

KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG FÜR DIE STADT MÜLHEIM AN DER RUHR

ABSCHLUSSBERICHT

**Dr. Esmail Ansari, Karen Janßen, Dr. Uwe Krien, Hannes Kuhlmann, Helge Oude-
Aost, Dr. Lena Vorspel**

14. November 2022

Karen Janßen

Energiesystemanalyse

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM

Wiener Straße 12 | 28359 Bremen | Germany

Telefon + 49 421 2246-7024 | Fax 2246-300

karen.janssen@ifam.fraunhofer.de

Projektnummer: 10-03082-2280-00001

Auftraggeber: Stadt Mülheim an der Ruhr, Stabstelle Klimaschutz und Klimaanpassung

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	11
2	Einleitung und Projektbeschreibung	12
3	Potenzialanalyse	14
3.1	Biomasse	14
3.2	Geothermie	14
3.3	Umwelt- und Abwärme.....	17
3.3.1	Abwasserwärme.....	17
3.3.2	Industrielle Abwärme.....	19
3.3.3	Flusswärme	19
3.3.4	Luftwärmepumpen.....	20
3.4	Solarthermie.....	21
4	Aufbereitung weiterer Daten.....	24
4.1	Aufbereitung der Gebäudegrundkarte.....	24
4.2	Unterteilung der Stadt Mülheim an der Ruhr in Cluster	25
4.3	Erstellen von Wärmelinien	26
4.4	Modellierung des Nahwärmenetzes	27
4.5	Altersstruktur.....	27
4.6	SGB II - Leistungsbezieher.....	28
4.7	Wohnungsbaugesellschaften.....	28
5	Entwicklung von Szenarien	30
5.1	Bundespolitische Entwicklungen	30
5.1.1	65 % erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024	30
5.1.2	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze	31
5.1.3	Einführung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung in Deutschland	31
5.2	Szenarien: Aufbau und Diskussion	32
6	Energieträger- und CO₂-Preise.....	35
6.1	Erdgaspreise	36
6.2	Strompreise	37
6.3	Biomethanpreise	38
6.4	Wasserstoffpreise.....	39

6.5	Pellet-Preise	40
6.6	CO ₂ - und BEHG-Preise.....	40
7	Berechnung der Wärmegestehungskosten.....	42
7.1	Technische und ökonomische Inputparameter.....	42
7.2	Berechnung der spezifischen Wärmegestehungskosten	44
7.3	Kosten der leitungsgebundenen Wärmeversorgung	46
7.3.1	Wärmeerzeugungskosten	47
7.3.2	Wärmeverteilungskosten.....	47
7.3.3	Hausanschlusskosten	48
8	Simulation des Wärmemarktes bis 2045	50
8.1	Zeitpunkt des Heizungstauschs.....	51
8.2	Kostentoleranzband und nicht monetäre Faktoren	51
8.2.1	Kostentoleranzband.....	52
8.2.2	Bestandsbonus	53
8.2.3	Imagebonus	53
8.3	Wahrscheinlichkeit für die Technikauswahl	54
8.4	Auswahl der Nahwärmecluster	54
9	Simulationsergebnisse	56
9.1	Szenario 1 - Trend.....	56
9.2	Szenario 2 - Klimaschutz 1	58
9.3	Szenario 3 – Klimaschutz 2.....	60
10	Kommunale Wärmewendestrategie	65
10.1	Vergleich der Szenarien.....	65
10.2	Maßnahmenkatalog.....	69
10.3	Fazit und Handlungsempfehlungen	77
11	Literatur.....	78
12	Anhang	81

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Eignung oberflächennahe Geothermie – Vergleich Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Blockbebauung.....	17
Abbildung 3-2:	Abwasserkanäle mit Wärmeentnahmepotenzial und nutzbare Wärmemenge je Cluster	18
Abbildung 3-3:	Mögliche Standorte für die Wärmeentnahme aus Flusswasser.....	20
Abbildung 3-4:	Eignung Luftwärmepumpe im Wohn- und Gewerbegebiet.....	21
Abbildung 3-5:	Solarthermiefähigkeit Dachflächen auf Clusterebene.....	22
Abbildung 3-6:	Lage der Potenzialflächen für Freiflächen-Solarthermie.....	23
Abbildung 4-1:	Unterteilung der Stadt Mülheim an der Ruhr in 82 Cluster	26
Abbildung 4-2:	Anteil Einwohner/innen 60 Jahre und älter auf Baublockebene	28
Abbildung 4-3:	Eigentümer der Gebäude nach Wohnungsbaugesellschaften und sonstige Eigentümer	29
Abbildung 6-1:	Annahmen über langfristige Erdgas-Beschaffungspreise (TTF)	36
Abbildung 6-2:	Annahmen über langfristige Strom-Beschaffungspreise.....	37
Abbildung 6-3:	Annahmen über langfristige Biomethan-Beschaffungspreise	38
Abbildung 6-4:	Annahmen über langfristige H ₂ -Beschaffungspreise (eigene Berechnungen).....	39
Abbildung 6-5:	Annahmen über langfristige Pellet-Beschaffungspreise.....	40
Abbildung 6-6:	Annahmen über langfristige CO ₂ -Preise.....	41
Abbildung 6-7:	Annahmen über langfristige BEHG-Preise	41
Abbildung 7-1:	Übersichtsschema der unterschiedlichen Eingangsdaten und Parameter zur Berechnung der spezifischen Wärmegestehungskosten.....	42
Abbildung 7-2:	spezifische Investitionskosten eines Gaskessels im Jahr 2023, 2033 und 2045.....	43
Abbildung 7-3:	spezifische Investitionskosten dezentraler Erzeugungstechnologien im Szenario 1 für das Jahr 2035 und 2045	46
Abbildung 7-4:	Berechnungsschema für die leitungsgebundene Wärmeversorgung..	47
Abbildung 7-5:	Wärmelinienichte für das Szenario TREND und SPAR im Jahr 2035 im Vergleich.....	48
Abbildung 8-1:	Ablaufschema der Modellierung.....	51
Abbildung 8-2:	Auswahl der dezentralen Wärmeerzeugungstechniken durch das Kostentoleranzband.....	52
Abbildung 8-3:	Wirkung des Kostentoleranzbandes für Wohngebäude.....	53

Abbildung 8-4:	Anwendung des Imagebonus.....	54
Abbildung 8-5:	Wahrscheinlichkeitsband mit Wahl durch Zufallszahl.....	54
Abbildung 8-6:	Beispielhaftes Entscheidungsschema für die Auswahl von Nahwärmeclustern.....	55
Abbildung 9-1:	Szenario 1 - Verteilung der Wärmemengen auf die unterschiedlichen Erzeugungstechnologien.....	56
Abbildung 9-2:	Szenario 1 - Verteilung der Energieträger auf Clusterebene.....	57
Abbildung 9-3:	Szenario 1 - Verteilung der Nahwärmeerzeugung auf Clusterebene .	58
Abbildung 9-4:	Szenario 2 - Verteilung der Wärmemengen auf die unterschiedlichen Erzeugungstechnologien.....	59
Abbildung 9-5:	Szenario 2 - Verteilung der Energieträger auf Clusterebene.....	60
Abbildung 9-6:	Szenario 2 - Verteilung der Nahwärmeerzeugung auf Clusterebene .	60
Abbildung 9-7:	Szenario 3 – Cluster der Stadt Mülheim aufgeteilt in Vorranggebiete für bestimmte Wärmeerzeugungstechnologien.....	61
Abbildung 9-8:	Szenario 3 - Verteilung der Wärmemengen auf die unterschiedlichen Erzeugungstechnologien.....	62
Abbildung 9-9:	Szenario 3 - Verteilung der Energieträger auf Clusterebene.....	63
Abbildung 9-10:	Szenario 3 - Verteilung der Nahwärmeerzeugung auf Clusterebene .	64
Abbildung 10-1:	Energieträgeranteile in den drei Szenarien im Jahr 2035	66
Abbildung 10-2:	Energieträgeranteile in den Szenarien 1 und 2 im Jahr 2045	66
Abbildung 10-3:	Bevorzugte Clustereignung im Jahr 2045 in den Szenarien 1 und 2..	67
Abbildung 10-4:	Cluster, in denen in mindestens einem Szenario eine leitungsgebundene Versorgung modelliert wird.....	68
Abbildung 10-5:	Vergleich der Nahwärmeerzeugung in den Szenarien 1 und 2 im Jahr 2045 sowie 2035 im Szenario 3	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Übersicht über die Biomassepotenziale (eigene Darstellung nach (Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft 2016)).....	14
Tabelle 3-2:	Übersicht der getroffenen Annahmen für Erdwärme.....	16
Tabelle 3-3:	Anteil Wärmebedarf des Erdwärmepotenzials nach Gebäudetypen ..	17
Tabelle 3-4:	Übersicht der getroffenen Annahmen für Luftwärmepumpen	20
Tabelle 4-1:	Überblick über Gebäudekategorien	25
Tabelle 5-1:	Allgemeine Szenarienmatrix	34
Tabelle 5-2:	Annahmen über EE-Anforderungen in den Szenarien.....	34
Tabelle 7-1:	Technologieabhängige Inputparameter der Wärmeerzeugungstechnologien	43
Tabelle 9-1:	Szenario 1 - Anzahl der Wärmeerzeugungstechnologien.....	57
Tabelle 9-2:	Szenario 2 - Anzahl der Wärmeerzeugungstechnologien.....	59
Tabelle 9-3:	Szenario 2 - Anzahl der Wärmeerzeugungstechnologien.....	62
Tabelle 10-1:	Maßnahme 1: Ausweisung Vorranggebiete für Nah- und Fernwärme.....	69
Tabelle 10-2:	Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Flusswasser.....	70
Tabelle 10-3:	Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Freiflächensolarthermie / PV.....	71
Tabelle 10-4:	Ausweisung von Verbrennungsverboten in B-Plänen in Neubaugebieten.....	73
Tabelle 10-5:	Übergeordnete regionale Wärmeplanung.....	74
Tabelle 10-6:	Qualifizierung.....	75
Tabelle 10-7:	Kommunikationskonzept	76

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr
EEX	European Energy Exchange
FBH	Fußbodenheizung
Fraunhofer IFAM	Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GIS	Geographisches Informationssystem
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GWh	Gigawattstunden
HK	Heizkörper
ID	Identifikationsnummer
JAZ	Jahresarbeitszahl
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
MWh	Megawattstunden
MV	Mitversorgungsfall / -verbund
PHH	Private Haushalte
SGB	Sozialgesetzbuch
WP	Wärmepumpe

1 Zusammenfassung

Durch die klimatischen, politischen und wirtschaftlichen Entwicklungen der vergangenen Jahre zeigt sich ein beschleunigter Wandel in der Wärme- und Energieerzeugung sowie -versorgung. Nationale und (über-)regionale Klimaziele verstärken diese Entwicklungen in Zukunft zusätzlich. Vor diesem Hintergrund hat die Stadt Mülheim an der Ruhr sich das Ziel der Klimaneutralität bis 2035 gesetzt. Im Rahmen dieser Studie wurde der Wärmemarkt unter Berücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen unter Berücksichtigung energiewirtschaftlicher, politischer und sozialer Faktoren, die einen Einfluss auf die Marktsituation verschiedener Wärmeerzeugungstechnologien haben können, in drei Szenarien modelliert. Das Projekt wurde durch verschiedene Institutionen und Personen im Rahmen von 2 Workshops unterstützt und kritisch begleitet. Die Ergebnisse adressieren abschließend Maßnahmen, die die Erreichung der regionalen Klimaziele unter Berücksichtigung der Wärmemarktentwicklungen unterstützen.

Die zentralen Erkenntnisse der Studie sind, dass die Energieträger Öl und Erdgas aus kostentechnischer und klimapolitischer Sicht keine Option zur Wärmeversorgung darstellen und so schnell wie möglich aus dem Wärmemarkt gehen müssen. Weiterhin wäre es zur Erreichen der Klimaneutralität in 2035 aus volkswirtschaftlicher Sicht von Vorteil, wenn in der Stadt Mülheim an der Ruhr Vorranggebiete zur Versorgung mit den verschiedenen Energieträgern unterteilt wird, sodass doppelte Netzstrukturen minimiert werden. Eine weitere Kernaussage ist, dass die zukünftig dominierenden Energieträger im Bereich der dezentralen Technologien Wärmepumpentechnologien sein werden und zudem ein starker Ausbau der Nah- und Fernwärme (inkl. der Umstellung der Erzeugung auf erneuerbare Energien) notwendig sein wird. Ein großflächiger Einsatz von Wasserstoff als Ersatz von Erdgas in der dezentralen Versorgung wird nicht gesehen. Wasserstoff bzw. andere erneuerbare Gase werden jedoch im Bereich der Industrie (nicht Bestandteil dieser Studie), der Fernwärmeerzeugung sowie einzelnen Gebieten und Gebäuden weiterhin eine Rolle spielen.

Als Ergebnis der Besprechungen mit der Stadt Mülheim, dem regionalen Energieversorger medl GmbH und weiteren Akteuren haben sich die folgenden Maßnahmen herauskristallisiert, welche zum Erreichen der Klimaneutralität notwendig sind und kurzfristig und Priorität verfolgt werden sollten:

- Ausweisen von Vorranggebieten für Nah- und Fernwärme
- Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Flusswasser
- Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Freiflächensolarthermie /-photovoltaik
- Ausweisen von Verbrennungsverboten in B-Plänen aller Neubaugebiete
- Übergeordnete Wärmeplanung in Zusammenarbeit mit angrenzenden Regionen
- Qualifizierung von Fachkräften/ Entgegenwirken des Fachkräftemangels
- Kommunikationskonzept

Eine detailliertere Ausführung dieser Maßnahmen befindet sich am Ende des Berichtes.

2 Einleitung und Projektbeschreibung

Die Stabstelle Klimaschutz und Klimaanpassung der Stadt Mülheim an der Ruhr (im Folgenden mit AG abgekürzt) möchte den 2012 und 2013 durch das Bremer Energie Institut erstellten Wärmeetlas unter Einbezug neuer Gebäude- und Verbrauchsdaten aktualisieren lassen. Das betrifft sowohl den Ist-Stand des Wärmebedarfs als auch dessen Fortschreibung. Das Fraunhofer IFAM, Arbeitsgruppe Energiesystemanalyse, hat im Rahmen von Vorprojekten bereits die Aktualisierung der Wärmekarte der Stadt Mülheim an der Ruhr sowie die Fortschreibung der Wärmebedarfe auf Grundlage der aktualisierten Wärmekarte der Stadt Mülheim a. d. Ruhr durchgeführt. Nun konnte das Fraunhofer IFAM auf dieser Grundlage mögliche Transformationspfade der Wärmeversorgung bis 2045 modellieren und so einen entscheidenden Beitrag zur kommunalen Wärmeplanung für die Stadt Mülheim an der Ruhr leisten. Dazu wurden die folgenden zentralen Arbeitsinhalte bearbeitet:

- Ermittlung der Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt, inklusive der Clusterung der Stadt
- Entwicklung von Szenarien
- Simulation des Wärmemarktes bis 2045
- Entwicklung einer kommunalen Wärmewendestrategie und eines Maßnahmenkataloges

Zunächst liegt der Fokus auf der gesamtstädtischen Potenzialanalyse zur Ermittlung lokaler Potenziale einer regenerativen Wärmeversorgung. Dabei werden sowohl Potenziale einer dezentralen wie auch einer zentralen Wärmeversorgung untersucht. Darunter fallen im Wesentlichen die Nutzung von Biomasse, oberflächennaher Geothermie, Umweltwärme (Fokus auf Flusswasser), Solarthermie und Abwärme (Fokus auf industrielle Abwärme und Abwasser). Die Potenzialanalyse umfasst zusätzlich, soweit möglich, die räumliche Verortung entsprechender potenzieller Wärmequellen sowie die Übertragung der Potenziale auf die einzelnen Gebäude.

Im darauffolgenden Abschnitt wird die Aufbereitung unterschiedlicher, in der Studie genutzter Daten beschrieben. Dabei handelt es sich um die Clusterung der Stadt Mülheim an der Ruhr, die Einteilung der Gebäude in Kategorien sowie um die Aufbereitung verschiedener Daten, die als nicht-monetäre Faktoren in die Simulation des Wärmemarktes einfließen.

Im Rahmen der Entwicklung der Szenarien wurden drei unterschiedlichen Welten aufgespannt, die eine möglichst große Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen abbilden. Im ersten Szenario Trend wird von einem weitest gehenden „Weiter-so“ ausgegangen, wodurch sich bis 2045 keine Klimaneutralität im Wärmemarkt ergibt. Die Szenarien 2 und 3 sind jeweils Zielszenarien, die von einer Klimaneutralität im Wärmemarkt bis 2045 bzw. 2035 für die Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sowie der privaten Haushalte (PHH) ausgehen.

Sowohl die Potenzialermittlung als auch die Szenarien fließen in die Simulation des Wärmemarktes ein. Ziel dieser Simulation ist zunächst auf Ebene der Einzelgebäude unter Einbeziehung der Wärmegestehungskosten sowie nicht-monetärer Faktoren die Ausweisung der

Heizungstechnik bzw. des Energieträgers sowie der Wärmegestehungskosten für die jeweiligen Betrachtungszeitpunkte (2035 und 2045). Die Ergebnisse der Einzelgebäude werden im Anschluss auf Ebene der Cluster aggregiert. Durch diese Aggregation wird die bevorzugte Eignung der Gebiete für unterschiedliche Techniken sichtbar. Da die Berechnung der Wärmegestehungskosten ein sehr zentraler Schritt ist, wird dieser in Abschnitt 7 gesondert beschrieben, bevor in Abschnitt 8 das Vorgehen zur Simulation des Wärmemarktes an sich beschrieben wird.

Die Ergebnisse fließen wiederum in die kommunale Wärmewendestrategie ein. Um die nächsten Schritte auf dem Weg zur Klimaneutralität im Wärmesektor zu konkretisieren, wurden verschiedene Maßnahmen im Rahmen eines Workshops diskutiert. Für 7 dieser Maßnahmen wurden ausführliche Steckbriefe erstellt.

Der Industriesektor wird im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet, da die Entscheidungen einzelner Unternehmen eine sehr große Auswirkung haben, gleichzeitig aber schlecht vorhersehbar, bzw. durch die Politik in Mülheim beeinflussbar sind.

3 Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse beschränkt sich im Wesentlichen auf die Erhebung der Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien für die Bereitstellung von Wärme. In Hinblick auf den Einsatz dezentraler Wärmepumpen konnte das Fraunhofer IFAM gebäudescharfe Potenziale auf Grundlage des aktualisierten Gebäudebestandes ermitteln. Weitere Informationen zu erneuerbaren Energiepotenzialen konnten durch den AG entlang bereits vorliegender Studien bereitgestellt oder in Absprache mit AG durch Recherchen und eigene Erhebungen vom Fraunhofer IFAM ermittelt werden. Die Potenziale werden in der Folge dargestellt. Es handelt sich hierbei um technische Potenziale. Die tatsächliche Einbindung wird im Rahmen der Simulation des Wärmemarktes ermittelt (siehe Abschnitt 8).

3.1 Biomasse

Die Biomassepotenziale werden aus dem *Regionalen Klimaschutzkonzept zur „Erschließung der Erneuerbaren-Energien-Potenziale in der Metropole Ruhr“* (Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft 2016) übernommen und werden als konstant angenommen. In der folgenden Tabelle sind die Gesamtpotenziale für die Biomasse dargestellt.

Tabelle 3-1: Übersicht über die Biomassepotenziale (eigene Darstellung nach (Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft 2016))

Forstwirtschaft	Landwirtschaft	Abfallwirtschaft	Insgesamt
6,9 GWh/a	10,6 GWh/a	61,1 GWh/a	78,6 GWh/a

3.2 Geothermie

Die Betrachtungen der Geothermie beziehen sich ausschließlich auf oberflächennahe Geothermie. Die Potenziale tiefer Geothermie wurde nicht ermittelt.

Der Fokus liegt auf den oberflächennahen Erdwärmesondensystemen, da diese Erschließungsart von Geothermie bei dezentralen Wärmepumpen Stand der Technik ist. Liegt die Temperatur des vom Sondensystem geführten Wärmeträgermediums unter der des Erdreiches, kann der Erde Wärme entzogen werden. Kehrt sich im Sommer der Temperaturgradient um, ist auch eine Kühlung möglich (Bracke et al. 2015). Die räumliche Eignung dieser Technik für das Projektgebiet wird gebäudescharf ermittelt und angewendet.

Ermittlung nutzbarer Flächen

Unter Beachtung der gesetzlichen Vorgaben werden nutzbare Flächen ermittelt, die sich aus der Verschneidung von Gunst- und Restriktionsflächen ergeben. Die Gunstflächen umfassen zunächst die Flurstücke, die mit einem beheizten und somit als potenziell zu versorgenden Gebäude bebaut sind. Da nur die unbebauten Anteile der Flurstücke Potenzialflächen sind, werden die Grundrisse der Bestandsgebäude als Restriktionsflächen abgezogen.

Weitere Restriktionsflächen stellen Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebiete dar, da bei den betrachteten Bohrungen von bis zu 100 m ein besonderer Schutz des Grundwassers notwendig wird. Die Lage entsprechender Gebiete wird vom (LANUV 2021) als Web-Map-Service zur Verfügung gestellt, sodass ein räumlicher Abgleich mit den Flurflächen bzw. Gebäuden im GIS möglich ist. Die Flächen sind dabei in verschiedene Schutzzonen aufgeteilt. Unter Hinzunahme des ebenfalls vom LANUV verfassten Arbeitsblattes 39 - Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme (Eisele et al. 2019) – werden die Zonen I, II und IIIA als typischerweise nicht zulässig und damit als Restriktionsflächen festgehalten. Für die Kennung IIIB ist hingegen von einer Nutzungserlaubnis auszugehen.

Aus jener Ausarbeitung gehen auch Empfehlungen zu Mindestabständen zwischen den Erdwärmesonden und den jeweiligen Grundstücken hervor, entlang derer thermische Einflüsse auf dem Nachbargrundstück und zwischen mehreren Erdwärmesonden verhindert werden können. So beträgt der empfohlene Mindestabstand zwischen den Sonden 6 m und zu jeder Grundstücksgrenze 5 m. Ersteres entspricht einer kreisrunden Mindestfläche von ca. 28 m², die je Erdwärmesonde angenommen wird. Zusätzlich wird, analog zur Empfehlung, je Grundstücksseite ein 5 m Puffer als Restriktionsfläche modelliert.

In Absprache mit dem AG wurden Flächen mit verkarstungsfähigem Gestein, oberflächennahem Bergbau, Erdbebengefahr und Gasaustritt auf mögliche Restriktionen geprüft. Lediglich für mit oberflächennahen Bergbau belegten Flächen konnte eine inhaltliche sowie räumliche Relevanz für das Projektgebiet ermittelt werden. Insbesondere Setzungen und Hohlräume machen die geothermische Nutzung unwirtschaftlich (Bracke et al. 2015).

Geothermisches Potenzial des Untergrundes

Für die Berechnung des geothermischen Potenzials eines Flurstücks ist neben dem theoretisch nutzbaren Flächenanteil auch die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes, die spezifische Entzugsleistung sowie die angenommenen Betriebsstunden und die Jahresarbeitszahl entscheidend. Auf Grundlage der im Rahmen der LANUV Potenzialstudie EE – Teil 4 Geothermie (Bracke et al. 2015)- erfassten Wärmeleitfähigkeit sowie dem Web-Map-Service zur geothermischen Ergiebigkeit bei 100 m Sondenlänge des Geologischen Dienstes NRW (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen 2022), kann eine mittlere Wärmeleitfähigkeit angenommen werden. Entlang der Vorgaben des VDI 4640 (VDI-Richtlinie VDI 4640 Blatt 2) wird die Wärmeleitfähigkeit in eine spezifische Entzugsleistung von 60 W/m übersetzt. Die mittlere Betriebsstundenzahl entstammt der LANUV Potenzialstudie (Bracke et al. 2015) und wird passend zur VDI 4640 Tabelle auf 1.800 h/a reduziert. Mit einer angenommenen Jahresarbeitszahl von 3 ergibt sich ein Faktor von 1,33 zwischen Nutz- und Umweltwärme. Mit diesen getroffenen Annahmen beträgt der durch eine Erdwärmesonde zu deckende Jahresbedarf 14.364 kWh/a. Eine Übersicht der Annahmen befindet sich in Tabelle 3-2.

Tabelle 3-2: Übersicht der getroffenen Annahmen für Erdwärme

Eigenschaft	Getroffene Annahme
Wärmeleitfähigkeit	1,875 – 2,625 W/(m*K)
Spezifische Entzugsleistung	60 W/m
Betriebsstunden	1.800 h/a
Sondentiefe	100 m
JAZ	3,0
Verhältnis Nutzwärme zu Umweltwärme	1,33
Jährlicher Ertrag einer Erdwärmesonde	10.800 kWh/a
Zu deckender Jahresbedarf durch eine Erdwärmesonde	14.364 kWh/a

Berechnung Erdwärmepotenzial der Flurstücke

Zunächst werden die Flurstücksflächen um die ermittelten Restriktionsflächen reduziert. Anschließend wird die Restfläche durch die veranschlagten 28 m² dividiert und das Ergebnis ganzzahlig abgerundet, um die Anzahl der theoretisch installierbaren Erdwärmesonden zu ermitteln. Multipliziert mit dem Potenzial von 14.364 kWh/a je Sonde wird abschließend das Erdwärmepotenzial in kWh/a je Flurstück berechnet.

Anschließend wird der Wärmebedarf im Mitversorgungsverbund mit dem Wärmepotenzial der Erdwärmepumpen auf dem bzw. den entsprechenden Flurstücken verglichen und so eine mögliche Deckung des Bedarfes durch diese Technologie ermittelt. Dabei wird das Potenzial je Mitversorgungsverbund berechnet, sodass bei einem Flurstück mit mehreren Gebäuden verschiedener Mitversorgungsverbünde das Potenzial der Erdwärmepumpen anteilig vergeben wird, abhängig vom Anteil des Wärmebedarfs auf dem Flurstück. Abbildung 3-1 zeigt deutlich, dass im Bereich der Einfamilienhäuser sehr viele Objekte ein Potenzial aufweisen, während es größere Einschränkungen im Bereich der Blockbebauung, aber auch der Reihenhäuser gibt.

Insgesamt konnte für 15.500 der 39.416 beheizten Objekte ein Versorgungspotenzial durch Geothermie ermittelt werden. Der aufsummierte Wärmebedarf dieser Gebäude beträgt 667 GWh/a. Eine differenzierte Darstellung des anteiligen Erdwärmepotenzials in Abhängigkeit des Gesamtwärmebedarfs der Gebäudetypen befindet sich in Tabelle 3-3.



Abbildung 3-1: Eignung oberflächennahe Geothermie – Vergleich Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Blockbebauung

Tabelle 3-3: Anteil Wärmebedarf des Erdwärmepotenzials nach Gebäudetypen

Gebäudetyp	Erdwärmepumpenpotenzial
Ein- und Zweifamilienhaus	44 %
Mehrfamilienhaus	40 %
Reihenhaus	11 %
Nichtwohngebäude	61 %

3.3 Umwelt- und Abwärme

Neben der Biomasse und der Geothermie wird das Potenzial für die Nutzung von Umwelt- und Abwärme im Rahmen der Studie erhoben. Dazu gehören die Wärmequellen Abwasser, Flusswasser und Industrie. Zusätzlich wird die Wärmenutzung aus der Umgebungsluft durch Luft-Wärmepumpen betrachtet.

3.3.1 Abwasserwärme

Abwasser birgt in der Kombination mit einer Wärmepumpe ein Wärmepotenzial, welches konstant zur Verfügung steht und zudem auch dort anfällt, wo Raumwärme benötigt wird. Für die Bilanzierung der theoretisch nutzbaren Abwasserwärme ist zunächst die Lage der Abwasserleitungen im Untersuchungsgebiet notwendig. Entsprechende Daten wurden durch die medl GmbH zur Verfügung gestellt. Zudem enthalten die Daten Informationen

über die unterschiedlichen Leitungsdurchmesser, Leitungslängen und Trockenwetterabflussmengen. Die entsprechenden Potenziale der Teilleitungen wurden auf Ebene der Cluster aufsummiert, wenn diese in dem entsprechenden Cluster liegen, und so als anteilige Versorgungslösung in die Wärmemarktstudie aufgenommen. Abwasserkanäle mit einer Trockenwetterabflussmenge $< 15 \text{ l/s}$ oder einem Leitungsdurchmesser $< 800 \text{ mm}$ sind nicht in die Berechnungen eingeflossen.

