Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

NATIONALE KLIMASCHUTZ INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

OSTKREIS Klimahandeln
Unsere Region packt es an

Kommunaler Wärmeplan

der Stadt Amöneburg

Ergebnisbericht der Kommunalen Wärmeplanung
für die Stadt Amöneburg

30.09.2025

öneburg

EAM

HORIZONTE GROUP

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis 4

Abbildungsverzeichnis 5

Abkürzungsverzeichnis 7

Vorbemerkung 8

Zusammenfassung 9

1 Vorwort zum Projekt 10

1.1 Datenerhebung 11

1.1.1 Vorgehensweise 11

1.1.2 Datenaufbereitung 12

1.1.3 Datenqualität 12

2 Eignungsprüfung 13

2.1 Ausgangslage und Gebäudestruktur 13

2.2 Bestehende Wärmenetze und lokale Potenziale 13

2.3 Siedlungsstruktur und Wärmeliniendichte 13

2.4 Perspektiven für Wasserstoffnutzung 13

2.5 Ergebnis der Eignungsprüfung 14

3 Bestandsanalyse 15

3.1 Ziele der Bestandsanalyse 15

3.2 Gebäude- und Siedlungstypen 16

3.3 Energieverbrauchs- oder Energiebedarfserhebungen 20

3.4 Heizungsalter 24

3.5 Sanierungsstand der Gebäude 25

3.6 Wärme- und Kälteinfrastruktur 27

3.6.1 Mardorf 27

3.6.2 Wärmenetz Erfurtshausen 29

4 Potenzialanalyse 30

4.1 Potenziale zur Energieeinsparung durch Senkung des Wärmebedarfs 30

4.2 EE-Potenziale und Abwärme 32

4.2.1 Geothermie 33

4.2.2 Umweltwärme 38

4.2.3 Solarthermie 44
4.2.4 Abwärme aus Industrie, Gewerbe bzw. öffentlicher Liegenschaften 46
4.2.5 Biomasse 47
4.2.6 Großwärmespeicher 49
4.2.7 Power-to-X (Windkraft & PV) 50
4.2.8 Regionale Stoffkreisläufe 51
5 Zielszenario und Entwicklungspfade 52
5.1 Voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete 52
5.1.1 Einteilung in Wärmenetzgebiete 53
5.1.2 Einteilung in Wasserstoffnetzgebiete 57
5.1.3 Einteilung in Prüfgebiete 57
5.1.4 Einteilung Einzelversorgungsgebiete 57
5.1.5 Einstufung der voraussichtlichen Wärmeversorgungsgebiete 59
5.2 Kostenprognose in Form von Wärmevollkostenvergleich 60
5.3 Ermittlung des Zielszenarios 61
5.3.1 Ermittlung des zukünftigen Wärmebedarfs (Sanierungsszenarien) 61
5.3.2 Entwicklungspfade für die Energieinfrastruktur (Entwicklungsszenarien) 67
5.4 Zielszenario 70
5.4.1 Endenergieverbrauch nach Endenergiesektoren 70
5.4.2 Endenergieverbrauch nach Energieträgern 71
5.4.3 Jährliche Emissionen von Treibhausgasen 71
5.4.4 Endenergieverbrauch der Fernwärme nach Energieträgern 72
5.4.5 Anteil Fernwärme am gesamten Endenergieverbrauch der Wärmeversorgung 73
5.4.6 Anzahl der Gebäude mit Anschluss an Wärme- und Gasnetz 74
6 Strategie und Maßnahmenkatalog 75
6.1 Methodik und Vorgehensweise 75
6.2 Maßnahmenkatalog 75
7 Verstetigungs- und Controllingkonzept 84
8 Beteiligungs- und Controllingkonzept 88
8.1 Beteiligungsprozesse während der Wärmeplanung 88
8.2 Kommunikationsstrategie für die Wärmewende in Amöneburg 88
8.2.1 Ziele der Kommunikationsstrategie 89
8.2.2 Maßnahmen und Instrumente 89
9 Literaturverzeichnis 90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wärmebedarf nach Nutzungsart der Gebäude 30

Tabelle 2: Theoretische Wärmeliniendichte je Teilgebiet 54

Tabelle 3: Priorisierung verschiedener Sanierungsmaßnahmen 64

Tabelle 4: Entwicklung des Gesamtwärmebedarfs (Nutzenergie) in [GWh/a] bis 2045, Szenario IV 67

Tabelle 5: Anteile der Wärmeerzeugung im Zieljahr 2045 in verschiedenen Entwicklungsszenarien 68

Tabelle 6: Austauschjahre für Heizungen in Anhängigkeit ihres Baujahres, Szenario IV D 69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des regionalen Wasserstoff-Backbones in Nord- und Mittelhessen [2] 14

Abbildung 2: Überwiegende Gebäudenutzung nach Baublöcken [3] 16

Abbildung 3: Prozentuale Aufteilung der Gebäudecharakteristik [3] 17

Abbildung 4: Gebäudebestand nach Baualtersklassen [3] 18

Abbildung 5: numerische Verteilung der Baualtersklassen inkl. BISKO-Sektor [3] 19

Abbildung 6: Verteilung der spezifischen Wärmebedarfe auf Baublockebene [3] 20

Abbildung 7: Aufteilung des Wärmebedarfs nach Energieträger [3] 21

Abbildung 8: Verteilung der überwiegenden Wärmeversorgungsart auf Baublockebene [3] 22

Abbildung 9: Aufteilung des Wärmebedarfs nach Gebäudenutzung [3] 23

Abbildung 10: prozentuale Verteilung der Heizungsanlagen nach Alter 24

Abbildung 11: Sanierungsstände auf Baublockebene [3] 25

Abbildung 12: Sanierungsstatus der Gebäude im Planungsgebiet [3] 26

Abbildung 13: Lage des Wärmenetzes Mardorf (rot) mit Wärmeerzeugungsanlagen [3] 27

Abbildung 14: Lage des Wärmenetzes Erfurtshausen mit Wärmeerzeugungsanlagen [3] 29

Abbildung 15: Wärmebedarf Nutzenergie nach Gebäudealter und -art 31

Abbildung 16: Sanierungspotenzial Gebäudestand des Untersuchungsgebiets Amöneburg 32

Abbildung 17: Definition der Potenzialbegriffe nach Kaltschmitt, Streicher, Wiese [5] 33

Abbildung 18: Funktion einer Wärmepumpe innerhalb eines Wärmenetzes 34

Abbildung 19: Hydrogeologische Standortbeurteilung Amöneburg [6] 35

Abbildung 20: Wasserwirtschaftliche Standortbeurteilung Amöneburg [6] 36

Abbildung 21: Tiefengeothermie – hydrothermales Potenzial -1000m [6] 37

Abbildung 22: Temperaturbereich im Ohm nach Monaten 41

Abbildung 23: mögliche Flusswasserwärmeentnahmestelle bei Amöneburg 41

Abbildung 24: Wärmeentnahmemöglichkeiten Abwasser 43

Abbildung 25: Gebietseinschränkungen (Zulässigkeit von Freiflächen-PV als Indikator für Solarthermie) [10] 45

Abbildung 26: Solarthermiepotenzial – Beispielrechnung 45

Abbildung 27: Inhalte der Plattform für Abwärme nach Energieeffizienzgesetz 46

Abbildung 28: Flächenintensität verschiedener (nachhaltiger) Wärmeenergiequellen (exemplarisch) [11] 48
Abbildung 29: theoretisches Potenzial aus Agrar- und Waldflächen [3] 49
Abbildung 30: Übersicht verschiedener Power-to-X Prozesse 50
Abbildung 31: Kriterium A - Wärmeliniendichten im Planungsgebiet [3] 53
Abbildung 32: Kriterium B - Kommunale Gebäude im Planungsgebiet [2] 54
Abbildung 33: Kriterium D - vorhanden oder geplante Wärmenetze im Planungsgebiet [2] 55
Abbildung 34: Wärmenetzeignungsgebiete 56
Abbildung 35: Prüfgebiete 57
Abbildung 36: Einzelversorgungsgebiete (blau) 58
Abbildung 37: Wärmenetzeignungsgebiete (rot), Prüfgebiete (grün), Einzelversorgungsgebiet (blau) 59
Abbildung 38: Bewertungsmatrix künftiger Wärmeversorgunggebiete 60
Abbildung 39: Marktpreisniveau GEG-konforme Heizung im durchschn. Einfamilienhaus 61
Abbildung 40: Entwicklung des Gesamtwärmebedarfs in [GWh/a] bis 2045, Szenarien I-III 63
Abbildung 41: Sanierung der Gebäudeklassen H (dunkelrot) bis zum Jahr 2030 64
Abbildung 42: Sanierung der Gebäudeklassen G (rot) bis zum Jahr 2035 65
Abbildung 43: Sanierung der Gebäudeklassen F (orange) bis zum Jahr 2040 65
Abbildung 44: Sanierung der Gebäudeklassen H (gelb-orange) bis zum Jahr 2045 66
Abbildung 45: Entwicklung des Gesamtwärmebedarfs (Nutzenergie) in [GWh/a] bis 2045, Szenario IV 67
Abbildung 46: Endenergieverbrauch nach Endenergiesektoren 70
Abbildung 47: Endenergieverbrauch nach Energieträgern in GWh/a 71
Abbildung 48: Jährliche Emissionen von Treibhausgasen 72
Abbildung 49: Endenergieverbrauch der Fernwärme nach Energieträgern in GWh/a 73
Abbildung 50: Anteil Fernwärme am gesamten Endenergieverbrauch der Wärmeversorgung 73
Abbildung 51: Anzahl der Gebäude mit Anschluss an Wärme- und Gasnetz sowie dezentrale Versorgungslagen 74
Abbildung 52: „SMARTe“ Ziele zur Kontrolle der Zielerreichung 86

Abkürzungsverzeichnis

BISKO *Bilanzierungs-Systematik Kommunal*

EWP *Energiewendepartner*

GEG *Gebäudeenergiegesetz*

GHD *Gewerbe, Handel und Dienstleistungen*

JAZ *Jahresarbeitszahl*

NKI *Nationale Klimaschutzinitiative*

PtX *Power-to-X*

THG *Treibhausgas*

vbh *Vollbenutzungsstunden*

Vorbemerkung

Die Durchführung der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Amöneburg wurde gefördert im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI).

Mit der Nationalen Klimaschutzinitiative initiiert und fördert das Bundesumweltministerium seit 2008 zahlreiche Projekte, die einen Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen leisten. Ihre Programme und Projekte decken ein breites Spektrum an Klimaschutzaktivitäten ab: Von der Entwicklung langfristiger Strategien bis hin zu konkreten Hilfestellungen und investiven Fördermaßnahmen. Diese Vielfalt ist Garant für gute Ideen.

Die Nationale Klimaschutzinitiative trägt zur Verankerung des Klimaschutzes vor Ort bei. Von ihr profitieren Verbraucherinnen und Verbraucher ebenso wie Unternehmen, Kommunen oder Bildungseinrichtungen.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zusammenfassung

Mit ihrer kommunalen Wärmeplanung schafft die Stadt Amöneburg die Grundlage und den Rahmen für die Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien.

Die kommunale Wärmeplanung basiert auf einer detaillierten Bestands- und Potenzialanalyse des Wärmebedarfs sowie der erneuerbaren Wärmeerzeugung. Zum Zeitpunkt dieses Berichts beruht der überwiegende Anteil der Wärmeversorgung der Stadt Amöneburg auf fossilen Brennstoffen, vor allem in Form von Heizöl. Dem gegenüber bestehen durch die Nahwärmenetze in Mardorf und Erfurtshausen bereits zwei erneuerbare Versorgungsoptionen in den jeweiligen Stadtteilen.

Die Erweiterung der bestehenden sowie der mögliche Bau neuer Wärmenetze sind ein wichtiger Faktor, um eine klimaneutrale Wärmeversorgung bis zum Zieljahr 2045 zu ermöglichen. Als erneuerbare Wärmequellen stehen für die Versorgung der Wärmenetze neben den bereits eingesetzten biogenen Brennstoffen potenziell auch verbrennungsfreie Technologien wie z.B. Solarthermie oder oberflächennahe Geothermie zur Verfügung. Für Gebäude, bei denen mittel- und langfristig kein Anschluss an ein Wärmenetz möglich sein wird, muss die Umstellung der Wärmeversorgung individuell erfolgen. Hier wird die Wärmepumpe eine zentrale Rolle spielen. Die Errichtung eines Gas- bzw. Wasserstoffnetzes in Amöneburg ist in diesem Zusammenhang unwahrscheinlich.

Im Kern der kommunalen Wärmeplanung steht die Untersuchung von Teilgebieten hinsichtlich ihrer optimalen zukünftigen Wärmeversorgung. Dazu erfolgt eine Einteilung von Eignungsgebieten anhand wirtschaftlicher Kriterien auf Grundlage der lokalen Rahmenbedingungen. Die Eignungsgebiete dienen zur Orientierung bei der Gestaltung der Wärmewende in Amöneburg. Es entstehen daraus weder Rechte noch Verpflichtungen.

Teilgebiet / Stadtteil	**Eignungsgebiet**
Kernstadt Amöneburg	Einzelversorgungsgebiet
Mardorf	Wärmenetzeignungsgebiet
Roßdorf	Prüfgebiet
Rüdigheim	Wärmenetzeignungsgebiet
Erfurtshausen	Wärmenetzeignungsgebiet

In einem klimaneutralen Zielszenario wird für die Stadt Amöneburg bis zum Jahr 2045 eine Versorgung überwiegend basierend auf Nahwärme (Wärmenetzeignungsgebiet) und Wärmepumpen (Einzelversorgungsgebiet) sowie eine Reduzierung des Wärmebedarfs in Höhe von ca. 35% prognostiziert. Um diese Entwicklung zu unterstützen, werden im Rahmen eines Maßnahmenkatalogs Handlungsoptionen für die Kommune festgelegt, wie zum Beispiel die Erweiterung von Beratungsangeboten oder die energetische Sanierung der kommunalen Liegenschaften.

1 Vorwort zum Projekt

Die Stadt Amöneburg liegt im mittelhessischen Landkreis Marburg-Biedenkopf im Herzen des Bundeslandes Hessen. Amöneburg befindet sich östlich von Marburg und grenzt unter anderem an die Städte und Gemeinden Kirchhain im Norden, Stadtallendorf im Osten, Homberg (Ohm) im Südosten sowie Ebsdorfergrund im Westen. Das Untersuchungsgebiet umfasst rund 44 km² und hat 4.972 Einwohner (31. Dez. 2024) [1].

Neben dem Kernstadtbereich umfasst das Untersuchungsgebiet auch die ehemals eigenständigen Dörfer Erfurtshausen, Mardorf, Roßdorf und Rüdigheim. Das Umland ist vor allem landwirtschaftlich geprägt, wobei auch zahlreiche kleinere Handwerks- und Gewerbebetriebe zur wirtschaftlichen Struktur beitragen. Die umgebende Landschaft ist von Feldern, Wiesen, Wäldern und Hügeln gekennzeichnet und bietet eine hohe Lebensqualität im ländlich geprägten Raum.

Grundlegende Aufgabenstellung bei der Entwicklung des kommunalen Wärmeplans ist die Basis einer Strategie zu schaffen für die langfristige CO_2-neutrale Wärmeversorgung des Gebietes der Kommune bis zum Jahr 2045. Der kommunale Wärmeplan zeigt dafür den aktuellen Sachstand der Wärmeversorgung sowie verschiedenste Perspektiven der Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energiequellen, Abwärme und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) auf. Über Zwischenstände für die Jahre 2030, 2035 und 2040 wird das klimaneutrale Zielszenario für 2045 entwickelt. Im Wesentlichen gliedert sich die Planerstellung in fünf Hauptphasen:

Eignungsprüfung

Identifikation von kommunalen Teilgebieten, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht für eine Wärmeversorgung durch Wasserstoff- oder Wärmenetze eignen.

Bestandsanalyse

Erhebung des aktuellen Wärmebedarfs und -verbrauchs und der daraus resultierenden Treibhausgas (THG) Emissionen, einschließlich Informationen zu den vorhandenen Gebäudetypen und den Baualtersklassen, der Versorgungsstruktur aus Gas- und Wärmenetzen, Heizzentralen und Speichern sowie Ermittlung der Beheizungsstruktur der Wohn- und Nichtwohngebäude. Erstellung einer Energie- und Treibhausgasbilanz nach Energieträgern und Sektoren.

Potenzialanalyse

Ermittlung der Potenziale zur Energieeinsparung für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme in den Sektoren Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen, Industrie und öffentlichen Liegenschaften sowie Erhebung der lokal verfügbaren Potenziale erneuerbarer Energien und Abwärmepotenziale.

Entwicklung eines klimaneutralen Zielszenarios

Entwicklung eines Szenarios für eine klimaneutrale Wärmeversorgung. Dazu wird die Nutzung der in Phase 2 ermittelten Potenziale für Energieeinsparung und erneuerbare Energien in einer Energie- und Treibhausgasbilanz nach Sektoren und Energieträgern für die Jahre 2030 und 2045 dargestellt. Außerdem erfolgt eine räumlich aufgelöste Beschreibung der dafür benötigten

zukünftigen Versorgungsstruktur im Jahr 2045 mit einem Zwischenziel für 2030. Insbesondere soll eine Einteilung in Eignungsgebiete für Wärmenetze und Einzelversorgung erfolgen.

Festlegung der kommunalen Wärmewendestrategie und des Maßnahmenkatalogs

Formulierung eines Transformationspfads zum Aufbau einer klimaneutralen Wärmeversorgung und Beschreibung der dafür erforderlichen Maßnahmen. Die Maßnahmen sollen spezifisch auf unterschiedliche Eignungsgebiete und Quartiere eingehen. Die Summe der beschriebenen Maßnahmen soll zu den erforderlichen Treibhausgasminderungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung führen. Die Öffentlichkeit (Bürgerschaft, Interessengruppen und Vertreter der Wirtschaft) soll am Entwurf des Wärmeplans beteiligt werden.

