaermepumpen-wien-angekommen-50403>. (Abruf am 2023-5-17); Wien: Österreichischer Wirtschaftsverlag GmbH, 2023.
- PMB-01 23 Städtische Schwimmbäder in München. In <https://www.muenchen.de/freizeit/mbaeder/hallenbaeder-uebersicht>. (Abruf am 2023-6-14); München: Portal München Betriebs GmbH & Co. KG, 2023.
- PROG-01 21 Klimaneutrales Deutschland 2045 - Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Berlin: Prognos AG, 2021.
- PROG-01 22 Thamling, Nils: Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045 - Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin, Basel, München, Freiburg, Heidelberg, Dresden: Prognos AG, 2022.
- REU-01 17 Energy optimization in a supermarket in Høruphav. In <https://www.euroheat.org/resource/energy-optimization-in-a-supermarket-in-horuphav.html>. (Abruf am 2023-5-3); Online: ReUseHeat Project, 2017.
- REU-01 22 Moreno D.: The European Waste Heat Map. In <https://aau.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=789b7faef30148bda20d320de9455919>. (Abruf am 2023-5-17); Online: ReUseHeat project, 2022.
- SCCT-01 23 Großküchen und Kantinen in München. In <https://web2.cylex.de/suche/gro%C3%9fk%C3%BCchen%20und%20kantinen/Muenchen/s3>. (Abruf am 2023-6-14); Palota, RO: S.C. CYLEX TEHNOLOGIA INFORMATIEI INTERNATIONAL S.N.C., 2023.
- SHELL-01 23 Heizölpreis: Einflussfaktoren. In <https://heizoel.shell.de/heizoelpreis/wie-sich-der-heizoelpreis-zusammensetzt.html>. (Abruf am 2023-5-24); Hamburg: Shell Deutschland GmbH, 2023.
- SMV-01 23 Wäscherei München und in der Nähe. In <https://www.muenchen.de/service/branchenbuch/W/399.html>. (Abruf am 2023-6-14); München: Stadtbranchenbuch München Vertriebs GmbH, 2023.
- SMV-02 23 Suchergebnisse für Kaufhaus in München. In <https://www.muenchen.de/service/branchenbuch/suche.html?searchQuery=Kaufhaus&locationQuery=M%C3%BCnchen>. (Abruf am 2023-6-14); München: Stadtbranchenbuch München Vertriebs GmbH, 2023.
- SMV-03 23 Bäckerei München und in der Nähe. In <https://www.muenchen.de/service/branchenbuch/B/69.html>. (Abruf am 2023-6-14); München: Stadtbranchenbuch München Vertriebs GmbH, 2023.
- STE-01 23 Paschen, Stella: Branchen-Überblick Handwerk: 5 Jobs – 5 Gehälter. In <https://www.stepstone.de/magazin/artikel/branchen-ueberblick-handwerk-5-jobs-5-gehaelter>. (Abruf am 2023-6-27); Düsseldorf: Stepstone, 2023.
- STOCK-01 22 Stock, Oliver: Eine Maßnahme tut uns allen weh: Was wir jetzt gegen den Personalmangel tun können. In https://www.focus.de/finanzen/karriere/arbeitskraefte-sind-nirgend-zu-bekommen-diese-vier-strategien-koennen-abhilfe-schaffen_id_108165239.html. (Abruf am 2022-7-2); München: FOCUS Online, 2022.
- SWM-01 23 Preisblatt M-Strom Allgemeine Preise SWM Versorgungs GmbH - Versorgungsgebiet Landeshauptstadt München Gültig ab 1. April 2023. München: SWM Versorgungs GmbH, 2023.
- SWM-02 23 Wissenswertes rund um das Strom-Angebot der SWM. In <https://www.swm.de/strom/faqs>. (Abruf am 2023-5-9); München: Stadtwerke München GmbH (SWM), 2023.
- SWM-03 22 Preisblatt 1 Entnahme mit Leistungsmessung im Jahresleistungspreissystem. München: SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG, 2022.