Entlang der bereitgestellten Daten konnte die im Cluster zur Verfügung stehende Wärmemenge ermittelt werden. Dabei erfolgten zwei Berechnungen, bei denen einerseits der Trockenwetterabfluss – andererseits die Leitungslänge als Berechnungskriterium gedient hat. Der Trockenwetterabfluss innerhalb des Clusters wurde mit 10 kW/(l/s) multipliziert. Die Entnahmeleistung in Abhängigkeit der Leitungslänge wurde mit 2 kW/m angenommen und mit $\frac{1}{4}$ der Gesamtleitungslänge innerhalb des Clusters multipliziert. Dadurch wird die 3-fache Streckendistanz als Erholungslänge zur Regeneration der Abwasserwärme berücksichtigt. Je Cluster wird der niedrigere dieser beiden Werte für die mögliche Entzugsleistung und damit als Gesamtpotenzial der Abwasserwärme genutzt. Das aufsummierte theoretische Potenzial beträgt 85 GWh/a . Der Leitungsverlauf und die nutzbare Abwasserwärmenge ist in Abbildung 3-2 dargestellt.

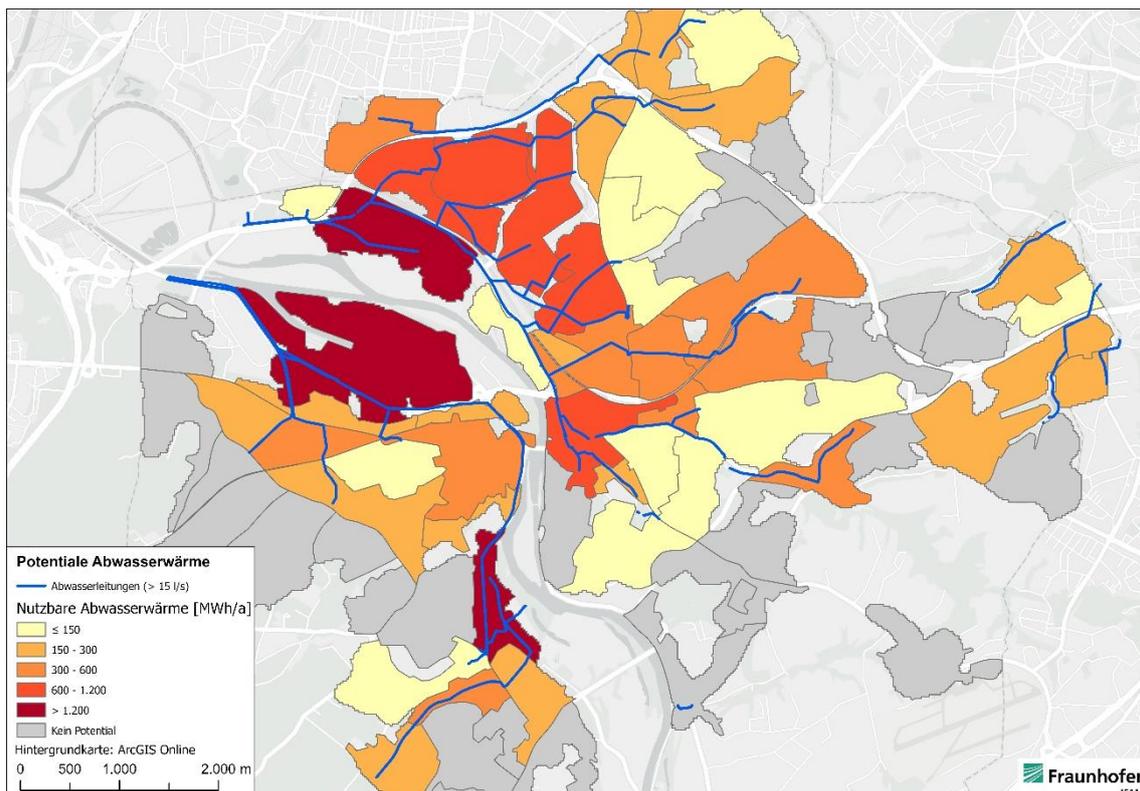


Abbildung 3-2: Abwasserkanäle mit Wärmeentnahmepotenzial und nutzbare Wärmemenge je Cluster

3.3.2 Industrielle Abwärme

Die Industrie nutzt zum Teil Prozesse, bei denen hohe Temperaturen und Wärmemengen benötigt werden. Ein Teil der Wärme lässt sich anschließend häufig nicht mehr innerhalb des Industrieprozesses wiederverwerten und wird an die Umwelt abgegeben, obwohl diese zur Wärmeversorgung von Gebäuden genutzt werden könnte. Das Fraunhofer IFAM hat einen Fragebogen erstellt und an potentielle Betriebe geschickt, um ihr mögliches Abwärmepotenzial zu erfassen (siehe Anhang). Insgesamt wurden fünf potentielle Großbetriebe angefragt. Von jeweils zwei Unternehmen blieb eine Rückmeldung aus oder es konnte kein Abwärmepotenzial festgestellt werden. Eine positive Rückmeldung eines Industriebetriebes ergab ein theoretisches Abwärmepotenzial von bis zu 24 GWh/a.

3.3.3 Flusswärme

Flusswasser wurde lange fast ausschließlich zur Kühlung von Kraftwerken und Industrieanlagen genutzt. In Zukunft kann die Wärmeentnahme aus Fließgewässern jedoch eine potente Wärmequelle für Nah- und Fernwärmenetze darstellen. Derzeit gibt es in Deutschland noch keine eindeutige Gesetzeslage zur thermischen Nutzung von Flusswasser zum Entziehen von Wärme. Bei der Standortwahl und Dimensionierung sollten jedoch rechtliche, ökologische und technische Faktoren berücksichtigt werden. Zu den rechtlichen Faktoren gehört vor allem die Berücksichtigung der Binnenschifffahrt, welche nicht behindert werden darf. Ökologische Be- und Eingrenzungen gibt es durch geschützte Biotope, eine jahreszeitkonforme „Abkühlung“ des Flusswassers, welche Folgen für die Biozönose heimischer Fischarten haben könnte, und dessen Wiedereinleitung und Durchmischung in das Gewässer. Die technische Realisierbarkeit wird zum Teil durch die genannten ökologischen Faktoren begrenzt.

Zwei mögliche Standorte für die Wärmeentnahme aus Flusswasser sind das Wasserwerk Kahlenberg und das Wasserwerk Raffelberg. Sie sind in der Abbildung 3-3 dargestellt. Unter der konservativen Annahme, dass sich eine Abkühlung des Flusswassers um 1 Kelvin unproblematisch auf die Flora und Fauna auswirkt ergibt sich unter Berücksichtigung des Wasserdurchflusses (Talsperrenleitzentrale Ruhr 2022) eine Entnahmeleistung von 20 MW. Das theoretische Gesamtwärmepotential beträgt somit 220 GWh/a.



Abbildung 3-3: Mögliche Standorte für die Wärmeentnahme aus Flusswasser

3.3.4 Luftwärmepumpen

Die Nutzung der Wärme aus der Umgebungsluft durch den Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen ist ein bewährtes Verfahren und gilt als eine der Schlüsseltechnologien für die zukünftige Wärmeversorgung. Der räumlich limitierende Faktor für den Einsatz dieser Technik ist der empfohlene Mindestabstand aufgrund von Schallemissionen. Die Empfehlungen unterscheiden sich je nach Siedlungstyp, da die Notwendigkeit strenger Lärmschutzmaßnahmen mit der Flächennutzung variiert. Nach Absprache mit dem AG orientiert sich die Untersuchung an den Vorgaben der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz 2020). Da hier zum aktuellen technischen Stand der Schallemissionen einer Luftwärmepumpe von 48 dB der erforderliche Abstand mit „<3.0 m“ teilweise nicht weiter spezifiziert wird, werden Erfahrungswerte ergänzt, die der Tabelle 3-4 entnommen werden können.

Tabelle 3-4: Übersicht der getroffenen Annahmen für Luftwärmepumpen

Siedlungstyp	Angenommener Abstand
Reines und allgemeines Wohngebiet	3,0 m
Misch-, Kern- und Dorfgebiete sowie urbane Gebiete	2,0 m
Gewerbegebiet	1,0 m

Die Schallschutzabstände werden als Abstandsflächen in das Geographische Informationssystem (GIS) eingepflegt. Mit der Betrachtung im GIS wird deutlich, dass insbesondere in Siedlungsstrukturen der Blockbebauung und der Innenstadt das Potenzial eingeschränkt ist.

Aufgrund der dichten Bebauung kann damit für 1.122 beheizte Gebäude kein Potenzial für Luftwärmepumpen ermittelt werden. Abbildung 3-4 zeigt hingegen, dass mit dem Schallschutzabstand die Flurstücksflächen in dem dargestellten Wohn- sowie Gewerbegebiet ausreichend sind. Für 38.294 Objekte mit einem Wärmebedarf von insgesamt 2.217 GWh/a kann ein Potenzial für Luftwärmepumpen festgehalten werden. Aufgrund der konkreten Situation kann es in Einzelfällen eine abweichende Einschätzung geben.

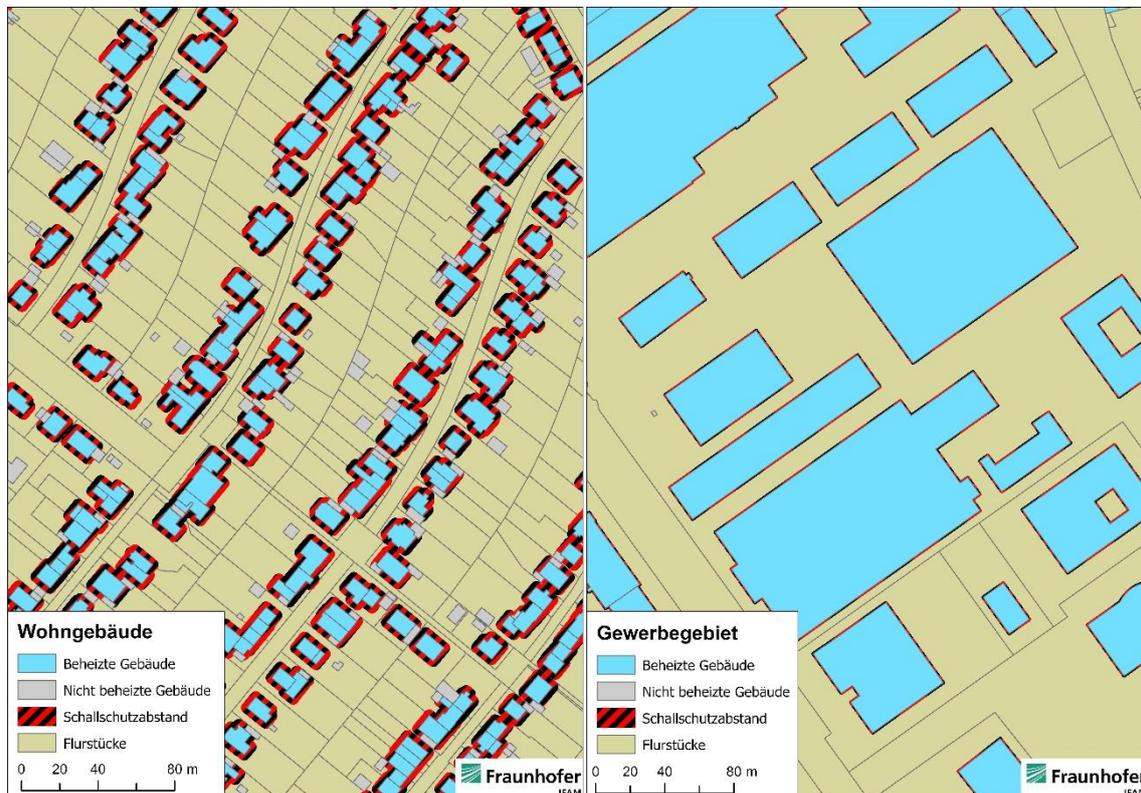


Abbildung 3-4: Eignung Luftwärmepumpe im Wohn- und Gewerbegebiet

3.4 Solarthermie

Das Solarthermie-Potenzial für das Projektgebiet wird zum einen für die Dachflächen, zum anderen für die Freiflächen ermittelt.

Für das Potenzial der Dachflächen wurde der vom AG zur Verfügung gestellte Gebäudedatensatz mit der Kennung der Gebäude zur Eignung für Solarthermie herangezogen. Innerhalb des Datensatzes wurde zwischen ungeeigneten, geeigneten und gut geeigneten Gebäuden unterschieden. Diese Kennung konnte über einen räumlichen Abgleich auf die Gebäudegrundlage dieses Projektes übertragen werden. Unter der Annahme, dass die gut geeigneten Gebäude verstärkt für die Solarthermie in Betracht gezogen werden, wurde das Gesamtpotenzial des Projektgebiets in Höhe von 58 GWh/a primär auf diese Gebäudegruppe vergeben. Die räumliche Verteilung des Potenzials ist in Abbildung 3-5 dargestellt.

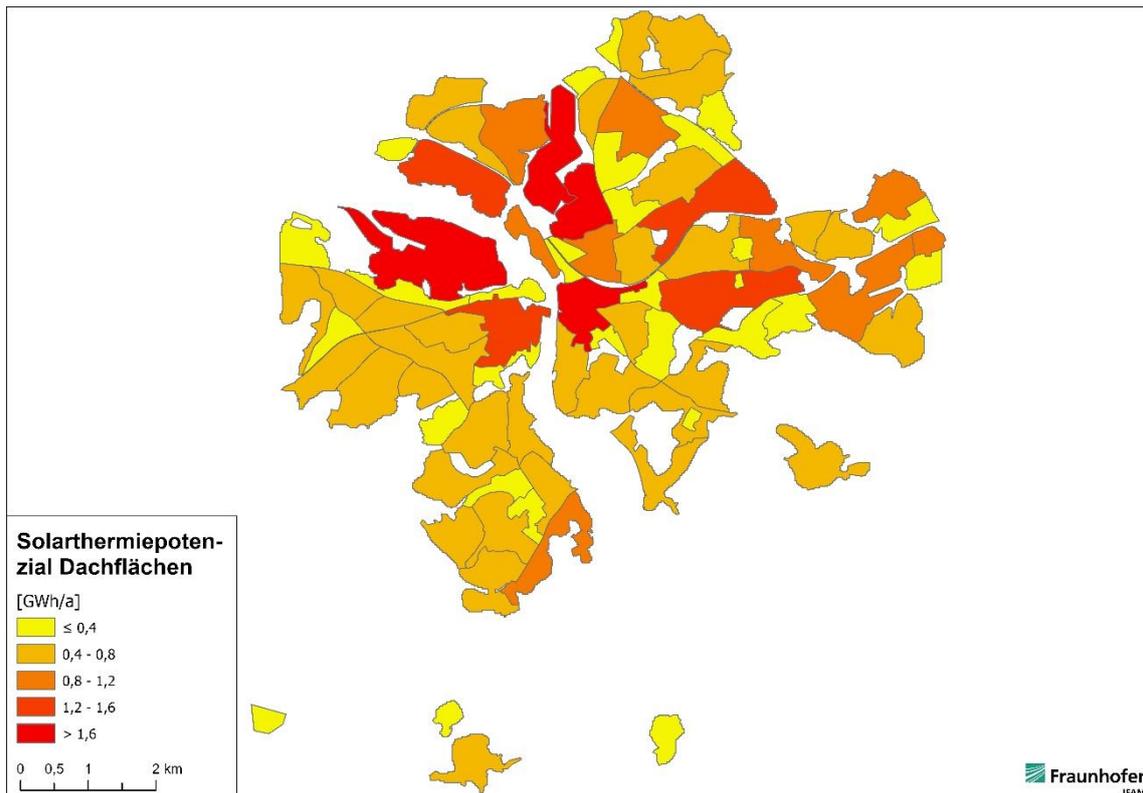


Abbildung 3-5: Solarthermiepotenzial Dachflächen auf Clusterebene

In Hinblick auf die **Freiflächen**-Solarthermie werden die potenziell zu nutzenden Flächen durch den AG vorgegeben, indem die *Potenzialflächenanalyse Freiflächenphotovoltaik* zur Verfügung gestellt wird (Stadt Mülheim an der Ruhr 2022). Um das Wärmegeistungspotenzial der entsprechenden Flächen zu berechnen, wird das Tool *ScenoCalc Fernwärme 2.0*, kurz *SCFW 2.0*, genutzt, das das Solites Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (Solites - Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme 2022) entwickelt hat und das auf Anfrage kostenlos genutzt werden kann. Mit diesem Excel-basierten Tool kann der Wärmeertrag für Solarthermieanlagen auf Grundlage der Bruttokollektorfeldfläche, technischer Rahmenbedingungen und lokalen klimatischen Bedingungen modelliert werden. In Hinblick auf die Solarpanel-Modelle wird sich für ein Modell mit durchschnittlichem Ertrag entschieden. Für die klimatischen Bedingungen werden Informationen aus den Testreferenzjahren des Deutschen Wetterdienstes (Deutscher Wetterdienst DWD 2022) für Mülheim an der Ruhr verwendet. Auf Grundlage dessen konnte ein spezifischer Wärmeertragswert von 300 kWh/m²*a ermittelt werden. Die Lage der Potenzialflächen ist in Abbildung 3-6 dargestellt. Das theoretische Gesamtpotenzial der Flächen beläuft sich auf 122,8 GWh/a.

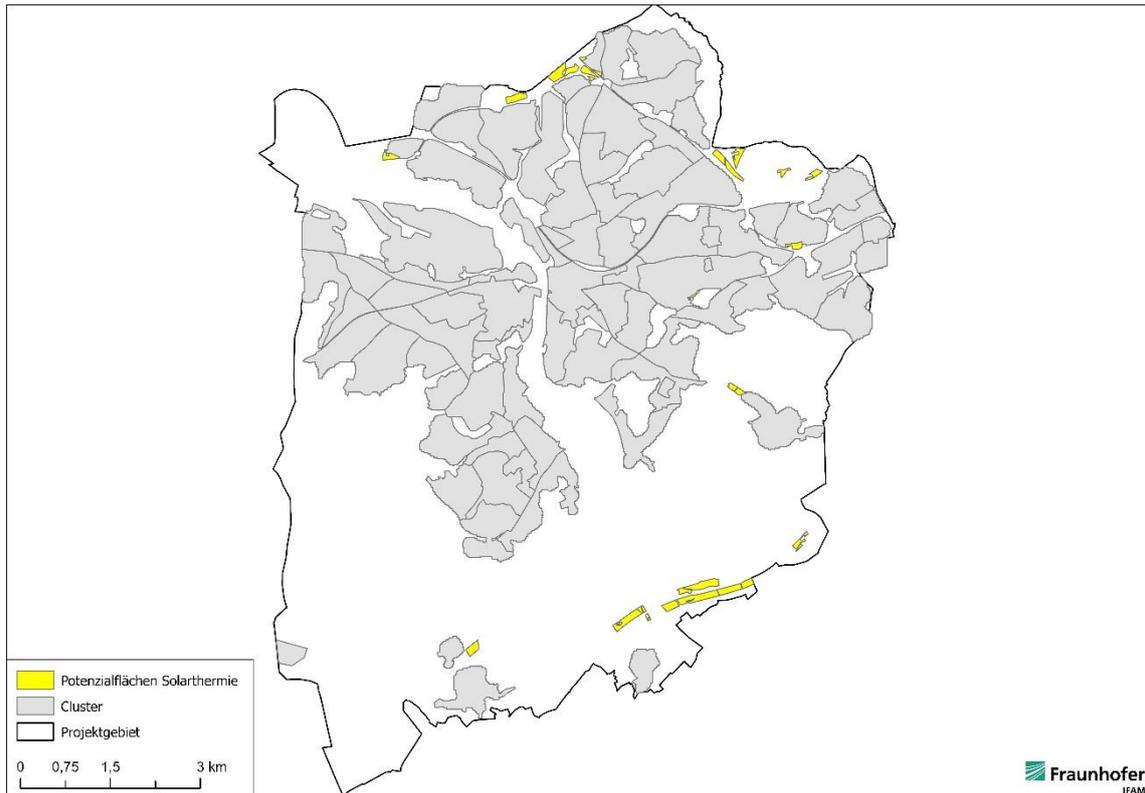


Abbildung 3-6: Lage der Potenzialflächen für Freiflächen-Solarthermie

4 Aufbereitung weiterer Daten

Die im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung verwendeten Gebäudedaten entstammen der durch das Fraunhofer IFAM im Rahmen eines Vorprojektes durchgeführten Aktualisierung und Fortschreibung der Wärmebedarfe in der Stadt Mülheim an der Ruhr. Diese gilt es nun um für die kommunale Wärmeplanung relevante (geographische) Daten und Informationen zu erweitern. Neben der Zuweisung weiterer Informationen zu bereits bestehenden Geodaten, wie beispielsweise der Gebäudegrundkarte, wurden auch neue Geodaten vom AG zur Verfügung gestellt, auf Grundlage bereitgestellter Informationen ermittelt oder im Rahmen der einzelnen Analyseschritte erzeugt.

4.1 Aufbereitung der Gebäudegrundkarte

Die räumliche Lage, Geometrie und hinterlegten Informationen, beispielsweise zur Höhe des Wärmebedarfs im Ist-Stand sowie des Energieträgers und die Fortschreibung des Wärmebedarfs, der sich im Projektgebiet befindlichen Gebäude sind für die Ausarbeitung einer kommunalen Wärmestrategie unabdingbar. So gilt es, die Gebäudegrundkarte mit weiteren Informationen über die jeweiligen Objekte oder ihr direktes Umfeld zu versehen. Darunter fällt zunächst die differenziertere Einteilung der Wohngebäude in Einfamilienhäuser, Reihenhäuser sowie Mehrfamilienhäuser. Die Abgrenzung der Wohngebäudetypen erfolgt unter anderem auf Grundlage der Nutzfläche, der Identifikation als Haupt- oder Nebengebäude sowie der Nachbarschaft der Einzelgebäude zu einander. So werden mindestens drei aneinander liegende Einfamilienhäuser als Reihenhauskomplex identifiziert und die Einzelobjekte als Reihnhaus gekennzeichnet.

Darüber hinaus ist für die leitungsgebundene Wärmeversorgung die Hausanschlusslänge ein wichtiges (Kosten-)Kriterium und somit relevant für die Potenzialanalyse. Sie wurde für die Gebäude ermittelt, von denen die Wärmeversorgung für die übrigen Gebäude des Mitversorgungsverbundes (MV) ausgeht (Objektposition = 1). Die Länge entspricht der kürzesten Entfernung von der der Straße zugewandten Häuserkante bis zur Straßenmitte.

Für die Ermittlung der Wärmegestehungskosten (siehe Abschnitt 7) der unterschiedlichen Heizungstechniken der Einzelgebäude ist die Zuordnung dieser zu Gebäudekategorien notwendig. Die Gebäudekategorien orientieren sich an der Wärmemenge sowie der Gebäudenutzung. Unterschieden wird zwischen Wohngebäuden, Nichtwohngebäuden ohne Prozesswärmebedarf (Handel, Büro) und Nichtwohngebäuden mit gewerblicher Nutzung. Die beiden Kategorien der Nichtwohngebäude unterscheiden sich in den angenommenen Vollbenutzungsstunden von 1.500 bzw. 2.000 Stunden pro Jahr. Die gewählten Gebäudekategorien sind in Tabelle 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1: Überblick über Gebäudekategorien

Wohngebäude									
Leistung [kW]	5	10	20	40	70	100	150	250	500
Wärmemenge [MWh/a]	7,5	15	30	60	105	150	225	375	750
Vollbenutzungsstunden [h/a]	1.500								
Nichtwohngebäude – Handel, Büro									
Leistung [kW]	5	10	25	50	100	200	400	800	1.500
Wärmemenge [MWh/a]	7,5	15	37,5	75	150	300	600	1.200	2.250
Vollbenutzungsstunden [h/a]	1.500								
Nichtwohngebäude - Gewerbe									
Leistung [kW]	5	10	25	50	100	200	400	800	1.500
Wärmemenge [MWh/a]	10	20	50	100	200	400	800	1.600	3.000
Vollbenutzungsstunden [h/a]	2.000								

4.2 Unterteilung der Stadt Mülheim an der Ruhr in Cluster

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Relevanz leitungsgebundener Wärmeversorgungs-lösungen ist eine räumlich differenzierte Ausarbeitung möglicher Versorgungsgebiete entscheidend. So lassen sich mögliche Potenziale nur schwer auf Ebene der Einzelgebäude ermitteln, zumal diese Betrachtungsebene für eine differenzierte Gesamtsicht auf das Projektgebiet eher ungeeignet ist. In Kombination mit der angestrebten Abbildung der Transformation des Wärmemarktes stellen Cluster die optimale räumliche Betrachtungsebene dar. In ihnen werden wichtige Informationen, wie etwa die Wärmeliniendichte, das Potenzial erneuerbarer Wärmequellen und die Verteilung möglicher Erzeugungstechniken zusammengefasst. So erlaubt es diese Ebene mit einem ausreichenden Detailgrad zielgerichtete Maßnahmen und Empfehlungen abzuleiten sowie Ergebnisse übersichtlich darzustellen.

Bei der Clusterung wurde wie folgt vorgegangen: Im ersten Schritt wurden Gebiete als Cluster definiert, die etwas außerhalb der Stadt liegen. Im nächsten Schritt wurden die verbleibenden Gebiete anhand von großen Infrastrukturen wie Autobahnen, Flüssen oder Bahnschienen getrennt. Insbesondere in den dicht bebauten innenstädtischen Bereichen wären die Cluster nach diesem Schritt jedoch noch immer sehr groß. Daher wurden für den letzten

Schritt der Feinclusterung weitere Kriterien wie die Wärmedichte, bisherige Beheizungsstrukturen (insbesondere bestehende Nahwärmenetze) sowie Siedlungsstrukturen herangezogen. Zudem wurde ein Abgleich mit den Raumtypen durchgeführt, die vom AG zur Verfügung gestellt wurden.

Im Ergebnis wird die Stadt Mülheim an der Ruhr in 82 Cluster unterteilt (siehe Abbildung 4-1). Auf die Gebäude innerhalb der Cluster entfallen 98 % des Wärmebedarfs. Für die wenigen Gebäude, die außerhalb liegen, ist eine wärmeleitungsgebundene Versorgung aufgrund der niedrigen Wärmedichte nicht sinnvoll.

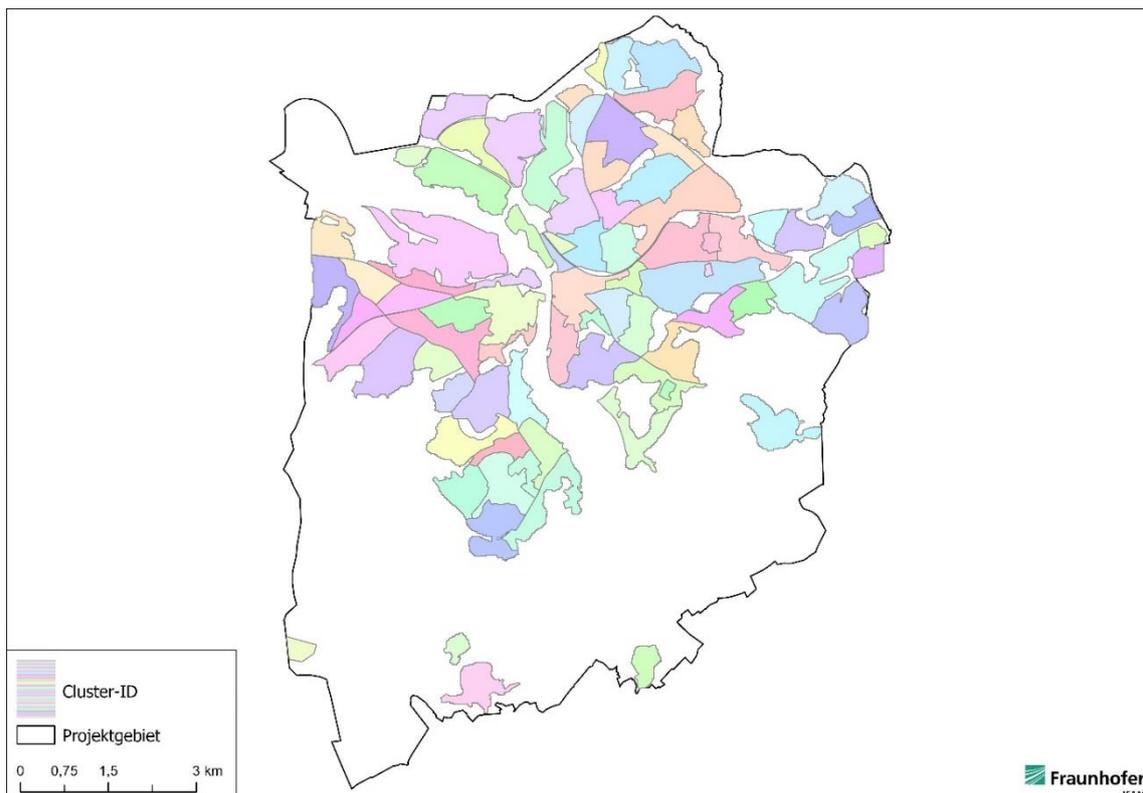


Abbildung 4-1: Unterteilung der Stadt Mülheim an der Ruhr in 82 Cluster

4.3 Erstellen von Wärmelinien

Wärmelinien stellen Straßenabschnitte dar, die jeweils begrenzt von einer bis zur nächsten Straßenkreuzung verlaufen. Dabei sind nur jene Straßentypen relevant, die grundsätzlich für den Ausbau leitungsgebundener Versorgung zur Verfügung stehen. Demzufolge gilt es, Autobahnen oder mehrspurige Bundesstraßen im Rahmen der Erstellung auszuschließen. Als Datengrundlage wird das Basis-DLM verwendet, in dem die Straßen als Linienfeatures inklusive der entsprechenden Angabe der Typen vorliegen. Den Versorgergebäuden mit der Objektposition 1 wird die Information zu der jeweils nächstgelegenen Wärmelinie über eine Identifikationsnummer (ID) zugewiesen. Diese ID der Wärmelinie wird auf jedes Gebäude im MV übertragen, sodass jeweils vollständige MV den Wärmelinien zugeordnet werden. Die Wärmebedarfssumme aller einem Straßenabschnitt zugeordneten Gebäude dividiert durch die Länge des Straßenabschnittes ergibt dann die Wärmelinienendichte. Interessant sind

insbesondere hohe Werte, da sie vorteilhaft für den Ausbau von Fern- oder Nahwärme sind. So kann in diesen Fällen eine hohe Anschlussmenge bei gleichzeitig kurzem Leitungsbedarf erzielt werden. Die spezifischen Investitionskosten von Fern- oder Nahwärmeleitungen sind in Bereichen hoher Wärmeliniedichten besonders gering.