Die Stadt Amöneburg hat im Jahr 2024 die Förderzusage für die Erstellung ihrer kommunalen Wärmeplanung im Rahmen des Förderprogramms der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erhalten. Der Durchführungszeitrum des Projekts war Oktober 2024 – September 2025.

Die Aufstellung des kommunalen Wärmeplans erfolgt unabhängig von Interessen wirtschaftlich orientierter Akteure, v.a. bei der Umsetzung des Wärmeplans. Bei der Erhebung und Verarbeitung der zu sammelnden Daten wurden die Vorgaben an den Datenschutz eingehalten.

1.1 Datenerhebung

Für eine praxisorientierte und umsetzbare kommunale Wärmeplanung ist eine fundierte und umfassende Datengrundlage unerlässlich. Dabei sind nicht nur die aktuell benötigten Wärmemengen und Energieträger von Bedeutung, sondern auch die derzeitigen Wärmeerzeugungsarten sowie die damit verbundenen Implikationen für die zukünftige Wärmeversorgung. An den Stellen, wo eine Erhebung von Realdaten rechtlich oder technisch nicht möglich war, wurde auf statistische Werte zurückgegriffen.

1.1.1 Vorgehensweise

Zur Datenerhebung wurden Wärmenetzbetreiber, Schornsteinfeger und weitere relevante Akteure der kommunalen Wärmeplanung kontaktiert. Teilweise wurden die entsprechenden Stellen von der Stadt kontaktiert, teilweise direkt vom Auftragnehmer EAM EnergiewendePartner (EWP) GmbH. Eine entsprechende Vollmacht hatte die Stadt hierfür ausgestellt.

Digitaler Zwilling

Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Abbild der realen Energieinfrastruktur, das auf Basis von Geodaten, Verbrauchsdaten und technischen Parametern erstellt wird. Er ermöglicht es, unterschiedliche Szenarien für die zukünftige Wärmeversorgung zu simulieren und deren Auswirkungen auf Energiebedarf, Netzstrukturen und Kosten zu bewerten. Damit dient der digitale Zwilling als zentrales Planungsinstrument, um Entscheidungen in der kommunalen Wärmeplanung datenbasiert und transparent zu treffen.

Der Datendienstleister ENEKA erstellte im Auftrag von EWP und dessen Kooperationspartner HORIZONTE-Group den digitalen Zwilling für Amöneburg. Auf Grundlage umfangreicher statistischer Daten in dem digitalen Zwilling, die z.B. auf Nexiga-Daten beruhen, können vor allem Gebäudedaten (z.B. Art der Nutzung des Gebäudes, Baualtersklassen, Grund- und Wohnfläche) in hoher Datenqualität abgebildet und ausgespielt werden. Bei den Nexiga-Daten handelt es sich um modellbasierte Standort- und

Gebäudedaten, die u. a. demografische, gebäudestrukturelle und energierelevante Informationen adressgenau bereitstellen.

1.1.2 Datenaufbereitung

Bei der Bearbeitung der eingereichten Energiedaten wurden folgende Schritte durchgeführt:

1. **Prüfung der Vollständigkeit**

   Es wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass die bereitgestellten Datensätze vollständig sind. Daher bezog sich die Vollständigkeitskontrolle auf die Überprüfung der Attribute innerhalb eines Datensatzes. Fehlende Daten führten zur Ergänzung durch statistische Werte, welche bereits vorab im digitalen Zwilling für Amöneburg hinterlegt waren.

2. **Plausibilitäts- und Konsistenzprüfung**

   Hierbei wurde die Plausibilität des Wertebereichs und die Verteilung der vorhandenen Werte überprüft und ob in den Daten Ausreißer vorhanden waren.

3. **Fehleranalyse und Datenbereinigung**

   Fehlerhafte, unvollständige oder doppelte Datensätze wurden identifiziert, bewertet und bei Bedarf gelöscht.

4. **Datenumwandlung und -ergänzung**

   In diesem Schritt wurde sichergestellt, dass in den Datensätzen dieselben Einheiten vorliegen. Bei Energiedaten sind dies insbesondere Energiemengen in Kilowattstunden (kWh), Leistungen in Kilowatt (kW), Flächen in Quadratmetern (m²). Aufbauend auf den vorherigen Schritten wurden die Datensätze um weitere nützliche Attribute für die folgenden Analysen erweitert. Dies sind beispielsweise gebäudetyp-spezifische Attribute wie Baualtersklasse, Gebäudenutzung oder flächenbezogene sowie straßenabschnittsbezogene Energieverbräuche.

1.1.3 Datenqualität

Bei den vorliegenden Datensätzen konnte eine hohe Datenqualität festgestellt werden. Bei der Einspielung und Verarbeitung der Daten im digitalen Zwilling kommt es jedoch zwangsläufig zu Unschärfen – maßgeblich aufgrund der gemäß WPG erforderlichen Datenaggregation sowie ungenauer Adressbezeichnungen. Die georeferenzierten Informationen zu Strom- und Abwassernetzen lagen nicht als GIS-Daten vor und konnten daher nicht in den digitalen Zwilling übertragen werden. Von den zwei bestehenden Wärmenetzen wurden grafische Abbildungen übermittelt, woraus GIS-Daten eigens erzeugt werden konnten zur Implementierung in den digitalen Zwilling. Für die ebenfalls nur grafisch vorliegenden Stromnetze konnte dies aufgrund der weitaus größeren Ausbreitung und Verästelung der Netze mit keinem vertretbaren Arbeitsaufwand bewerkstelligt werden.

2 Eignungsprüfung

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Amöneburg wurde gemäß § 11 WPG eine Eignungsprüfung zur Feststellung potenziell geeigneter Gebiete für den Aufbau oder die Erweiterung von Wärme- und Wasserstoffnetzen durchgeführt. Ziel dieser Prüfung war es, Gebiete mit ausreichender Wärme- bzw. Wärmeliniendichte und sonstigen günstigen Voraussetzungen zu identifizieren, um eine detaillierte Wärmeplanung im nächsten Schritt sachgerecht und wirtschaftlich fundiert durchführen zu können.

2.1 Ausgangslage und Gebäudestruktur

Die Stadt Amöneburg liegt im Bundesland Hessen und hat rund 4.972 Einwohner. Im Untersuchungsgebiet befinden sich insgesamt 3.739 Gebäude, davon 2.508 Wohngebäude. Die Wohngebäudetypen sind stark durch Einfamilienhäuser (1.240) geprägt.

Der jährliche Nutzenergiebedarf für Wärme beträgt insgesamt etwa 95,3 GWh. Die Wärmeversorgung erfolgt derzeit überwiegend durch Heizöl (67,4 GWh/a) gefolgt von Holz (14,5 GWh/a), Fernwärme (5,8 GWh/a), Heizstrom (3,1 GWh/a), Holzpellets (1,8 GWh/a), Flüssiggas (1,3 GWh/a), Wärmepumpe (1,3 GWh) sowie vergleichbar geringen Anteilen durch Steinkohle (< 0,5 GWh/a).

2.2 Bestehende Wärmenetze und lokale Potenziale

In den Stadtteilen Mardorf und Erfurtshausen bestehen jeweils zwei genossenschaftlich betriebene, kleinere Wärmenetze mit einem jährlichen Wärmeabsatz von < 5 GWh. Im Stadtteil Rüdigheim steht ein weiteres genossenschaftliches Wärmenetz vor der Umsetzung. Dies deutet auf eine hohe Akzeptanz und ein gesteigertes Anschlussinteresse hin, was sich günstig auf die Wirtschaftlichkeit potenzieller Netzausbauten auswirkt.

Wärmequellen befinden sich in Form großer Freiflächen (z.B. für Geo- oder Solarthermie) in unmittelbarer Nähe der Wärmesenken.

2.3 Siedlungsstruktur und Wärmeliniendichte

Amöneburg zeichnet sich durch eine polyzentrische Struktur mit der Kernstadt Amöneburg sowie den ehemals eigenständigen Dörfer Erfurtshausen, Mardorf, Roßdorf und Rüdigheim aus. Während in der Kernstadt eine höhere Bebauungsdichte zu verzeichnen ist, weisen die umliegenden Stadtteile überwiegend den Charakter ländlicher Streusiedlungen auf. Das Umland ist stark landwirtschaftlich geprägt.

Obwohl die geringere Wärmeliniendichte in den äußeren Stadtteilen auf den ersten Blick gegen den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen spricht, relativieren mehrere Faktoren diese Einschätzung: So existieren bereits Netze in zwei ländlich geprägten Stadtteilen. Zudem ermöglicht die hohe Akzeptanz genossenschaftlicher Modelle geringere Kapitalrenditeerwartungen und höhere Anschlussquoten – zwei entscheidende Faktoren für die Tragfähigkeit eines Wärmenetzausbaus auch in weniger dicht bebauten Gebieten.

2.4 Perspektiven für Wasserstoffnutzung

Die Stadt Amöneburg liegt in relativer Nähe zur Stadt Marburg, die im Rahmen des Ausbaus des „regionalen Wasserstoff-Backbone Nord- und Mittelhessen“ voraussichtlich zwischen 2032 und 2037 an das überregionale Wasserstoffnetz angeschlossen wird. Die Nähe zu dieser Infrastruktur eröffnet

theoretisch auch für Amöneburg Perspektiven zur Nutzung von Wasserstoff, insbesondere in industriellen Anwendungen oder als Bestandteil hybrider Wärmenetzlösungen.

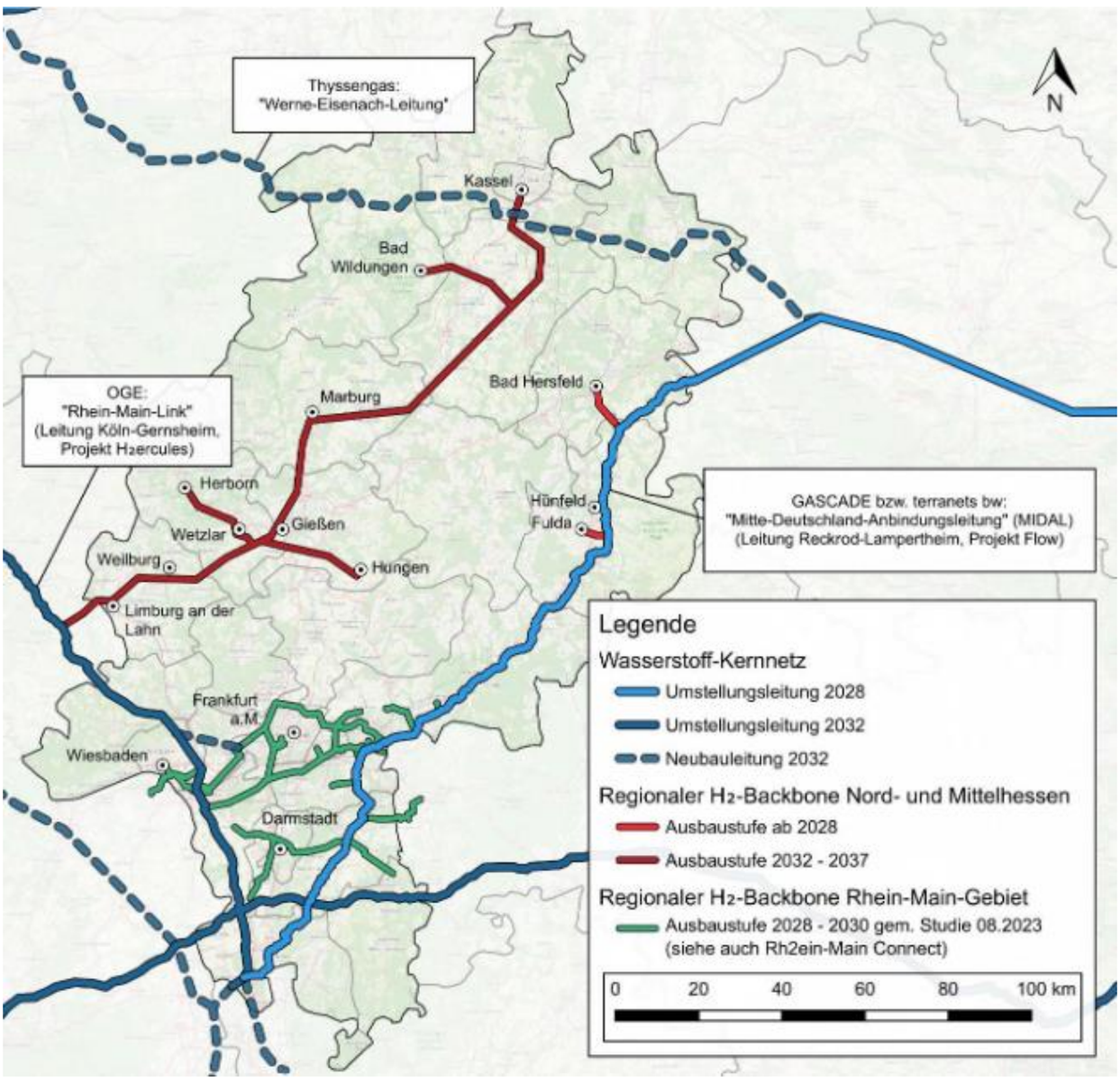


Abbildung 1: Schematische Darstellung des regionalen Wasserstoff-Backbones in Nord- und Mittelhessen [2]

2.5 Ergebnis der Eignungsprüfung

Vor dem Hintergrund der vorhandenen Wärmestruktur, der bestehenden Wärmenetze, der lokalen Potenziale sowie der besonderen Rolle von genossenschaftlichen Modellen und der zukünftigen nicht vollkommen auszuschließenden Wasserstoffanbindung kann kein Teil des Untersuchungsgebiets pauschal als ungeeignet für den Aufbau oder die Erweiterung von Wärme- bzw. Wasserstoffnetzen eingestuft werden.

Eine verkürzte Wärmeplanung gem. §14 WPG erfolgt daher **nicht**. Stattdessen wird für das gesamte Untersuchungsgebiet eine vertiefte Potenzialanalyse sowie eine Einteilung des beplanten Gebiets in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete im Rahmen von §15 und §18 WPG durchgeführt.

3 Bestandsanalyse

Der erste Schritt in der kommunalen Wärmeplanung besteht in der Durchführung einer Bestandsanalyse. Diese dient der Erfassung des aktuellen energetischen Zustands der Stadt Amöneburg. In diesem Prozess wurden umfangreiche Daten gesammelt und analysiert, da nur durch ein fundiertes Verständnis des aktuellen Zustands eine fundierte Entscheidungsfindung hinsichtlich notwendiger Maßnahmen ermöglicht wird.

Zunächst soll eine Definitionslücke im WPG erörtert werden hinsichtlich des Begriffs „leitungsgebundene Wärmeversorgung". Im Rahmen dieses Dokuments wird „leitungsgebundene Wärmeversorgung" mit der Versorgung durch ein *Wärmenetz* nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) angenommen. *Gebäudenetze*, welche auch eine Form der leitungsgebundenen Wärmeversorgung darstellen, werden i.d.R. aus Gründen der Einheitlichkeit und der Datenauskunftspflicht nach WPG nicht berücksichtigt. Unter *Gebäudenetzen* werden nach §3 des GEG leitungsgebundene Wärmeversorgungskonstrukte mit einer Anschlussnehmerzahl von unter 17 Gebäuden und 101 Wohneinheiten verstanden. Ab einer Anschlussnehmerzahl von 17 Gebäuden oder 101 Wohneinheiten gilt ein solches Konstrukt hingegen als *Wärmenetz*.

3.1 Ziele der Bestandsanalyse

Das Ziel der Bestandsanalyse ist es, einen umfassenden Überblick über die bestehende Energieinfrastruktur im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Dazu müssen die verschiedenen Datenquellen geprüft, plausibilisiert und weiterverarbeitet werden. Die verschiedenen Datenquellen stellen teilweise widersprüchliche Sachverhalte dar. Im Rahmen der Bestandsanalyse wurden diese Widersprüche bewertet und ein plausibles Lösungsverfahren eingesetzt. Dadurch wird mit einer Genauigkeit von 90-95% in der Bestandsanalyse gerechnet. Eine 100%-ige Genauigkeit der Daten kann jedoch mit keinem vertretbaren Aufwand erreicht werden.

Im Folgenden werden die häufigsten Widersprüche/Probleme aufgenommen und die ausgewählten Lösungswege skizziert:

- **Unterschiedliche Energieträger bzw. Heizungsarten in verschiedenen Datenquellen:** Hier wurden auf Basis der Schornsteinfegerdaten die statistischen Daten aus dem digitalen Zwilling überschrieben.
- **Mehrere Heizungstypen für ein Gebäude:** Bei mehreren Heizungsanlagen in einem Gebäude musste eine vorrangige Erzeugungsart priorisiert werden. Hier wurde stets jene Anlage mit der größten Nennleistung gewählt. Auch fanden sich in den Schornsteinfegerdaten häufig Angaben zu Anlagen, welche nicht der Gebäudeheizung zuzurechnen sind (z.B. Öfen in Bäckereien). Diese mussten herausgefiltert werden.
- **Unterschiedliche Adressen:** Unterschiedliche Datenquellen haben eine unterschiedliche Bezeichnung oder Schreibweise der Gebäudeadressen. Über eine Zuordnungslogik wurden die Adressschreibweisen analysiert und vereinheitlicht. Dennoch konnten nicht alle Gebäude aus den Realdaten im digitalen Zwilling einer Adresse zugeordnet werden.

Daraus resultierte eine umfassende Datenbasis zu 1.906 Adressen und 3.739 Gebäuden in Amöneburg, auf dessen Basis die Bestandsanalyse durchgeführt wurde. Ca. 72% dieser Gebäude sind wärmeversorgt, die übrigen 28% sind nicht wärmeversorgt (z.B. unbewohnte oder ungenutzte Gebäude, Garagen, Schuppen, Lagerhallen, etc.). Die angeforderten Darstellungen werden in diesem Kapitel für alle existierenden Gebäude aufgezeigt, soweit eine ausreichende Datenlage vorhanden ist.

3.2 Gebäude- und Siedlungstypen

Gebäudenutzung

Der Gebäudebestand wurde durch die Zusammenführung von offenem Kartenmaterial, Zensus, ALKIS-Daten und Daten der Stadt analysiert.