- SWM-03 23 Anlage 1: TAB-Heizwasser - Betriebs- und Auslegungsdaten der Netzabschnitte (Heizwasser). München: SWM GmbH, 2023.
- SWM-04 22 Anlage 1 zum Lieferantenrahmenvertrag Gas Preisblätter (gültig ab 01.01.2023): <https://www.swm-infrastruktur.de/dam/swm-infrastruktur/dokumente/gas/lieferantenrahmenvertrag/lrv-anlage-1-gas.pdf>; München: SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG, 2022.
- SWM-08 21 Günther, Maik: Effects of the Henry Hub Price on U.S. LNG Exports and on Gas Flows in Western Europe. In: Gases 2021, 1, 68–79. München: Stadtwerke München, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/gases1020006>.
- TAF-01 23 Hybrid heat pumps can be a stopgap to an electric future. In <https://taf.ca/hybrid-heat-pumps-can-be-a-stopgap-to-an-electric-future/>. (Abruf am 2023-01-23); Toronto: The Atmospheric Fund, 2023.
- TAG-02 23 Sinkende Preise für Wärmepumpen erwartet. In https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/waermepumpen-sinkende-preise-heizung-101.html?xing_share=news. (Abruf am 2023-9-25); Hamburg: Tagesschau, 2023.
- TAG-03 23 Generation Z im Job: Anspruchsvoll und wechselwillig. In <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/generation-z-berufswelt-101.html>. (Abruf am 2023-4-13); Hamburg: Tagesschau, 2023.
- THE-02 22 Trading Hub Europe: Pressemitteilung: Gasspeicherumlage ab Januar 2023 unverändert. In <https://www.tradinghub.eu/de-de/Unternehmen/Newsroom/News/Details/ArtMID/1404/ArticleID/122/Pressemitteilung>. (Abruf am 2023-5-16); Berlin/Ratingen: Trading Hub Europe GmbH (THE), 2022.
- THERM-01 23 Jacobs, Jan: 10x beim Wärmepumpen-Hochlauf - Gutachten für die Bundesagentur für Sprunginnovationen SPRIND. Berlin: thermondo GmbH, 2023.
- TIM-01 23 Spinks, Olly: What does Henry Hub convergence mean? In <https://timera-energy.com/what-does-henry-hub-convergence-mean/>. (Abruf am 2023-3-24); London: Timera Energy.
- TUDA-01 17 Gappisch, Jessika: Wärmeenergetische Leistungsfähigkeit ausgewählter Fließgewässer. Darmstadt: Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft - Technische Universität Darmstadt, 2017.
- TUM-01 23 Zosseder, Kai: Schlussbericht zum Verbundprojekt GEO-KW: Kopplung des geothermischen Speicherpotenzials mit den wechselnden Anforderungen des urbanen Energiebedarfs zur effizienten Nutzung der regenerativen Energiequelle Grundwasser für die dezentrale Kälte- und Wärmebereitstellung in der Stadt. München: Technische Universität München, 2023.
- TUM-03 22 Böttcher, Fabian et al.: Schlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt: Integration der thermischen Grundwassernutzung in das Modell München - Kopplung des geothermischen Speicherpotenzials mit dem zentralen Steuerungsinstrument der Wärmewende in München zur effizienten Nutzung der regenerativen Energiequelle Grundwasser für die dezentrale Wärme- und Kältebereitstellung. München: TU München (TUM), 2022.
- TUM-05 21 Böttcher, Fabian: Thermal influences on groundwater in urban environments – A multivariate statistical analysis of the subsurface heat island effect in Munich. München: Technische Universität München, 2021.
- TUMT-01 22 Zosseder, Kai et al.: GEO.KW – Effiziente thermische Nutzung des Grundwassers für die städtische Wärme- und Kälteversorgung. In <https://www.cee.ed.tum.de/hydro/projects-completed/geokw-1/>. (Abruf am 2024-01-09); München: Technische Universität München (TUM), 2019.
- UBA-08 21 Lauf, Thomas et al.: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2021.
- UBA-13 16 Jührich, Kristina: CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2016
- UBA-18 20 Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen. In: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom->