4.4 Modellierung des Nahwärmenetzes

Im Rahmen des Vorprojektes konnten für das Projektgebiet zwar keine detaillierten Netzdaten, dafür jedoch Gebiete mit der Information, dass in diesem Bereich ein Nahwärmenetz vorliegt, zur Verfügung gestellt werden. Für die kommunale Wärmeplanung bedarf es allerdings möglichst genauer Netzverläufe, sodass es gilt, auf Grundlage der gebäudescharfen Informationen ein Netz zu modellieren. Zunächst werden ausgehend von den mit Nahwärme versorgten Gebäude die jeweiligen Wärmelinienabschnitte als gesetzter Teil des Nahwärmenetzes markiert, der ihnen nächstgelegen ist. Im Ergebnis dieses Schrittes liegen verstreut in den Nahwärmegebieten markierte Wärmelinienabschnitte vor. Diese werden nun entlang der zwischen ihnen liegenden Wärmelinienabschnitte verbunden, sodass ein zusammenhängendes Netz in den jeweiligen Gebieten entsteht. Dies kann nun für die weiteren Analysen verwendet werden, beispielsweise zur Ermittlung des weiteren Ausbaubedarfs der Wärmenetze.

4.5 Altersstruktur

Der Auftraggeber hat dem Fraunhofer IFAM Informationen über die Altersstruktur, insbesondere den Anteil der EinwohnerInnen über 60 Jahre, auf Baublockebene zur Verfügung gestellt (Abbildung 4-2). Diese werden in Abschnitt 8.2 für die Abbildung nicht monetärer Faktoren in der Simulation des Wärmemarktes genutzt. Auf die einzelnen Gebäude wurde nach den statistischen Verteilungen auf Baublockebene die Altersanteile zugewiesen.

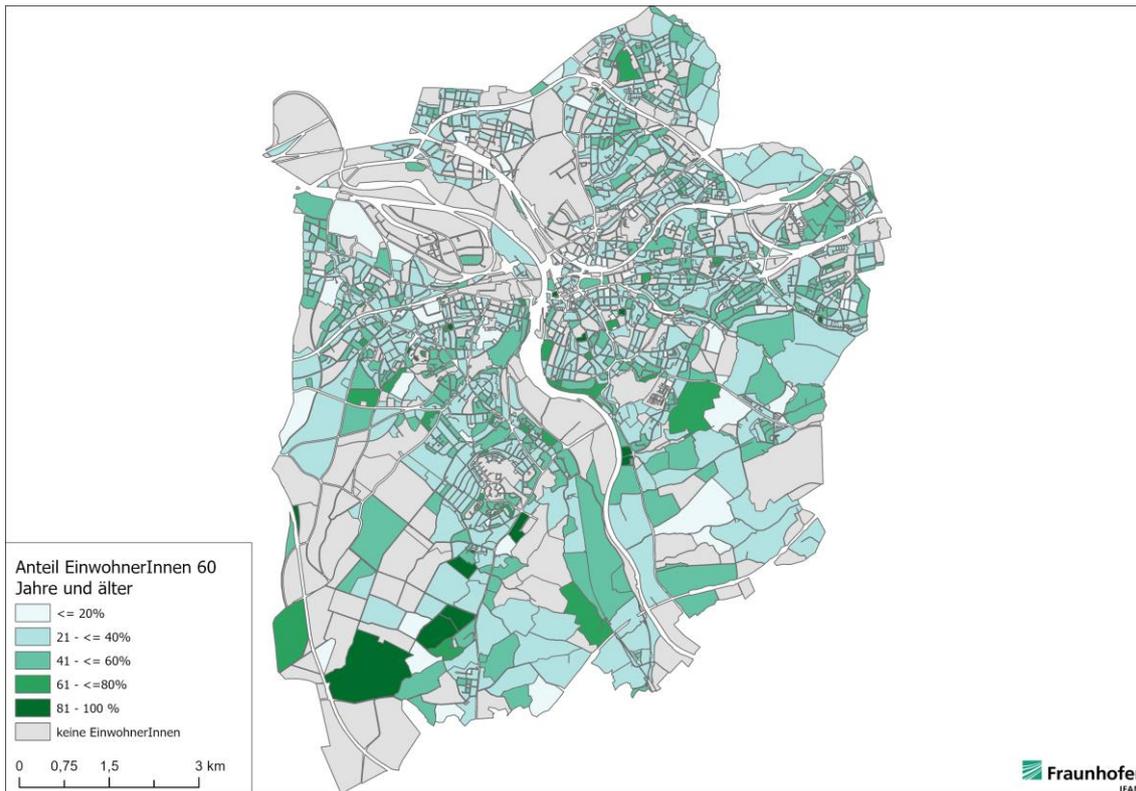


Abbildung 4-2: Anteil Einwohner/innen 60 Jahre und älter auf Baublockebene

4.6 SGB II - Leistungsbezieher

Der Anteil SGB II - Leistungsbezieher wird für die Abbildung nicht monetärer Faktoren in der Simulation des Wärmemarktes berücksichtigt. Für die oberen 10 % der Bezirke mit hohem Anteil SGB II - Leistungsbezieher wird in der Simulation eine andere Höhe der Einflussparameter in Abschnitt 8.2 angesetzt. Als Datengrundlage dienten Statistiken des Auftraggebers (Stadt Mülheim an der Ruhr 2020), die mit den frei verfügbaren, räumlichen Daten der statistischen Bezirke (Stadt Mülheim an der Ruhr 2019) verknüpft und anschließend auf die Gebäude übertragen wurden. Eine Fortschreibung der Daten wird nicht durchgeführt.

4.7 Wohnungsbaugesellschaften

Das Fraunhofer IFAM hat vom Auftraggeber gebäudescharfe Informationen über die Eigentümerart erhalten (Abbildung 4-3). Auch diese wurden in Abschnitt 8.2 für die Betrachtung nicht monetärer Faktoren genutzt, da es sich bei den Gebäuden der Wohnungsbaugesellschaften zwar um Gebäude handelt, die die Charakteristik von Wohngebäuden aufweisen, ihre Eigentümer agieren jedoch in der Regel wie Wirtschaftsunternehmen und damit abweichend von privaten Eigentümern.



Abbildung 4-3: Eigentümer der Gebäude nach Wohnungsbaugesellschaften und sonstige Eigentümer

5 Entwicklung von Szenarien

Die Entwicklung der Szenarien dient als Grundlage für die folgende Simulation des Wärmemarktes. Die Szenarien bilden eine Bandbreite der politisch und gesamtwirtschaftlich denkbaren Entwicklungen ab und können so im Vergleich der Ergebnisse aufzeigen, wie robust einzelne Entwicklungen gegenüber den betrachteten Randbedingungen sind. Dazu zählt auch, an welche Randbedingungen die Verfügbarkeit einzelner Energieträger geknüpft sind und zu welchen Zeitpunkten grundlegende Entscheidungen (z. B. zum Ausbau von Wärmenetzen) anstehen.

Seit dem Beginn des Projektes in 2021 sind im Umfeld der Energiepolitik und Energiemärkte umfassende Ereignisse und Entwicklungen zu verzeichnen. Daher werden im Folgenden, vor der Aufstellung und Abbildung der Szenarien, zunächst die wesentlichen Ereignisse und Veränderungen der energiepolitischen Rahmenbedingungen zusammengefasst. Die Erkenntnisse aus dieser Analyse werden dann anschließend bei der Aufstellung der Szenarien und deren Fortschreibungen diskutiert und berücksichtigt.

5.1 Bundespolitische Entwicklungen

Die Bundesregierung hat im Jahr 2022 einige Vorhaben umgesetzt bzw. auf den Weg gebracht, die für die zukünftige Entwicklung des Wärmemarktes von zentraler Bedeutung sind bzw. sein werden und daher in diese Betrachtungen mit aufgenommen wurden.

5.1.1 65 % erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024

Bereits im Koalitionsvertrag 2021 wurde festgehalten, dass jede ab 2025 neu eingebaute Heizung auf der Basis von 65 Prozent erneuerbarer Energien betrieben werden soll. Diese Regelung hat vor dem Hintergrund des Ukraine-Krieges eine neue Dringlichkeit erhalten, da mit einer ambitionierten Umsetzung dieser Vorgabe die Abhängigkeit von fossilem Erdgas schnell und effektiv reduziert werden kann. Die Regierungskoalition hat daher die entsprechende gesetzliche Festschreibung, dass ab dem 1. Januar 2024 möglichst jede neu eingebaute Heizung zu 65 Prozent mit erneuerbaren Energien betrieben werden soll, vereinbart. BMWK und BMWSB haben am 14. Juli 2022 ein Konzept zur Umsetzung dieser Vorgabe veröffentlicht und stellten es im Sommer 2022 mit der Zivilgesellschaft zur Diskussion (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK 2022). Zu einem späteren Zeitpunkt soll die Vorgabe dann im Gebäudeenergiegesetz (GEG) verankert werden.

Die 65 %-EE-Anforderung beim Einbau von neuen Heizungen wird in dieser Studie als aktuelle Mindestvoraussetzung im Bereich der dezentralen Wärmeversorgung betrachtet und im Szenario 1 als aktueller Trend abgebildet.

5.1.2 Bundesförderung für effiziente Wärmenetze

Die Europäische Kommission hat am 03. August die beihilferechtliche Genehmigung für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) erteilt (Weil 2022). Die systemische Förderung umfasst den Neubau von Wärmenetzen, die zu mindestens 75 % mit erneuerbaren Energien und Abwärme gespeist werden, sowie die Transformation von Bestandsinfrastrukturen zu treibhausgasneutralen Wärmenetzen. Die Förderung umfasst grundsätzlich alle Maßnahmen von der Installierung der Erzeugungsanlagen über die Wärmeverteilung bis zur Übergabe der Wärme an die versorgten Gebäude. Hierfür wird ein Investitionszuschuss in Höhe von maximal 40 % für Erzeugungsanlagen und Infrastruktur gewährt. Zusätzlich wird eine Betriebskostenförderung für die Erzeugung von erneuerbarer Wärme aus Solarthermieanlagen sowie aus strombetriebenen Wärmepumpen gewährt, wenn die Anlagen in Wärmenetze einspeisen. Insgesamt stehen rund 3 Mrd. € bis 2026 zur Verfügung. Der Start des Förderprogramms war Mitte September.

Die 75 %-EE-Anforderung der BEW wird in dieser Studie als aktuelle Mindestvoraussetzung im Bereich der leitungsgebundenen Wärmeversorgung betrachtet und im Szenario 1 als aktueller Trend abgebildet bzw. fortgeschrieben. Die Fördersätze der BEW wurden ebenfalls bei der Berechnung der Wärmegestehungskosten im Nahwärmebereich berücksichtigt.

5.1.3 Einführung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung in Deutschland

Aufgrund der Notwendigkeit zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, der damit verbundenen Erhöhung der Versorgungssicherheit sowie aus Gründen des Klimaschutzes hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) am 28. Juli 2022 das Diskussionspapier „Konzept für die Umsetzung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung“ veröffentlicht (BMWK 2022). Das Papier adressiert die Dringlichkeit einer vom Bund koordinierten, gesamtdeutschen kommunalen Wärmeplanung. Folgende Eckpunkte sieht das Diskussionspapier vor:

- Der Bund soll die Länder (nicht die Kommunen) verpflichten, eine Wärmeplanung in ihrem Hoheitsgebiet durchzuführen. Verwaltungstechnische Gründe sprechen aus Sicht des BMWK dafür, dass die Länder diese Verpflichtung an die Kommunen delegieren und damit in der überwiegenden Zahl der Fälle die Kommunen oder kommunale Zusammenschlüsse die Wärmeplanung durchführen.
- Die Verpflichtung zur kommunalen Wärmeplanung soll für Kommunen ab einer Größe von ca. 10.000-20.000 Einwohnern gelten.
- Die Wärmepläne sollen spätestens innerhalb von drei Jahren nach Inkrafttreten des Bundesgesetzes vorliegen und grundsätzlich alle fünf Jahre fortgeschrieben werden.
- Die Länder sollten dem Bund über den Fortschritt der Wärmeplanung regelmäßig berichten.
- Die Wärmeplanung besteht aus der Erstellung des Wärmeplans, einer Öffentlichkeitsbeteiligung, einem Beschluss des Gemeinderates und der anschließenden Umsetzung.

Die zu erstellenden Wärmepläne bestehen aus einer Bestandsanalyse, einer Potenzialanalyse, Zielszenarien und einer Handlungsstrategie.

- Die Kommunen sollen durch das Bundesgesetz ermächtigt werden, die erforderlichen Daten anzufordern, zum Beispiel von Energieversorgern und Schornsteinfegern.

Der Kabinettsbeschluss zum Bundesgesetz wird noch für dieses Jahr (2022) angestrebt.

Die Einführung einer bundesweiten Pflicht zur Umsetzung einer kommunalen Wärmeplanung unterstreicht die Bedeutung der Analysen zur Wärmeversorgung in dieser Studie.

5.2 Szenarien: Aufbau und Diskussion

Im Rahmen von zwei Workshops haben sich der AG und das Fraunhofer IFAM gemeinsam auf drei Szenarien verständigt, die die folgenden Vereinbarungen beinhalten:

- **Szenario 1:** Dieses Szenario stellt im Wesentlichen eine Fortschreibung der bisherigen Entwicklungen dar. In diesem Szenario werden die aktuellen politischen Rahmenbedingungen und insbesondere die neuen energiepolitischen Entwicklungen aus dem Sommer 2022 abgebildet sowie bis 2045 fortgeschrieben. Wie beschrieben umfassen die wichtigsten neuen energiepolitischen Entwicklungen
 - a) die 65 %-EE-Anforderung an neue Heizungen ab 2024 (siehe Abschnitt 5.1.1) und
 - b) die 75 %-EE-Anforderung an Wärmenetze im Rahmen der BEW (siehe Abschnitt 5.1.2).

Eine Klimaneutralität im Wärmesektor bis 2045 wird in diesem Szenario nicht als Ziel vorgegeben. Dieses Szenario wird im Folgenden auch als Trend-Szenario bezeichnet.

- **Szenario 2:** In diesem Szenario wird eine Klimaneutralität für den Wärmesektor für die Bereiche GHD und PHH bis 2045 simuliert. Um dieses Ziel zu erreichen, wird angenommen, dass ab 2035 eine 100 %-EE-Anforderung an die dezentralen und zentralen Wärmeversorgungssysteme eingeführt werden muss bzw. werden wird.
- **Szenario 3:** In diesem Szenario wird eine Klimaneutralität für den Wärmesektor für die Bereiche GHD und PHH bis 2035 abgebildet. Dieses Szenario entspricht dem politischen Beschluss der Stadt Mülheim an der Ruhr bis 2035 Klimaneutralität zu erreichen. Um dieses ambitionierte Ziel zu adressieren, wird in diesem Szenario eine sofortige 100 %-EE-Anforderung an die dezentralen und zentralen Wärmeversorgungssysteme implementiert.

In der Szenarienmatrix (Tabelle 5-1) werden die allgemeinen Annahmen und Entwicklungen in den drei oben aufgeführten Szenarien dargestellt. Einige der wichtigsten Annahmen gilt es im Folgenden näher zu erläutern:

Wärmebedarfsfortschreibung: Im Rahmen eines Vorprojektes hat das Fraunhofer IFAM in 2021 für die Stadt Mülheim an der Ruhr die Wärmebedarfe in zwei Szenarien fortgeschrieben, den Szenarien TREND und SPAR. Das TREND-Szenario beschreibt die Mindestwartungen an zukünftige Sanierungseffekte, bei dem die Reduzierungseffekte der letzten

Jahre fortgeführt werden. Im SPAR-Szenario wurden deutlich ambitioniertere Sanierungsraten und –effizienzen angenommen, sodass der Wärmebedarf deutlich stärker sinkt. Es kann als eine obere Grenze der möglichen Sanierungseffekte betrachtet werden, um damit die zu erwartende Entwicklungsspanne der beiden Szenarien einzugrenzen.

Anschlusszwang Nahwärme: In den beiden ersten Szenarien wird kein Nahwärme-Anschlusszwang modelliert. Dabei konkurriert das Nahwärmesystem mit den Wärmegestehungskosten der dezentralen Wärmeherzeugungstechniken in den Clustern. In Szenario 3 wird jedoch ein Anschlusszwang für Nahwärme festgesetzt, um das ambitionierte Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2035 erreichen zu können.

Verfügbarkeit Wasserstoff: In den Workshops zur Diskussion der Szenarienannahmen wurden folgende Prämissen getroffen: Im Szenario 1 (Fortschreibung der aktuellen Trends bis 2045) steht Wasserstoff bis 2045 für die Nahwärmesysteme nicht zur Verfügung. In den Szenarien 2 und 3 wird angenommen, dass erst ab 2036 die Nahwärmesysteme auf Wasserstoff umgestellt werden können. Eine Wasserstoff-basierte, dezentrale Wärmeherzeugung wird in keinem der Szenarien modelliert.

Verbot Neuinstallation BHKW und Gasheizungen mit Erdgas: Aufgrund der aktuellen 65 %-EE-Anforderung der Regierung an neue Heizungen ab 2024 (siehe Abschnitt 5.1.1) ist eine Neuinstallation von Gaskesseln und BHKWs mit einem 100 % Betrieb mit Erdgas (ab 2024) gesetzlich nicht mehr erlaubt und demzufolge in allen drei Szenarien ab sofort verboten. Eine Neuinstallation dieser Anlagen wird in den Szenarien nur unter Erfüllung der getroffenen EE-Anforderungen erlaubt. In

Tabelle 5-2 werden die technologiespezifischen Annahmen über die EE-Anforderungen in den drei Szenarien näher erläutert (siehe dort die Spalten Gaskessel & BHKW). Im Szenario 1 werden die neuinstallierten Gaskessel oder BHKW zu 65 % mit Biomethan und zu 35 % mit Erdgas betrieben¹. Im Szenario 2 wird eine Neuinstallation dieser Heizungen ab 2036 nur mit 100 % Biomethan erlaubt sein, während sie im Szenario 3 ab sofort nur mit 100 % Biomethan betrieben werden dürfen.

Verbot Neuinstallation Ölheizung: Aufgrund der 65 %-EE-Anforderung ist eine Neuinstallation von Ölheizungen (ab 2024) ebenfalls gesetzlich nicht mehr erlaubt und deswegen in allen drei Szenarien ab sofort verboten.

¹ Dabei wird angenommen, dass der Anlagenbetreiber, wie in dem Diskussionspapier zur Umsetzung der 65 %-EE-Anforderungen beschrieben, einen langfristigen Biomethan-Bezugsvertrag für seine Anlage abgeschlossen hat. Die Biomethan-Lieferung seitens des Energieversorger kann entweder physisch oder bilanziell erfolgen.

Tabelle 5-1: Allgemeine Szenarienmatrix

Getroffene Annahmen über:	Szenario 1: Trend	Szenario 2: Klimaschutz 1 (2045)	Szenario 3: Klimaschutz 2 (2035)
Betrachtungszeiträume	2021 – 2045; Stützjahre 2035 und 2045		2021 - 2035
Betrachtete Sektoren	Sektoren GHD und PHH, Industrie wird nicht betrachtet, ebenso M-HEAT-Cluster		
Ziel	kein Ziel, sondern Fortschreibung	CO ₂ = 0 t/a für die Sektoren GHD und PHH	CO ₂ = 0 t/a für die Sektoren GHD und PHH
Wärmebedarfsfortschreibung (Trend oder Spar)	TREND	SPAR	SPAR
Anschlusszwang NW	kein Anschlusszwang		Anschlusszwang
Ausbau NW (geplante Projekte und Ausschlussgebiete)	Fraunhofer IFAM analysiert die Cluster unabhängig von den Überlegungen der medl		
Erzeugung NW-Netze	Bestand: zur Zeit Biomethan, ab 2036 Wasserstoff; neue Netze: Einhaltung Vorgaben gemäß BEW		
H ₂ -Hochlauf	bis 2045 für Kraftwerke (NW) nicht verfügbar	kein flächendeckendes Wasserstoffnetz; ab 2036 jedoch für Kraftwerke (NW) verfügbar	
Verbot neu installierte BHKW und Gasheizung mit Erdgas	ja, ab sofort (65 %-EE-Anforderung)	ja, ab sofort (65 %-EE-Anforderung)	ja, ab sofort
Pellets	Keine Ausschlussgebiete		
Ölheizung: Verbot Neuinstallation / Weiterbetrieb Bestandsanlage	- Verbot Neuinstallation: ab sofort - Weiterbetrieb Bestand: ja, bis 2045	- Verbot Neuinstallation: ab sofort - Weiterbetrieb Bestand: ja, nur bis 2035	- Verbot Neuinstallation: ab sofort - Weiterbetrieb Bestand: ja, nur bis 2035

Tabelle 5-2: Annahmen über EE-Anforderungen in den Szenarien

Technologie	Dezentrale Wärmeerzeugung		Zentrale Wärmeerzeugung	
	Gaskessel & BHKW	WP mit Gaskessel	Gaskessel & BHKW	WP mit Gaskessel
Szenario 1	bis 2045: 65 %-Biomethan + 35 % Erdgas	bis 2045: 65 % WP + 35 % Erdgas	bis 2045: 75 %-Biomethan + 25 % Erdgas	bis 2045: 75 % WP +25 % Erdgas
Szenario 2	65 %-Biomethan + 35 % Erdgas (bis 2035) 100 % Biomethan (2036-2045)	65 % WP + 35 % Erdgas (bis 2035) 35 % Biomethan (2036-2045)	75 % Biomethan +25 % Erdgas (bis 2035) 100 % mit H ₂ (ab 2036)	75 % WP + 25 % Erdgas (bis 2035) 25 % H ₂ (2036-2045)
Szenario 3	Ab sofort nur mit 100 % Biomethan	65 % WP + 35 % Biomethan (ab sofort)	bis 2035: 100 % Biomethan ab 2036: 100 % mit H ₂	75% WP + 25 % Biomethan (bis 2035) 25 % H ₂ (2036-2045)

6 Energieträger- und CO₂-Preise

In diesem Abschnitt werden die in der Studie verwendeten Energieträger- sowie CO₂-Preise vorgestellt. Da der Zeithorizont dieser Studie einen langen Zeitraum umfasst, werden für die Berechnung der Wärmekosten der verschiedenen Wärmeerzeugungstechniken Preiszeitreihen (in jährlicher Auflösung) von 2022 bis hin zum 2065 (bei einer Investition im Jahr 2045 mit einer Lebensdauer von 20 Jahren) benötigt. Da im Rahmen des Projektes keine Preiszeitreihen von der Stadt Mülheim an der Ruhr oder der medl zur Verfügung gestellt wurden, hat das Fraunhofer IFAM auf frei verfügbare Daten und Studien zurückgegriffen. Eigene fundamentale Preisprognosen wurden nicht durchgeführt. Für die mittelfristigen Preisannahmen wurden die Börsenpreise (sofern handelbar) zugrunde gelegt. Dabei wurden zu einem bestimmten Stichtag die Settlementpreise für verschiedenen Lieferjahre übernommen. Für den weiteren langfristigen Zeitraum (über den Markthorizont hinaus) wurden die Preisprognosen von frei verfügbaren möglichst aktuellen Studien, die sich mit langfristigen Preisentwicklungen beschäftigen, benutzt. Da der Prognosehorizont der meisten Studien nur bis 2045 geht, wurde für den Zeitraum 2045+ die Preisprognose dieser Studien für das Jahr 2045 linear fortgeschrieben. Im Folgenden werden die Preiszeitreihen näher vorgestellt.

6.1 Erdgaspreise

Sowohl die kurzfristigen (Frontmonate) als auch die langfristigen (Frontjahre) Erdgaspreise sind nach dem Beginn der Ukraine-Krise sehr stark gestiegen. Während die Erdgaspreise zwischen 2017 und 2021 (Durchschnitt der Day-Ahead-Preise) bei ca. 20 €/MWh notierten, sind die Frontjahrpreise (als Markterwartungen für die Jahresdurchschnittspreise in den kommenden Jahren) sehr stark gestiegen. Am 28.07.2022 wurde ein Terminkontrakt (TTF) zur Lieferung im Q4 2022 für 200 €/MWh gehandelt¹. Ein Jahreskontrakt für 2023 notierte an diesem Tag bei ca. 150 €/MWh. Die Forwardkurve an diesem Tag war zwar in einer starken Backwardation², jedoch lagen die Preise Markterwartungen für längerfristigen Erdgaspreise signifikant über dem Durchschnitt der letzten Jahre. Dies zeigt, dass die Marktteilnehmer keine baldige Rückkehr zu einem Supply-Demand-Gleichgewicht in den nächsten Jahren erwarten. Da die Liquidität der Frontjahre an der Börse in der Regel auf die nächsten vier oder fünf Jahre begrenzt ist, wurde für die längerfristigen Erdgaspreise die Preisprognose von der Studie Kopernikus-Projekt Ariadne (Luderer et al. 2021) verwendet (siehe Abbildung 6-1).

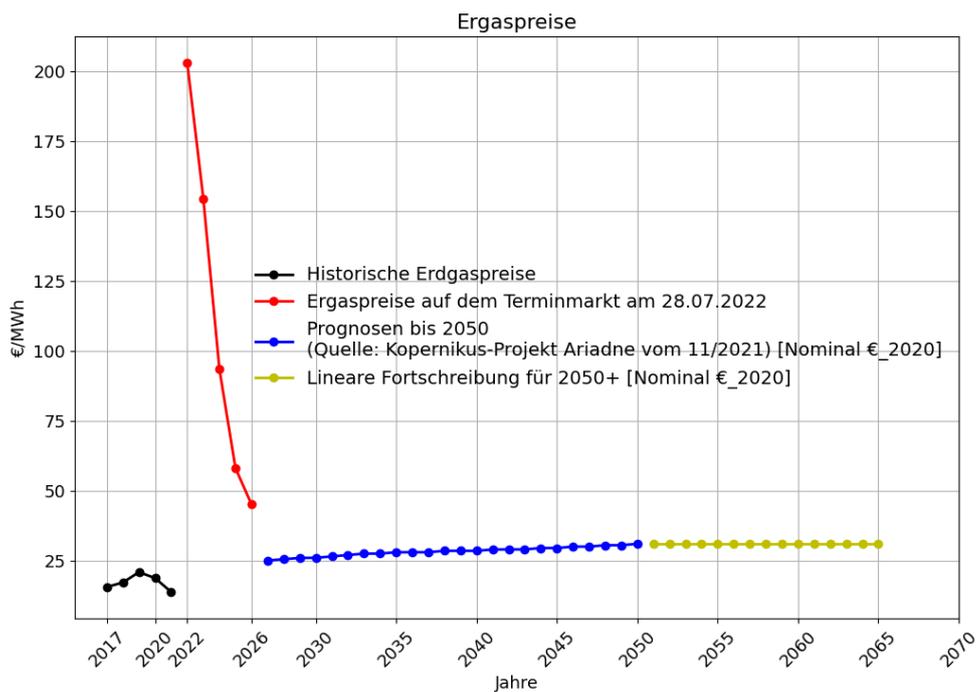


Abbildung 6-1: Annahmen über langfristige Erdgas-Beschaffungspreise (TTF)

¹ Ende August 2022 notierte dieser Kontrakt sogar bei ca. 350 €/MWh.

² Als Backwardation wird ein Marktzustand auf dem Terminmarkt bezeichnet, in dem die Preise für längerfristigen Lieferungen niedriger notieren als die Preise der kurzfristigen Lieferungen.