Die folgende Abbildung stellt die überwiegende Gebäudenutzung auf Baublockebene dar. Es zeigt sich ein zu erwartendes Bild mit einer Teilung zwischen den Wohn- und Gewerbegebieten sowie ländlicheren Abschnitten mit überwiegendem Wohngebäudecharakter. Es ist zu beachten, dass aus Gründen des Datenschutzes jeweils nur der dominierende Typ der Gebäudenutzung im Baublock angegeben wird. So können z.B. auch einzelne kommunale Einrichtungen in einem Block mit überwiegend privaten Haushalten existieren, in der Karte aber nicht erkenntlich sein.

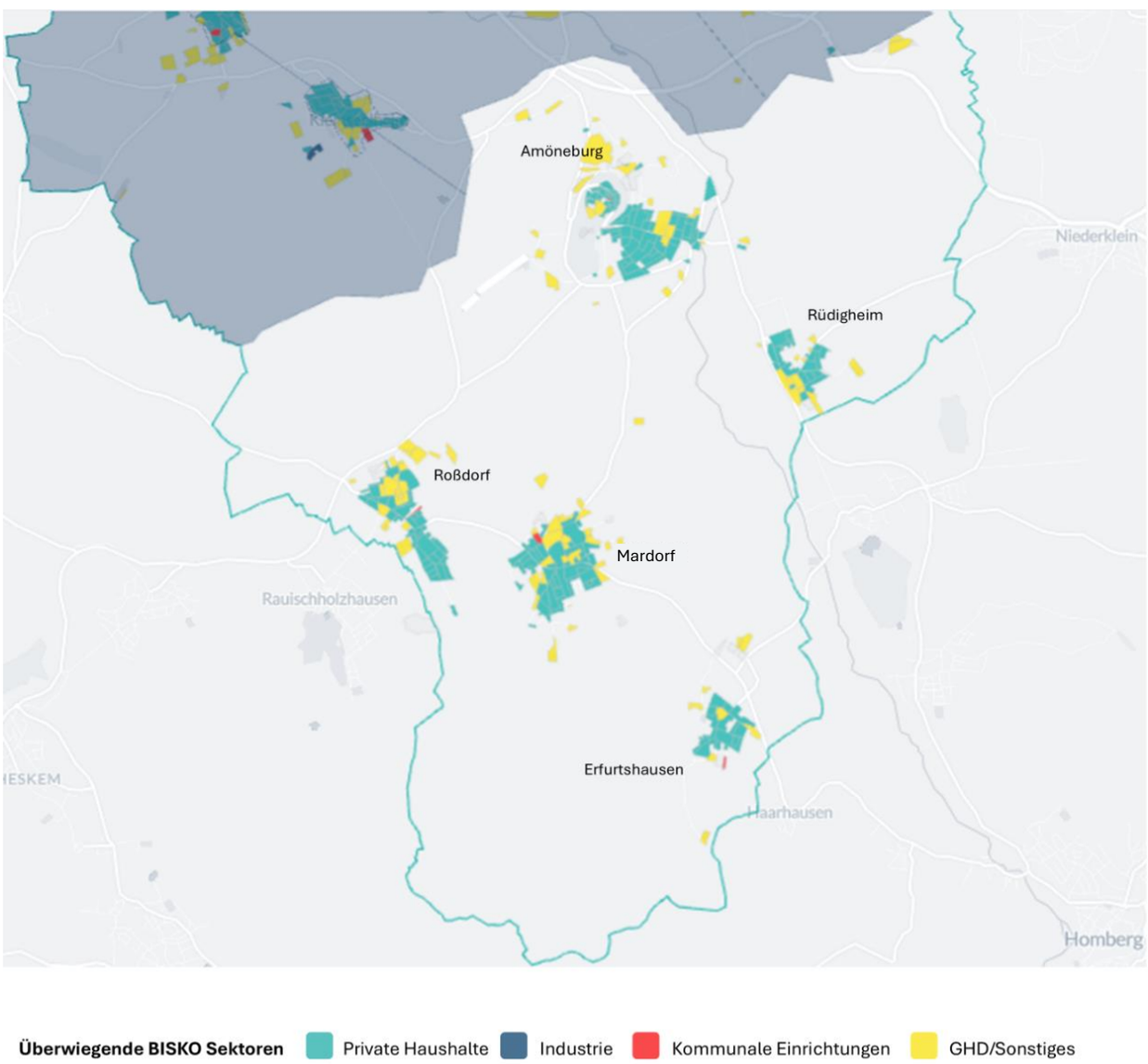


Abbildung 2: Überwiegende Gebäudenutzung nach Baublöcken [3]

Bezogen auf die Anzahl der Gebäude ergibt sich folgende Verteilung der Gebäudecharakteristik:

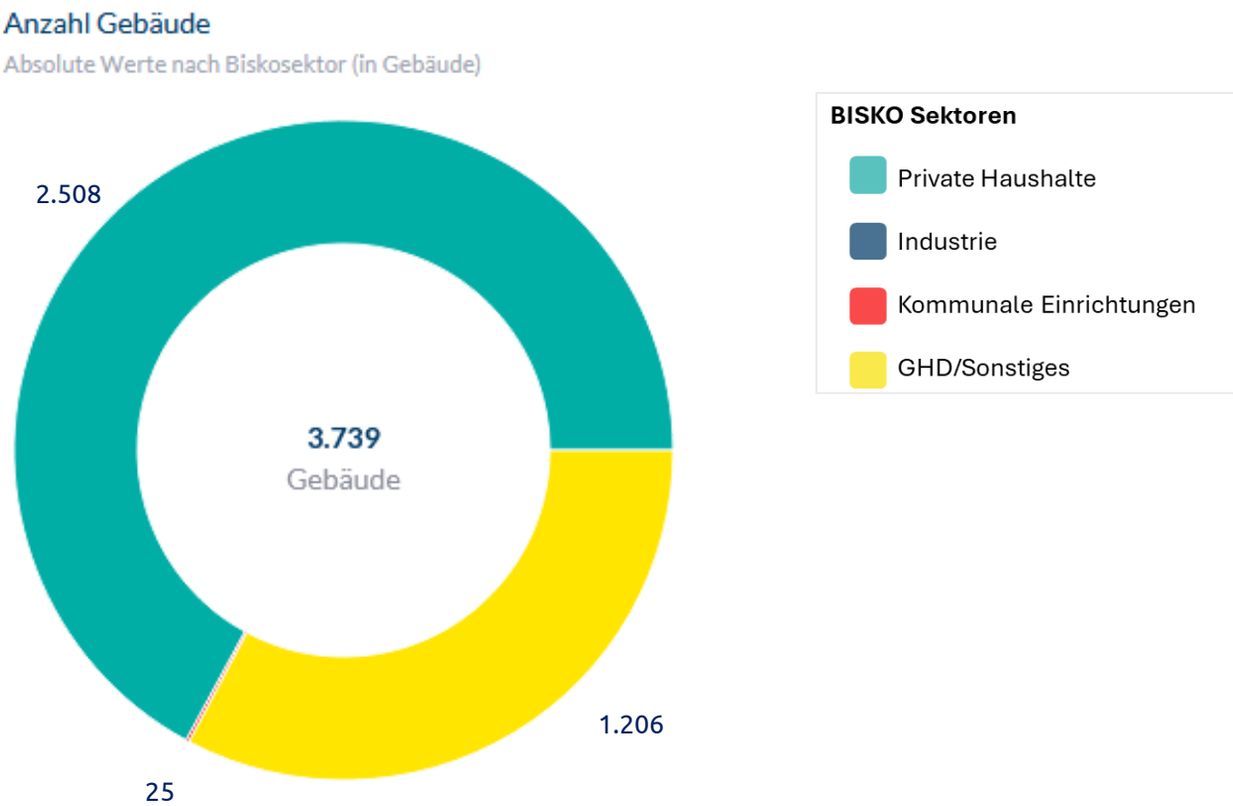


Abbildung 3: Prozentuale Aufteilung der Gebäudecharakteristik [3]

In Amöneburg dominiert der Wohnsektor den Gebäudebestand, weshalb er als Schlüssel der Energiewende gesehen werden kann.

Baualtersklassen

Die nächste Abbildung zeigt eine georeferenzierte Abbildung des aktuellen Gebäudebestandes mit einer Differenzierung nach Baualtersklassen. Die blauen Bereiche markieren dabei Gebiete mit Neubauten, rote bis dunkelrote Bereiche zeigen einen älteren Gebäudebestand. Dieser befindet sich vor allem in den Zentren der Stadtteile.

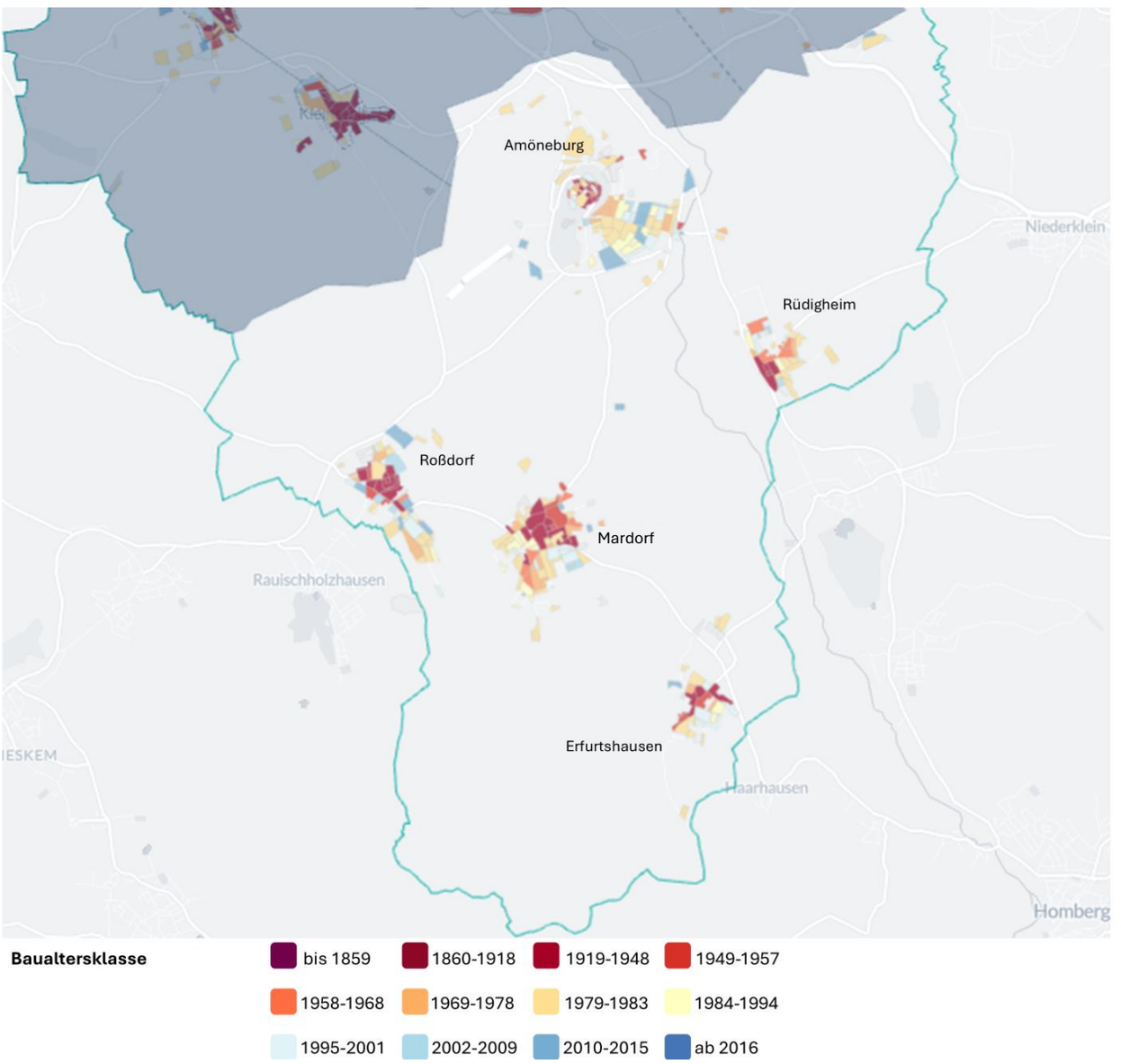


Abbildung 4: Gebäudebestand nach Baualtersklassen [3]

Die numerische Aufteilung der Baualtersklassen bezogen auf 3.739 Gebäude stellt sich wie folgt dar:

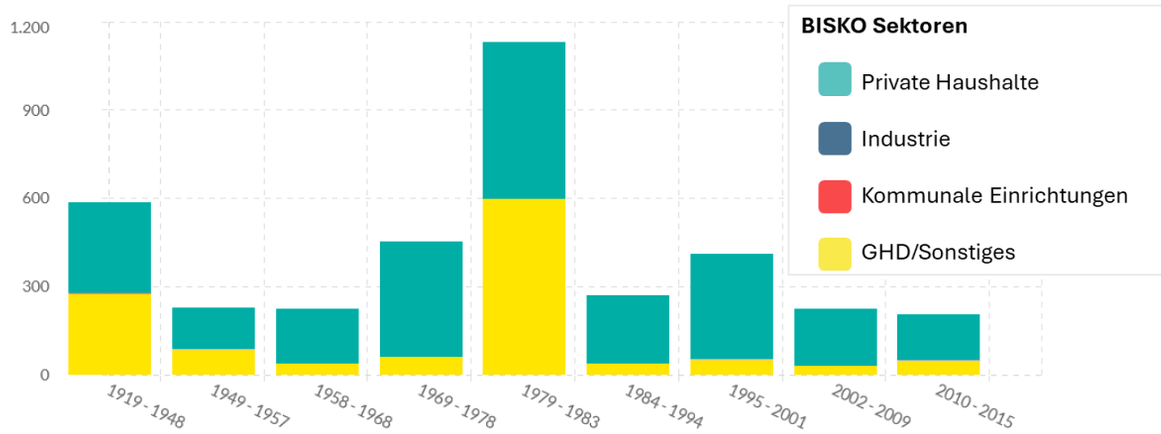


Abbildung 5: numerische Verteilung der Baualtersklassen inkl. BISKO-Sektor [3]

Es überwiegen Gebäude aus den Jahren 1979-1983 (1.132 Gebäude). Die Verteilung der übrigen Baualtersklassen ist relativ gleichmäßig.

Wohn- bzw. Nutzfläche

Die Wohn- bzw. Nutzfläche wird im Rahmen der Wärmplanung mit der zu beheizenden Fläche gleichgesetzt. Wie im vorherigen Kapitel erwähnt, sind von den 3.739 dargestellten Gebäude nur knapp 72% (2.694 Gebäude) beheizt. Die daraus resultierende, zu beheizende Fläche beträgt **rund 602.000 m²**.

3.3 Energieverbrauchs- oder Energiebedarfserhebungen

Die Stadt Amöneburg hat einen jährlich Gesamtwärmebedarf von ca. **95,3 GWh/a**. Die kartografische Darstellung der Wärmebedarfe erfolgt der besseren Lesbarkeit halber auf Baublockebene. Die Daten liegen im digitalen Zwilling darüber hinaus gebäudescharf vor sowie für einzelne Teilgebiete. Wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, korrelieren hohe spezifische Wärmebedarfe mit den zuvor dargestellten älteren Baualtersklassen.

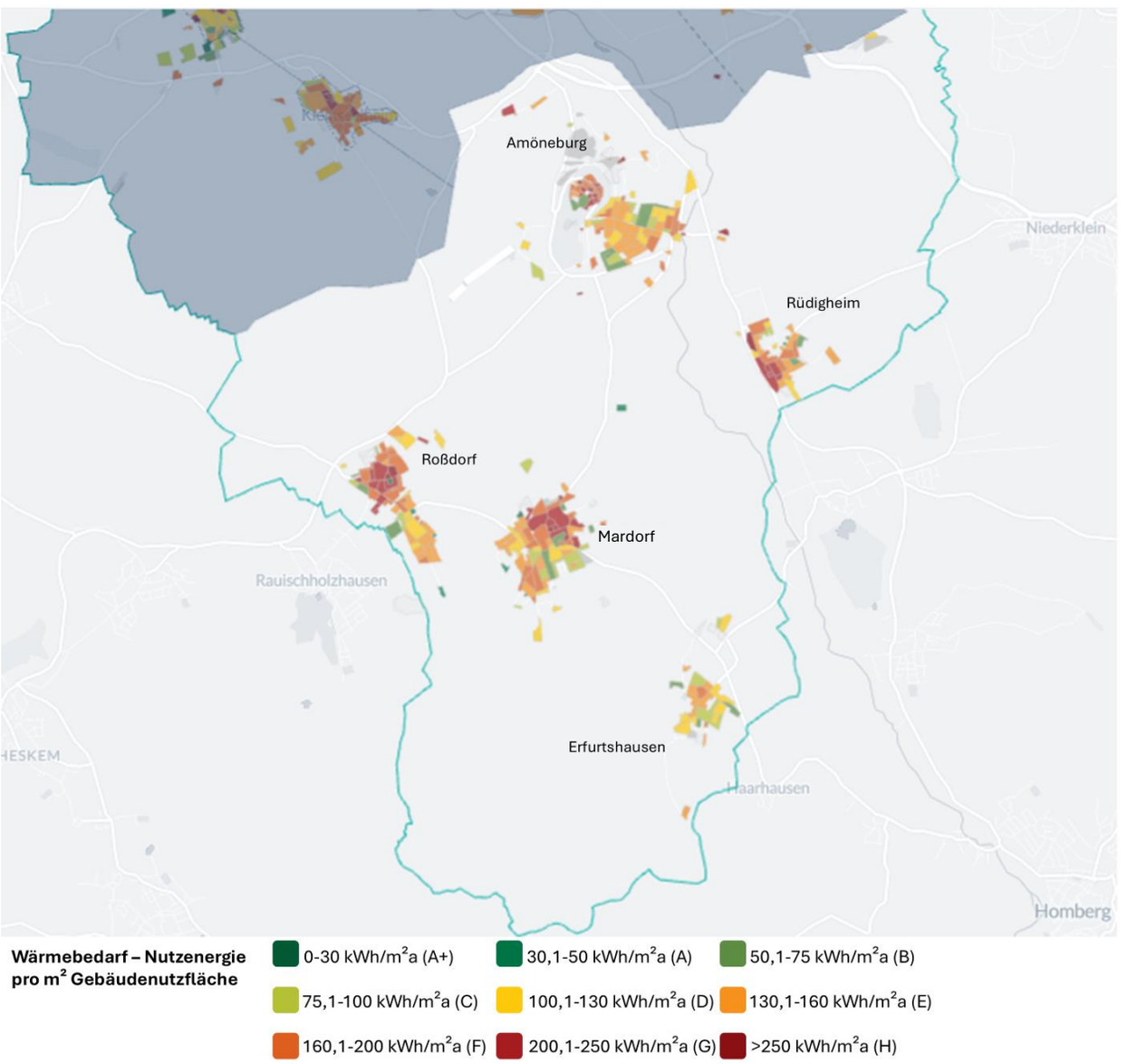


Abbildung 6: Verteilung der spezifischen Wärmebedarfe auf Baublockebene [3]

Das folgende Diagramm zeigt, wie sich der Wärmebedarf auf die verschiedenen Energieträger aufteilt.