- waermeversorgung-in-zahlen#Kraftwerke. (Abruf am 2021-03-11); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2020.
- UBA-19 14 Kauffeld, Michael: Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte - Vergleich von Energieeffizienz, Sicherheit, Kosten und Zuverlässigkeit sowie Bewertung der Marktverfügbarkeit von Geräten ohne fluorierte Kältemittel als Basis für die Revision der Verordnung (EG) Nr.842/2006. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2014.
- UBA-22 22 Supermarktkälte. In <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/natuerliche-kaeltemittel-in-stationaeren-anlagen/anwendungen/supermarktkaelte#aktuelles>. (Abruf am 2023-5-3); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2022.
- UBA-24 21 Discounter. In <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/natuerliche-kaeltemittel-in-stationaeren-anlagen/aus-der-praxis/beispiele-aus-der-praxis/discounter#discounter-kette-aldi-sud>. (Abruf am 2023-5); Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2021.
- UBW-01 20 KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA-BW): Kommunale Wärmeplanung Handlungsleitfaden. Stuttgart: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2020.
- UMSICHT-01 9 Dötsch, C., Taschenberger, J., Schönberg, I.: Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik, 1998
- 8
- VDI-04 12 VDI 2067 - Blatt 1 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung . Ausgefertigt am 2000, Version vom 2012-09; Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2012.
- VDZ-05 18 Vogt, Kerstin: Fachkräftebedarf für die Energiewende in Gebäuden. Berlin: VdZ I Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V., 2018.
- VIF-01 18 Vogt, Kerstin: Fachkräftebedarf für die Energiewende in Gebäuden. Berlin: VdZ I Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V., 2018.
- VIS-01 23 Suchergebnisse für Kühlhäuser in Deutschland, Bayern. In <https://www.europages.de/unternehmen/cat-1-k%C3%BChlh%C3%A4user/deutschland/m%C3%BCnchen-%20n%C3%BCrnberg%20und%20bayern/k%C3%BChlh%C3%A4user.html>. (Abruf am 2023-6-14); Hamburg: Visible GmbH, 2023.
- WIWO-01 23 Hajek, Stefan: Hersteller wollen die Installation von Wärmepumpen radikal vereinfachen. In https://nachrichten.wiwo.de/284c2acea027e9a4a9acbb947d233242bed1eb57995a112d8882b5145a3a8a6e68a587486c7c395552c3b9115cf2c64b129141262?utm_source=web-frontend&xing_share=news. (Abruf am 2023-5); Düsseldorf: Wirtschaftswoche, 2023.
- WSEAS-01 22P Günther, Maik: Datenanalyse und Simulation zur gebäudescharfen Prognose von Wärmebedarfen und Heizungstechnologien in einer Großstadt. In: Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften; Düren: Wittmann, Jochen, 2022.
- WWAD-01 11 Berger, Hannes: Wärmetauscher in oberirdischen Gewässern - Wasserwirtschaftliche Betrachtung. Deggendorf: Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, 2011.
- ZFK-02 23 Fernwärmepreise: Habeck-Ministerium liefert Prognosen bis 2035. In <https://www.zfk.de/politik/deutschland/fernwaermepreise-habeck-ministerium-projektionen-2035>. (Abruf am 2023-9-6); München/Berlin: Zeitung für kommunale Wirtschaft (ZfK), 2023.

14 Anhang

14.1 Vergleich der Sanierungskosten zwischen e-think und FfE

In den nachfolgenden Diagrammen wird dem spezifischen Wärmebedarf von e-think derjenige KfW-Standard zugeordnet, welcher nach den der FfE vorliegenden Werte die geringste Abweichung hat. Die beiden spezifischen Bedarfe sind als Raute bzw. Kreuz auf der rechten Achse der Diagramme aufgetragen. Zusätzlich zu den spezifischen Wärmebedarfen werden die entsprechenden Vollkosten sowie die energiebedingten Mehrkosten der Sanierung der beiden Quellen als Balken mit Bezug auf die linke Achse aufgetragen. Damit kann der Vergleich der Sanierungskosten erfolgen. Abbildung 14-1 bezieht sich auf den Vergleich der Vollkosten der Sanierung bei Ein- und Zweifamilienhäusern, wohingegen in Abbildung 14-2 die energiebedingten Mehrkosten verglichen werden. Gleichermaßen ist für Mehrfamilienhäuser ebenfalls erst der Abgleich der Vollkosten der Sanierung dargestellt (Abbildung 14-3) und dann jener der energiebedingten Mehrkosten (Abbildung 14-4).