6.2 Strompreise

Auch auf dem Strommarkt sind die mittel- und langfristigen Preise nach dem Beginn der Ukraine-Krise (insbesondere aufgrund der hohen Erdgaspreise) sehr stark gestiegen. Während die Base-Frontjahrpreise zwischen 2017 und 2021 bei ca. 40 €/MWh notierten, wurde am 28.07.2022 ein Base-Kontrakt zur Lieferung im Q4 2022 für 485 €/MWh gehandelt. Ein Base-Jahreskontrakt für 2023 notierte an diesem Tag bei 372 €/MWh. Die Base-Frontjahrpreise an der EEX wurden bis 2032 übernommen. Für die längerfristigen Strompreise wurden die Preisprognosen aus der Fraunhofer-IEE-Studie Transformationspfade im Wärmesektor verwendet (Gerhardt et al. 2019). Dabei wurde der 2032er Base-Preis mit dem Prognose-trend (Shaping) der IEE-Studie fortgeschrieben (siehe Abbildung 6-2).

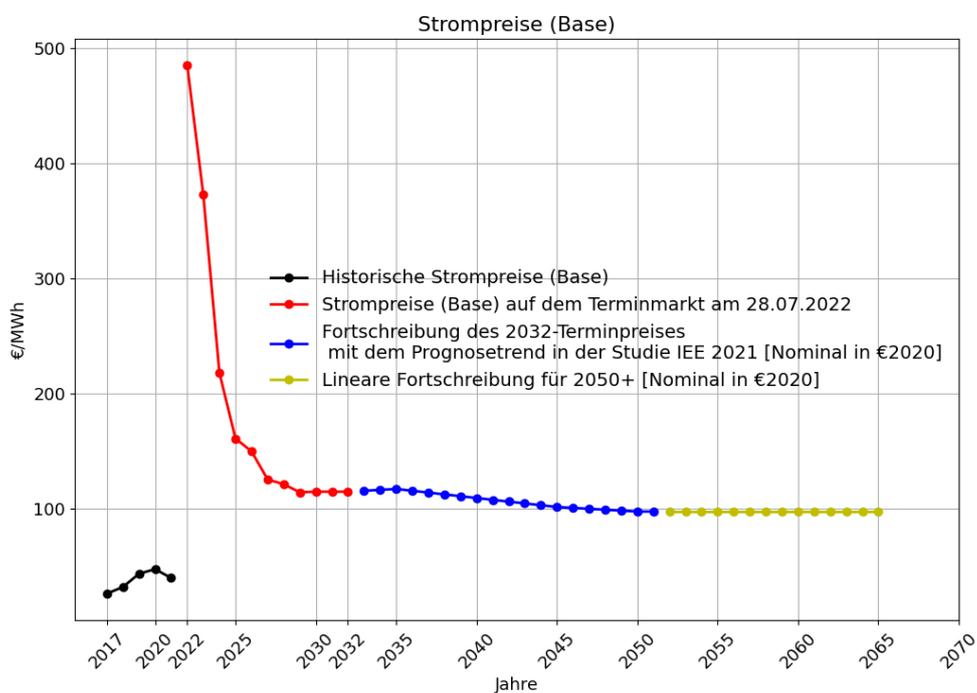


Abbildung 6-2: Annahmen über langfristige Strom-Beschaffungspreise

6.3 Biomethanpreise

Für die Festlegung der langfristigen Biomethanpreise wurden am 28.07.2022 auf der Internetseite von agriportance veröffentlichte Preise für Biomethan-Lieferverträge aus Reststoffen und NawaRos (Nachwachsende Rohstoffe) genommen (agriportance 2022a), (agriportance 2022b). Dabei wurde der letzte verfügbare Preis linear fortgeschrieben.

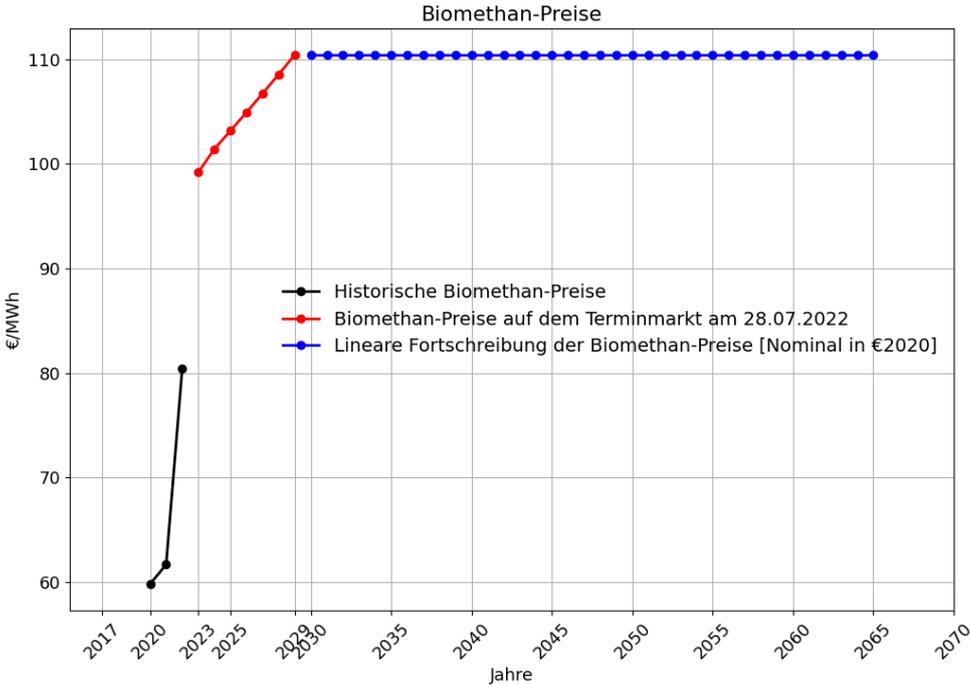


Abbildung 6-3: Annahmen über langfristige Biomethan-Beschaffungspreise

6.4 Wasserstoffpreise

Zur Ermittlung der Wasserstoffpreise wurde ein Ansatz unter Berücksichtigung von Annahmen und Prognosen in den Studien: Agora Energiewende (Prognos AG et al. 2021), Klimapfade 2.0 (Burchardt et al. 2021) und Scenario Report: Building Guidelines (Kättlitz et al. 2022) entwickelt. Dabei wurden die Wasserstoff-Herstellungskosten auf Basis der Offshore-, Onshore-Windenergie berechnet und der Mittelwert als Wasserstoffpreis zugrunde gelegt.

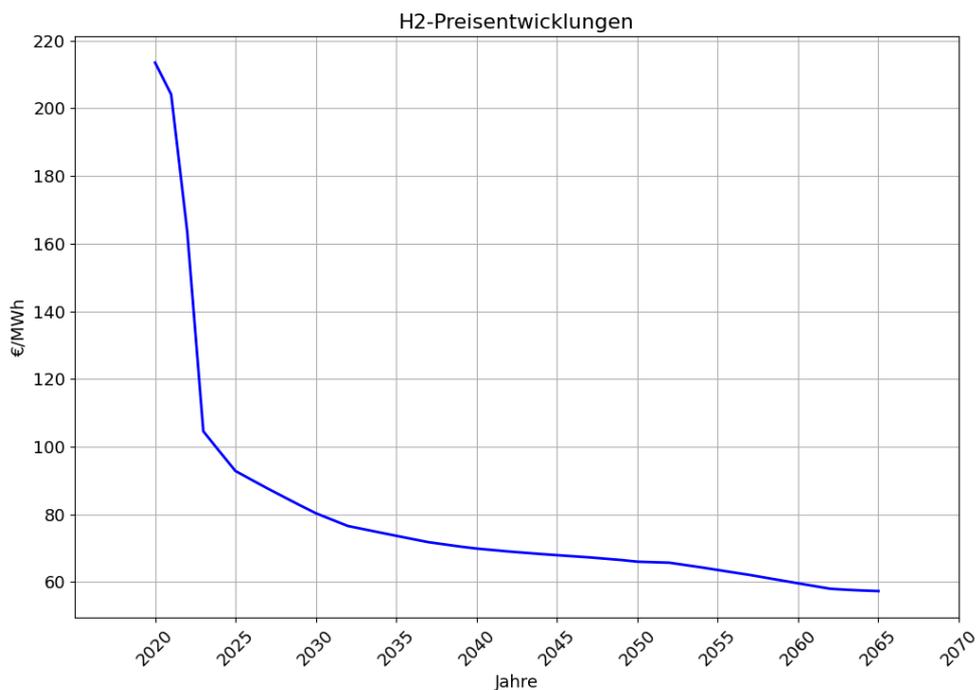


Abbildung 6-4: Annahmen über langfristige H₂-Beschaffungspreise (eigene Berechnungen)

6.5 Pellet-Preise

Für die Bestimmung der Pelletpreise bis Dezember 2025 wurden die Terminmarktpreise vom Handelstag 11.04.2022 verwendet. Für die weiteren Jahre wurden zunächst die Pelletpreisprognosen der Studie *Kopernikus-Projekt Ariadne* (Luderer et al. 2021) zugrunde gelegt. Allerdings zeigte sich bei diesen Preisannahmen, dass die Preise für Pellets in diesem Fall konkurrenzlos günstig wären, da die aktuellen Preissteigerungen nicht enthalten waren. Von 2025 bis 2040 wurde ein stetiger Anstieg auf 87,70 €/MWh angenommen, der danach abflacht, bis er schließlich 2050 konstant auf einem Niveau von 91,68 €/MWh bleibt (Abbildung 6-5).

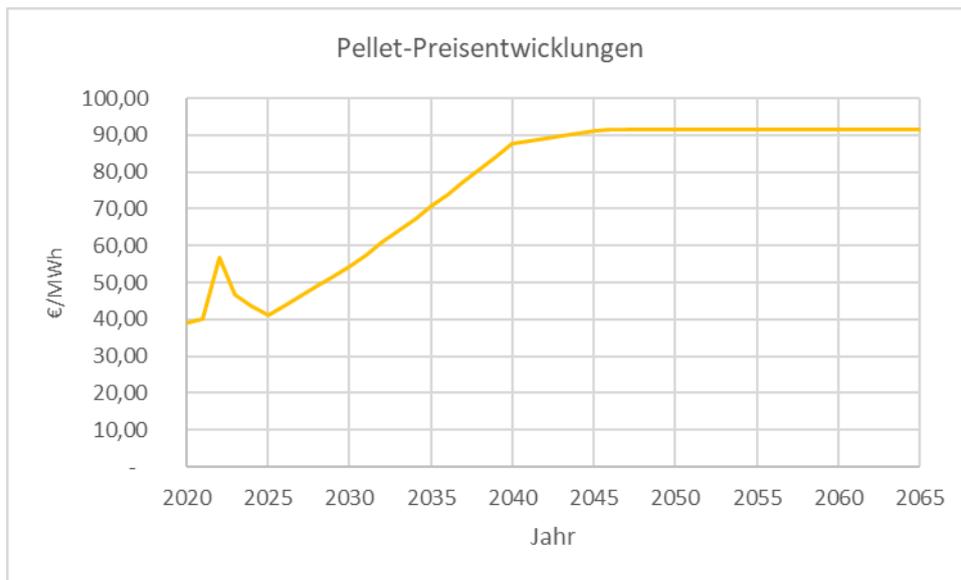


Abbildung 6-5: Annahmen über langfristige Pellet-Beschaffungspreise

6.6 CO₂- und BEHG-Preise

Für die Festlegung der CO₂-Zertifikatespreise wurden am 28.07.2022 von der EEX veröffentlichten Settlementpreise bis 2030 übernommen. Für die weiteren Jahre wurden der Mittelwerte der CO₂-Preisprognose in den Studien „Transformationspfade im Wärmesektor“ (Gerhardt et al. 2021) und Scenario Report: Building Guidelines (Kättlitz et al. 2022) verwendet (siehe Abbildung 6-6). Für die BEHG-Preise wurde der 2025er Preis mit dem Trend der CO₂-Futurespreise bis 2030 hochskaliert. Für die weiteren Jahre wurde angenommen, dass sich ab 2031 die BEHG- und CO₂-Preise angleichen werden (Abbildung 6-7).

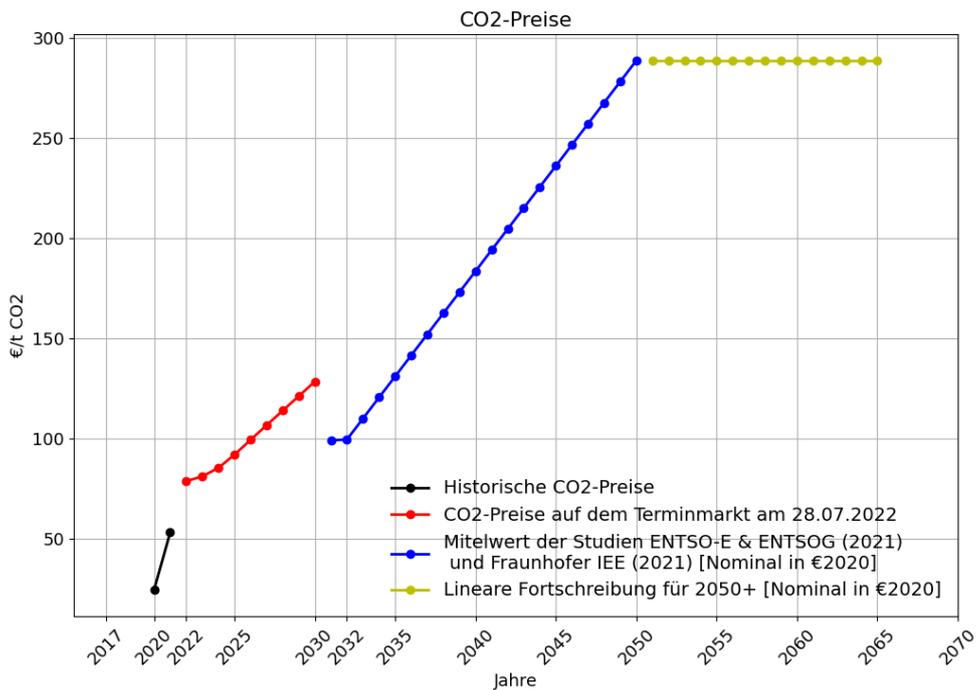


Abbildung 6-6: Annahmen über langfristige CO₂-Preise

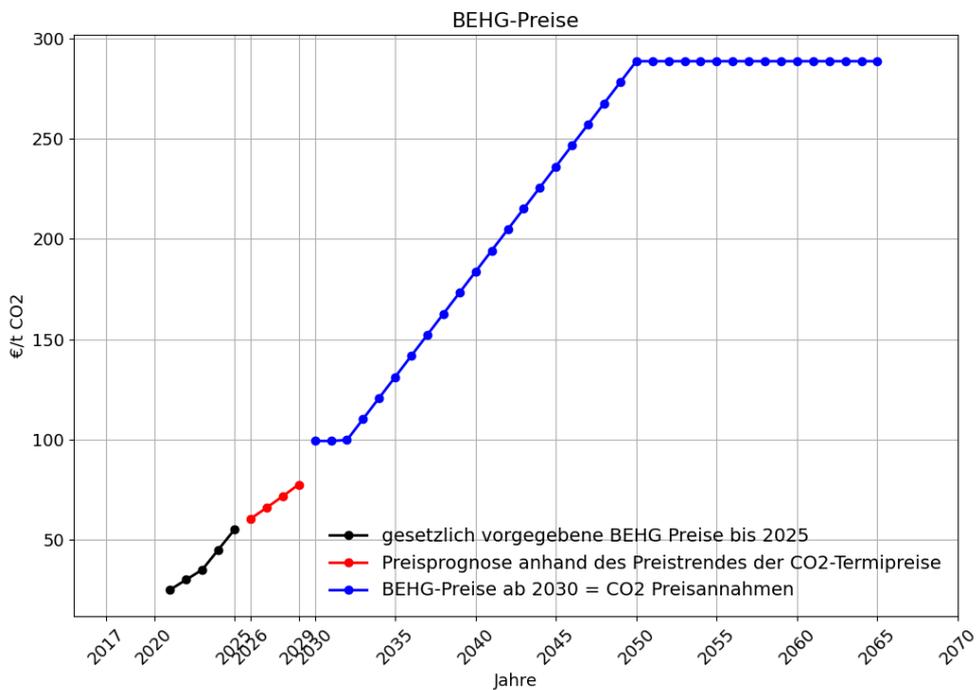


Abbildung 6-7: Annahmen über langfristige BEHG-Preise

7 Berechnung der Wärmegestehungskosten

In diesem Abschnitt wird die Berechnung der Wärmegestehungskosten beschrieben. Die Wärmegestehungskosten sind einer der zentralen Inputparameter der Modellierung des Wärmemarktes (Abschnitt 8), da die Modellierung zu einem großen Teil kostengetrieben abläuft.

Um eine Übersicht der Zusammenhänge zu geben ist in Abbildung 7-1 ein Schema der unterschiedlichen Eingangsdaten zu sehen, welche bei den Berechnungen der spezifischen Wärmegestehungskosten berücksichtigt werden. Die Höhe der technischen Inputparameter und der Energieträger- sowie CO₂/BEHG-Preise ist zunächst abhängig von der Leistungsklasse und dem Stützjahr. Zudem beeinflussen die Vollbenutzungsstunden die Höhe der spezifischen Wärmegestehungskosten. Letztlich werden unterschiedliche Wärmegestehungskosten der Technologien je Leistungsklasse, Vollbenutzungsstunden und Stützjahr ermittelt und für die weiteren Berechnungen genutzt.

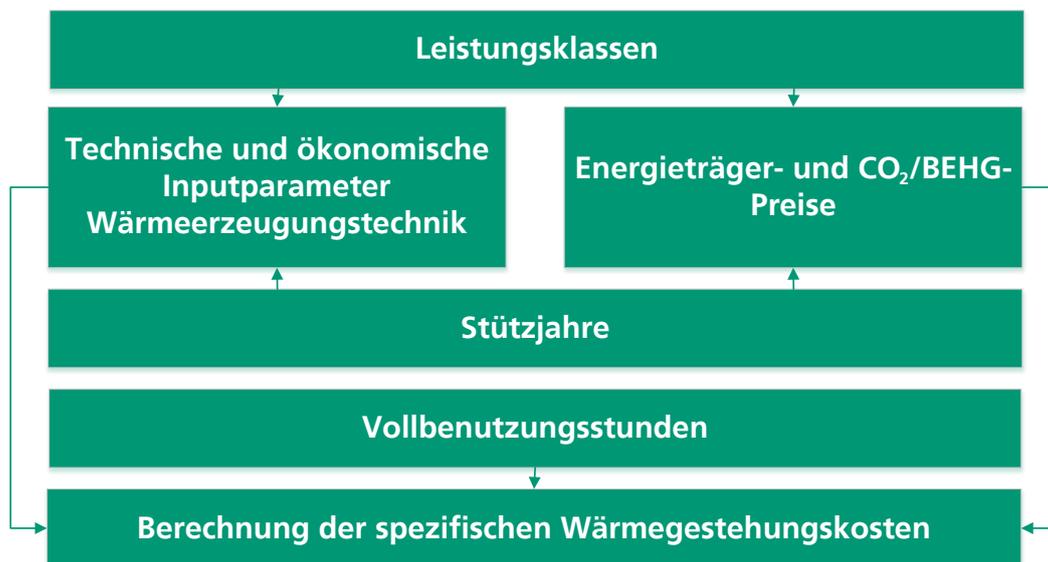


Abbildung 7-1: Übersichtsschema der unterschiedlichen Eingangsdaten und Parameter zur Berechnung der spezifischen Wärmegestehungskosten

7.1 Technische und ökonomische Inputparameter

Für die Berechnung der spezifischen Wärmegestehungskosten werden neben den Energieträgerpreisen aus Abschnitt 6 weitere Kosten und Parameter benötigt.

Als Quelle der Inputparameter wird vorwiegend der Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung Baden-Württemberg validiert und genutzt (Peters et al. 2022). Je nach Technologie werden bestimmte Inputparameter für die Investitionskosten sowie Kosten für Betrieb und Instandhaltung verwendet, welche in Tabelle 7-1 aufgelistet sind. Diese variieren weiterhin in Abhängigkeit der Leistungsklasse und des Betrachtungsjahres. Abbildung 7-2 zeigt beispielhaft die spezifischen Investitionskosten eines Gaskessels in Abhängigkeit der Leistungsklasse für die Betrachtungsjahre 2023, 2033 und 2043. Dabei ist zu erkennen, dass

die spezifischen Investitionskosten in größeren Leistungsklassen sowie späteren Stützjahren sinken.

Tabelle 7-1: Technologieabhängige Inputparameter der Wärmeerzeugungstechnologien

Inputparameter	Einheit
Leistung	kW
Technische Lebensdauer	Jahre
Spezifische Investitionskosten	€/kW
Förderung Investitionskosten	%
Jährliche Fixkosten	€/a oder €/(kW/a)
Variable Kosten	€/kWh
Förderung Betriebskosten	€/kWh
Wirkungsgrad	%
Jahresarbeitszahl	-
Anschlusskosten	€

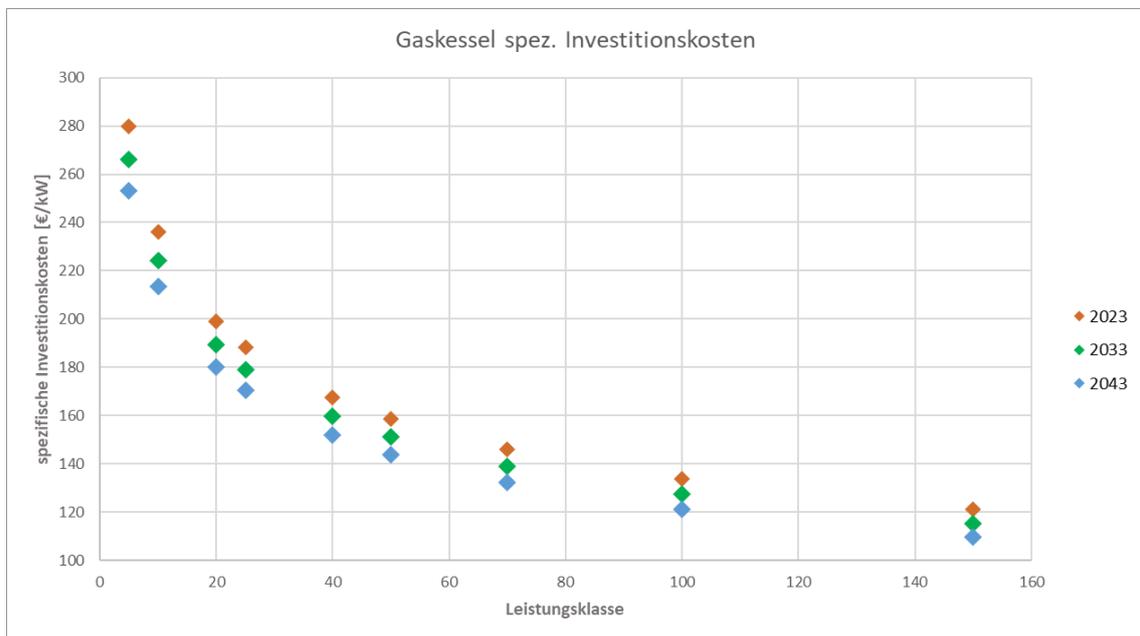


Abbildung 7-2: spezifische Investitionskosten eines Gaskessels im Jahr 2023, 2033 und 2045

Aus dem Technikkatalog wurde ein Großteil der Werte übernommen. An einigen Stellen wurde jedoch bewusst von den Werte abgewichen:

- die Werte werden im Technikkatalog für bestimmte Leistungen angegeben, die teilweise nicht zu den definierten Leistungsklassen passen. Daher wurden Ausgleichsgraden zwischen den Werten aus dem Technikkatalog gebildet und auf die hier genutzten Leistungsklassen übertragen;
- für die Wärmepumpen (Sole-Wasser und Luft-Wasser) werden im Technikkatalog Annahmen zur Jahresarbeitszahl gemacht, getrennt nach Flächenheizung und Heizkörpern. Während die Annahmen zu den Flächenheizungen plausibel erscheinen, sind die Jahresarbeitszahl für die Heizkörper sehr hoch. Daher wurden diese Werte jeweils um 0,5 bis 2030 abgesenkt.

Den Kosten gegenüber stehen Annahmen zur Förderung die angenommen werden. Hierbei handelt es sich um Förderungen, die auf die Investitionskosten wirken:

- 20 % auf Wärmepumpen Luft-Wasser mit Gaskessel
- 30 % auf Solarthermie mit Gaskessel
- 35 % auf Biomassekessel, Wärmepumpen

7.2 Berechnung der spezifischen Wärmegestehungskosten

Die Wärmegestehungskosten wurden für die folgenden dezentralen Technologien berechnet:

- Gaskessel (Varianten: mit und ohne bestehendem Netzanschluss)
- Biomassekessel
- Wärmepumpe Luft-Wasser (Varianten: Flächenheizung und Heizkörper)
- Wärmepumpe Sole-Wasser (Varianten: Flächenheizung und Heizkörper)
- BHKW mit Gaskessel (Eigenstromanteil: 30 %; Varianten: mit und ohne bestehendem Netzanschluss)
- Hybridtechnologie Wärmepumpe Luft-Wasser mit Gaskessel (Anteil Wärmepumpe an Arbeit 65 %; Anteil Wärmepumpe an Leistung 50 %)

Zudem wurden die folgenden Technologie-Kombinationen Erzeugungskosten für die Nahwärme berechnet:

- BHKW + Gaskessel
- Luft-Wärmepumpe + Gaskessel
- Abwasser-Wärmepumpe + Gaskessel
- Flusswasser-Wärmepumpe + Gaskessel
- Sole-Wärmepumpe + Gaskessel

- Solarthermie + saisonaler Speicher
- Solarthermie + Kurzzeitspeicher
- Industrielle Abwärme + Gaskessel

Zur Berechnung der Wärmegestehungskosten verschiedener Technologien wurde die Methodik der Richtlinie VDI 2067 angewendet (VDI-Richtlinie VDI 2067 Blatt 1). Mit Hilfe dieses Ansatzes können unterschiedliche Lebensdauer der Technologien berücksichtigt werden. Weiterhin müssen nach VDI 2067 die Restwerte der Anlagen/Anschlüsse/Bohrungen/Er-schließungen zum Ende des Betrachtungszeitraumes berücksichtigt werden. Die Wärmegestehungskosten nach VDI 2067 werden wie folgt berechnet:

$$\text{WGK} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\text{Gesamtannuität}}{\text{Jährliche Energiemenge}}$$

Gesamtannuität = Annuität der kapitalgebundenen Kosten +
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten +
Annuität betriebsgebundenen Kosten +
Annuität der sonstigen Kosten –
Annuität der Förderung –
Annuität der Einnahmen

Die Annuität einer Investition I_0 über einen Zeitraum von n wird wie folgt berechnet:

$$\text{Gesamtannuität} = I_0 * \left(\frac{r * (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \right)$$

Dabei wurde ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ($n = 20$) und ein Zinssatz in Höhe von 5 % ($r = 0,05$) zugrunde gelegt.

Beispielhaft sind in Abbildung 7-3 die Wärmegestehungskosten der dezentralen Technologien für drei Leistungsklassen in den Jahren 2035 und 2045 für Szenario 1 abgebildet. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass alle Wärmeerzeugungstechnologien, die Gas oder Holzpellets verwenden teurer abschneiden als die Wärmepumpentechnologien. Der Unterschied zwischen der Abkürzung HK (Heizkörper) und FBH (Fußbodenheizung) ist die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe, welche je nach spezifischen Jahreswärmebedarf des Gebäudes gewählt wird. Dieser Effekt ist in den anderen Szenarien in ähnlichen Größenordnungen zu erkennen.

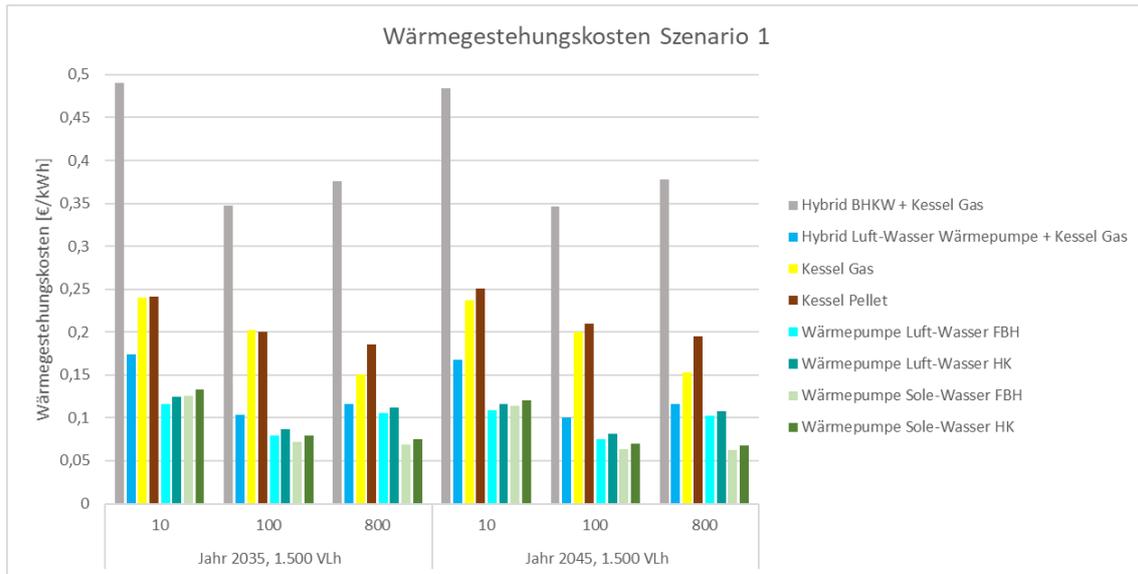


Abbildung 7-3: spezifische Investitionskosten dezentraler Erzeugungstechnologien im Szenario 1 für das Jahr 2035 und 2045

7.3 Kosten der leitungsgebundenen Wärmeversorgung

Für die Kosten für die bereits bestehenden Nahwärmenetze hat die medl GmbH Preisblätter für die aktuelle Zusammenstellung der leitungsgebundenen Wärmekosten zur Verfügung gestellt (medl GmbH 2022). Bis zum Jahr 2035 wird ein linearer Kostenanstieg um 5 % angenommen. Ab 2035 erfolgt eine konstante Kostensenkung um 10 % gegenüber den gelieferten Ausgangspreisen. Diese Veränderungen werden mit den unterschiedlichen Preisentwicklungen der hauptsächlich angenommenen Energieträger Biomethan bzw. Wasserstoff begründet.