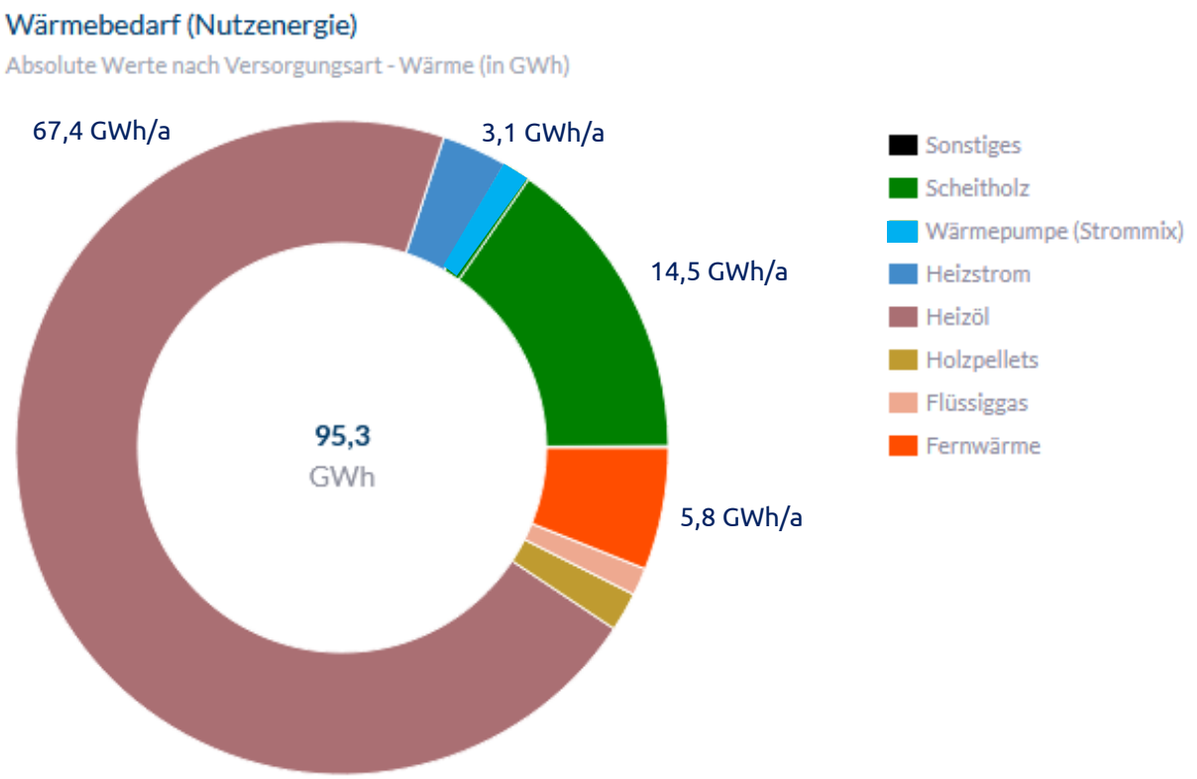


Abbildung 7: Aufteilung des Wärmebedarfs nach Energieträger [3]

Der Großteil des Wärmebedarfs in Amöneburg (67,4 GWh/a) wird durch Nutzung von Heizöl gedeckt. Darauf folgen 14,5 GWh/a aus Holz, 5,8 GWh/a aus Fernwärme, 3,1 GWh/a aus Heizstrom, 1,8 GWh/a aus Holzpellets, jeweils 1,3 GWh/a aus Flüssiggas und Wärmepumpen sowie < 0,5 GWh/a aus Steinkohle.

Die geografische Verteilung der Versorgungsarten auf Baublockebene wird nachfolgend dargestellt. Auch hier ist zu beachten, dass in einem Block die jeweils zahlenmäßig überwiegende Versorgungsart angegeben wird. So können zum Beispiel bei einer überwiegenden Versorgung mit Heizöl dennoch einzelne Gebäude mit Anschluss an ein Wärmenetz vorliegen, die in der blockweisen Darstellung folglich nicht erkennbar sind.

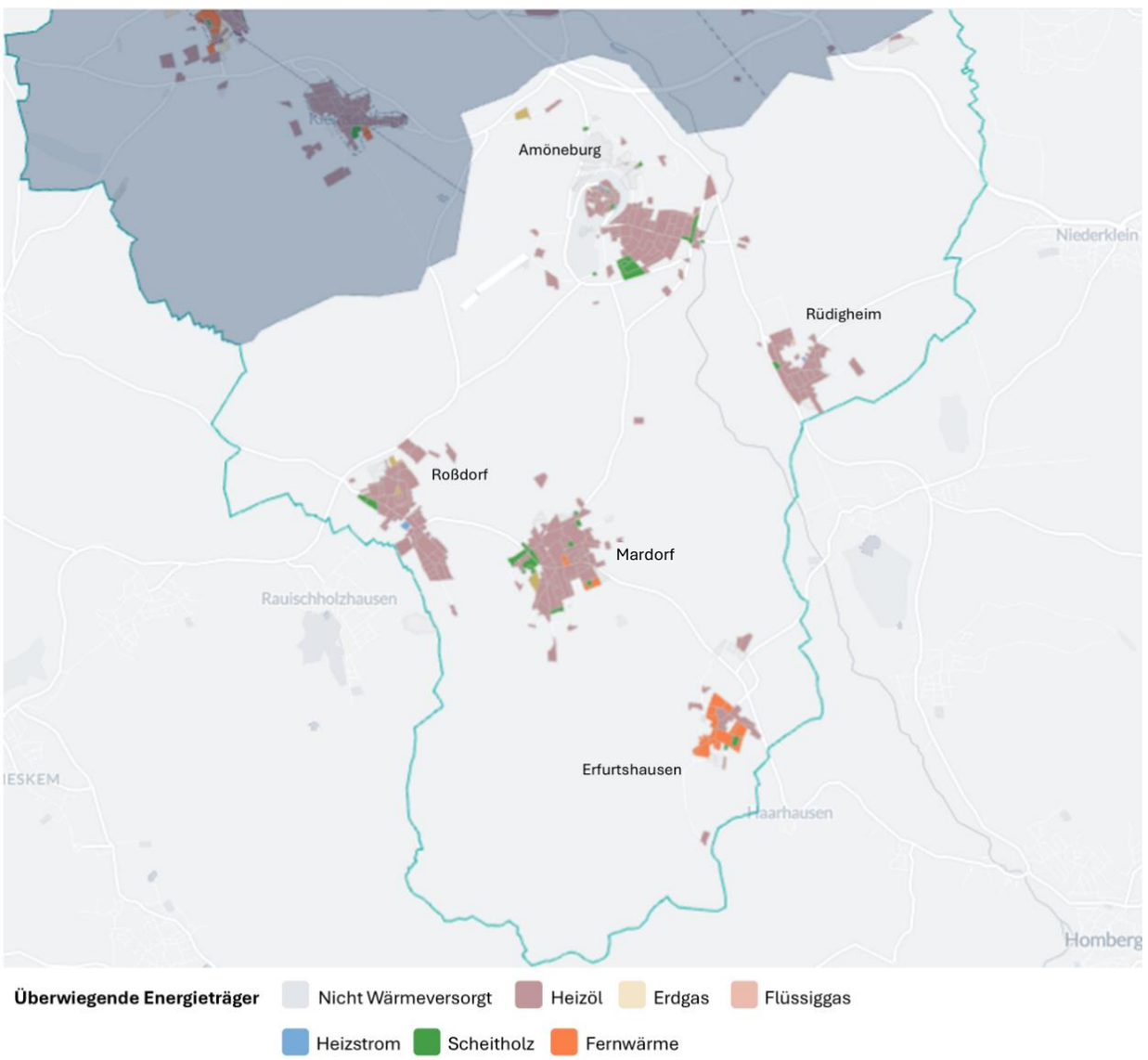


Abbildung 8: Verteilung der überwiegenden Wärmeversorgungsart auf Baublockebene [3]

Die nächste Abbildung zeigt den Wärmebedarf aufgeteilt nach BISKO-Sektoren (Bilanzierungs-Systematik Kommunal), einem bundesweit einheitlichen Standard zur Erfassung und Auswertung kommunaler Energie- und Treibhausgasbilanzen. Erwartungsgemäß haben die privaten Haushalte den weitaus höchsten Anteil am Wärmebedarf, was ihre besondere Wichtigkeit für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung nochmals unterstreicht.

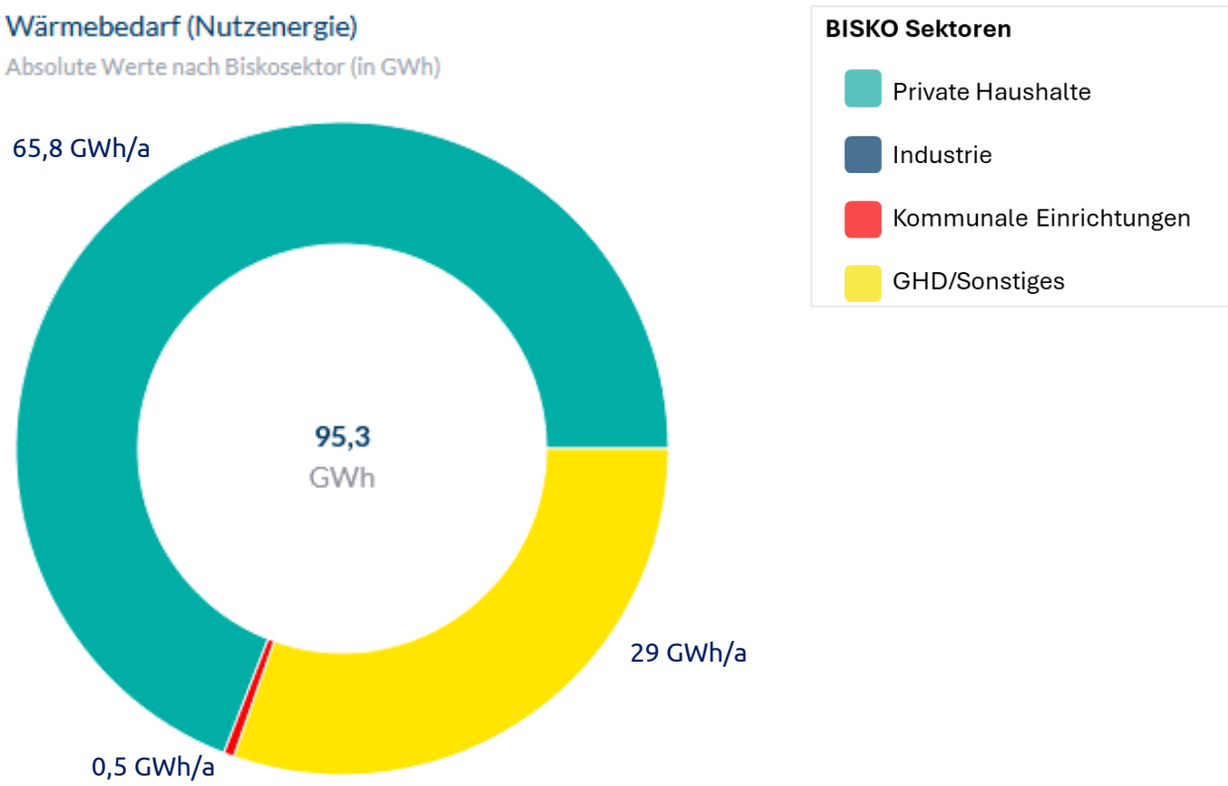


Abbildung 9: Aufteilung des Wärmebedarfs nach Gebäudenutzung [3]

3.4 Heizungsalter

Wie im vorherigen Abschnitt ersichtlich, sind die eingesetzten Wärmeerzeugungstechnologien vor allem Ölheizungen. Die räumliche Verteilung der Heizungstechnologien kann im digitalen Zwilling aus technischen Gründen nicht dargestellt werden. Anhand der Schornsteinfegerdaten liegen jedoch Werte zu den Baualtersklassen aller Heizungen im Untersuchungsgebiet vor. Eine prozentuale Verteilung zeigt das nächste Diagramm:

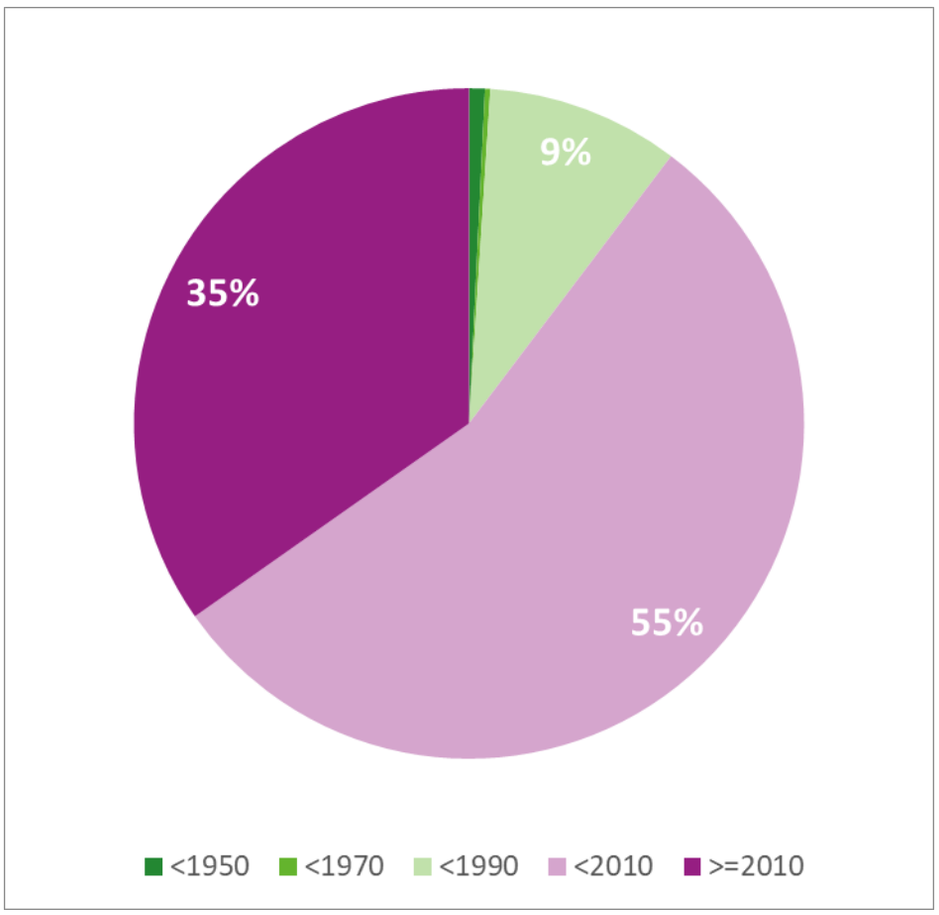


Abbildung 10: prozentuale Verteilung der Heizungsanlagen nach Alter

Mehr als die Hälfte aller installierten Heizungen im Untersuchungsgebiet ist zwischen 1991 – 2010 in Betrieb gegangen. Nur wenige Heizungen sind vor 1990 eingebaut worden und somit älter als 35 Jahre. Dieser Wert wird im Kapitel Zielszenario herangezogen, um zu bestimmen, wann in Zukunft die Heizung eines Gebäudes außer Betrieb geht und eine neue Heizung mit mind. 65% EE-Anteil installiert werden muss. Da es in vielen Gebäuden mehr als eine Heizungsanlage gibt, wird im Zielszenario stets das Heizungsalter jener Anlage mit der größten Nennleistung als Grundlage genommen.

3.5 Sanierungsstand der Gebäude

Zur besseren Übersicht werden in der folgenden Abbildung die Sanierungsstände auf Baublockebene dargestellt. Dabei sind knapp 20 % aller Gebäude in Amöneburg unsaniert (wozu jedoch auch Neubauten zählen), fast 75 % der Gebäude gelten als teilsaniert. Ein geringer Anteil ist vollsaniert.