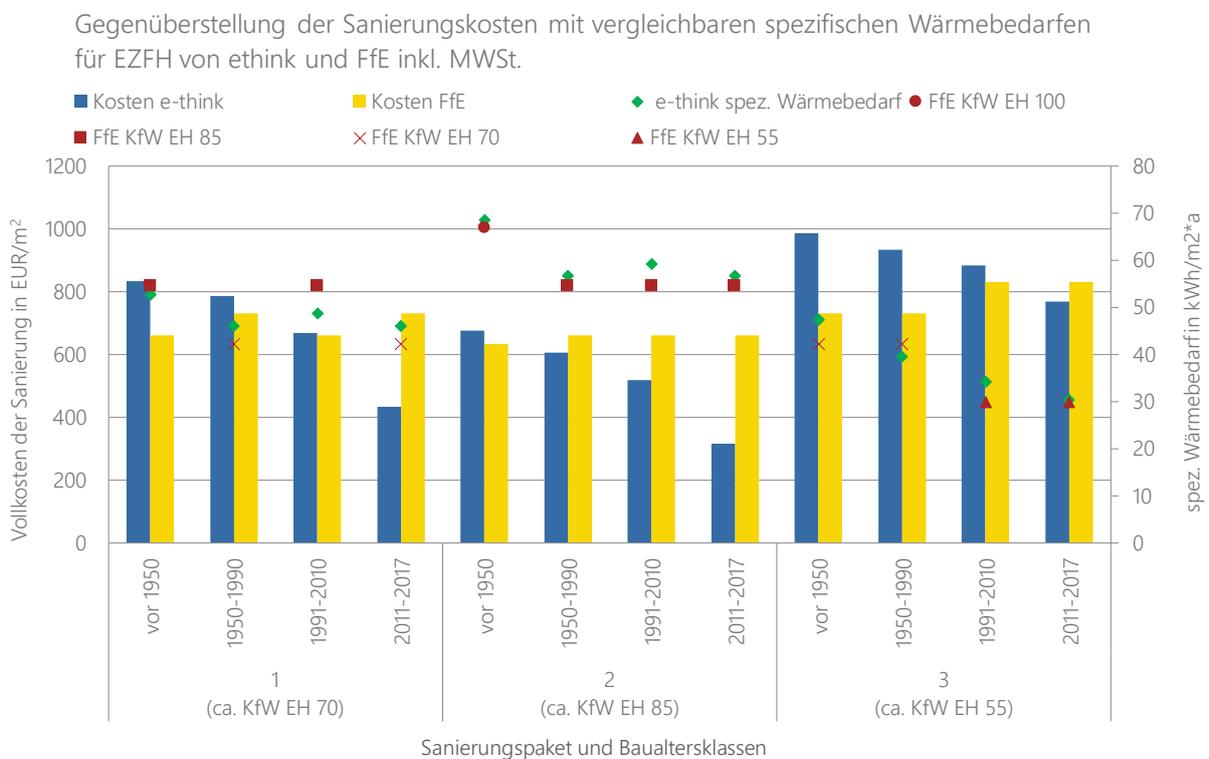


Abbildung 14-1: Gegenüberstellung der Vollkosten der Sanierung von e-think und FfE für Ein- und Zweifamilienhäuser