Die Kosten innerhalb der Cluster, in denen bereits ein bestehendes Nahwärmenetz vorhanden ist, bestehen zum einen Teil aus den Nahwärmekosten der medl GmbH. Diese Preise wurden aufgrund des wachsenden Wärmeanteils in der Nahwärme durch die Preise der jeweiligen dezentralen Erzeugungstechnologien aus Abbildung 7-3 mittels wärmemengengewichteter Allokation korrigiert.

Die Kosten für neue Nahwärmegebiete setzen sich aus den Kosten der Erzeugung, der Verteilung sowie dem Hausanschluss zusammen. Abbildung 7-4 zeigt das Berechnungsschema für die leitungsgebundene Wärmeversorgung, welche bis zu den Wärmeverteilungskosten ein clusterspezifischer Wert ist. Die Hausanschlusskosten werden günstiger, je höher der Wärmebedarf des Gebäudes ist, sodass sich ebendiese Objekte eher für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung entscheiden. In den folgenden Kapiteln wird die Ermittlung der weiteren Kostenbestandteile beschrieben.

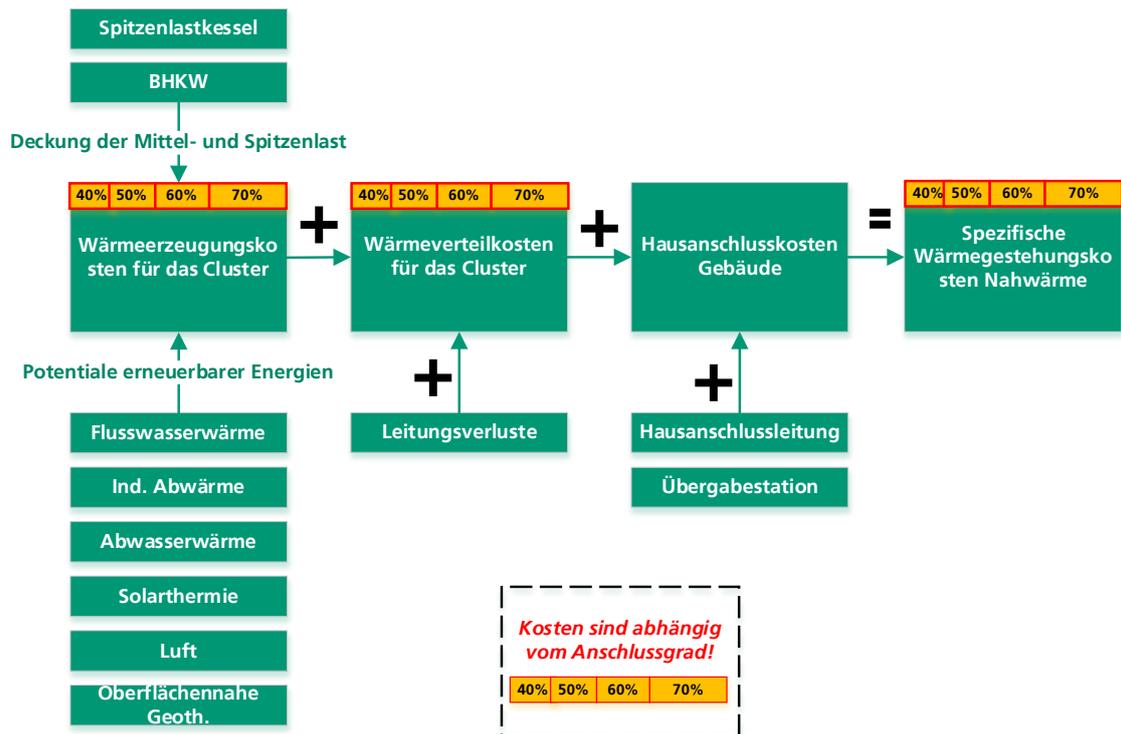


Abbildung 7-4: Berechnungsschema für die leitungsgebundene Wärmeversorgung

7.3.1 Wärmeerzeugungskosten

Die Wärmeerzeugungskosten werden wie in Abschnitt 7 beschrieben berechnet. Relevant ist an dieser Stelle, dass nicht alle betrachteten Erzeugungstechniken in allen Clustern eine Option darstellen. Insbesondere die Potentiale der erneuerbaren Energien Abwasser, Flusswärme und Solarthermie sowie die industrielle Abwärme sind in einzelnen Clustern verortet, siehe Abschnitt 3.

7.3.2 Wärmeverteilungskosten

Je höher in einem Cluster das Verhältnis des aufsummierten Wärmebedarfs zur aufsummierten Länge der Straßenabschnitte ist, desto höher ist die Wärmeliniedichte, also die potenzielle Wärmeabsatzmenge je Meter Verteilung (siehe Abbildung 7-5). Für diese Studie wurde die Annahme getroffen, dass die Länge der Straßenabschnitte einem möglichen Verteilnetz entspricht. Eine hohe Wärmeliniedichte führt zu geringeren Verteilkosten. Die Höhe der Verteilkosten wird durch folgende Kriterien beeinflusst:

- Wärmebedarf im Cluster: ist bereits ein Wärmenetz in einem Cluster vorhanden, wird dessen Netzlänge sowie die bereits angeschlossene Wärmemenge abgezogen, so dass nur der Ausbaubedarf dargestellt wird.
- Leitungsbedarf im Cluster: ist bereits ein Wärmenetz in einem Cluster vorhanden, wird dessen Netzlänge sowie die bereits angeschlossene Wärmemenge abgezogen, so dass nur der Ausbaubedarf dargestellt wird.

- Spezifische Leitungskosten: 780 €/m
- Zinssatz und technische Lebensdauer: 6 % bei 40 Jahren Lebensdauer
- Anzahl der Hausanschlüsse

In Abhängigkeit der Größe der Cluster und des angenommenen Anschlussgrades werden unterschiedliche Ausbaugeschwindigkeiten für die Verteilnetze in den Clustern angenommen. Bei einem kleinen Cluster wird davon ausgegangen, dass ein Ausbau innerhalb von 5 Jahren durchgeführt wird, während dieser in sehr großen Clustern (> 10 km Leitungslänge) 15 Jahre dauert.

Das Szenario der Wärmebedarfsfortschreibung hat erhebliche Auswirkungen auf die Höhe der Leitungskosten, da diese umso geringer sind, je höher der Wärmebedarf und damit die Wärmedichte ist. Ebenso ist die Höhe des Anschlussgrades für die Verteilkosten entscheidend. Je höher der Anschlussgrad ist, umso geringer sind die Kosten.

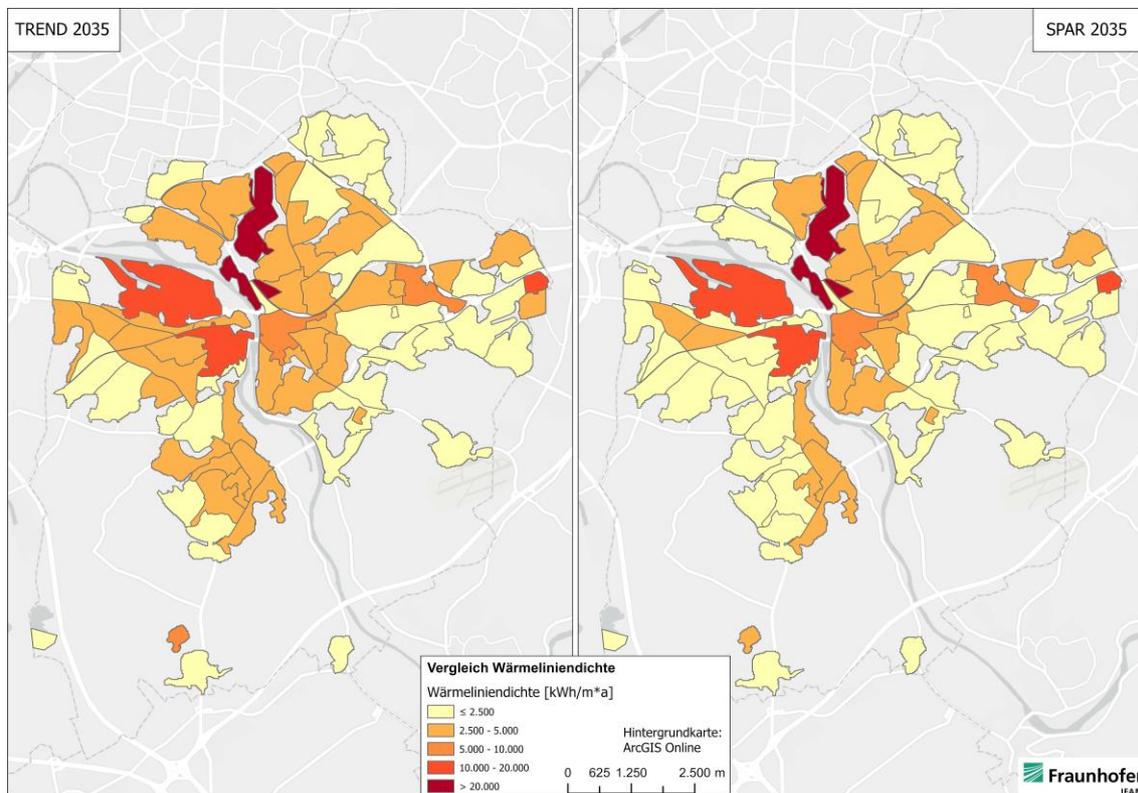


Abbildung 7-5: Wärmeliendichte für das Szenario TREND und SPAR im Jahr 2035 im Vergleich

7.3.3 Hausanschlusskosten

Hinsichtlich der Hausanschlusskosten für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung aus einem Fern- oder Nahwärmegebiet wird zwischen zwei Fällen unterschieden:

Fall 1: Das Gebäude bezieht bereits Fern- oder Nahwärme, daher ist schon ein Hausanschluss vorhanden und es wird lediglich die Übergabestation getauscht. In diesem Fall werden entsprechend nur die Kosten für die Übergabestation einbezogen.

Fall 2: Es ist noch kein Hausanschluss vorhanden. Daher muss eine Hausanschlussleitung von vom Verteilnetz zum Gebäude gelegt werden. In diesem Fall werden die Kosten für die Übergabestation sowie zusätzlich die Kosten für die Hausanschlussleitung einbezogen. Dabei wird je Hausanschluss von einer mittleren Leitungslänge von 15 m ausgegangen.

Die Investitionskosten für die Übergabestation und den Hausanschluss wurden aus dem Technikkatalog Baden-Württemberg (Peters et al. 2022) übernommen und mit Hilfe der Formel aus Abschnitt 7.2 berechnet.

8 Simulation des Wärmemarktes bis 2045

Grundsätzlich folgt die Modellierung des Wärmemarktes dem in Abbildung 8-1 dargestellten Schema. Dabei ist der Zeitpunkt des Heizungsaustausches der Gebäude unterschiedlich und wird in Abschnitt 8.1 beschrieben. Im **ersten Schritt** wird für jedes Gebäude die Technik der Objektversorgung ausgewählt. Dazu wird zunächst für die möglichen Objektversorgungsoptionen (Gas-Kessel, BHKW, Pellet-Kessel, Wärmepumpe (Sole-Wasser bzw. Luft-Wasser)) geprüft, ob die grundsätzliche Eignung gegeben ist. Dies ist beispielsweise dann nicht der Fall, wenn eine Technik zu einem bestimmten Zeitpunkt verboten ist (siehe Abschnitt 5.2) oder es kein ausreichendes Potenzial gibt (siehe Abschnitt 3). Für die verbleibenden Techniken werden die für das jeweilige Gebäude unter Einbeziehung der bisherigen Heizungstechnik sowie der Gebäudekategorie berechneten spezifischen Wärmegestehungskosten (siehe Abschnitt 7) zugewiesen. Anschließend wird unter Einbeziehung weiterer Faktoren wie dem Bestandsbonus, dem Imagebonus sowie dem Kostentoleranzband (siehe Abschnitt 8.2) für jedes Gebäude die Entscheidung für eine dezentrale Objektversorgungstechnik modelliert.

Im **zweiten Schritt** werden für jedes Gebäude die Kosten für eine leitungsgebundene Versorgung ermittelt (siehe Abschnitt 7.3). In **Schritt 3** werden die Kosten für die Objektversorgung schließlich mit den Kosten für die leitungsgebundene Wärmeversorgung verglichen. Eine Versorgung mit einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung ist nur dann möglich, wenn in einem Cluster bereits ein Wärmenetz liegt oder für eine ausreichende Anzahl an Gebäuden die Option der wärmeleistungsgebundenen Versorgung attraktiver als die Objektversorgung ist (siehe Abschnitt 8.4). Ist die Eignung des Clusters nicht gegeben, erhalten alle Gebäude im Cluster die in Schritt 1 ausgewählte Objektversorgungstechnik. Andernfalls ergibt sich eine Mischung aus Objektversorgung und leitungsgebundener Versorgung.

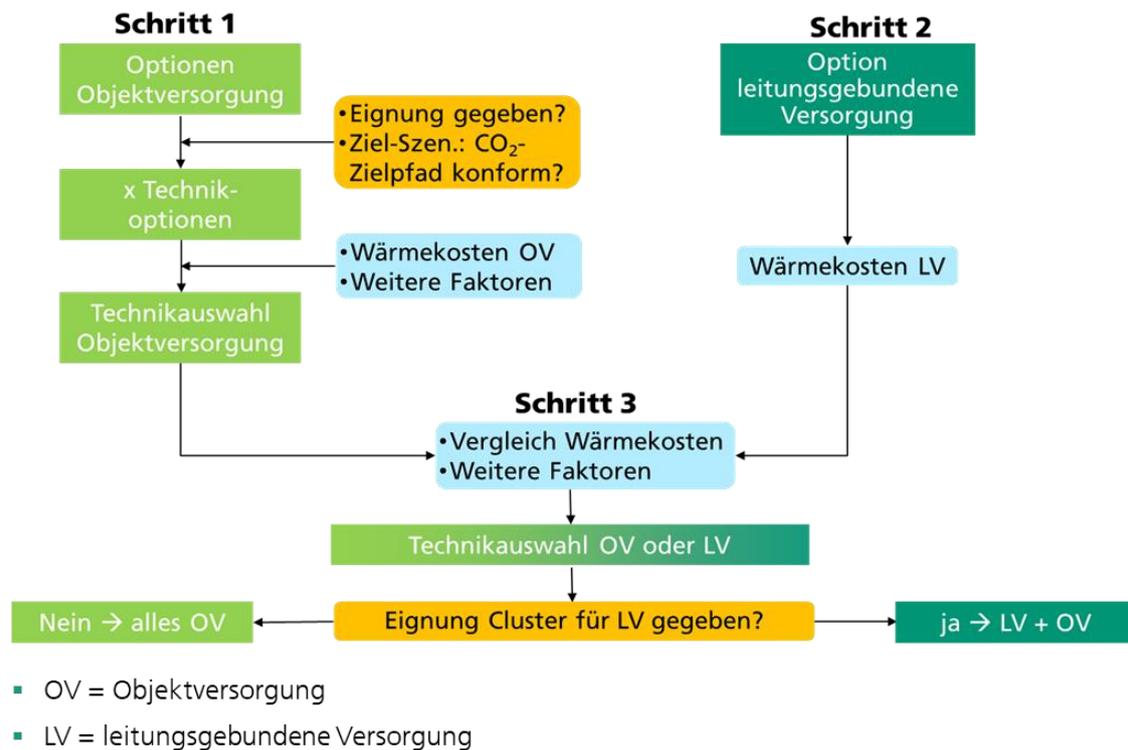


Abbildung 8-1: Ablaufschema der Modellierung

8.1 Zeitpunkt des Heizungstauschs

Grundsätzlich erfolgt der Heizungstausch und damit die Neuentscheidung für eine Technologie nach 20 Jahren, sofern die Technologie in dem Szenario nicht ab einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem bestimmten Gebiet verboten wird (siehe Abschnitt 5.2)

Das Heizungsalter für Gebäude ab der Baualtersklasse 2000 ist durch das Baujahr des Gebäudes definiert. Für ältere Gebäude ist unklar, wann bzw. wie oft die Heizung bereits getauscht wurde. Daher wurde eine Annahme über die statistische Verteilung des Heizungsalters mit Hilfe einer Erhebung des Schornsteinfegerhandwerks erstellt und auf die Gebäude im Betrachtungsgebiet verteilt (ZIV 2021).

8.2 Kostentoleranzband und nicht monetäre Faktoren

Die Modellierung erfolgt hauptsächlich über wirtschaftliche Kriterien in Anlehnung an einen Vollkostenvergleich (siehe Abschnitt 7). Würde jedoch in allen Fällen die kostengünstigste Objektversorgung gewählt, würden die Kundenentscheidungen in der Realität nur unzureichend abgebildet werden. Weiterhin spielen in der Realität nicht monetäre Faktoren eine weitere Rolle, welche in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

8.2.1 Kostentoleranzband

Tatsächlich werden von den Kunden in der Realität Mehrkosten akzeptiert, wenn diese sich in einem gewissen Toleranzbereich befinden. Dieser Bereich wird über das Kostentoleranzband abgebildet. Für dieses Projekt wurde das Kostentoleranzband in Höhe von 20 % für Wohn- und 10 % für Nichtwohngebäude und Wohnungsbaugenossenschaften festgelegt. Je höher die spezifischen Wärmekosten im Vergleich zum Kostenminimum für das Gebäude sind, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit einer Technik ausgewählt zu werden. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 8-2 dargestellt. Dort entfällt beispielhaft das Blockheizkraftwerk (BHKW) aufgrund zu hoher Wärmegestehungskosten.

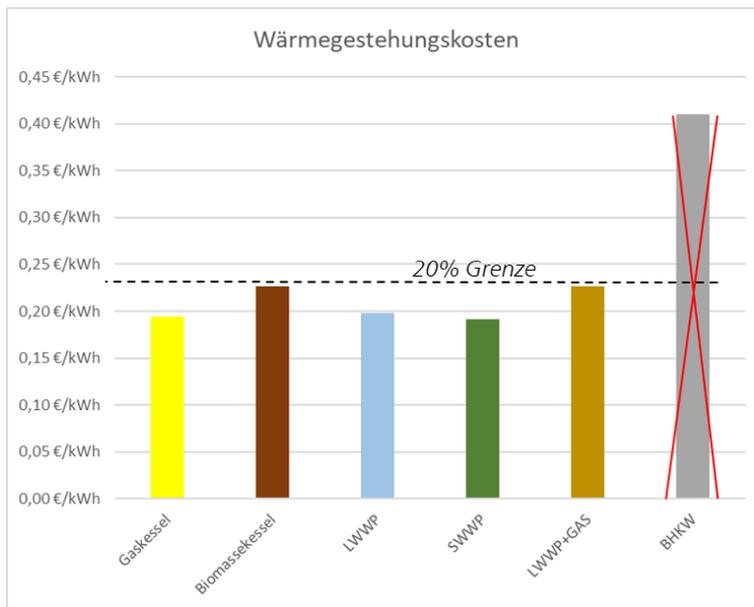


Abbildung 8-2: Auswahl der dezentralen Wärmeerzeugungstechniken durch das Kostentoleranzband

Zudem wird davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Technik ausgewählt zu werden umso geringer ist, je höher die spezifischen Wärmekosten im Vergleich zum Kostenminimum für das Gebäude sind. Techniken mit nahezu identischen Kosten haben damit eine sehr ähnliche Wahrscheinlichkeit gewählt zu werden, wie Abbildung 8-3 zeigt.

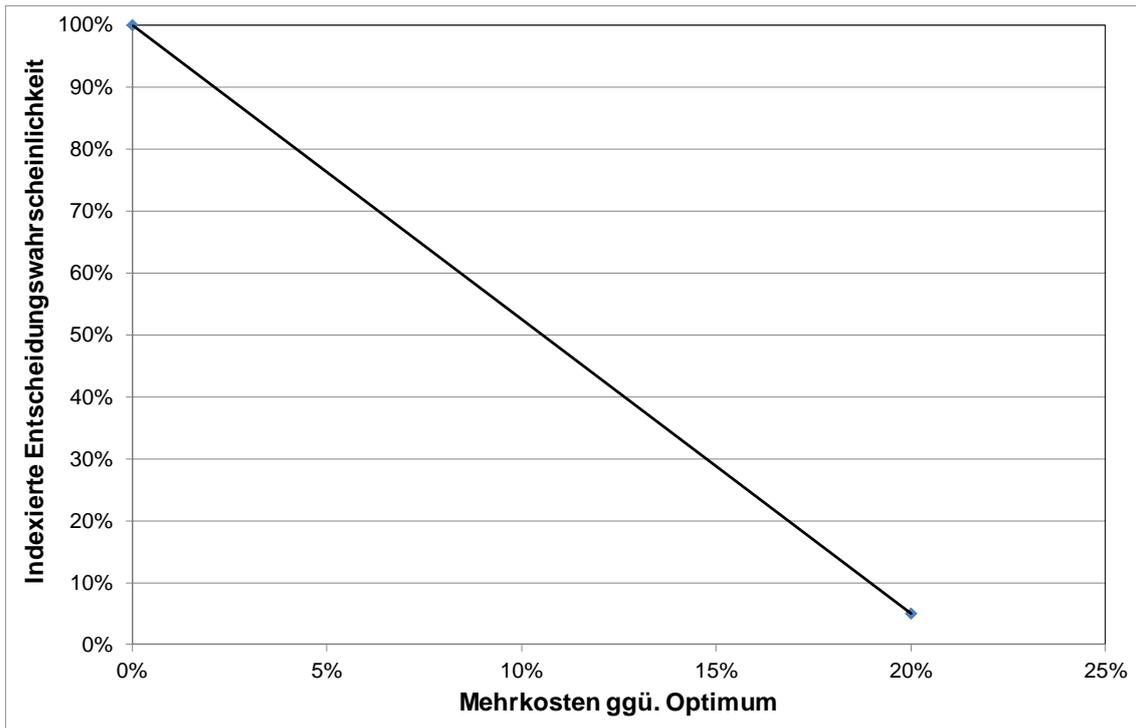


Abbildung 8-3: Wirkung des Kostentoleranzbandes für Wohngebäude

8.2.2 Bestandsbonus

Gebäudeeigentümer werden mit einer höheren Wahrscheinlichkeit bei der Technik bleiben, die aktuell genutzt wird. Die Gründe dafür liegen darin, dass die Technik sowie die Handwerker bekannt sind und dass die bestehende Infrastruktur (z. B. Gasanschluss) weiter genutzt werden können. Zur Abbildung dieses Verhaltens werden die spezifischen Wärmekosten für die bisherige Technik virtuell abgesenkt. Da der beschriebene Effekt stärker bei älteren Objekteigentümern wirkt, beträgt die Reduktion im Fall von Wohngebäuden 30 % bei älteren sowie SGB II Empfängern und 20 % bei jüngeren Objekteigentümern. Bei Nichtwohngebäuden und Wohnungsbaugenossenschaften sind es 15 %.

8.2.3 Imagebonus

Gebäudeeigentümer werden bei vergleichbaren Wärmekosten eher einer Technik den Vorrang geben, die als umweltfreundlich und zukunftsweisend angesehen wird. Auch hier erfolgt die Abbildung über eine Kostensenkung bei Wohngebäuden in Höhe von 15 % für jüngere und 10 % für ältere Gebäudeeigentümer sowie SGB II Empfänger. Bei Nichtwohngebäuden und Wohnungsbaugenossenschaften beträgt der Imagebonus 5 %. Dieser gilt für alle Wärmepumpentechnologien ohne zusätzlicher Gasheizung sowie Pellet-Heizungen. Beispielhaft ist dieser Effekt in Abbildung 8-6 dargestellt.

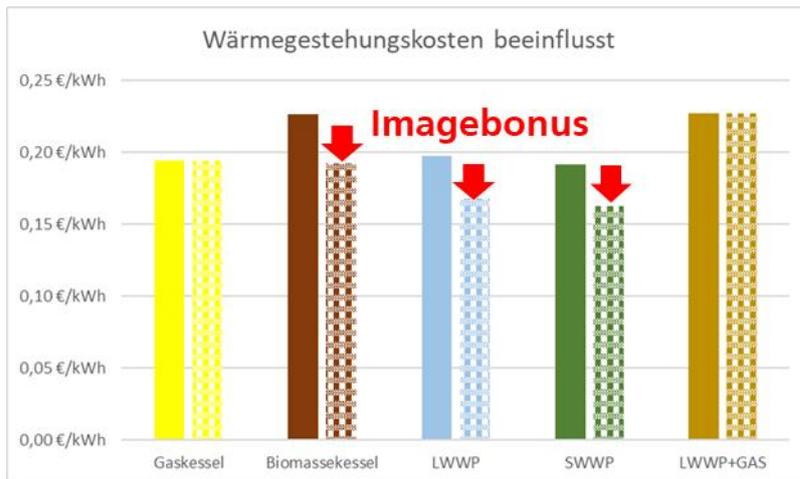


Abbildung 8-4: Anwendung des Imagebonus

8.3 Wahrscheinlichkeit für die Technikauswahl

Die Wahrscheinlichkeit je Technik, in den einzelnen Fällen gewählt zu werden, ist von ihrem Wärmegestehungspreis, der nach Anwendung des Kostentoleranzbandes (Abbildung 8-3) und des Bestands- sowie Imagebonus (Abbildung 8-4) verbleibt, abhängig. Je niedriger die Wärmegestehungskosten, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese Technologie gewählt wird. In Abbildung 8-5 ist beispielhaft ein Wahrscheinlichkeitsband aufgetragen. Durch die Abhängigkeit einer Zufallszahl (hier 0,3 – gestrichelte Linie) erfolgt die endgültige Entscheidung für eine Technologie.

Dieses Verfahren wird sowohl bei der der Auswahl der Objektversorgungstechnologie, als auch bei der Entscheidungsfindung zwischen der Objektversorgung und der leitungsgebundenen Versorgung genutzt.

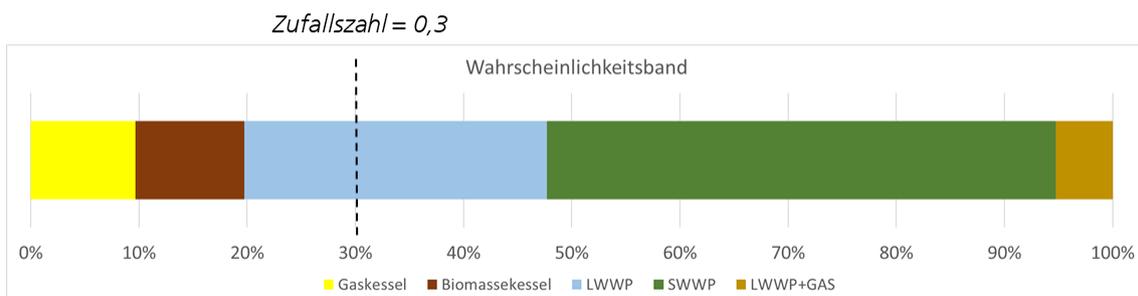


Abbildung 8-5: Wahrscheinlichkeitsband mit Wahl durch Zufallszahl

8.4 Auswahl der Nahwärmecluster

Ein Cluster wird nur dann zum Nahwärmegebiet, wenn sich ausreichend Gebäude für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung entscheiden. In Abschnitt 7.3 wurde die Methodik für die Preisermittlung der leitungsgebundenen Versorgung beschrieben. Wie bereits erwähnt, ergeben sich je nach Anschlussgrad unterschiedliche Wärmegestehungskosten für

die leitungsgebundene Wärmeversorgung, welche mit den Kosten der gewählten Objektversorgung verglichen werden. Abbildung 8-6 zeigt beispielhaft das Entscheidungsschema für die Auswahl eines Nahwärmeclusters. Je nach Anschlussgrad ergeben sich unterschiedliche Preise, die üblicherweise mit steigendem Anschlussgrad sinken, sodass sich mehr Gebäude für die leitungsgebundene Wärmeversorgung entscheiden. Im Beispiel steigt zwar der erreichte Anschlussgrad, jedoch wird der gewählte Anschlussgrad bei 40 % und 50 % nicht erreicht. Erst bei dem Preisniveau von 60 % Anschlussgrad entscheiden sich ausreichend Gebäude für die leitungsgebundene Wärmeversorgung und es wird ein Anschlussgrad von 62 % erreicht. Der Anschlussgrad von 70 % wird um 2 % verfehlt. Das Cluster wird mit einem hinterlegten Preis eines Anschlussgrads von 60 % zu einem Nahwärmegebiet.