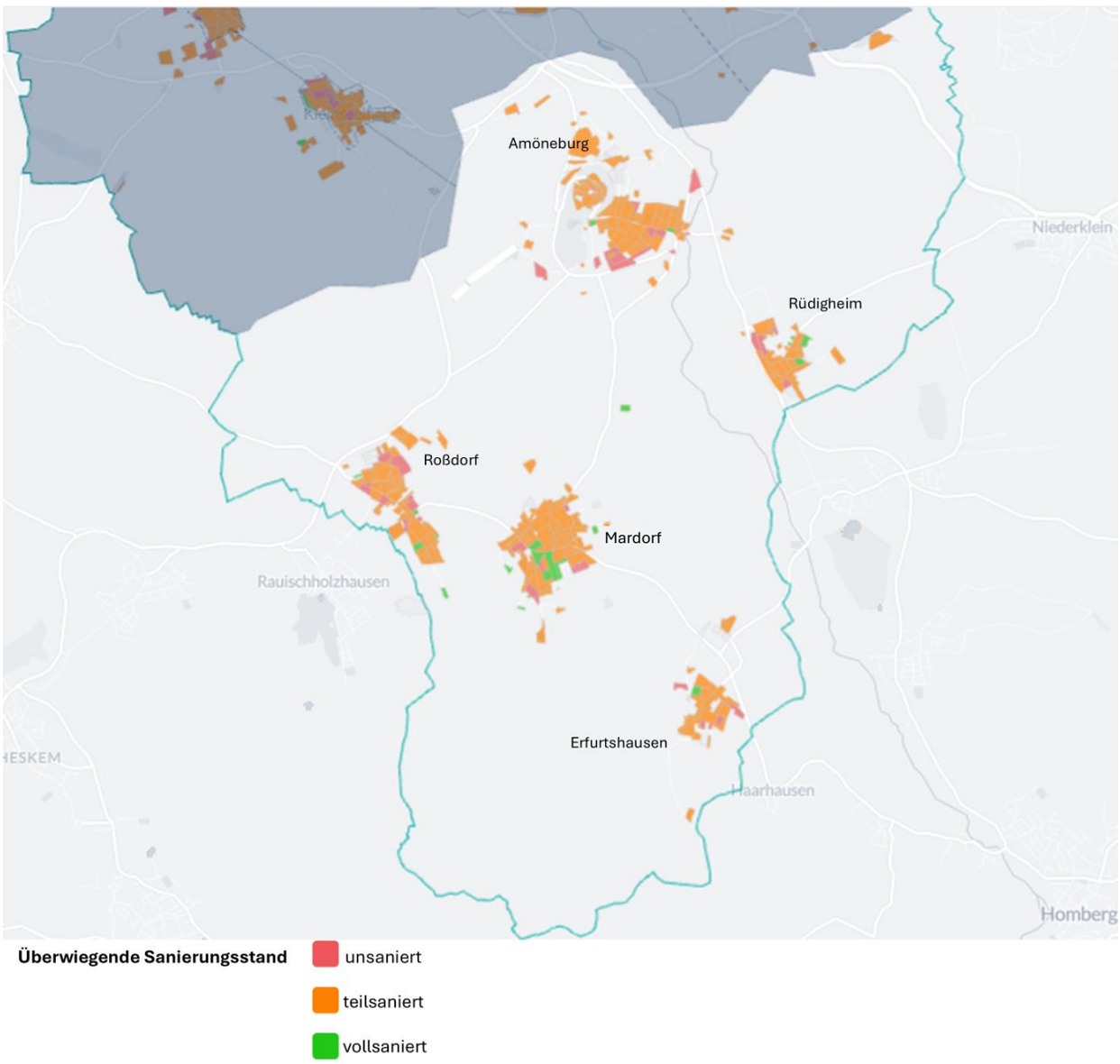


Abbildung 11: Sanierungsstände auf Baublockebene [3]

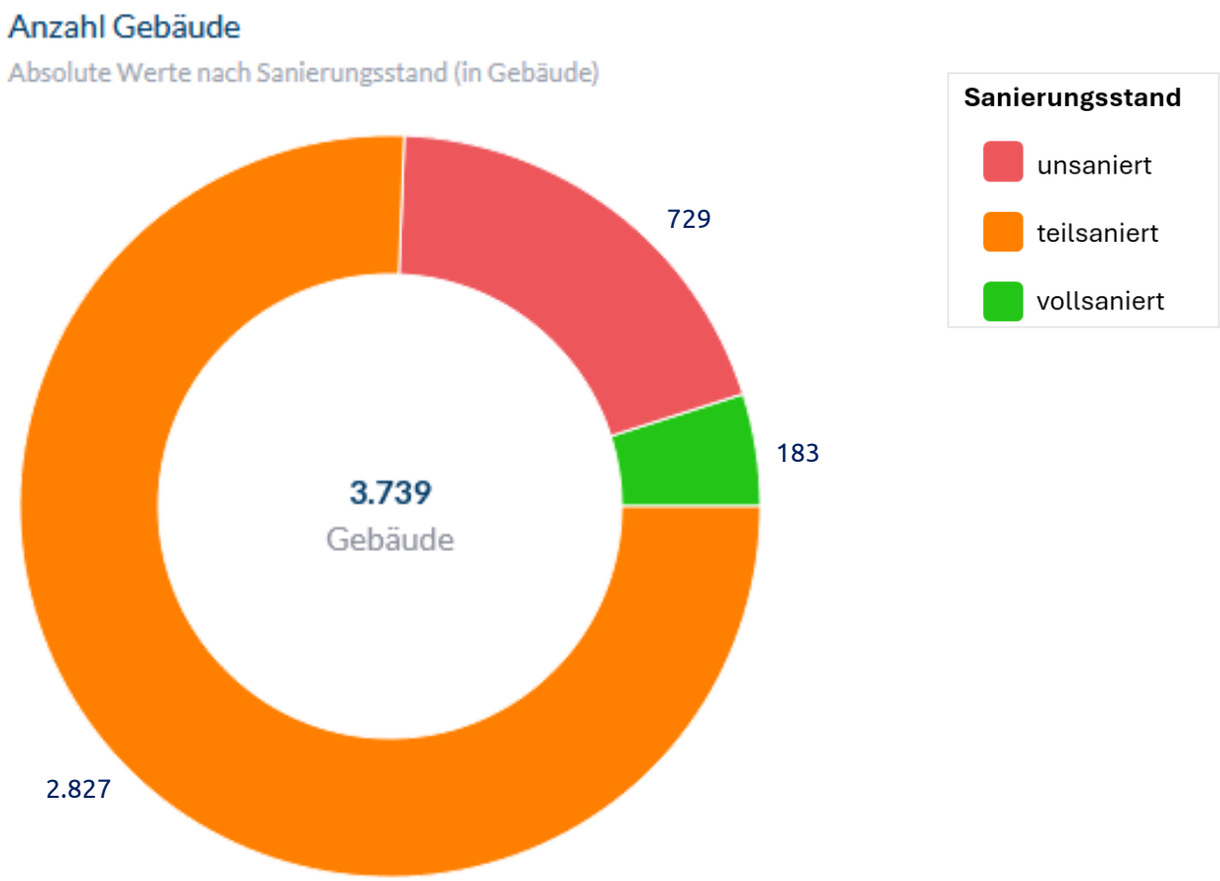


Abbildung 12: Sanierungsstatus der Gebäude im Planungsgebiet [3]

3.6 Wärme- und Kälteinfrastruktur

In Amöneburg existieren zwei **Wärmenetze** – in Mardorf und Erfurtshausen. Übermittelte Grafiken der Netze gaben Aufschluss über die Netzausbreitung und die Lage der angeschlossenen Gebäude. Daraus wurde GIS-Dateien erstellt und in den digitalen Zwilling integriert. Die Darstellungen liefert detaillierte Informationen über Verlauf und Struktur des Wärmenetzes.

3.6.1 Mardorf

Die folgende Abbildung zeigt die Lage des Wärmenetzes Mardorf.

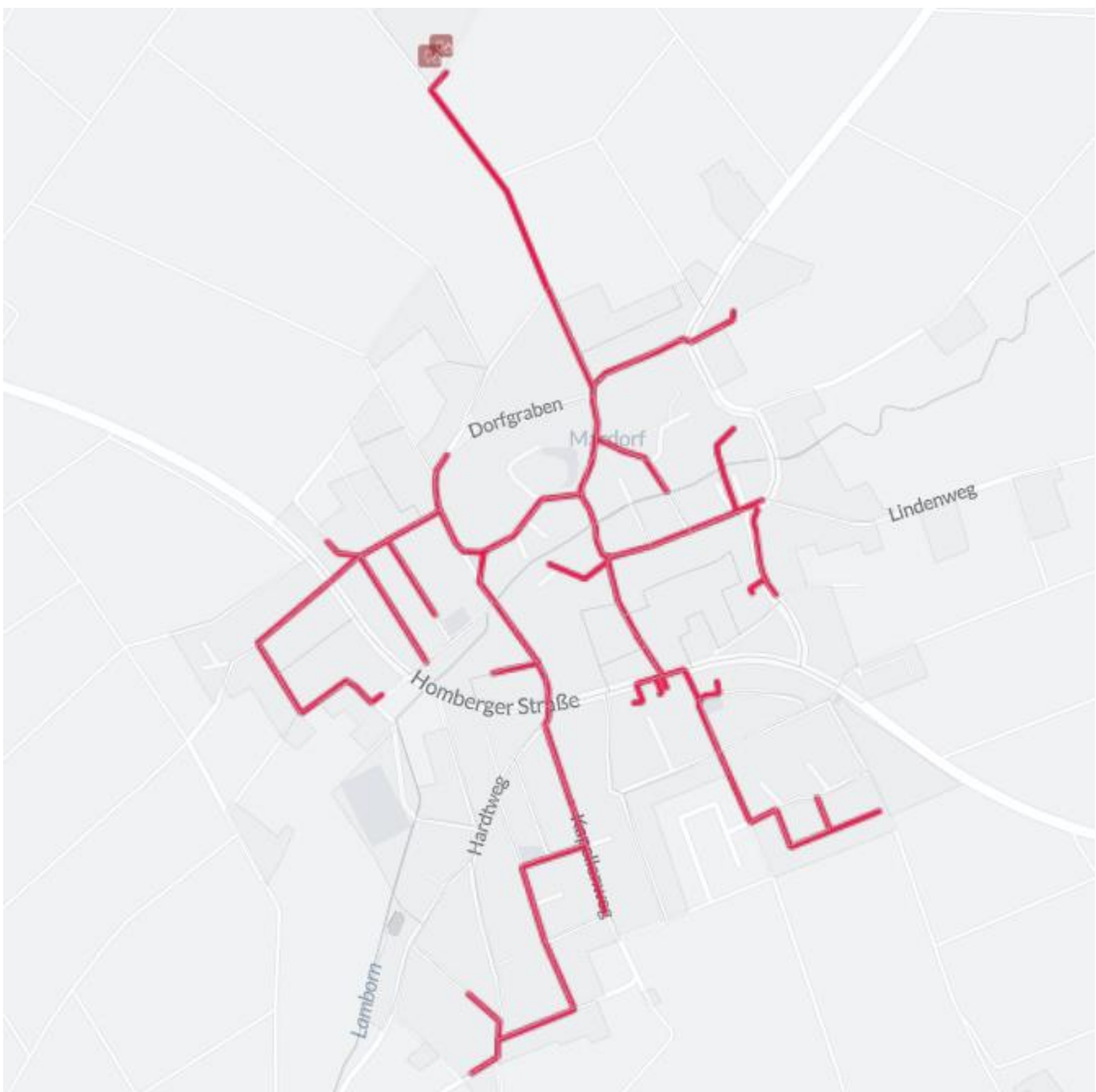


Abbildung 13: Lage des Wärmenetzes Mardorf (rot) mit Wärmeerzeugungsanlagen [3]

Das Wärmenetz Mardorf hat eine Länge von ca. 7,8 km. Die Wärmeerzeugung erfolgt überwiegend durch zwei Biogas-KWK-Anlagen im Norden des Stadtteils. Im Jahresmittel können die Biogas-BHKWs etwa 80 % des im Netz benötigten Wärmebedarfs decken.

Die Biogasanlage in Mardorf 2 ist seit September 2012 in Betrieb und dient der energetischen Verwertung landwirtschaftlicher Substrate. Zum Einsatz kommen dabei Rindergülle, Rinder- und Pferdemist, Maissilage, Grassilage sowie Zuckerrüben, die in beheizten Fermentern vergoren werden. Während die elektrische Energie in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist wird, wird die Wärme in das Nahwärmenetz Mardorf eingespeist.

Im April 2019 wurde die Anlage durch die Inbetriebnahme eines weiteren BHKW mit einer elektrischen Leistung von 1.500 kW sowie durch die Integration zweier Heizwasser-Pufferspeicher mit jeweils 80 m³ Volumen erweitert. Seither erfolgt der Betrieb der BHKW vorrangig in Zeiten erhöhter Stromnachfrage, insbesondere in den Morgen- und Abendstunden. In den Stillstandsphasen wird die Wärmeversorgung des Nahwärmenetzes aus den Pufferspeichern sichergestellt. Die thermische Leistung beläuft sich auf insgesamt 2.300 kW (600 kW + 1.700 kW). Die daraus resultierende nutzbare Abwärme liegt bei etwa 5 GWh pro Jahr, was einem Äquivalent von rund 500.000 Litern Heizöl entspricht. Zur Optimierung der Wärmenutzung verfügt die Anlage über mehrere Wärmespeicher. Neben den beiden 80 m³ umfassenden Speichern im Heizungssystem der Biogasanlage steht ein weiterer Speicher mit 77 m³ Volumen im Heizungssystem der örtlichen Genossenschaft zur Verfügung [4].

3.6.2 Wärmenetz Erfurtshausen

Die folgende Abbildung zeigt die Lage des Wärmenetzes Erfurtshausen.

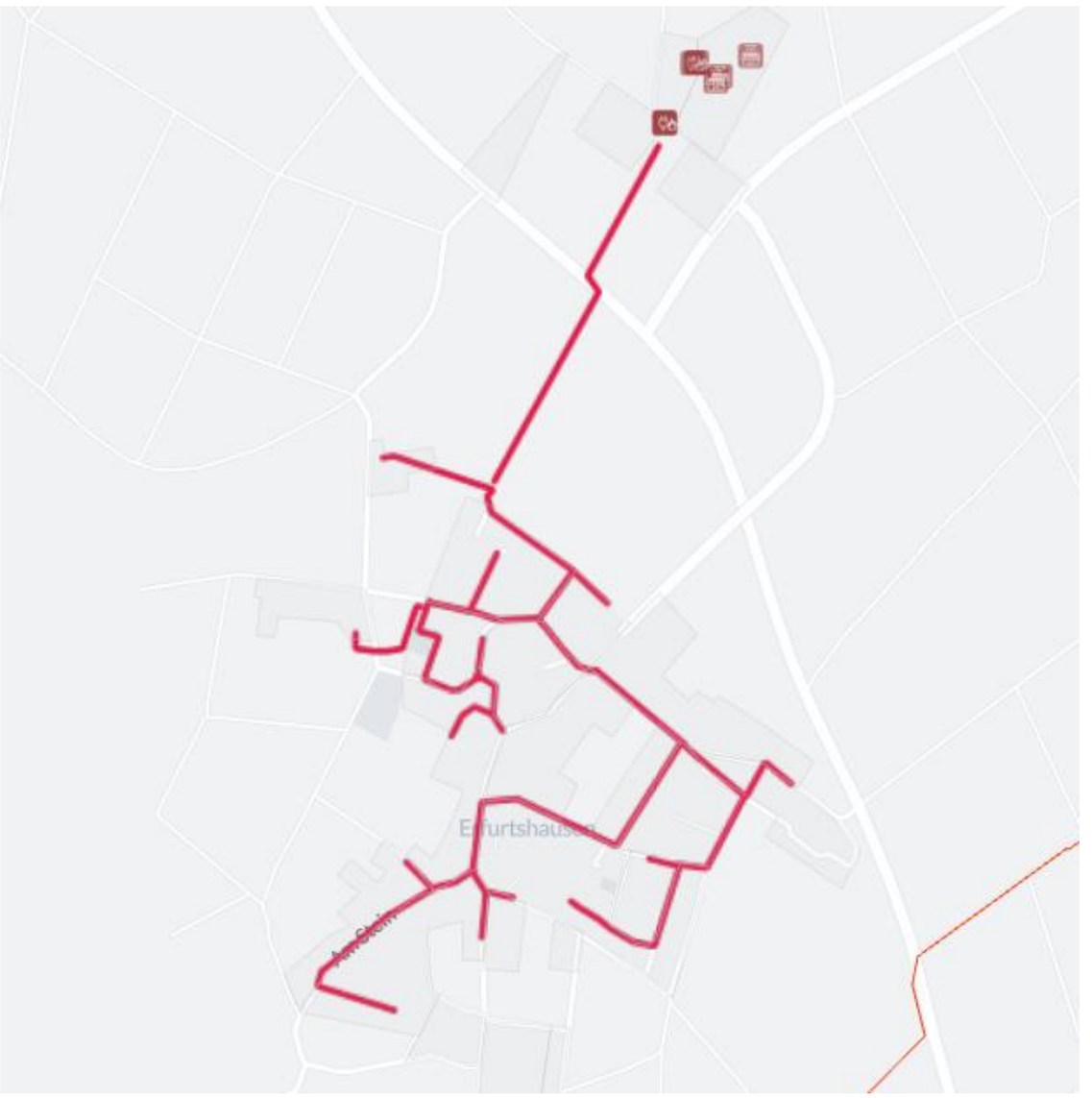


Abbildung 14: Lage des Wärmenetzes Erfurtshausen mit Wärmeerzeugungsanlagen [3]

Das Wärmenetz wurde im Jahr 2014 in Betrieb genommen und basiert auf einem Wassernetz. Die jährliche Wärmenachfrage liegt bei rund 3,86 Mio. kWh, die gesamte Anschlussleistung beträgt 2.082 kW. Die Vor- und Rücklauftemperaturen liegen bei 76 °C bzw. 44 °C. Das Netz umfasst eine Trassenlänge von ca. 6,4 km und versorgt 149 Anschlüsse.

Die Wärmeerzeugung erfolgt in der ehemaligen Maschinenhalle am Dorfwiesenweg über zwei Anlagen: Zum einen durch die Nutzung von Abwärme aus der Biogasanlage Mardorf 1 mit einer thermischen Leistung von 500 kW und einer eingespeisten Wärmemenge von jährlich rund 3,19 Mio. kWh. Zum anderen über eine Biomasse-Doppelkesselanlage (2 × 440 kW), die Heizholz aus der Landschaftspflege einsetzt und jährlich etwa 0,67 Mio. kWh einspeist. Für beide Anlagen ist ein Wärmespeicher mit 3.000 m³ geplant; ein Transformationsplan gemäß BEW liegt bisher nicht vor.