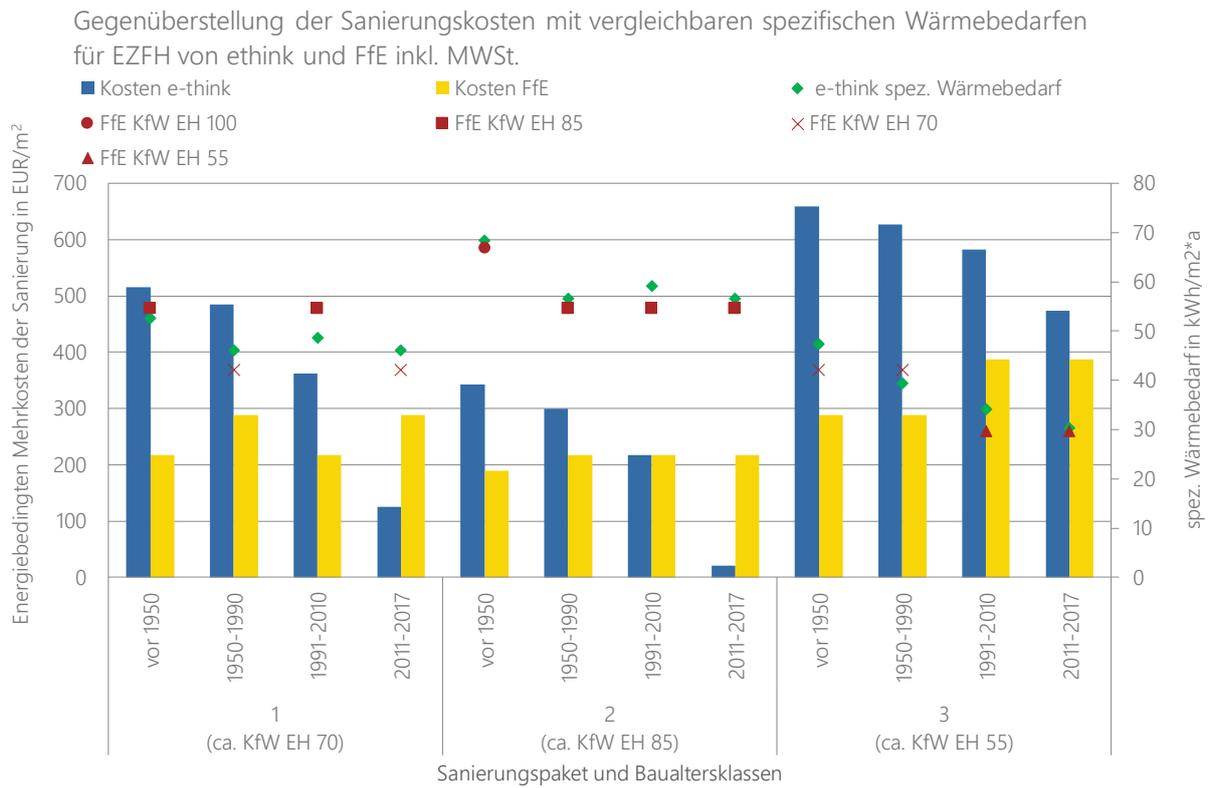


Abbildung 14-2: Gegenüberstellung der energiebedingten Mehrkosten der Sanierung von e-think und FfE für Ein- und Zweifamilienhäuser