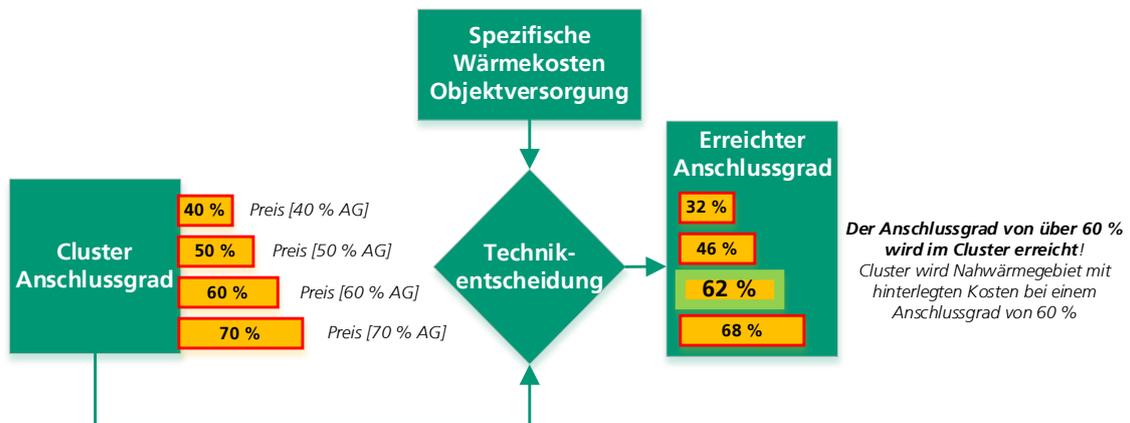


Abbildung 8-6: Beispielhaftes Entscheidungsschema für die Auswahl von Nahwärmeclustern

9 Simulationsergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei Szenarien vorgestellt. Ein Vergleich der Szenarien untereinander sowie eine Einordnung wird in Abschnitt 10 vorgenommen.

9.1 Szenario 1 - Trend

In Abbildung 9-1 ist die Gesamtwärmemenge nach Wärmeerzeugungstechnologien abgebildet. Bis 2035 steigt insbesondere der Anteil der reinen Wärmepumpen, aber auch der Hybridtechnologie von Wärmepumpen mit Gaskesseln stark an. Der Grund hierfür liegt darin, dass reine Gaskessel durch die Anwendung der 65 %-EE-Anforderung für neue Heizungen nur noch in sehr wenigen Ausnahmefällen eine wirtschaftliche Option darstellen. Zudem ist deutlich zu erkennen, dass der reine Gaskessel bis 2045 nur noch einen sehr geringen Anteil von 1,5 % besitzt. Der Anteil reiner Wärmepumpen beträgt 51 % und die Hybridtechnologie einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gaskessel 25 %. Bis 2045 sind keine Ölkessel mehr vorhanden und die Anteile der Biomasse sind vernachlässigbar. Das Nahwärmenetz bekommt nur geringen Zuwachs auf 22 % bis 2045. Insgesamt lässt sich jedoch festhalten, dass sich der Wärmemarkt selbst im TREND-Szenario deutlich ändern wird, was vor allem an der 65 %-EE-Anforderung für neue Heizungen liegt.

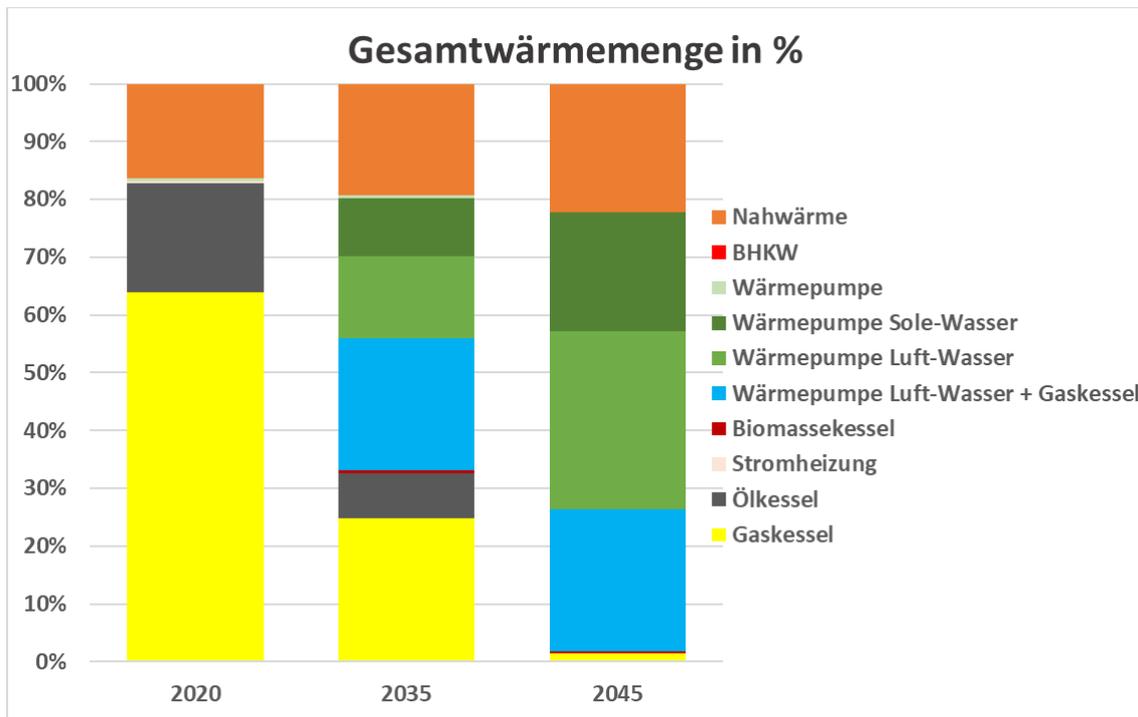


Abbildung 9-1: Szenario 1 - Verteilung der Wärmemengen auf die unterschiedlichen Erzeugungstechnologien

Vergleicht man die Wärmemengen mit der Anzahl der Wärmeerzeugungstechnologien (Tabelle 9-1) zeigt sich, dass kleine Gebäude mit geringer Wärmeleistung vorwiegend Luft-

Wasser Wärmepumpen wählen und größere Gebäude mit höherer Leistung eher Sole-Wasser-Wärmepumpen oder die Hybridtechnologie Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gaskessel für die Wärmeerzeugung nutzen. Insbesondere größere Gebäude wechseln zur Nahwärme.

Tabelle 9-1: Szenario 1 - Anzahl der Wärmeerzeugungstechnologien

Anzahl			
	2020	2035	2045
Ölkessel	7.666	3.015	0
Wärmepumpe	342	250	0
BHKW	0	0	0
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	2.507	4.335
Biomassekessel	7	508	234
Gaskessel	22.596	9.706	1.187
Nahwärme	523	1.375	1.734
Wärmepumpe Luft-Wasser + Gaskessel	0	6.818	7.572
Wärmepumpe Luft-Wasser	0	7.503	16.014

Abbildung 9-2 zeigt die Verteilung der Energieträger auf Clusterebene, bei der ersichtlich wird, dass die Restgasmengen in 2045 im gesamten Betrachtungsgebiet verteilt sind. Es gibt nur einen geringen Zuwachs an Nahwärmegebieten. Dominant sind die Wärmepumpen.

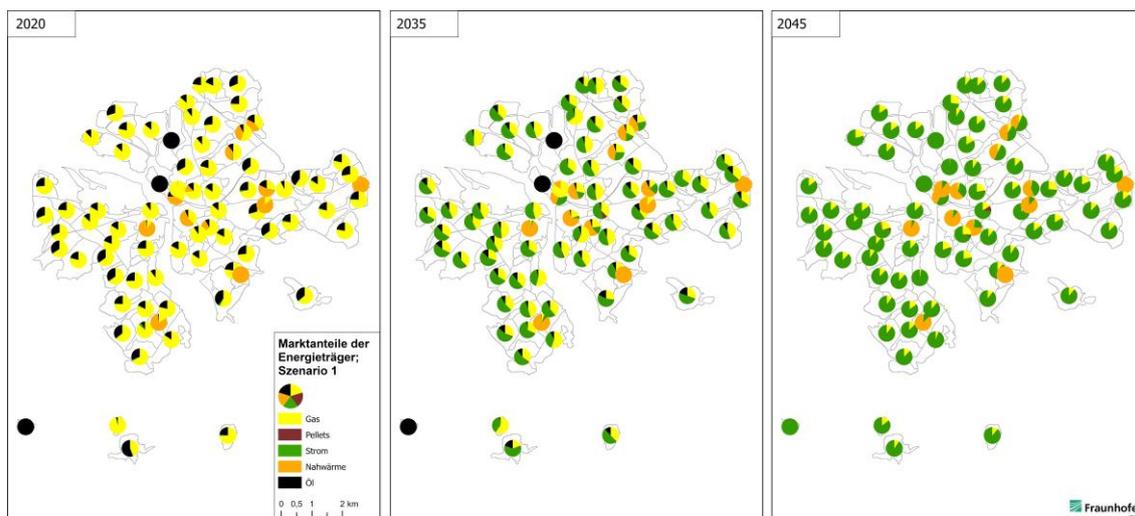


Abbildung 9-2: Szenario 1 - Verteilung der Energieträger auf Clusterebene

Die Nahwärmeerzeugung ist in Abbildung 9-3 abgebildet. Im Vergleich zur bestehenden Nahwärmeerzeugung kommen Anteile von Flusswasserwärme, industrieller Abwärme, Solarthermie, Luft-Wasser-Wärmepumpen sowie Abwasserwärme hinzu. Damit werden, wo räumlich möglich, die Potenziale der erneuerbaren Energien eingesetzt.

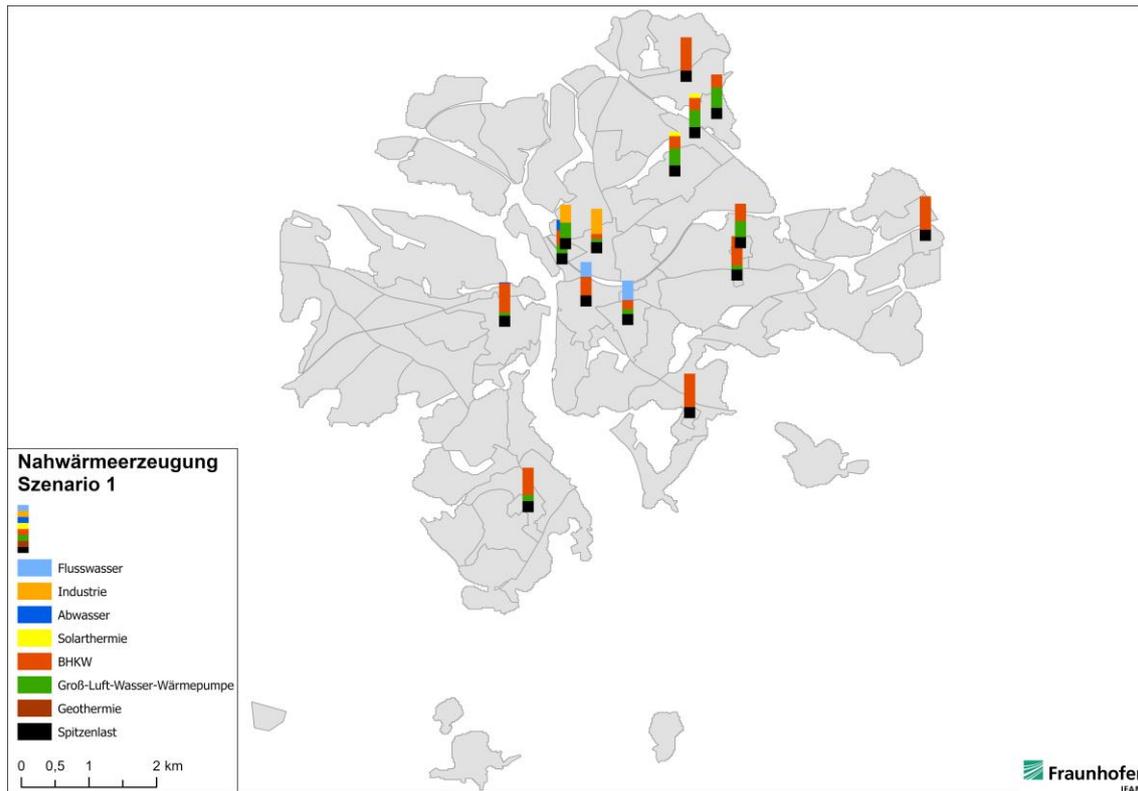


Abbildung 9-3: Szenario 1 - Verteilung der Nahwärmeerzeugung auf Clusterebene

9.2 Szenario 2 - Klimaschutz 1

Die Szenarien 1 und 2 sind in vielen Grundaussagen durchaus ähnlich. Allerdings vollzieht sich der Wechsel zu den erneuerbaren zum Beispiel durch ein Verbot von Ölkesseln bis 2035 noch einmal deutlich schneller. Bedingt durch die stärkere Sanierung durch das zugrunde gelegte SPAR-Szenario der Wärmebedarfsreduktion erzielen die Wärmepumpen bis 2035 höhere Anteile am Wärmemarkt, da die Gebäude schneller gedämmt und damit für einen optimalen Einsatz der Wärmepumpen ertüchtigt werden. Das zeigt sich auch darin, dass die Hybridtechnik (Wärmepumpe + Gaskessel) deutlich geringere Anteile hat als in Szenario 1. Bis 2045 steigen die Wärmemengenanteile der Nahwärme auf 25 % (Abbildung 9-4). Weiterhin wachsen die Anteile der Wärmepumpen auf 67 % und übernehmen einen Teil der Hybridtechnologie Luft-Wasser Wärmepumpe mit Gaskessel, welche nur noch 6 % der Wärmemenge in 2045 ausmachen. Der Anteil reiner Gaskessel sinkt auf 0,9 % und die Biomasskessel bleiben auf einem ähnlichen Niveau von 0,5 %. Bei den verbleibenden Gasmengen handelt es sich um Biogas, da Erdgas keine zulässige Option mehr ist und Wasserstoff in den betrachteten Sektoren gemäß der Definition der Szenarien nicht zum Einsatz kommen wird.

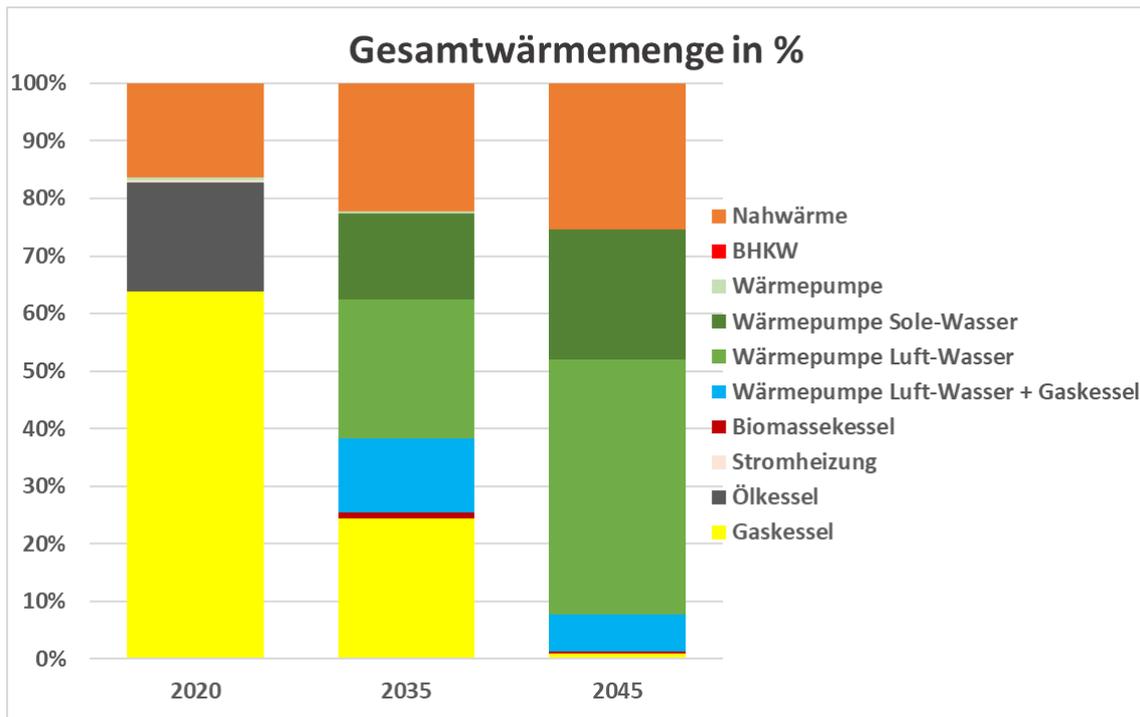


Abbildung 9-4: Szenario 2 - Verteilung der Wärmemengen auf die unterschiedlichen Erzeugungstechnologien

Der Vergleich der Wärmemengenanteile und der Anzahl der Wärmeerzeugungstechnologien (Tabelle 9-2) zeigt ein ähnliches Bild wie in Szenario 1. Im Szenario 2 verbleiben bis 2045 ca. 3 % beim Gaskessel und es werden durchschnittlich ca. 930 neue Wärmepumpen pro Jahr installiert.

Tabelle 9-2: Szenario 2 - Anzahl der Wärmeerzeugungstechnologien

	Anzahl		
	2020	2035	2045
Ölkessel	7.666	0	0
Wärmepumpe	342	250	0
BHKW	0	0	0
Biomassekessel	7	696	344
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	3.517	4.670
Wärmepumpe Luft-Wasser + Gaskessel	0	4.246	2.380
Gaskessel	22.596	8.752	609
Nahwärme	523	1.423	1.650
Wärmepumpe Luft-Wasser	0	12.150	21.423

Abbildung 9-5 zeigt die Verteilung der Energieträger auf Clusterebene. Im Vergleich zu Szenario 1 ist der Restgasanteil in 2045 im gesamten Betrachtungsgebiet noch geringer, die Gebiete mit Nahwärmeanteilen jedoch nahezu unverändert. Weiterhin ist zu erkennen, dass schon in 2035 kein Öl mehr als Energieträger verwendet wird, was an der Vorgabe im Szenario liegt.

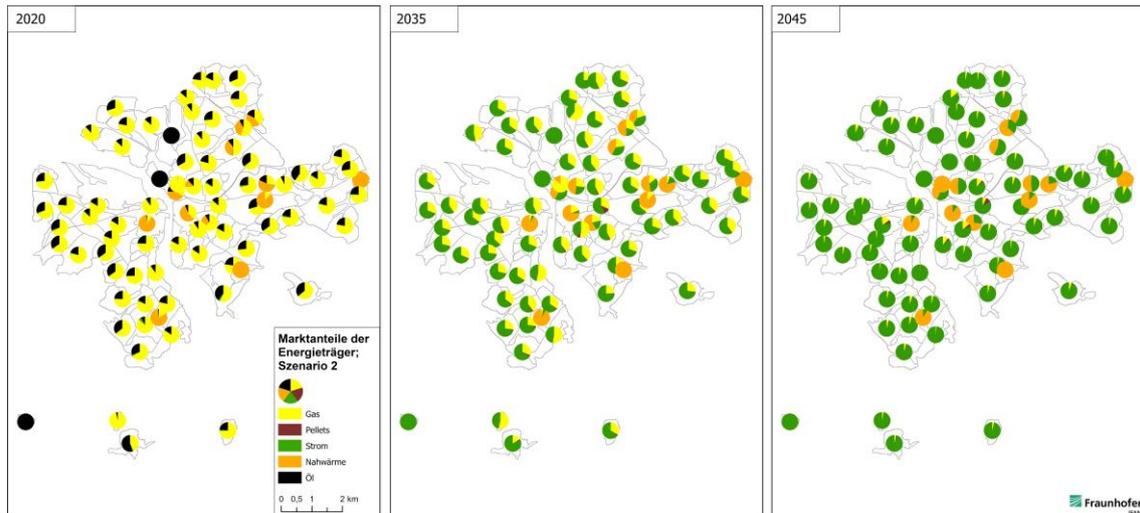


Abbildung 9-5: Szenario 2 - Verteilung der Energieträger auf Clusterebene

Abbildung 9-6 zeigt eine ähnliche Verteilung der Anteile an Erzeugungstechnologien wie schon in Szenario 1.



Abbildung 9-6: Szenario 2 - Verteilung der Nahwärmeerzeugung auf Clusterebene

9.3 Szenario 3 – Klimaschutz 2

In Szenario 3 wird das Ziel der Klimaneutralität bis 2035 abgebildet. Die Ergebnisse aus Szenario 1 und Szenario 2 zeigen, dass diese schwierig zu erreichen sein wird, wenn der

Wärmemarkt sich frei entwickeln kann. Zudem kommen in einem Großteil der Cluster mehrere Energieträger zum Einsatz, was zu einem hohen Aufwand an parallelen Leitungserüchtigungen bzw. –ausbaubedarfen führt, die mit hohen Kosten verbunden wären.

Im Gegensatz zum Szenario 1 und Szenario 2, bei denen Gebäude frei entscheiden konnten welche Technologie sie wählen, wurden die Cluster in Szenario 3 daher in Abhängigkeit der folgenden Kriterien zu Vorranggebieten zugewiesen:

- mittlere Wärmeliniendichte,
- Anteil Wohngebäude / Nichtwohngebäude,
- durchschnittliche Gebäudegröße.

Wichtig ist, dass es sich dabei nicht um eine wirtschaftliche Optimierung handelt, sondern dass ausschließlich die genannten strukturellen Kriterien zu Grunde gelegt wurden.

In den Vorranggebieten wurden nur noch bestimmte Technologien zugelassen, welche in Abbildung 9-7 zu sehen sind. Davon ausgeschlossen waren Gebäude mit einer Anschlussleistung < 25 kW, welche sich alternativ auch für den Pelletkessel oder eine reine Wärmepumpentechnologie entscheiden konnten, sofern im jeweiligen Einzelfall eine technische Realisierung möglich ist (siehe Abschnitt 3).

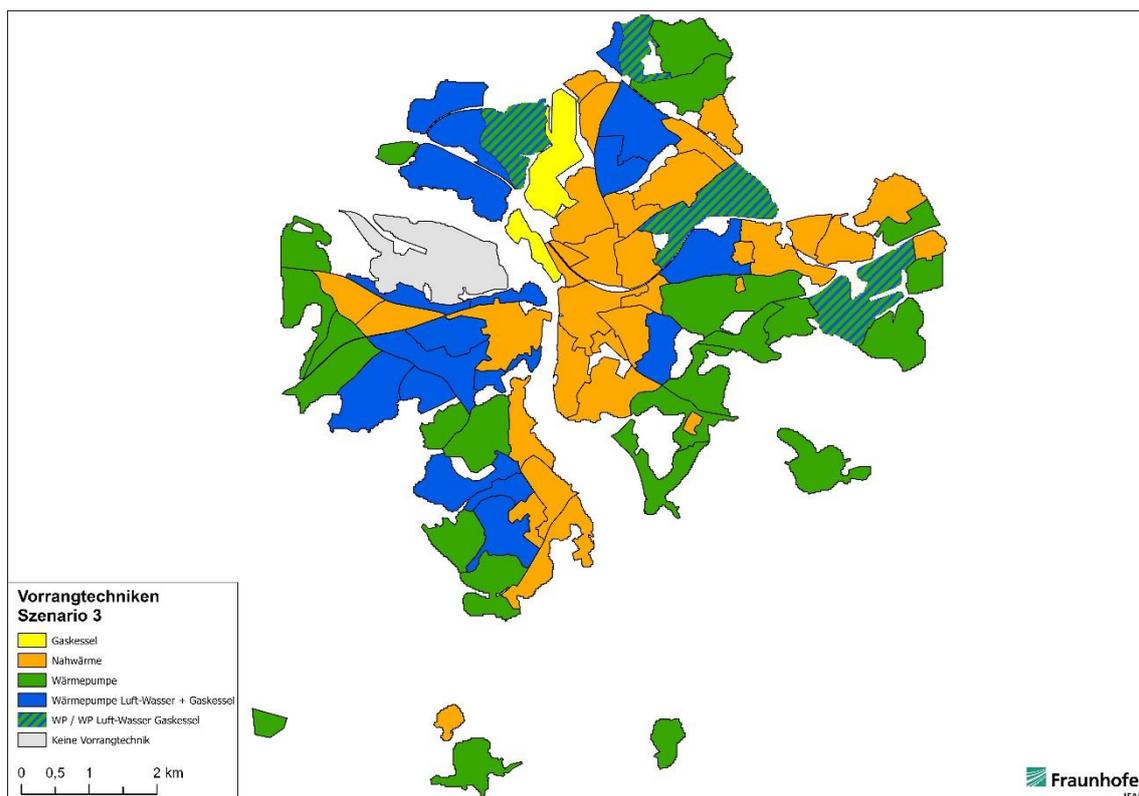


Abbildung 9-7: Szenario 3 – Cluster der Stadt Mülheim aufgeteilt in Vorranggebiete für bestimmte Wärmeerzeugungstechnologien

Abbildung 9-8 zeigt die Wärmemengenanteile von Szenario 3 in 2035, der Wärmemarkt wird fast ausschließlich durch Wärmepumpen und Nahwärme bestimmt. Die Definition der Vorranggebiete ermöglicht einen Anstieg der Nahwärme auf 45 % der Wärmemenge in

2045. Wärmepumpen besitzen einen Anteil von 42 % und die Hybridtechnologie Luft-Wasser-Wärmepumpe einen Anteil von 12 % der Wärmemenge.

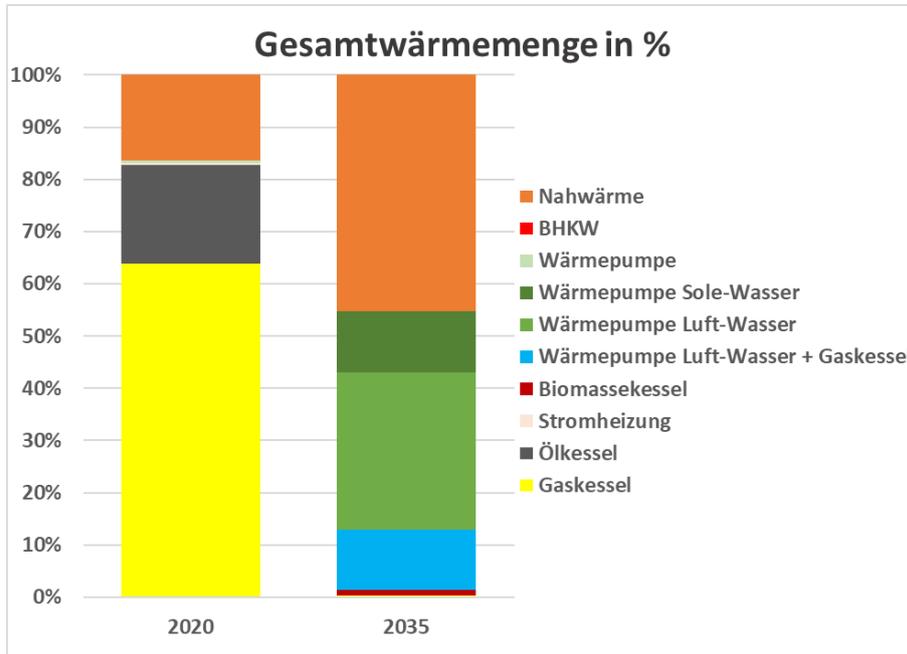


Abbildung 9-8: Szenario 3 - Verteilung der Wärmemengen auf die unterschiedlichen Erzeugungstechnologien

Beim Vergleich der Wärmemengen mit der Anzahl an Technologien in Tabelle 9-3 zeigt sich, wie schon in Szenario 1 und Szenario 2, dass kleine Gebäude vorwiegend Luft-Wasser-Wärmepumpen wählen. Große Gebäude befinden sich nahezu ausschließlich in Vorranggebieten der Nahwärme. Da das Szenario 3 nur bis 2035 simuliert wird, beträgt der durchschnittliche Anschlusszuwachs bei Nahwärme ca. 350 Neukunden pro Jahr und die Anzahl an Wärmepumpen steigt deutlich um ca. 1.750 Wärmepumpen pro Jahr.