4 Potenzialanalyse

In dieser Analyse werden die Möglichkeiten der Wärmeverbrauchseinsparung von Gebäuden und der Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien und Abwärme im Gebiet von Amöneburg untersucht.

Auf der Nachfrageseite wird eine Reduktion des Wärmebedarfs u.a. durch die energetische Sanierung des Gebäudebestands berücksichtigt. Die Analyse von Wärmepotenzialen aus erneuerbaren Energien betrachtet eine Vielzahl möglicher Wärmequellen, die im Folgenden aufgeführt werden.

4.1 Potenziale zur Energieeinsparung durch Senkung des Wärmebedarfs

Die Energieeinsatzpotenziale in Gebäuden stellen einen wichtigen Hebel in der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung dar. Jede Kilowattstunde Wärme, welche nicht benötigt wird, muss auch nicht aus den begrenzten erneuerbaren Wärmequellen bereitgestellt werden. Somit kann das Energieeinsparpotenzial als Teil der Potenzialanalyse angesehen werden.

Die untere Tabelle gibt eine Übersicht über den Wärmebedarf (Nutzenergie) des Gebäudebestands im Untersuchungsgebiet Amöneburg. Sie zeigt auf, wie hoch der aktuelle Wärmebedarf für die Summe aus Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme in den verschiedenen Gebäudekategorien ist. In der rechten Spalte ist ergänzend das allgemeine theoretische Sanierungspotenzial dargestellt. Die Gegenüberstellung bietet eine erste Einschätzung darüber, in welchen Bereichen besonders große Effizienzgewinne zu erwarten sind. Die höchsten relativen Einsparpotenziale ergeben sich im Bereich von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, während der größte absolute Wärmebedarf bei den privaten Haushalten liegt. Auch kommunale Einrichtungen weisen ein relevantes, wenn auch etwas geringeres Sanierungspotenzial auf. Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse den hohen energetischen Handlungsbedarf im Bestand.

Art der Gebäudenutzung	Wärmebedarf	Sanierungspotenzial
Private Haushalte	65,8 GWh/a	72,7 %
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	29,0 GWh/a	86,0 %
Kommunale Einrichtungen	0,5 GWh/a	78,7 %

Tabelle 1: Wärmebedarf nach Nutzungsart der Gebäude

Die Abbildung 15 zeigt den absoluten Wärmebedarf (Nutzenergie) in Amöneburg nach Baualtersklassen und Nutzungstypen. Am höchsten ist der Bedarf bei Gebäuden aus der Vorkriegszeit (1919–1948), gefolgt von den Baualtersklassen 1979–1983 und 1949–1957. Die Anteile von Industrie und kommunalen Einrichtungen sind insgesamt gering. Ab den 1980er-Baujahren sinkt der Wärmebedarf sichtbar, was auf eine verbesserte Bauqualität und höhere energetische Standards schließen lässt. Die Darstellung unterstreicht, dass insbesondere ältere Gebäude im Fokus künftiger Sanierungsmaßnahmen stehen sollten, da sie einen großen Anteil am Gesamtwärmebedarf ausmachen.

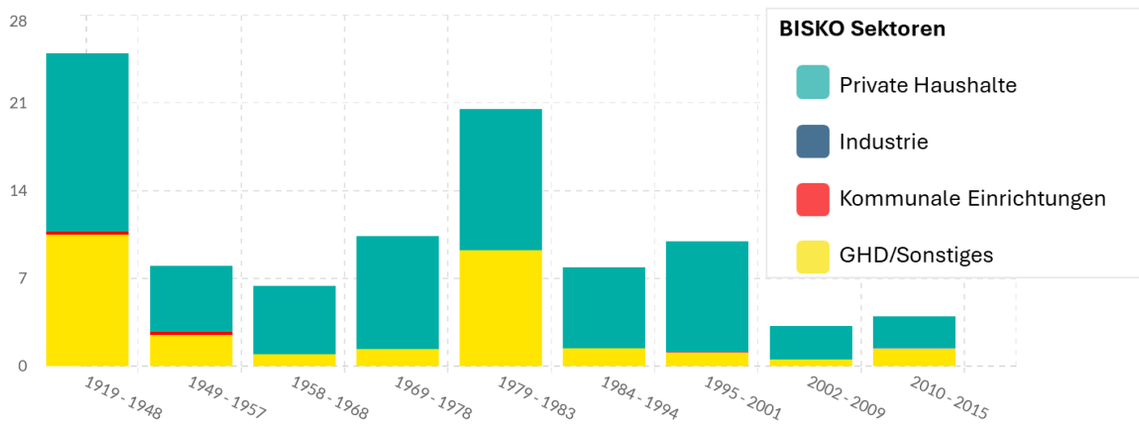


Abbildung 15: Wärmebedarf Nutzenergie nach Gebäudealter und -art

Sanierungsmöglichkeiten umfassen Maßnahmen wie Fassadendämmung, Dämmung des oberen und unteren Gebäudeabschlusses, Dämmung des Dachs und Fenstertausch. Ein hohes Sanierungspotenzial deutet auf weitreichende Verbesserungsmöglichkeiten des baulichen und energetischen Zustands eines Gebäudes hin. Abbildung 16 zeigt das Sanierungspotenzial des Gebäudestandes in Amöneburg kartografisch verordnet auf Baublockebene. Je dunkler das grün der gezeigten Flächen, desto höher das theoretische Sanierungspotenzial. Bei einer vollständigen Sanierung aller Gebäude auf Energieeffizienzklasse A+ ergäbe sich eine Wärmebedarfsreduktion um **77 %** auf etwa **22 GWh/a**. Dies verdeutlicht, in welchem hohen Maß eine klimaneutrale Wärmeversorgung bereits durch nicht-energetische Maßnahmen – wie etwa bauliche Verbesserungen und Effizienzsteigerungen – erreichbar ist, noch bevor der Einsatz erneuerbarer Energien notwendig wird.

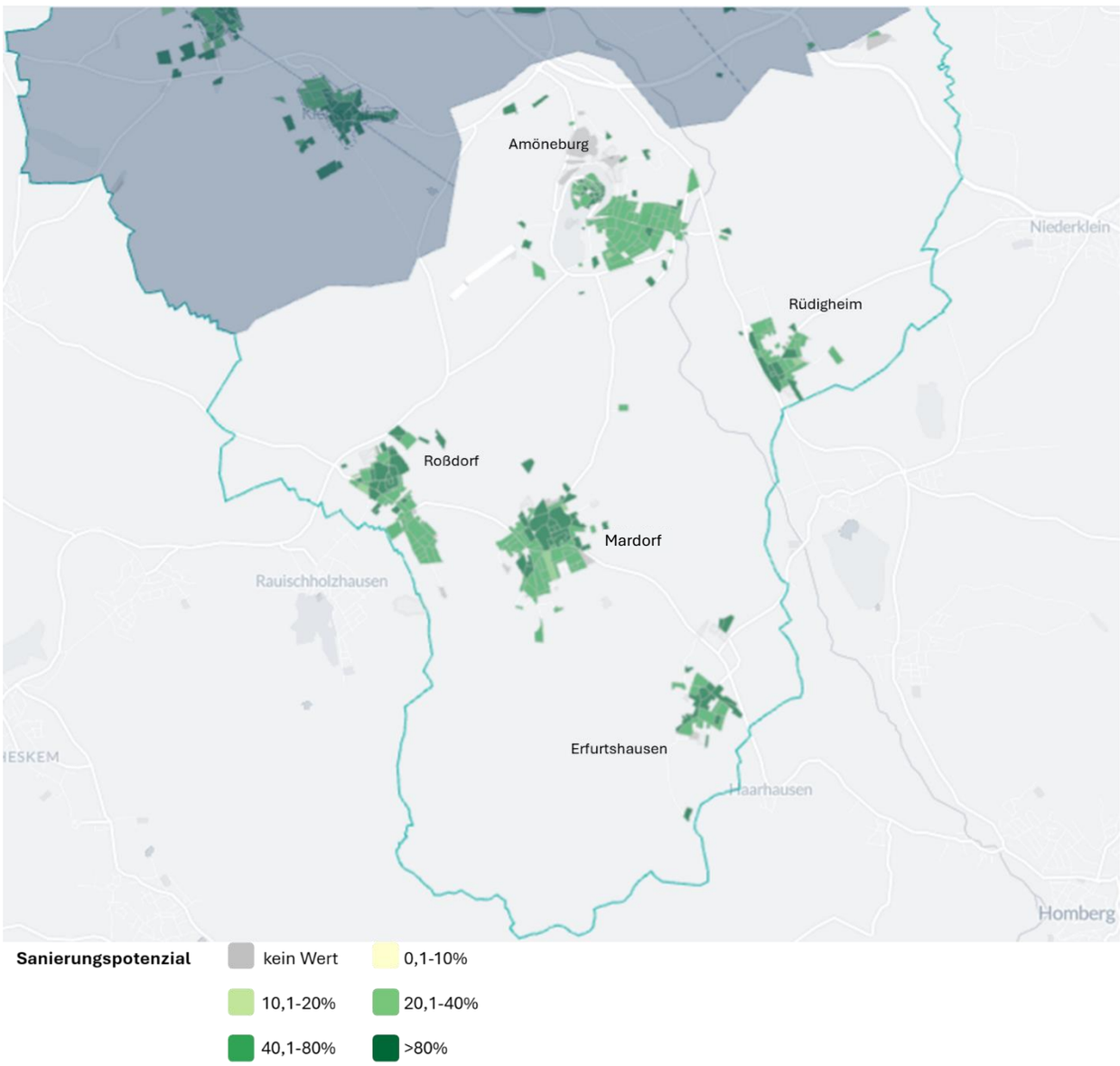


Abbildung 16: Sanierungspotenzial Gebäudestand des Untersuchungsgebiets Amöneburg

Da eine vollständige Sanierung aller Gebäude auf Effizienzklasse A+ aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten unrealistisch ist, wird von dem hier genannten theoretischen Potenzial für die Erstellung des Zielszenarios abgesehen. Stattdessen sollen für das Zielszenario (siehe Kapitel 5) weitere Einflussfaktoren für Gebäudesanierungen im Plangebiet berücksichtigt werden, die im Ergebnis zwar zu weniger Energieeinsparung führen, dafür jedoch als realistisch eingestuft werden können.

4.2 EE-Potenziale und Abwärme

Innerhalb dieses Kapitels werden die genannten EE-Potenziale sowie Abwärmepotenziale eingehend untersucht und das damit verbundene Vorgehen erläutert. Wo nötig wird eine weitere Untergliederung der Potenziale vorgenommen. So hat beispielsweise die Umweltwärme mehrere Unterkategorien, zu der sowohl Umgebungsluft, Gewässer oder Abwasser gehören können. Die Unterscheidung verschiedener EE-Potenziale bezieht sich auf die Wärmequellen (z.B. Wärme aus Abwasser, Sonneneinstrahlung, etc.) nicht auf die Erzeugungstechnologie (z.B. WP, KWK, etc.) zur Nutzbarmachung der entsprechenden

Wärmequelle. Die benötigte bzw. übliche Erzeugungstechnologie im Zusammenhang eines EE-Potenzials wird stets zum Anfang eines Kapitels kurz erläutert.

Weiterhin soll auf die Notwendigkeit zur Abstufung hinsichtlich verschiedener Potenziale hingewiesen werden. Nicht jedes Potenzial lässt sich erschließen bzw. technisch nutzen. In einer nächsten Eingrenzung stellt sich stets die Frage nach der Wirtschaftlichkeit eines Potenzials. Insofern die ersten beiden Fragen positiv beantwortet werden können, müssen sonstige Restriktionen oder Hemmnisse überprüft werden, bevor ein Potenzial als realisierbar eingestuft werden kann. Einen Überblick zu den Abstufungen und deren Definition gibt die folgende Abbildung:

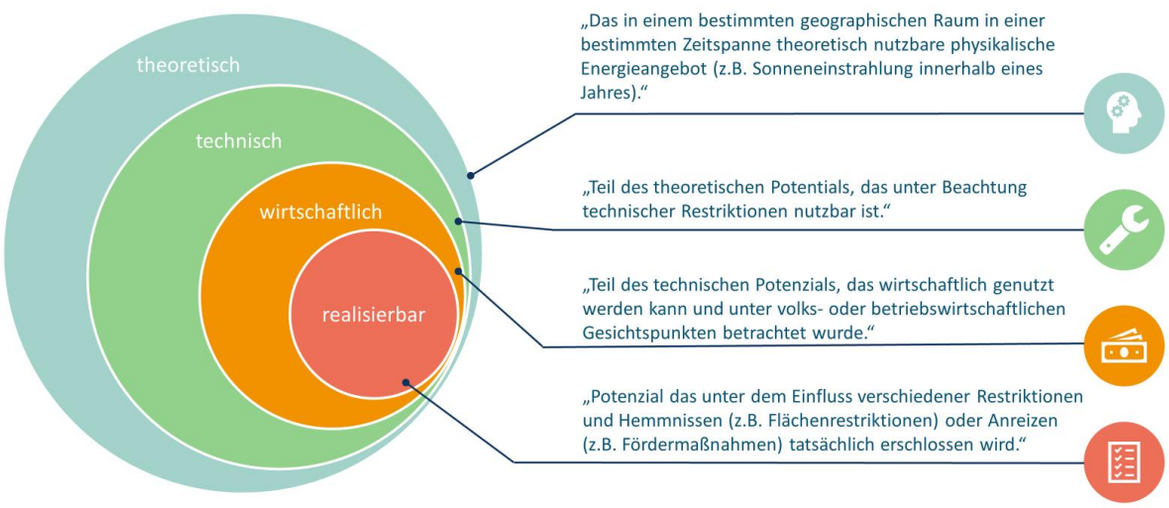


Abbildung 17: Definition der Potenzialbegriffe nach Kaltschmitt, Streicher, Wiese [5]

Insofern die Entzugsleistung einer Quelle mittels einer Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau gehoben werden muss, ist eine Jahresarbeitszahl (JAZ) zugrunde zu legen. Die JAZ setzt die Gesamtjahresnutzwärme zu der Gesamtjahreswärmepumpenarbeit ins Verhältnis. Sie ist somit der Jahresdurchschnittswert. Fasst man alle jährlichen Betriebsstunden einer Anlage zu sog. Vollbenutzungsstunden (vbh) zusammen (läuft eine Anlage z.B. insgesamt 100 Stunden im Jahr zu 20 % wären dies 20 Vollbenutzungsstunden), und multipliziert diese vbh mit der Nutzwärmeleistung, so erhält man die Jahreswärmearbeit einer Anlage.

4.2.1 Geothermie

Im Zeitalter der Energiewende eröffnet Geothermie die Möglichkeit, die unterhalb der festen Erdoberfläche gespeicherte Wärme zu nutzen. Als eine der vielversprechendsten erneuerbaren Energiequellen bietet die Geothermie eine Kombination aus Zuverlässigkeit, Umweltfreundlichkeit und Vielseitigkeit. Die Nutzung dieser ermöglicht es Kommunen, einen entscheidenden Schritt in Richtung Klimaneutralität zu machen und gleichzeitig die lokalen Wirtschaftssysteme zu stärken.

Jedoch stellt die Erschließung des geothermischen Potenzials keine einfache Aufgabe dar. Herausforderungen wie geologische Faktoren, insbesondere in Gebieten mit komplexer Grundwasserstockwerksgliederung, und wasserwirtschaftliche Bedingungen, bei denen alte, fossile Wasservorkommen mit geringer Neubildungsrate eine besondere Herausforderung darstellen, müssen sorgfältig bewertet werden. Zusätzlich kompliziert wird die Situation in Regionen, die aus wasserwirtschaftlicher Sicht

unzulässig sind oder unter strenge Schutzzonen fallen. Diese Aspekte sind entscheidend bei der Beurteilung der Machbarkeit und der Entwicklung von Geothermieprojekten und erfordern eine sorgfältige Planung sowie die Berücksichtigung aller ökologischen und regulatorischen Rahmenbedingungen.

Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie reicht bis zu einer Tiefe von 400 Metern und kann das ganze Jahr über unabhängig von Witterungsbedingungen genutzt werden. Dies erfolgt durch Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden oder Grundwasserbrunnen.

Bei oberen Bodentiefen bis ca. 15 Meter wird die Temperatur von atmosphärischen Faktoren wie Sonneneinstrahlung, Luftwärmeaustausch und versickerndes Regenwasser beeinflusst. Darunter und bis zu etwa 50 Metern Tiefe, ist die Temperatur relativ konstant bei ca. 10 °C. Ab 50 Metern Tiefe steigt die Temperatur aufgrund des innerirdischen Wärmestroms im Durchschnitt um 3 °C pro 100 Meter an.

Einzelne Anlagen zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie werden zur Beheizung und Warmwasserversorgung von Ein- und Zweifamilienhäusern verwendet. Größere Anlagen lassen sich auch zur Einspeisung in ein Wärmenetz nutzen. Dafür muss die dem Boden entzogene Wärme mittels einer (Groß-) Wärmepumpe auf die nötige Vorlauftemperatur des Heizkreises bzw. Wärmenetzes gebracht werden. Für mögliche Wärmeentnahmestellen ist daher immer auch die oberirdische Aufstellungsfläche einer Wärmepumpe bzw. Heizzentrale mit einzuplanen. Geräuschemissionen spielen hierbei eine untergeordnete Rolle, da es sich um Sole-Wasser-Wärmepumpen handelt, die im Gegensatz zu Luft-Wasser-Wärmepumpen ohne laute Ventilatoren auskommen. Die Funktionsweise einer Großwärmepumpe wird in Abbildung 18 schematisch dargestellt.