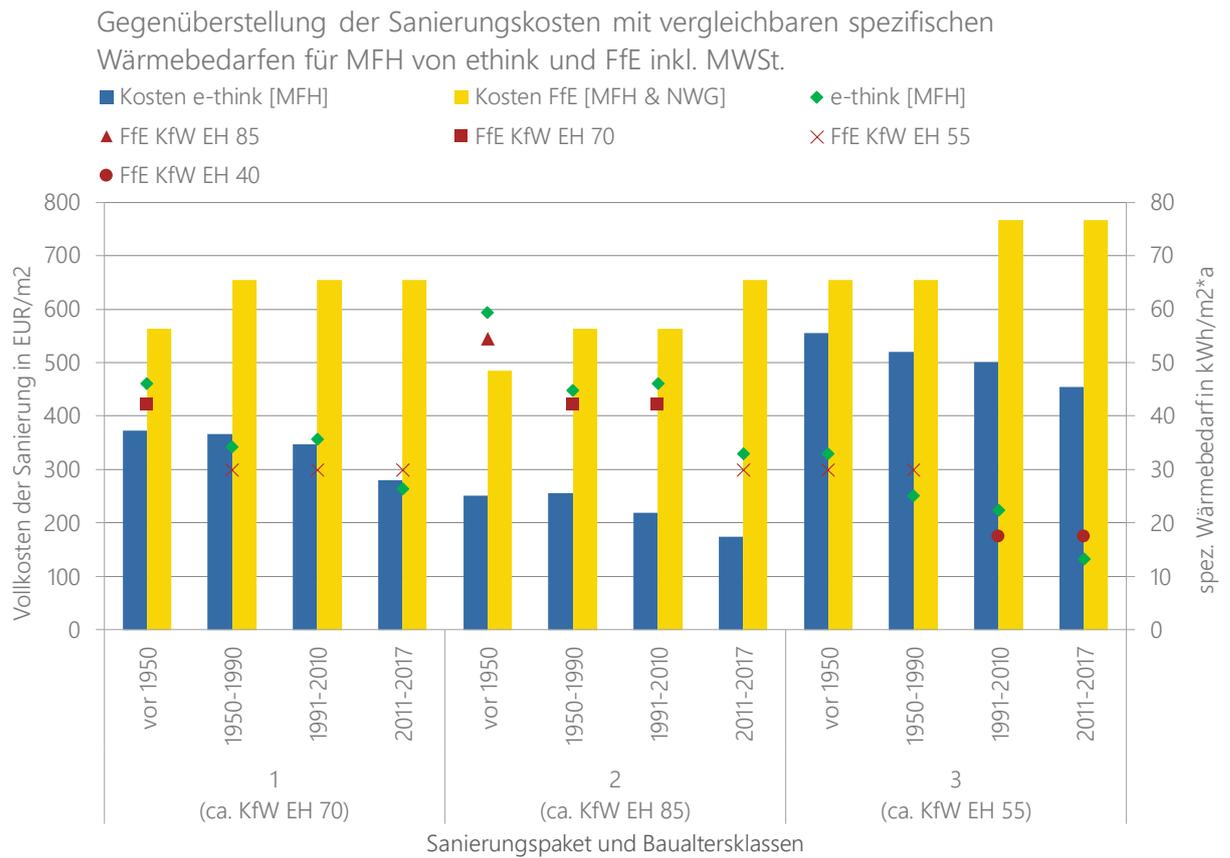


Abbildung 14-3: Gegenüberstellung der Vollkosten der Sanierung von e-think und FfE für Mehrfamilienhäuser

Gegenüberstellung der Sanierungskosten mit vergleichbaren spezifischen Wärmebedarfen für MFH von e-think und FfE inkl. MWSt.

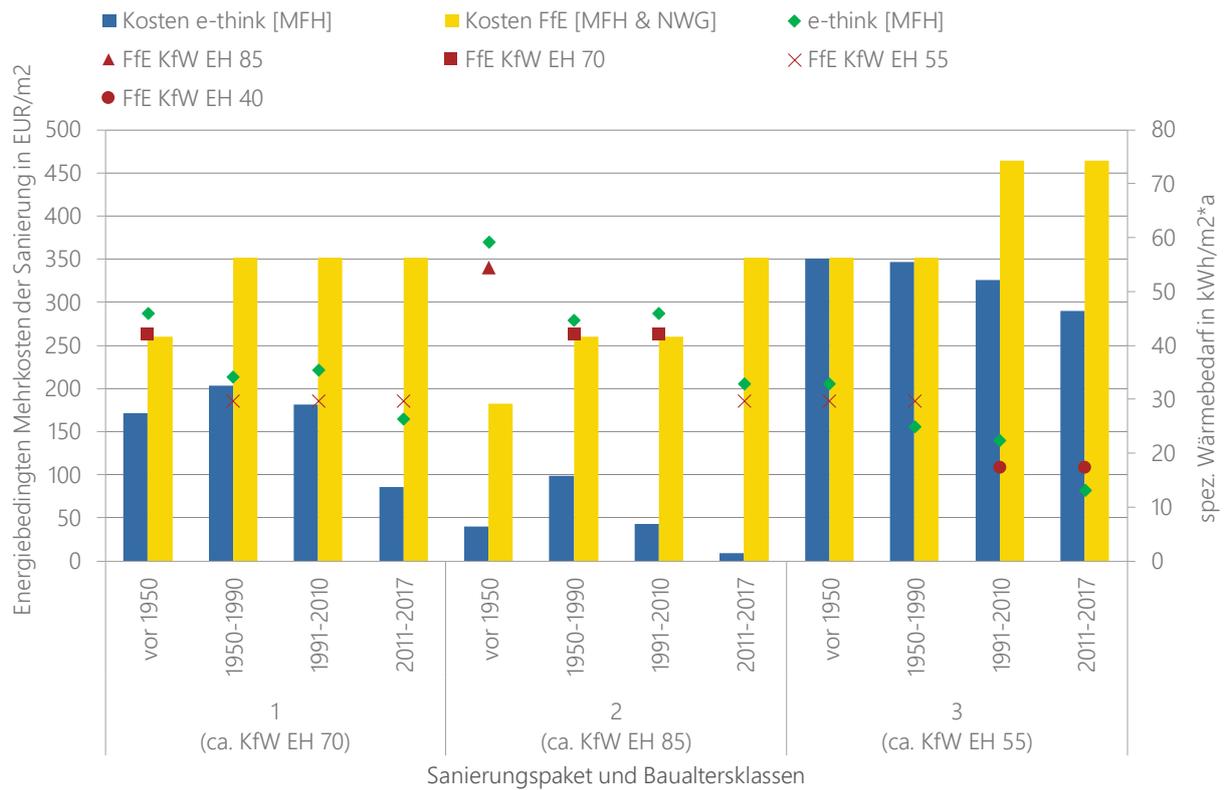


Abbildung 14-4: Gegenüberstellung der energiebedingten Mehrkosten der Sanierung von e-think und FfE für Mehrfamilienhäuser