Tabelle 9-3: Szenario 2 - Anzahl der Wärmeerzeugungstechnologien

Anzahl		
	2020	2035
Ölkessel	7.668	0
Wärmepumpe	342	0
BHKW	0	0
Gaskessel	22.596	2
Wärmepumpe Sole-Wasser	0	3.923
Biomassekessel	7	967
Wärmepumpe Luft-Wasser + Gaskessel	0	2.256
Nahwärme	523	5.030
Wärmepumpe Luft-Wasser	0	18.896

Abbildung 9-9 zeigt die Verteilung der Energieträger. Gas besteht nur noch in den Vorranggebieten, die in Abbildung 9-7 gasnutzende Wärmeerzeugungstechnologien zulassen. In den meisten Vorranggebieten am Stadtrand ist der Strom für die Wärmepumpennutzung und ein kleiner Anteil an Pellets der einzig verbliebene Energieträger.

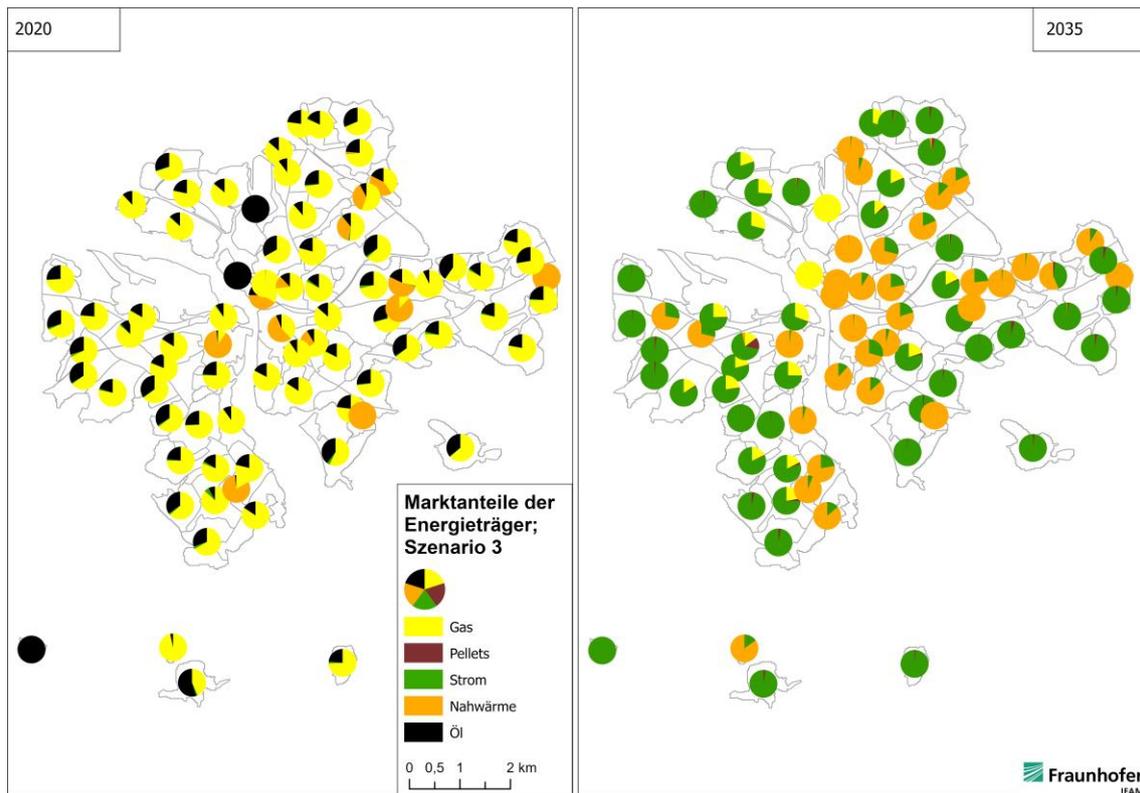


Abbildung 9-9: Szenario 3 - Verteilung der Energieträger auf Clusterebene

Durch die Auswahl an Vorranggebieten in Szenario 3 entwickeln sich deutlich mehr Nahwärmegebiete. Die Anteile zusätzlicher Abwasserwärme, Flusswärme, industrieller Abwärme, Solarthermie und Luft als Wärmequelle dominieren das Gesamtbild in Abbildung 9-10.

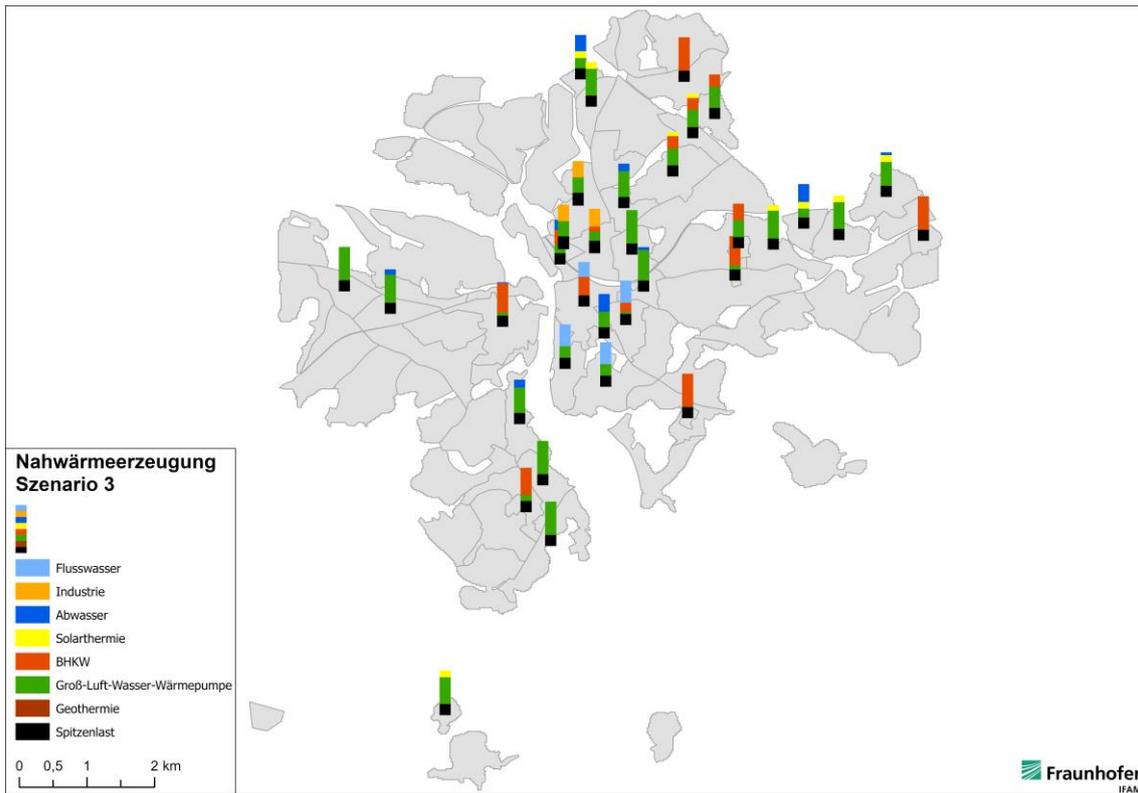


Abbildung 9-10: Szenario 3 - Verteilung der Nahwärmeerzeugung auf Clusterebene

10 Kommunale Wärmewendestrategie

In diesem Abschnitt wird zunächst ein Vergleich der drei Szenarien vorgenommen, bevor die abgestimmten Maßnahmen im Maßnahmenkatalog vorgestellt werden. Abschließend wird ein Fazit gezogen sowie Handlungsempfehlungen gegeben.

10.1 Vergleich der Szenarien

Im Vergleich der drei Szenarien lässt sich festhalten, dass mit steigendem Ambitionsniveau der Szenarien

- der Gasanteil sinkt,
- der Wärmepumpenanteil steigt und
- der Nahwärmeanteil steigt.

In allen drei Szenarien gehen Ölkessel komplett aus dem Markt. Im Szenario 1 bis 2045, in den beiden Klimaschutzszenarien bereits bis 2035. Pellets spielen in allen drei Szenarien nur eine untergeordnete Rolle.

Es zeigt sich aber auch, dass sich bereits im Szenario 1, also dem TREND-Szenario, der Wärmemarkt in den kommenden Jahren dramatisch verändern wird. Dazu führt insbesondere die Anforderungen, dass neue Heizungen ab 2024 gemäß Diskussionspapier der Bundesregierung mit 65 % erneuerbaren Energien betrieben werden müssen. Ein tatsächliches Weiter-so ist vor diesem Hintergrund nicht vorstellbar. Obwohl die Veränderungen bereits im TREND-Szenario groß sind, reichen diese Annahmen nicht für eine vollständige Klimaneutralität in den betrachteten Sektoren Private Haushalte und Gewerbe bis 2045. Um diese zu erreichen sind noch größere Einschnitte erforderlich, wie sie in den Szenarien 2 und 3 abgebildet werden.

Diese Aussagen werden auch in den Abbildung 10-1 und Abbildung 10-2 deutlich, in denen die Verteilungen der Energieträgeranteile im Jahr 2035 bzw. 2045 nebeneinandergestellt werden.

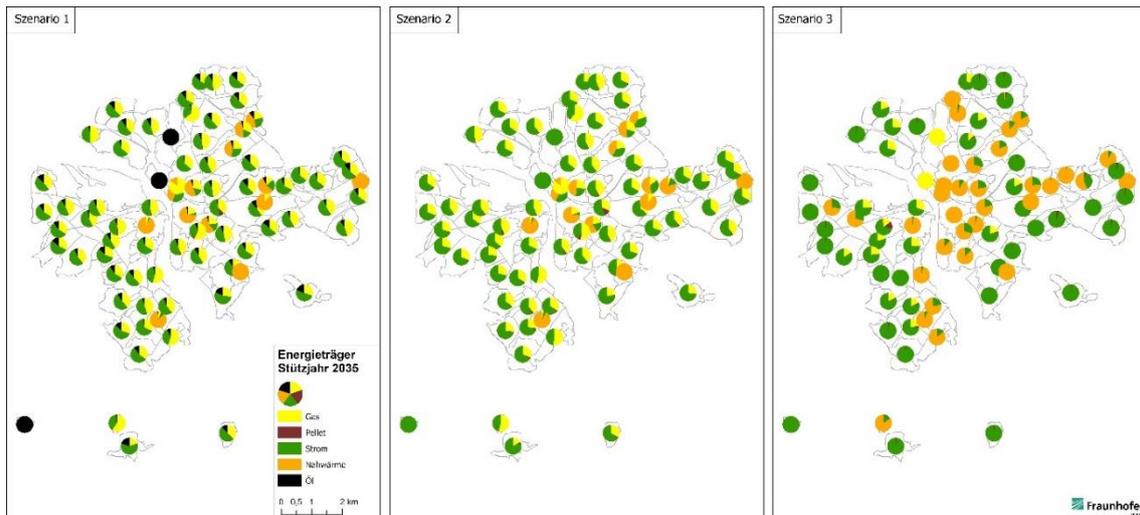


Abbildung 10-1: Energieträgeranteile in den drei Szenarien im Jahr 2035

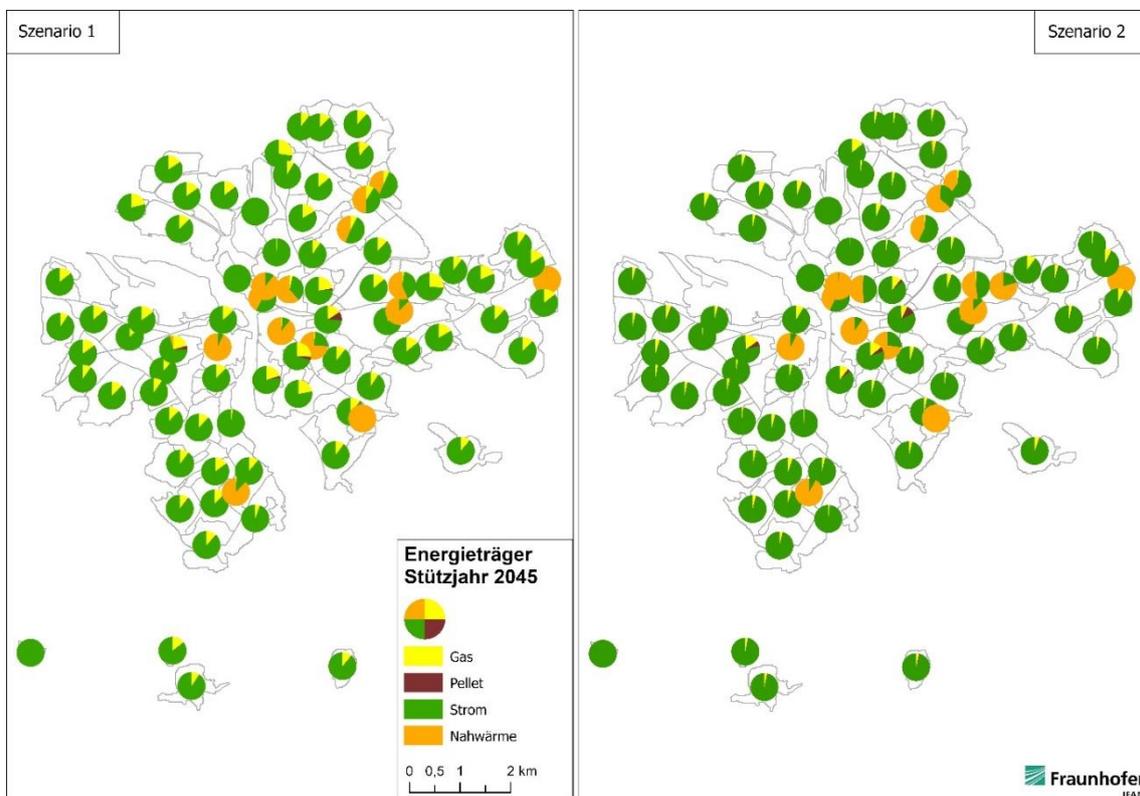


Abbildung 10-2: Energieträgeranteile in den Szenarien 1 und 2 im Jahr 2045

Aus den Szenarien 1 und 2 lässt sich für das Jahr 2045 zudem die bevorzugte Eignung der Cluster für eine leitungsgebundene, bzw. dezentrale Versorgung ableiten. Innerhalb der dezentralen Versorgung dominiert wiederum in allen Fällen die Wärmepumpe. Zwar bleibt in der Modellierung in einem Großteil der Fläche ein Rest-Gasnetz, allerdings dominiert das Gas in keinem der Cluster. Abbildung 10-3 zeigt die Eignung je Cluster im Jahr 2045.

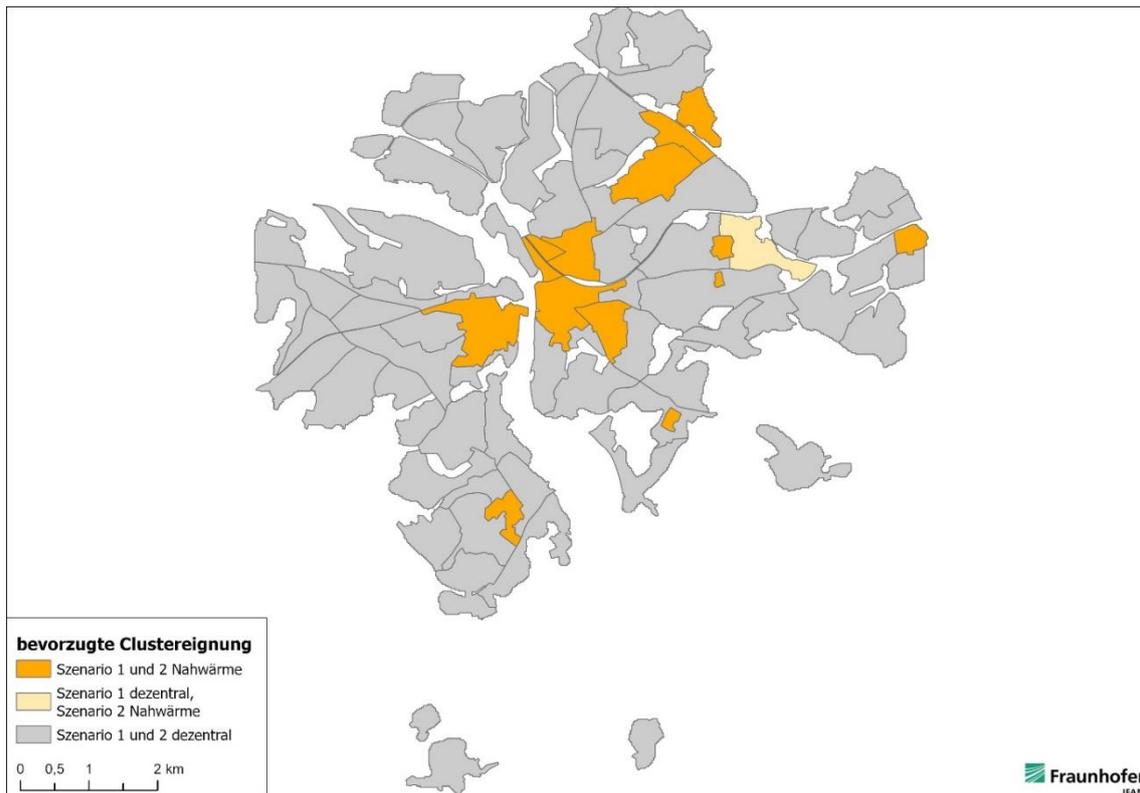


Abbildung 10-3: Bevorzugte Clustereignung im Jahr 2045 in den Szenarien 1 und 2
Das Szenario 3 kann zusätzlich in die Betrachtung integriert werden, allerdings wurde hier keine Modellierung für das Jahr 2045 vorgenommen. Die Abbildung 10-4 zeigt daher alle Gebiete, die in mindestens einem der Szenarien als Nahwärmegebiete identifiziert wurden.

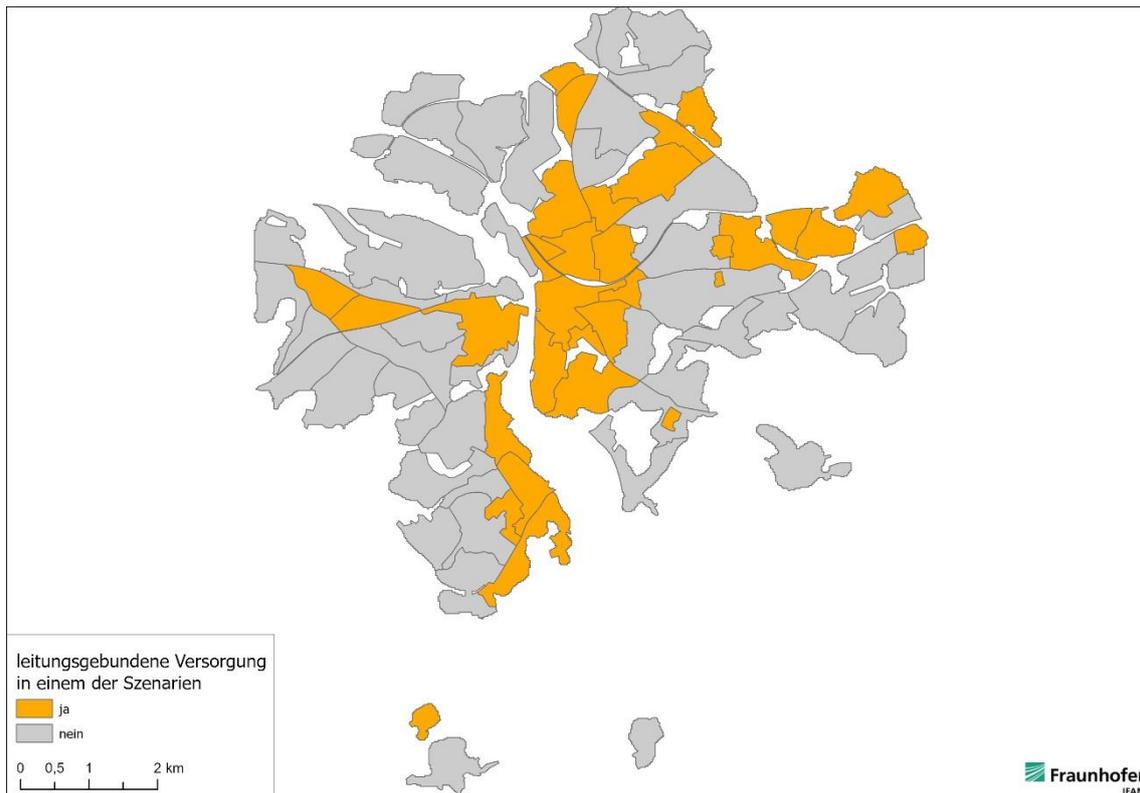


Abbildung 10-4: Cluster, in denen in mindestens einem Szenario eine leitungsgebundene Versorgung modelliert wird

In Bezug auf die Erzeugung der Nahwärme ergeben sich ebenfalls deutlich Unterschiede in den Szenarien. Zurzeit ist die Nahwärmeerzeugung in Mülheim an der Ruhr durch BHKW dominiert. Die Potenzialanalyse hat ergeben, dass es Möglichkeiten gibt, die Erzeugungsstruktur sowohl in den Bestandsnetzen zu diversifizieren als auch in neuen Netzen direkt andere, erneuerbare Erzeugungstechniken einzubeziehen. In erster Linie sind auch in der zentralen Wärmeerzeugung Wärmepumpen zu nennen, die ganz unterschiedliche Wärmequellen einbeziehen können. Die Erzeugungsmengen in den drei Szenarien ist in Abbildung 10-5 dargestellt. Die Anteile, die nicht auf BHKW und Kessel entfallen, steigen mit dem Ambitionsniveau. Im Szenario 1 liegt er bei 27 %, in Szenario 2 bei 32 % und in Szenario 3 steigt er auf 48 %.

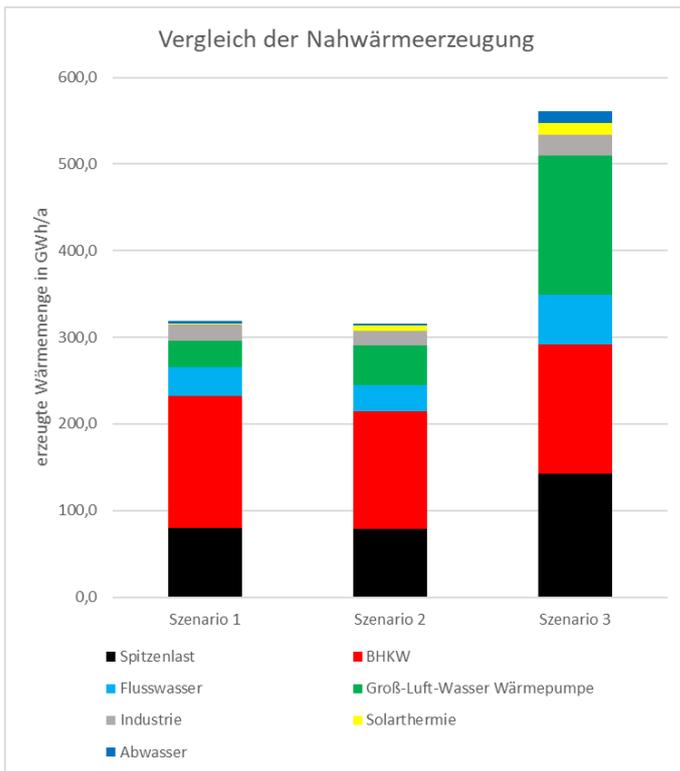


Abbildung 10-5: Vergleich der Nahwärmeerzeugung in den Szenarien 1 und 2 im Jahr 2045 sowie 2035 im Szenario 3

10.2 Maßnahmenkatalog

Im Rahmen eines Workshops mit Vertretern der Stadt Mülheim an der Ruhr sowie relevanten Stakeholdern wurden verschiedene Maßnahmen diskutiert. Für die Maßnahmen mit der größten Relevanz wurde für die folgenden Steckbriefe erstellt.

Tabelle 10-1: Maßnahme 1: Ausweisung Vorranggebiete für Nah- und Fernwärme

Ausweisung Vorranggebiete für Nah- und Fernwärme	
Zielsetzung der Maßnahme	Erhöhung der Anschlussgrade innerhalb von Nah- und Fernwärmegebieten um die Kosten zu senken; Erhöhung der Planungssicherheit für das Versorgungsunternehmen
Beschreibung der Situation im Gebiet	In der Stadt Mülheim an der Ruhr gibt es Gebiete, dessen Bebauungsdichte für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung mit Nah- oder Fernwärme prädestiniert sind und regenerative Energien oder industrielle Abwärme aus der Umgebung nutzen könnten. Um die Umsetzung voran zu bringen kann die Stadt Mülheim an der Ruhr Gebiete ausweisen, in denen die Anbindung an eine leitungsgebundene Wärmeversorgung Pflicht wird. Dabei sind einzelne Ausnahmen möglich, zum Beispiel für Gebäude mit einer geringen Anschlussleistung oder wenn die alternative Technik klimaneutral ist

Priorität der Maßnahme / Umsetzungsbeginn	Hoch; ab sofort möglich
Handlungsschritte und Erfolgsindikatoren	<p><u>Handlungsschritte:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gespräche zwischen Stadt Mülheim an der Ruhr und Netzbetreibern um die Vor- und Nachteile von Vorranggebieten gegeneinander abzuwägen 2. Grundsätzliche Entscheidung, ob Vorranggebiete ausgewiesen werden sollen 3. Räumliche Abgrenzung der Vorranggebiete 4. Definition der Ausnahmen, für die ein Anschlusszwang nicht gilt <p><u>Erfolgsindikatoren:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Entscheidung, ob Vorranggebiete ausgewiesen werden sollen, ist gefallen 2. Räumliche Abgrenzung der Vorranggebiete hat stattgefunden 3. Ausnahmen wurden definiert
Mögliche Treibhausgas-minderung	Abhängig von der konkreten Ausgestaltung der Vorranggebiete
Geschätzte Kosten	Gering, da keine Investitionskosten
Nächste Schritte	Siehe Handlungsschritte
Verantwortlichkeiten / Beteiligte Institutionen bzw. Fachbereiche	Stadt Mülheim an der Ruhr in Abstimmung mit den Netzbetreibern

Tabelle 10-2: Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Flusswasser

Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Flusswasser	
Zielsetzung der Maßnahme	Detaillierte Betrachtung der Nutzung von Flusswasser als Wärmequelle in Wärmenetze
Beschreibung der Situation im Gebiet	Die Nutzung von Flusswasser als Wärmequelle ist durch technische, rechtliche und ökologische Faktoren begrenzt, die durch die Involvierung von Spezialisten auf dem jeweiligen Gebiet ermöglicht werden kann.
Priorität der Maßnahme / Umsetzungsbeginn	Hoch / ab sofort möglich
Handlungsschritte und Erfolgsindikatoren	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kontaktaufnahme zu beteiligten Institutionen <ul style="list-style-type: none"> -Ingenieur- und Planungsbüro -Wärmeversorger der Stadt -Wasser- und Schifffahrtsamt

	<p>-Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV)</p> <p>2. Ausschreibung der Potenzialanalyse</p> <p><u>Erfolgsindikatoren:</u></p> <p>1. Potenzialanalyse liegt vor</p> <p>2. Ergebnis ist unter Zusammenarbeit möglichst aller relevanten Institutionen entstanden und entsprechend valide</p>
Mögliche Treibhausgas-minderung	Abhängig von der Dimensionierung und der Einbindung in die Wärmeinfrastruktur
Geschätzte Kosten	Abhängig von der Dimensionierung
Nächste Schritte	Siehe Handlungsschritte
Verantwortlichkeiten / Beteiligte Institutionen bzw. Fachbereiche	Ingenieur und Planungsbüro mit Erfahrungen im Bereich Flusswasser-Wärmepumpen, Wasserstraßen und Schifffahrtsamt, LANUV, medl GmbH

Tabelle 10-3: Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Freiflächensolarthermie / PV

Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Freiflächensolarthermie / -PV	
Zielsetzung der Maßnahme	<p>Mit dem Ausbau der Freiflächensolarthermie kann die energiereiche Sonneneinstrahlung für die direkte und erneuerbare Erzeugung von Wärme genutzt werden. In der im Rahmen des laufenden Projektes zu Verfügung gestellten Untersuchung „Potenzialflächenanalyse Freiflächenphotovoltaik“ konnten bereits Potenzialflächen im Stadtgebiet festgestellt und verortet werden. Nun gilt es im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die Nutzung von Solarthermie als Wärmequelle zu untersuchen.</p> <p>Neben der Solarthermie ist auch die Freiflächen-PV zu betrachten. So gilt es die Potenzialflächenanalyse entlang zwischenzeitlicher Entwicklungen zu aktualisieren und die tatsächlichen Potenziale zu bestimmen. Zudem sollten für die Flächen ermittelt werden, ob die Installation von Solarthermie- oder PV-Kollektoren besser geeignet sind.</p>
Beschreibung der Situation im Gebiet	<p>Das Projektgebiet weist diverse Freiflächen auf, die sich für die Installation von Solarthermie- / bzw. PV-Anlagen eignen. Für eine genauere Betrachtung der Standorte, Ermittlung der flächenspezifischen Potenziale, Berücksichtigung möglicher Wärmesenken sowie den benötigten Trassenwege sollte die Stadt Mülheim an der Ruhr mit einem Ingenieur- und Planungsbüro sowie dem Wärme- und Stromnetzbetreiber zusammenarbeiten.</p>