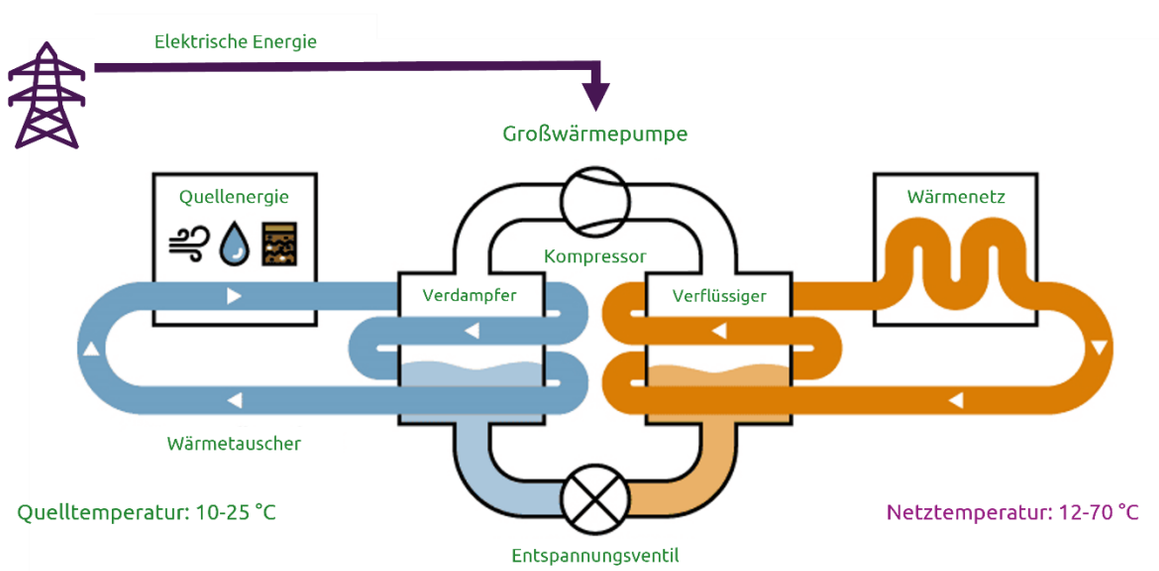


Abbildung 18: Funktion einer Wärmepumpe innerhalb eines Wärmenetzes

Erdwärmesonden

Erdwärmesonden sind eine Variante der oberflächennahen Geothermie, für deren Installation vertikale Bohrungen (ca. 15 cm Durchmesser) in den Boden vorgenommen werden. In die Bohrlöcher werden Rohre eingebracht und die Sonden darin mit einer zementartigen Masse fixiert. In Deutschland verwendet man als Sonden meist Doppel-U-Rohre aus Polyethylen. Diese Rohre sind mit einer Wärmeträgerflüssigkeit, typischerweise Wasser mit einem Frostschutzmittel wie Glykol, gefüllt. Diese Flüssigkeit nimmt die Wärme aus dem Erdreich auf und transportiert sie zur Wärmepumpe an der Oberfläche. Erdwärmesonden werden hierzulande typischerweise in Tiefen von 50 bis 160 Metern eingebaut.

Erdwärmesonden können auch bis zu einer Tiefe von 400 m ohne Genehmigungsverfahren des Bergrechts geplant werden. Die technische Sicherheit der Bohrungen und die geordnete Nutzung des Grundwassers kann bis zur definierten Tiefenlage in aller Regel durch das Wasserrecht gewährleistet werden. Ergänzend kann die Bergbehörde auf Grundlage des § 127 BBergG für Bohrungen von mehr als 100 m Tiefe weiterhin eine Betriebsplanzulassung verlangen, soweit dies im Einzelfall erforderlich ist. Die Abgrenzung zwischen oberflächennaher (bis 400 m Tiefe) und tiefer Geothermie (ab 400 m Tiefe) entspricht der allgemeinen Abgrenzung in der Praxis.

Die Nutzung von Geothermie durch Erdwärmesonden im Untersuchungsgebiet Amöneburg unterliegt einer umfassenden hydrogeologischen sowie wasserwirtschaftlichen Standortbewertung. Im Rahmen der hydrogeologischen Einschätzung wird das potenzielle Risiko von Erdwärmesonden-Bohrungen für das Grundwasser beurteilt. Es ist wichtig zu betonen, dass diese Bewertung ausschließlich dem Grundwasserschutz dient und keine Aussagen über das geothermische Potenzial der Standorte trifft.

Dabei werden die Standorte in zwei Kategorien eingeteilt: Als hydrogeologisch ungünstig gelten Standorte mit einem erhöhten Risiko negativer Auswirkungen auf das Grundwasser. Zwar sind Bohrungen hier grundsätzlich möglich, erfordern jedoch zusätzliche Schutzmaßnahmen. Diese Standorte sind in Abbildung 19 beige dargestellt. Als hydrogeologisch günstig hingegen gelten Standorte, bei denen kein erhöhtes Risiko für das Grundwasser besteht, sodass standardisierte Bohrungen ohne besondere Auflagen möglich sind. Die Auswertung zeigt, dass das gesamte Untersuchungsgebiet aus hydrogeologischer Sicht als ungünstig eingestuft wird. Die zugrunde liegenden Daten stammen aus dem Geologie Viewer des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG).

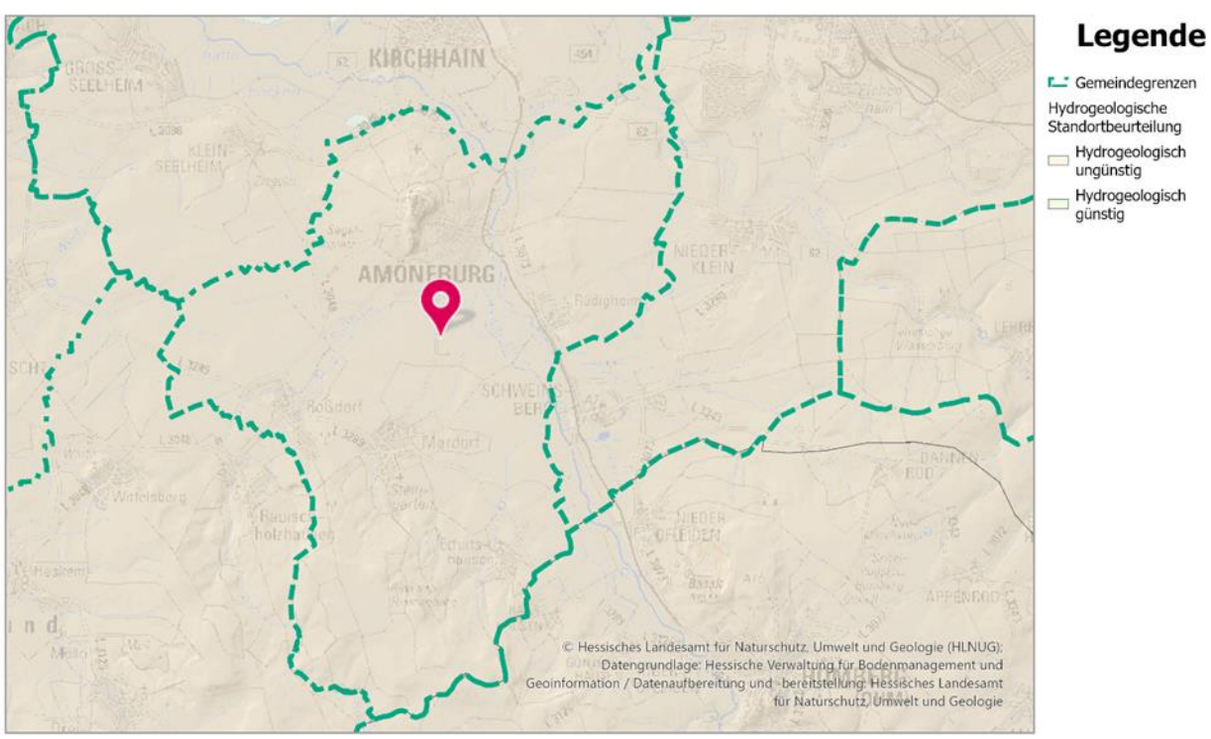


Abbildung 19: Hydrogeologische Standortbeurteilung Amöneburg [6]

Ergänzend zur hydrogeologischen Einschätzung erfolgt eine wasserwirtschaftliche Standortbewertung mit Blick auf bestehende Schutzgebiete. Dabei wird geprüft, ob sich ein Standort innerhalb von Wasser- oder Heilquellenschutzgebieten befindet. Auch hier bezieht sich die Bewertung ausschließlich auf den Schutz des Grundwassers und nicht auf das geothermische Potenzial. Als wasserwirtschaftlich unzulässig gelten Standorte innerhalb innerer Schutzzonen, in denen die Nutzung von Erdwärmesonden

grundsätzlich nicht erlaubt ist (rot dargestellt). In äußeren Schutzzonen – wasserwirtschaftlich als ungünstig eingestuft – ist eine Nutzung grundsätzlich möglich, bedarf jedoch einer Einzelfallprüfung und gegebenenfalls zusätzlicher Schutzmaßnahmen (orange dargestellt). Abbildung 20 verdeutlicht, dass der Großteil des Untersuchungsgebiets Amöneburg entweder wasserwirtschaftlich unzulässig oder zumindest ungünstig ist. Ein Landstreifen westlich von Schweinsberg ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht günstig.

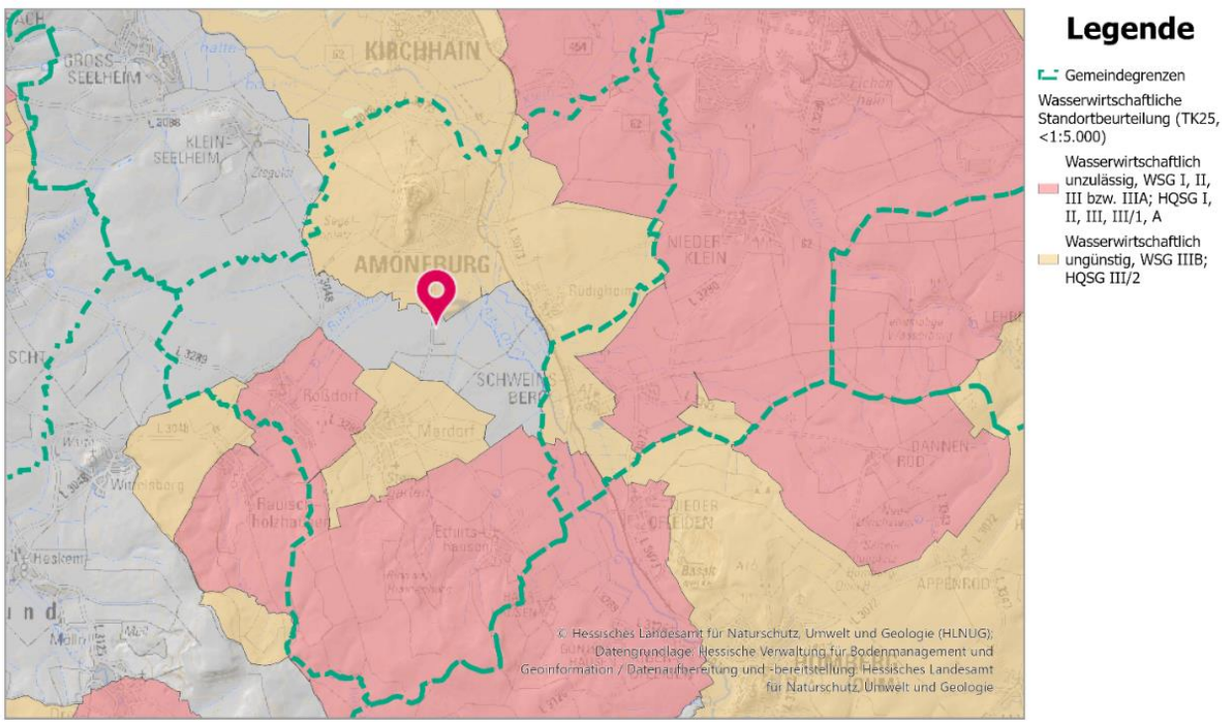


Abbildung 20: Wasserwirtschaftliche Standortbeurteilung Amöneburg [6]

Insgesamt zeigt sich, dass sowohl die hydrogeologische als auch die wasserwirtschaftliche Standortbewertung Einschränkungen für den Einsatz von Erdwärmesonden im Untersuchungsgebiet Amöneburg aufweisen. Die technische, wirtschaftliche und genehmigungsrechtliche Umsetzbarkeit von Erdwärmesonden-Anlagen in hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich ungünstigen Bereichen muss im Einzelfall auf Grundlage individueller Untersuchungen und Planungen bewertet werden. Aus diesem Grund wird dem Einsatz von Erdwärmesonden in Amöneburg nur ein begrenztes Potenzial zugewiesen.

Erdwärmekollektoren

Horizontale Erdwärmekollektoren entziehen die Energie aus den obersten 2 Metern des Bodens. Diese Energie wird hauptsächlich im Sommer durch Sonneneinstrahlung und das ganze Jahr über durch die Wärme im Niederschlags- und Sickerwasser wieder aufgefüllt. Damit Sonne und Regen diesen Energieentzug ausgleichen können, müssen die Erdwärmekollektoren unbebaut bleiben. Eine zusätzliche Versickerung von Niederschlagswasser kann den Flächenbedarf eines Erdwärmekollektors erheblich reduzieren. Für die Erdwärmekollektoren gelten jedoch dieselben hydrogeologischen ungünstigen Eigenschaften und wasserwirtschaftlichen Einschränkungen wie für Erdwärmesonden.

Es soll dennoch darauf hingewiesen werden, dass das Potenzial der oberflächennahen Geothermie in Amöneburg nicht ausgeschlossen werden kann, obwohl das gesamte Untersuchungsgebiet laut dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie als hydrogeologisch ungünstig eingestuft wird [6]. Beispiele aus der Praxis zeigen, dass Erdsondenfelder in Hessen genehmigt und realisiert werden, auch wenn das Bohrfeld im hydrogeologisch ungünstigen Bereich liegt. Somit lässt sich die oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmekollektoren und Erdsonden in Amöneburg zwar grundsätzlich

als möglich einstufen, muss aber im konkreten Fall vertiefend geprüft werden, beispielsweise im Rahmen einer Machbarkeitsstudie.

Tiefengeothermie

Das petrothermale Potenzial beschreibt die Möglichkeit, geothermische Energie aus heißen, trockenen Gesteinen in mittleren bis tiefen Schichten der Erdkruste zu extrahieren. Diese Form der Geothermie nutzt die inhärente Wärme des Gesteins, oft durch künstliche Erhöhung der Durchlässigkeit, um Wasser zu erhitzen und Dampf zu erzeugen, der zur Stromerzeugung oder für Heizzwecke verwendet werden kann [7]. Das hydrothermale Potenzial hingegen bezieht sich auf die Nutzung von natürlich vorkommendem heißen Wasser oder Dampf aus der Erde. Diese Ressourcen können direkt zur Energieerzeugung oder für Heizzwecke genutzt werden. Hydrothermale Systeme sind in der Regel einfacher und kostengünstiger zu erschließen als petrothermale Systeme, da sie auf natürlichen Wasserreservoirs basieren [8].

In Abbildung 21 ist dargestellt, dass das hydrothermale Potenzial in einer Tiefe von etwa 1.000 Metern unter Gelände im gesamten Untersuchungsgebiet Amöneburg als „sehr gering“ klassifiziert wird. Ein vergleichbares Ergebnis zeigt sich auch beim petrothermalen Potenzial, das auf denselben geologischen Grundlagen basiert. Das bedeutet, dass sowohl natürliche Thermalwasservorkommen als auch tiefere heiße Gesteinsschichten in Amöneburg keine ausreichenden Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Nutzung bieten.

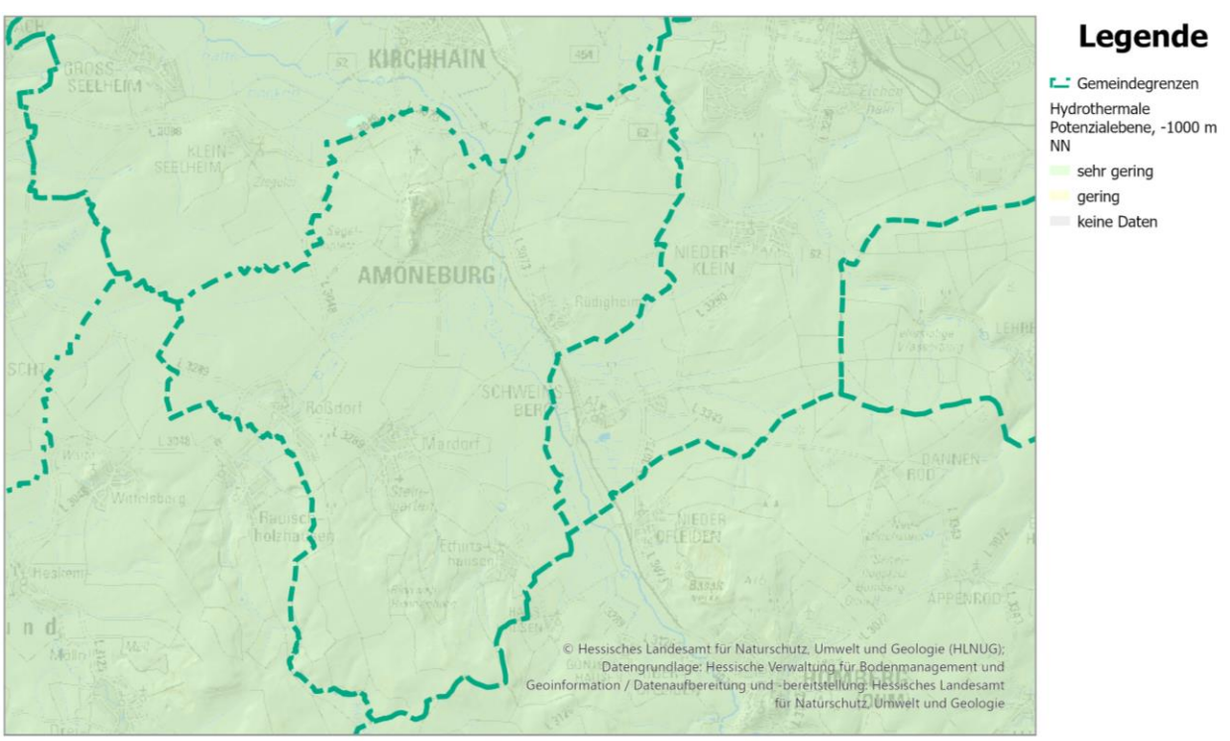


Abbildung 21: Tiefengeothermie – hydrothermales Potenzial -1000m [6]

Die genannten Einschätzungen basieren auf geologischen Karten, Temperaturgradienten und Modellierungen zur Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsschichten im Untergrund. In Regionen mit höherem Potenzial liegen beispielsweise Thermalwasserleiter oder heiße kristalline Gesteine vor, die entweder von Natur aus durchlässig oder technisch stimulierbar sind. Im Untersuchungsgebiet fehlen Hinweise auf solche geologischen Strukturen. Der lokale geothermische Gradient – also der Temperaturanstieg pro 100 Meter Tiefe – ist zu gering, um in wirtschaftlich vertretbarer Tiefe (>1.000 m) auf ausreichend hohe

Temperaturen (>100 °C) für eine Nutzung z. B. in der Stromproduktion oder Hochtemperaturwärmeversorgung zu stoßen.