Priorität der Maßnahme / Umsetzungsbeginn	Hohe Priorität aufgrund der großen bislang ungenutzten Potenziale / ab sofort
Handlungsschritte und Erfolgsindikatoren	<p><u>Handlungsschritte:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zusammenbringen der beteiligten Personen und Institutionen -Stadt Mülheim (Flächen) -Wärmeversorger der Stadt Wärmesenken (Betreiber?) -Verkehrsamt bzgl. Kreuzung von Verkehrswegen usw. -Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) 2. Ausschreibung einer Potenzialanalyse <p><u>Erfolgsindikatoren:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Potenzialanalyse Freiflächensolarthermie und -PV liegt vor 2. Ergebnis ist unter Zusammenarbeit möglichst aller relevanten Institutionen entstanden und entsprechend valide <p><u>Sonstiges:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Beachtung Länderöffnungsklausel im EEG in NRW: Nutzung Grün- und Ackerlandflächen mit deutlich unterdurchschnittlichem Ertrag (Land NRW, 2020) 2. Für die systematische Flächenanalyse kann der Leitfaden für Kommunen des Projektes Solnet Plus herangezogen werden (Solites, 2022)
Mögliche Treibhausgas-minderung	Da die Solarthermie und die PV im Vergleich zu anderen Energieträgern bzw. Wärmeerzeugungstechniken mit einem CO ₂ -Faktor von 0 bewertet werden, sind die Potenziale der Treibhausgas-minderung groß. Die konkrete Höhe abhängig von der Dimensionierung der Anlagen und der verdrängten Energieträger.
Geschätzte Kosten	Gering, da zunächst nur die Potenziale konkretisiert werden
Nächste Schritte	Der nächste Schritt ist die Kontaktaufnahme zu den oben genannten Institutionen. Sie sollten über die Ergebnisse des erstellen Berichtes zur kommunalen Wärmeplanung informiert und anhand dessen zur Erarbeitung einer Machbarkeitsstudie motiviert werden.
Verantwortlichkeiten / Beteiligte Institutionen bzw. Fachbereiche	Stadt Mülheim (Solarthermieflächen und Verkehrsamt), Ingenieur- und Planungsbüro, LANUV, medl GmbH

Tabelle 10-4: Ausweisung von Verbrennungsverboten in B-Plänen in Neubaugebieten

Ausweisung von Verbrennungsverboten in B-Plänen in Neubaugebieten	
Zielsetzung der Maßnahme	Ausweisung von Verbrennungsverboten in den Bebauungsplänen in Neubaugebieten um zu verhindern, dass neue Heizungen installiert werden, die klimaschädlich sind. Insbesondere Neubauten sind durch den hohen Wärmedämmstandard dafür prädestiniert über Wärmepumpen oder Nahwärme versorgt zu werden und so Lock-in-Effekte zu verhindern.
Beschreibung der Situation im Gebiet	Aufgrund der folgenden neuen regulatorischen Veränderungen: 1) der 65%-EE-Anforderung der Bundesregierung (ab 2024 keine neuen Gasheizungsanlagen mehr erlaubt) 2) Verbot für neue Ölheizungen ab 2026 kann die Stadt Mülheim an der Ruhr gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 23b & Abs. 6 BauGB die folgenden Verbrennungsverbote in den Bebauungsplänen für Neubaugebiete aufstellen: Einsatzverbot für Kohle, Heizöl, Erdgas sowie Biomasse.
Priorität der Maßnahme / Umsetzungsbeginn	Hoch / ab sofort möglich
Handlungsschritte und Erfolgsindikatoren	1. In der Entwicklung von Bebauungsplänen beteiligte Akteure der Stadt zusammenbringen. 2. Die Immobilienbaugesellschaften sowie Ingenieurbüros im Bereich Neubaugebiete informieren. <u>Erfolgsindikatoren</u> Keine Installation neuer, klimaschädlicher Heizungen in Neubauten
Mögliche Treibhausgas-minderung	Mit einem Einsatzverbot für die oben genannten Brennstoffe und einer damit verbundenen Wärmebereitstellung aus EE-Quellen können große Mengen an CO ₂ (abhängig von der Größe des Neubaugebietes) eingespart werden.
Geschätzte Kosten	Gering, da nur Personalkosten
Nächste Schritte	Siehe Handlungsschritte
Verantwortlichkeiten / Beteiligte Institutionen bzw. Fachbereiche	Stadt, Gemeinden und Kommunen, Immobilienbaugesellschaften, Ingenieurbüros

Tabelle 10-5: Übergeordnete regionale Wärmeplanung

Übergeordnete regionale Wärmeplanung	
Zielsetzung der Maßnahme	Einige übergeordnete Potenziale lassen sich nicht alleine durch eine kommunale Wärmeplanung der Stadt Mülheim an der Ruhr heben. Daher sollte die Vernetzung mit den angrenzenden Städten gesucht werden und in Abhängigkeit der Gespräche ggfs. eine übergeordnete regionale Wärmeplanung angestrebt werden.
Beschreibung der Situation im Gebiet	-
Priorität der Maßnahme / Umsetzungsbeginn	mittel / ab sofort möglich
Handlungsschritte und Erfolgsindikatoren	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kontaktaufnahme zu den direkt angrenzenden Städten Duisburg, Essen und Oberhausen um den aktuellen Stand der kommunalen Wärmeplanung in Erfahrung zu bringen; ggfs kann eine Kontaktaufnahme mit dem LANUV bzw. energy4climate hilfreich sein, da beide Institutionen die kommunale Wärmeplanung in NRW begleiten. 2. Das weitere Vorgehen ist Abhängig vom Ausgang der Gespräche mit den angrenzenden Kommunen. <p><u>Erfolgsindikatoren</u> Gespräche mit Vertretern der angrenzenden Städte geführt</p>
Mögliche Treibhausgas-minderung	Abhängig vom weiteren Vorgehen
Geschätzte Kosten	Gering, da zunächst nur Kontaktaufnahme
Nächste Schritte	Siehe Handlungsschritte
Verantwortlichkeiten / Beteiligte Institutionen bzw. Fachbereiche	Umweltämter der Städte Duisburg, Essen und Oberhausen LANUV, Fachbereich 38 energy4climate

Tabelle 10-6: Qualifizierung

Qualifizierung	
Zielsetzung der Maßnahme	<p>Für die Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung sind (Um-) Baumaßnahmen sowohl in den Gebäuden, als auch bei der Infrastruktur erforderlich. Um diese umfassenden baulichen und technischen Anpassungen durchzuführen, bedarf es qualifizierter Handwerker*innen in ausreichender Zahl. Dementsprechend ist das Ziel, Impulse für einen zielführenden Dialog zwischen den relevanten Institutionen zu setzen. Zentral ist hier die Förderung des Know-How-Transfers zu den Anforderungen der geplanten, erneuerbaren Wärmeversorgung, das Bewerben als „Klimaschutz-Berufe“ sowie flankierende Maßnahmen, die einem Fachkräftemangel entgegenwirken. Die Einstellung und Fortbildung von ausreichend qualifiziertem Personal liegt bei lokalen/regionalen Handwerksbetrieben, der Stadt sowie bei der medl GmbH. Es gilt zu verhindern, dass der umfassende Umbau zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung durch einen Handwerker*innenmangel gebremst wird.</p>
Beschreibung der Situation im Gebiet	<p>Die aktuelle Wärmeversorgung in Mülheim beruht insbesondere auf objekteneigenen Gas- und Ölheizungen, z.T. bestehen Nahwärmenetze. Das Ergebnis der kommunalen Wärmeplanung ist, dass die zukünftige Wärmebereitstellung insbesondere über Wärmepumpen und die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen durch Wärmenetze erfolgen wird. Auf Bundesebene bestehen Gesetzestexte und Förderungen, die auf einen weiteren Ausbau der Wärmepumpen und Wärmenetze abzielen. Dementsprechend müssen Handwerker*innen für den (Ein-)Bau, Betrieb sowie Wartung von Wärmepumpen, Hybridlösungen und Wärmenetze geschult werden.</p>
Priorität der Maßnahme / Umsetzungsbeginn	<p>Hohe Priorität, da Fachkräfte erst nach der Ausbildungs-/Schulungszeit zur Verfügung stehen / ab sofort möglich</p>
Handlungsschritte und Erfolgsindikatoren	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zusammenbringen der relevanten Akteure der Stadt, medl und Handwerkskammer 2. Identifikation der größten Bedarfe 3. Erstellung eines Ausbildungs- und Schulungskonzeptes, das die ermittelten Bedarfe adressiert <p><u>Erfolgsindikatoren</u></p> <p>Ausbildungs- und Schulungskonzept erstellt</p> <p>Ausbildung und Schulungen begonnen</p>

Mögliche Treibhausgas-minderung	-
Geschätzte Kosten	Verteilen sich auf jeweilige Institutionen, sollte als Investition gesehen werden, da lokale/regionale Wertschöpfung
Nächste Schritte	Kontaktaufnahme zu beteiligten Institutionen, Personen und Fachbereichen. Aufstellen eines Teams und Organisieren eines Treffens um mögliche Schulungen, Förderungen und weitere Möglichkeiten der Fachkräftequalifizierung zu besprechen und umzusetzen. Anschließend Umsetzung der besprochenen Schulungs- und Qualifizierungsmaßnahme, sodass qualifizierte Personen zur Verfügung stehen
Verantwortlichkeiten / Beteiligte Institutionen bzw. Fachbereiche	Kreishandwerkerschaft Mülheim an der Ruhr – Innung für Sanitär- und Heizungstechnik Mülheim an der Ruhr

Tabelle 10-7: Kommunikationskonzept

Kommunikationskonzept	
Zielsetzung der Maßnahme	Die Veränderungen im Wärmesektor werden tiefgreifend sein und nahezu alle Bürgerinnen und Bürger sowie den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen betreffen. Zur Erreichung der größtmöglichen Akzeptanz ist die Kommunikation, angepasst an die Maßnahmen und die Zielgruppen erforderlich.
Beschreibung der Situation im Gebiet	Die Stadt Mülheim an der Ruhr hat bereits die Erstellung eines Kommunikationskonzeptes beauftragt.
Priorität der Maßnahme / Umsetzungsbeginn	Sehr hoch; wird bereits umgesetzt
Handlungsschritte und Erfolgsindikatoren	-
Mögliche Treibhausgas-minderung	-
Geschätzte Kosten	-
Nächste Schritte	-
Verantwortlichkeiten / Beteiligte Institutionen bzw. Fachbereiche	-

10.3 Fazit und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung für die Stadt Mülheim an der Ruhr wurden drei Szenarien betrachtet, die in ihren Grundcharakteristika sehr unterschiedlich sind. Trotzdem lassen sich Gemeinsamkeiten in allen drei Szenarien feststellen, die den Wärmemarkt zukünftig prägen werden:

- Der Wärmemarkt wird sich in den kommenden Jahren **grundlegend ändern**. Die Geschwindigkeit der Veränderungen ist Abhängig vom Ambitionsniveau der Szenarien. Selbst im TREND-Szenario sind die Veränderungen bis 2035 bereits sehr groß.
- **Erdöl und Erdgas**, die heute noch erhebliche Anteile am Wärmemarkt aufweisen, werden sehr schnell an Marktanteilen verlieren.
- **Wärmepumpen** werden die dezentrale Versorgung dominieren, insbesondere in den kommenden Jahren und wenn die energetische Sanierung nicht so schnell voranschreitet werden auch Hybridtechniken (Wärmepumpen + Gaskessel) in einzelnen Gebäudetypen vorherrschen.
- Je ambitionierter das Szenario ist, umso höher ist der Anteil der **leitungsgebundenen Versorgung**. Die Zusammensetzung der **Erzeugung** der leitungsgebundenen Versorgung wird sich deutlich verändern. Zwar werden BHKW auch zukünftig eine Rolle spielen, zusätzlich werden jedoch die Potenziale der erneuerbaren Energien (Großwärmepumpen mit unterschiedlichen Wärmequellen, industrielle Abwärme, Solarthermie) eingebunden werden.

Die Ergebnisse und Ableitungen aus den Szenarien weisen in vielen Punkten in vergleichbare Richtungen, viele Ableitungen weisen also eine gewisse Robustheit auf. Trotzdem ist wichtig zu benennen, dass die Ergebnisse stark abhängig von den gewählten Inputparametern sind. Hier sind in erster Linie die **Energieträgerpreise** zu nennen. Aufgrund des Krieges in der Ukraine und den damit verbundenen Preissteigerungen und –schwankungen ist eine Fortschreibung der Energieträgerpreise bis 2065 mit sehr hohen Unsicherheiten verbunden. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ist, dass von der medl keine Preisprognosen zur Verfügung gestellt wurden. Die Inputwerte und Ergebnisse sollten daher in regelmäßigen Abständen **überprüft** werden und die bis dahin getroffenen Ableitungen **hinterfragt** werden.

Die beschriebenen Maßnahmen sollten alle mit **hoher Priorität** verfolgt werden. Vor dem Hintergrund des Beschlusses der Stadt Mülheim an der Ruhr bis 2035 klimaneutral sein zu wollen, darf keine weitere Zeit verstreichen. Eine weitere Gemeinsamkeit der Maßnahmen ist zudem, dass nahezu alle auf eine Vernetzung der beteiligten Institutionen abzielen. Das zeigt noch einmal, dass der **Kommunikation** sowohl zwischen den direkt an der Schaffung der Rahmenbedingungen beteiligten Institutionen, mit den Energieversorgern und Netzbetreibern sowie mit den Gebäudeeigentümern, die schlussendlich die Entscheidung für oder gegen eine Heizungstechnik treffen, eine absolute Schlüsselrolle zukommt.

11 Literatur

- agriportance (2022a): Biomethanpreisticker für Biomethan aus Nachwachsenden Rohstoffen. agriportance - Die Plattform für Biomethan. Online verfügbar unter <https://agriportance.com/biomethan-preisticker/>, zuletzt geprüft am 26.10.2022.
- agriportance (2022b): Biomethanpreisticker für Biomethan aus Reststoffen. agriportance - Die Plattform für Biomethan. Online verfügbar unter <https://agriportance.com/biomethan-preisticker/>, zuletzt geprüft am 26.10.2022.
- BMWK (2022): BMWK startet Diskussionsprozess zu flächendeckender kommunaler Wärmeplanung. BMWK.
- Bracke, R.; Wocholl, W.; Schmidt, B.; Busmann, G.; Eicker, T.; Kelz, B. (2015): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW. Teil 4 - Geothermie. Recklinghausen.
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (Hrsg.) (2020): Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten. Klimageräte, Kühlgeräte, Lüftungsgeräte, Luft-Wärme-Pumpen und Mini-Blockheizkraftwerke.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK (2022): 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024. Konzeption zur Umsetzung. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/65-prozent-erneuerbare-energien-beim-einbau-von-neuen-heizungen-ab-2024.html>, zuletzt geprüft am 14.11.2022.
- Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (Hrsg.) (2021): Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks 2020. Sankt Augustin.
- Burchardt, J.; Franke, K.; Herhold, P.; Hohaus, M.; Humpert, H.; Päiväranta, J.; Reichenhagen, E.; Ritter, D.; Schönberger, S.; Schröder, J.; Strobl, S.; Treis, C.; Türpitz, A. (2021): Klimapfade 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Gutachten für den BDI. Boston Consulting Group.
- Deutscher Wetterdienst DWD (2022): Testreferenzjahre (TRY). Datensatz 2017. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- Eisele, M.; Rapp, C.; Bergmann, S.; Bierwagen, H.; Dümmer, M.; Fragemann, H.-J.; Holzappel, B.; Loheide, J.; Leipertz, D.; Müller, T.; Kuhn, S.; Linberg, N.; Resch, T.; Schäfer, I.; Thien, L.; Weiss, E.-G. (2019): Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme. Recklinghausen.
- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (2022): Geothermie von NRW 1:50.000 | Geologischer Dienst NRW. Online verfügbar unter https://www.gd.nrw.de/pr_kd_gt50-oberflaechennah.php, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- Gerhardt, N.; Zimmermann, B.; Ganai, I.; Pape, A.; Gíron, P.; Ghosh, D.; Dörre, E.; Kallert, A.; Yu, Y.-J. (2019): Entwicklung der Gebäudewärme und Rückkopplung mit dem Energiesystem in -95% THG-Klimazielszenarien. 1. Teilbericht. Kassel: Fraunhofer IEE.

- Gerhardt, N.; Zimmermann, B.; Ganai, I.; Pape, A.; Gíron, P.; Ghosh, D.; Dörre, E.; Kallert, A.; Yu, Y.-J. (2021): Transformationspfade der Fernwärme in Rückkopplung mit dem Energiesystem und notwendige Rahmenbedingungen. 2. Teilbericht. Kassel: Fraunhofer IEE.
- Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft (2016): Regionales Klimaschutzkonzept zur „Erschließung der Erneuerbaren-Energien-Potenziale in der Metropole Ruhr“. Kurzfassung.
- Kättlitz, A.; Powell, D.; Saunders, G.; Bäuml, G. A.; García, L. L.; Cavarretta, M. C.; Buyuk, N.; Lebois, O.; Di Cicco, P.; Boersma, P.; Gassmann, T. (2022): TYNDP 2022 Scenario Report: Building Guidelines. European Network of Transmission System Operators for Gas; European Network of Transmission System Operators for Electricity.
- Land NRW (2020): Landesregierung macht von Länderöffnungsklausel Gebrauch und erweitert Fördermöglichkeiten von Photovoltaik auf Freiflächen; Land Nordrhein-Westfalen Staatskanzlei des Landes Nordrhein- Westfalen. Online verfügbar unter: <https://www.land.nrw/pressemitteilung/landesregierung-macht-von-laenderoeffnungsklausel-gebrauch-und-erweitert>
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (2021): Wasserschutzgebiete NRWs mit ihren Zonen I, II, III und IIIA. Online verfügbar unter https://www.energieatlas.nrw.de/site/z3_Wasserschutzgebiete, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- Luderer, G.; Kost, C.; Sörgel, D. (Hrsg.) (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Potsdam: Potsdam Institute for Climate Impact Research.
- medl GmbH (2022): Preisblatt medl Tarif Nahwärme. Nahwärme und Bereich Innenstadt. Internes Dokument.
- Peters, M.; Steidle, T.; Heibisch, H.; Skok, J.; Graef, D.; Andres, F. (2022): Kommunale Wärmeplanung. Einführung in den Technikatalog.
- Prognos AG; Öko-Institut e.V.; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (Hrsg.) (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. Berlin.
- Solites - Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (2022): Flaschenhals Fläche - Flächenhemmnissen durch Flächenanalyse strukturiert begegnen Solites Steinbeis Innovation GmbH. Online verfügbar unter: <https://www.hamburg-institut.com/news/von-der-flaeche-zum-projekt-denken-nicht-umgekehrt/>
- Solites - Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (2022): ScenoCalc Fernwärme – Ertragsvorhersagetool für Solarthermie-Anlagen in Wärmenetzen. Online verfügbar unter <https://www.scfw.de/>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.

- Stadt Mülheim an der Ruhr (2019): Statistische Bezirke. Online verfügbar unter <https://geo.muelheim-ruhr.de/open-data/statistische-bezirke/563714>, zuletzt geprüft am 28.10.2022.
- Stadt Mülheim an der Ruhr (2020): Arbeitsmarkt und Sozialleistungsbezug. Online verfügbar unter https://www.muelheim-ruhr.de/cms/arbeitsmarkt_und_sozialleistungsbezug.html, zuletzt geprüft am 01.07.2022.
- Stadt Mülheim an der Ruhr (2022): Potenzialflächenanalyse Freiflächenphotovoltaik. Internes Dokument. Mülheim.
- Talsperrenleitzentrale Ruhr (2022): Gewässerpegel - Talsperrenleitzentrale Ruhr. Abfrage der Durchflusswerte Ruhr 14.01.2022. Online verfügbar unter https://www.talsperrenleitzentrale-ruhr.de/online-daten/gewaesserpegel/2769990000100/?tx_onlinedata_gauges%5Baction%5D=show&tx_onlinedata_gauges%5Bcontroller%5D=Gauges, zuletzt geprüft am 14.01.2022.
- VDI-Richtlinie, VDI 4640 Blatt 2. (2001-09). Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. Beuth Verlag.
- Weil, N. (2022): Bundesförderung effiziente Wärmenetze. EU-Kommission schließt beihilferechtliche Prüfung ab. Verband kommunaler Unternehmen e.V.
- VDI-Richtlinie, VDI 2067 Blatt 1. (2012-09). Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung. Beuth Verlag.

12 Anhang

Fragebogen Industrielle Abwärme

Dieser Fragebogen dient einer vorläufigen Abschätzung über Abwärmepotentiale in der Industrie, die innerhalb eines öffentlichen Nah- oder Fernwärmenetzes genutzt werden können. Wir bitten Sie, den Bogen nach besten Wissen und Gewissen auszufüllen, sofern Sie uns diese Informationen zur Verfügung stellen können.

Bei Rückfragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Helge Oude-Aost

Projektleiter Energiesystemanalyse

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Wiener Straße 12 | 28359 Bremen | Germany

Telefon + 49 421 2246-7023 | Fax -77-300

helge.oude-aost@ifam.fraunhofer.de

Kontaktdaten*

Firma	
Straße	
PLZ, Ort	
Kontaktperson*	
Telefon	
Email	

*als Kontakt bitte die zuständige Person für Energiefragen angeben

Allgemeine Unternehmensangaben

Anzahl der Beschäftigten:

Branchenart:

Standort besteht seit:

Energienutzung

Welche Energieträger werden derzeit für welche Zweck eingesetzt und welche Änderungen (falls geplant) wird es in Zukunft geben

Position	Energieträger	Verbrauch des Energieträgers	Änderung	Zeitpunkt der Änderung	Kommentar
<i>Backöfen (Beispiel)</i>	<i>Erdgas</i>	<i>125 MWh</i>	<i>Umstellung auf Wasserstoff</i>	<i>2026</i>	<i>Umrüstung erst möglich, wenn Wasserstoff vor Ort vorhanden</i>

Abwärmepotential

Nutzen Sie bereits betriebsintern Abwärme?

(wenn ja, wofür? - zum Beispiel Raumwärme, Brauchwassererwärmung oder Prozesswärme)

Fällt in ihrem Unternehmen Abwärme an, die für ein Fern- oder Nahwärmeversorgungsnetz bereitgestellt werden kann?

Ja Nein

Wären Sie bereit nicht genutzte Abwärme gegen entsprechende Bezahlung abzugeben?

Ja Nein

Wie hoch schätzen Sie den Aufwand für die Auskopplung der Abwärme ein?

gering mittel hoch

Besitzen Sie bereits einen Fernwärmeanschluss auf dem Betriebsgelände?

Ja Nein

(wenn ja, bitte erläutern Sie ob sie Fernwärme zum Heizen, als Prozesswärme oder als Prozesswasser nutzen und/oder ob bereits ein Teil ihrer Abwärme für die Einspeisung in ein Nah- oder Fernwärmenetz genutzt wird)

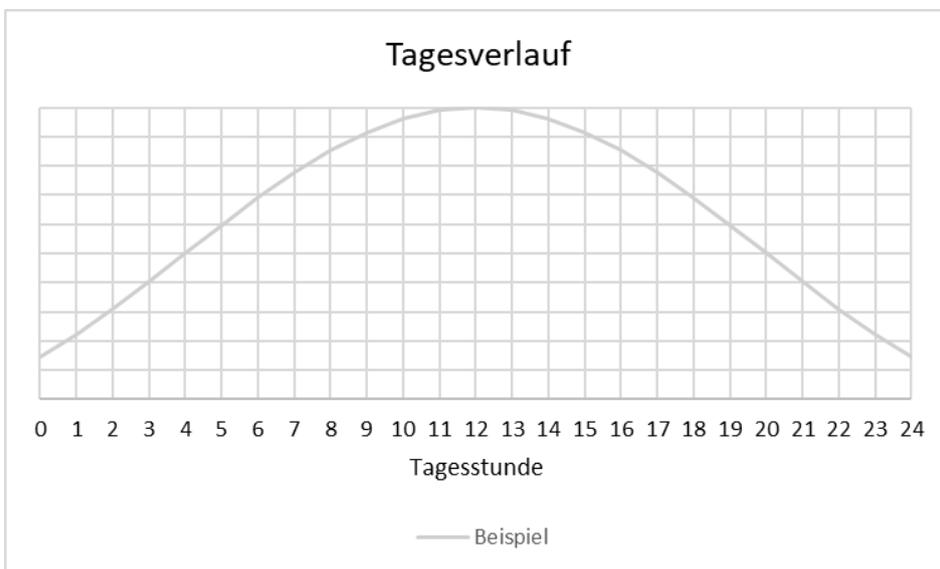
Abwärmeverfügbarkeit

Wie viele Schichten fährt Ihr Betrieb?

Schicht	Von	Bis
1		
2		
3		

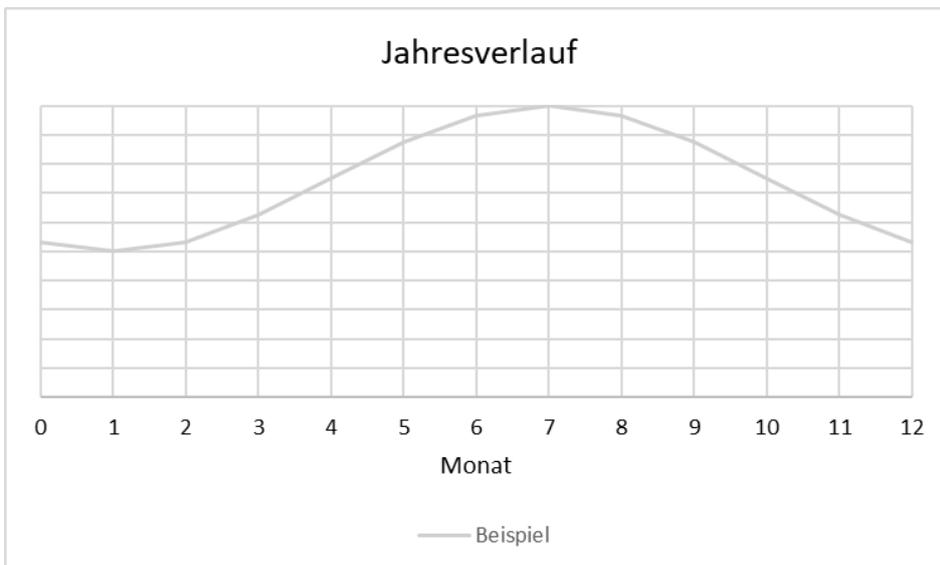
Lässt sich der zeitliche Anfall von verfügbarer Abwärme über den Tag abschätzen?

(wenn ja, bitte versuchen Sie den Verlauf innerhalb der Grafik wie das Beispiel zu skizzieren)



Lässt sich der zeitliche Anfall von verfügbarer Abwärme über das Jahr abschätzen?

(wenn ja, bitte versuchen Sie den Verlauf innerhalb der Grafik wie das Beispiel zu skizzieren)



Fällt auch am Wochenende Abwärme an?

Samstags: Ja Nein
Sonntags: Ja Nein

Gibt es über das Jahr planmäßige Ausfallzeiten aufgrund von Betriebsferien oder Instandhaltungsmaßnahmen?

Wie hoch wäre die maximale Gesamtwärmeabgabe über das Jahr in MWh?

Wie hoch wäre die maximale Abwärmeleistung in MW?

Wie schnell ist die Einbindung der Abwärme in ein Nah- oder Fernwärmenetz Ihrerseits möglich?

Innerhalb von 2 Jahren

Innerhalb von 5 Jahren

Innerhalb von 10 Jahren

Über welche Laufzeit können Sie vorrausichtlich die Wärme bereitstellen?

< 5 Jahre

5 - 10 Jahre

> 10 Jahre

Wird sich die Abwärmemenge aufgrund von Effizienz oder Produktionsvergrößerungen verändern?

(wenn ja, wann ungefähr und um wie viel Prozent +/-)

Charakteristik der Abwärme

Was ist der wesentliche Abwärmeträger?

(z.B. Abluft, Wasser, Abwasser, Dampf, Rauchgas, Prozessgas, Kondensat usw.)

Gibt es sonstige spezifische Eigenschaften des Wärmeträgers?

(z.B. korrosiv, verschmutzt, giftig)

Wie hoch ist die maximal auskoppelbare Temperatur?

30-80°C

80-130°C

>130°C

Ist auf dem Betriebsgelände eine günstig gelegene Fläche für eine Übergabestation vorhanden?

Ja

Nein

Gibt es eine genauere Position der möglichen Wärmeübergabe?

(Straße oder Sie können auch einen Kartenausschnitt mit einer markierten Position beifügen)

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!