Auch aus Sicht der Erschließungskosten und Risiken ergibt sich damit eine ungünstige Ausgangslage. Tiefe Bohrungen in wenig geeigneten geologischen Strukturen sind nicht nur technisch aufwendig, sondern auch mit hohem finanziellem Risiko verbunden. Insbesondere petrothermale Systeme erfordern in der Regel aufwändige Stimulationstechniken (z. B. hydraulisches Fracturing), um die nötige Durchlässigkeit zu schaffen – ein Verfahren, das in dicht besiedelten Gebieten häufig auf Akzeptanzprobleme stößt.

Das Ergebnis lässt sich somit wie folgt zusammenfassen: Für die Nutzung der Tiefengeothermie – sowohl im hydrothermalen als auch im petrothermalen Kontext – besteht im Untersuchungsgebiet kein nennenswertes Potenzial. Eine weitere Prüfung tiefer geothermischer Potenziale wäre angesichts der geologischen Ausgangslage nicht zielführend.

4.2.2 Umweltwärme

Unter dem Potenzial Umweltwärme werden alle natürlichen Wärmequellen für Wärmepumpen zur Nutzung von Umweltwärme zusammengefasst. Dabei handelt es sich um folgende Umweltwärmequellen, welche im folgenden Kapitel untersucht werden:

- Luft
- Oberflächengewässern (Fluss- und Seewasser)
- Trinkwasser
- Abwasser

Da alle Umweltwärmequellen unter der Nutzung von Wärmepumpen nutzbar gemacht werden, erfolgt zunächst eine kurze Beschreibung der Funktionsweisen von Wärmepumpen.

Eine Wärmepumpe ist ein Heizsystem, das Wärme aus der Umgebung (Luft, Erde oder Wasser) aufnimmt und diese auf ein höheres Temperaturniveau bringt, um sie in Wärmenetzen, zum Heizen von Gebäuden oder zur Warmwasserbereitung zu nutzen. Die Funktionsweise einer Wärmepumpe beruht auf einem Prinzip, das ähnlich wie bei einem Kühlschrank funktioniert, nur umgekehrt. Hier ist der grundlegende Prozess:

- **Verdampfer:** Die Wärmepumpe entzieht Wärme aus einer natürlichen Wärmequelle (z.B. der Außenluft, dem Erdreich oder einem Gewässer) über ein Kältemittel, das in einem Verdampfer zirkuliert. Dieses Kältemittel hat einen sehr niedrigen Siedepunkt, sodass es bereits bei niedrigen Temperaturen verdampft. Die dabei aufgenommene Wärmeenergie lässt das Kältemittel verdampfen.

- **Kompressor:** Der gasförmige Kältemitteldampf wird dann in einen Kompressor geleitet, der den Druck des Gases erhöht. Durch diese Kompression steigt die Temperatur des Kältemittels weiter an, da Druckerhöhung mit einer Temperaturerhöhung einhergeht.

- **Verflüssiger:** Das nun stark erhitzte Kältemittelgas strömt in einen Verflüssiger (auch Kondensator genannt), wo es seine Wärme an das Heizsystem des Gebäudes abgibt, zum Beispiel an das Heizungswasser oder die Luft in einem Lüftungssystem. Durch die Abgabe der Wärme kühlt das Kältemittel wieder ab und kondensiert, es wird also flüssig.

- **Expansionsventil:** Nach der Kondensation wird das flüssige Kältemittel durch ein Expansionsventil geleitet, wo es entspannt wird. Dabei sinken Druck und Temperatur des Kältemittels wieder, und der Kreislauf beginnt von vorne, indem das kalte Kältemittel erneut in den Verdampfer gelangt, um weitere Wärme aus der Umgebung aufzunehmen.

Dieser Prozess wiederholt sich kontinuierlich, wodurch die Wärmepumpe in der Lage ist, auch bei niedrigen Quelltemperaturen effizient Wärme zu erzeugen. Da eine Wärmepumpe mehr Wärmeenergie liefern kann, als sie an elektrischer Energie für den Betrieb benötigt, gilt sie als besonders energieeffizient und umweltfreundlich.

Luft

Die Umgebungsluft stellt aufgrund ihres grundsätzlich unbegrenzten Wärmepotenzials eine sehr flexible und technisch einfach umsetzbare Wärmequelle dar – sowohl für die dezentrale Einzelversorgung als auch zur Einspeisung in Wärmenetze. Luft-Wärmepumpen erfordern den geringsten technischen Aufwand und sind nahezu überall einsetzbar. Dabei unterscheidet man zwischen Luft/Luft- und Luft/Wasser-Systemen, bei denen der Umgebungsluft Wärme entzogen und durch einen thermodynamischen Kreisprozess auf das erforderliche Temperaturniveau des Heizsystems gehoben wird. Anders als bei anderen Wärmequellen ist der Wiedereintritt der abgekühlten Luft in die Umgebung unkritisch (Vergleich: Abwasserwärme).

Im Rahmen der Potenzialermittlung der kommunalen Wärmeplanung wird grundsätzlich von einer technischen Machbarkeit der Umgebungsluft als Wärmequelle zur dezentralen Versorgung von Gebäuden ausgegangen. Gebiete mit einer hohen Bebauungsdichte werden im Rahmen dieser Wärmeplanung bezüglich Nutzung von dezentralen Wärmepumpen nicht priorisiert, da eine hohe Bebauungsdichte regelmäßig mit hohen Wärmeliniendichten und damit einer hohen Wärmenetzeignung einher gehen. Die Option zur Einzelversorgung mit Wärmepumpe ist bei hoher Bebauungsdichte dennoch nicht ausgeschlossen. In Hessen existieren keine Mindestabstände für Luft-Wärmepumpen zur Grundstücksgrenze – vorausgesetzt, die Anlage überschreitet weder 2 Meter Höhe noch 3 Meter Länge.

Im Neubau und in sanierten Gebäuden, die allesamt mit niedrigeren Vorlauftemperaturen auskommen, sind Luft-Wärmepumpen sehr effizient. Moderne Luft-Wärmepumpen können aber auch in die Bestandsgebäuden die benötigten höheren Vorlauftemperaturen und die tendenziell höhere Heizlast bereitstellen. Aufgrund der technischen Weiterentwicklungen sind selbst geringe Außen-Temperaturen im Winter kein Ausschlusskriterium mehr und ökonomische Wirkungsgrade können erreicht werden. Nichtsdestotrotz gilt: Je niedriger die Wärmequellentemperatur, desto niedriger die Effizienz der Wärmepumpe (d. h., die Arbeitszahl sinkt und der Strombedarf steigt). Somit kommen im Bestand häufig (bivalente) Hybrid-Systeme zum Einsatz, bei denen ein Gasbrenner bei kalten Temperaturen im Winter zusätzliche Wärme produziert. In monovalenten Wärmepumpen kann zu diesem Zweck ein Heizstab eingesetzt werden.

Auf Basis der heutigen Förderkulisse der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) haben dezentrale Wärmepumpen mit der Wärmequelle Luft einen ökonomischen Vorteil gegenüber Erdwärmepumpen. Insgesamt ist die BEG-Förderung auf maximal 70 % der Gesamtkosten gedeckelt. Die maximal förderfähige Investitionssumme beträgt 30.000 € für ein Einfamilienhaus (1. Wohneinheit). Der höchstmögliche Zuschuss für den Heizungstausch beläuft sich also – bei einem Fördersatz von 70 % – auf 21.000 €. Daher können die teureren Erdwärmesonden oder -kollektoren weniger gefördert werden. Dies führt dazu, dass die Effizienzvorteile der Erdwärmepumpe gegenüber der stetig effizienter werdenden Luft/Wasser-Wärmepumpen nicht ausreichen, um die Mehrinvestition zu rechtfertigen. Eine

pauschalisierte Aussage ist jedoch nicht möglich und die Vorteilhaftigkeit der Systeme muss für jedes Gebäude durch eine fachkundige Person geprüft werden.

Wärmepumpen mit der Wärmequelle Luft können auch in Wärmenetzen eingesetzt werden. Zentrale Luft/Wasser-Wärmepumpen können die benötigte Vorlauftemperatur in Fernwärmenetzen in der Regel jedoch nur sehr ineffizient bereitstellen (insofern es sich nicht um Niedertemperatur-Netze handelt). Hier können kaskadierte (zweistufige) Luft/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen bereits heute mit einer akzeptablen JAZ betrieben werden. In einer ersten Stufe wird die Außenluft als Temperaturquelle genutzt und das Wasser auf etwa 35 °C erwärmt. In der zweiten Stufe hebt die Wasser/Wasser-Wärmepumpe die Quelltemperatur auf die benötigte Vorlauftemperatur im Wärmenetz an.

Einschränkungen beim Einsatz von Luft-Wärmepumpen:

- **Geräuschemissionen:** Dicht bebaute Wohn- und Mischgebiete – ggf. in den Kernbereichen der Stadtteile – sind aufgrund gesetzlicher Grenzwerte nur eingeschränkt geeignet.
- **Platzbedarf:** Für die Außeneinheit werden 2 bis 4 m² Fläche vor dem Gebäude benötigt.
- **Stromnetz:** Die Leistungsfähigkeit des örtlichen Stromnetzes muss in Abstimmung mit dem Netzbetreiber sichergestellt werden. Dieser kann den Anschluss einer regulären Wärmepumpe nicht untersagen, hat jedoch notfalls die Möglichkeit, die Leistung zu drosseln. In Amöneburg sind diesbezüglich aktuell jedoch kaum Einschränkungen zu erwarten.

Für ein durchschnittliches Einfamilienhaus wird zur Versorgung mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe eine Strommenge von etwa 6,4 MWh pro Jahr benötigt (bei einer JAZ von 2,7). Da Umgebungsluft als Wärmequelle überall verfügbar und unbegrenzt nutzbar ist, wird das Potenzial dieser Technologie als technisch, wirtschaftlich und praktisch sehr gut nutzbar eingestuft. Für die Wärmewende in Amöneburg kann der Einsatz zentraler (Groß-)Wärmepumpen auf Basis von Außenluft insbesondere in Stadtteilen ohne andere Wärmequellen wie Abwasser oder Gewässer von Bedeutung sein. Bei ausreichender Wärmeliniendichte bietet sich eine Kombination mit Biomasseheizwerken oder KWK-Anlagen zur Versorgung von Wärmenetzen an. Voraussetzung ist, dass das Stromnetz die erforderliche Leistung für den Betrieb der Anlagen bereitstellen kann. Das Potenzial der Außenluft wird insgesamt als hoch und nahezu unbegrenzt eingestuft.

<u>Flusswasserwärme (Ohm)</u>

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung werden verschiedene Oberflächengewässer in Amöneburg hinsichtlich ihres Wärmepotenzials und einer möglichen thermischen Nutzung untersucht. Durch das Untersuchungsgebiet fließt die Ohm, die als einziges Fließgewässer einen grundsätzlich ausreichenden Wasserdurchfluss für den potenziellen Betrieb einer Flusswasser-Wärmepumpe bietet. Die Analyse konzentriert sich daher auf die thermischen Potenziale der Ohm. Eine Nutzung kleinerer Gewässer im Untersuchungsgebiet wird vorerst nicht weiterverfolgt, kann jedoch langfristig nicht ausgeschlossen werden. Die Einschätzung des Wärmepotenzials der Ohm erfolgt auf Grundlage von Durchfluss- und Temperaturwerten. Abbildung 22 stellt den Temperaturverlauft der Ohm dar:

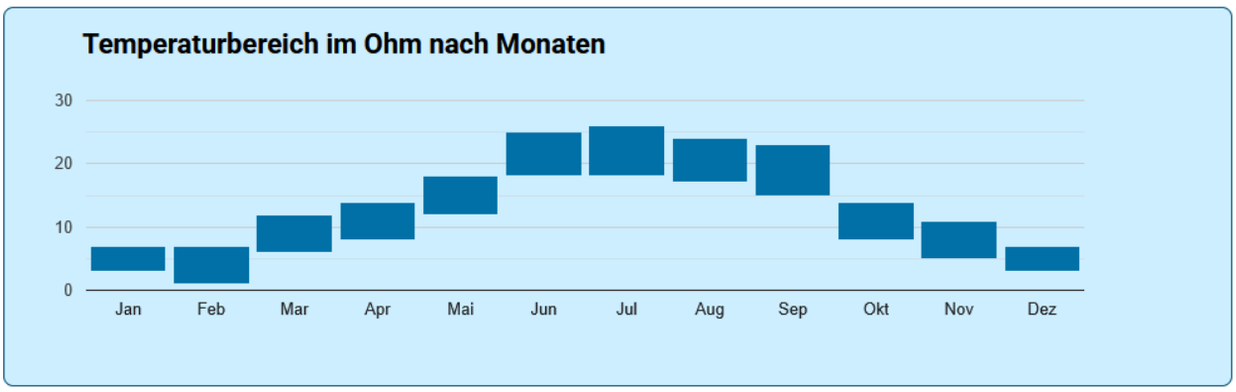


Abbildung 22: Temperaturbereich im Ohm nach Monaten

Zur Bestimmung des technischen Potenzials wird auf Basis des mittleren Niedrigwasserabflusses (MNQ) von 763 l/s und einer zulässigen Entnahme von 10 % (rund 76,3 l/s) eine quellseitige Leistung von etwa 0,96 MW abgeschätzt. Bei einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3 kann die Wärmepumpe somit eine thermische Leistung von ca. 1,4 MW bereitstellen. Bei 4.000 Vollbenutzungsstunden (Einsatz im Sommerhalbjahr) ergibt sich daraus eine mögliche jährliche Nutzwärmemenge von rund 5,7 GWh. In Abbildung 23 wird die Wärmebedarfsdichten im Umfeld einer möglicher Entnahmestellen bei Amöneburg dargestellt.

Abbildung 23: mögliche Flusswasserwärmeentnahmestelle bei Amöneburg

Das Potenzial wird jedoch durch mehrere Faktoren eingeschränkt: ein wirtschaftlicher Betrieb der Wärmepumpe ist laut Herstellervorgaben unterhalb von 4 °C nicht sinnvoll. Aufgrund möglicher Vereisungen in den Wärmetauschern kann von November bis März kein zuverlässiger Betrieb erfolgen – und damit gerade in der Heizperiode nicht auf das Flusswasserpotenzial zurückgegriffen werden. Hinzu kommen vergleichsweise hohe Investitionskosten für das erforderliche Ein- und Auslaufbauwerk sowie den Flusswärmetauscher.

Insgesamt ergibt sich daher, trotz hoher Quellleistung, kein wirtschaftlich sinnvolles Potenzial für die Nutzung von Flusswasserwärme in Amöneburg. Weitere Fließgewässer im Untersuchungsgebiet verfügen zudem über zu geringe Durchflussmengen. Der Anteil von Flusswasserwärme am gesamten Wärmebedarf wird insgesamt auf rund 6 % abgeschätzt.

Trinkwasserwärme

Das Konzept der thermischen Nutzung von Trinkwasser besteht schon seit längerem, ist jedoch in der Fernwärme in Deutschland bislang aufgrund regulatorischer Hindernisse nicht verankert. Primär ist dies die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) aus dem Jahr 2023. Gemäß §13 dieser Verordnung ist es vorgeschrieben, dass bei der Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung von Trinkwasser ausschließlich Stoffe oder Gegenstände in Kontakt mit dem Roh- oder Trinkwasser verwendet werden dürfen, die explizit dem Zweck der Trinkwasserversorgung dienen. Die derzeitige Auslegung schließt damit eine energetische Nutzung der Trinkwasserwärme aus.

Eine maßgebliche Ursache für diese Hemmnisse liegt in präventiven Maßnahmen zur Gewährleistung der Trinkwasserhygiene. Die Bedeutung der Reinheit des Trinkwassers wird in der Debatte nicht ohne Grund betont, da Verunreinigungen im Trinkwasser durch strikte Einhaltung technischer Normen sicher vermieden werden müssen. Eventuelle Bedenken bezüglich der Trinkwasserhygiene im Kontext einer energetischen Nutzung könnten mithilfe technischer Lösungen jedoch problemlos adressiert werden. Eine mögliche Maßnahme ist die Integration eines Zwischenkreislaufs mit Sicherheitswärmetauscher im nachgelagerten Trinkwassernetz, um dieses selbst bei Betriebsstörungen zuverlässig vor potenziellen Verunreinigungen zu schützen. Ein direkter Kontakt des Trinkwassers mit möglichen Verunreinigungen würde somit ausgeschlossen.

Im Aufwand der Erschließbarkeit der Wärmequelle Trinkwasser lassen sich Vorteile gegenüber anderen Wärmequellen identifizieren. Die Verwendung bereits geförderter Trinkwassermengen eliminiert die Notwendigkeit des Baus eigener Brunnen und reduziert den mit dem Strombedarf für den Pumpaufwand verbundenen Aufwand.

Zusätzlich ergeben sich weitere Vorteile gegenüber der Nutzung von Fluss- und Abwasser: Im Vergleich zur Nutzung von Oberflächenwasser steht das geförderte Trinkwasser während der Heizperiode kontinuierlich in einer stabilen Temperatur zur Verfügung. Zudem ist das Wasser frei von Verunreinigungen, die die Effizienz des Wärmetauschprozesses durch die Bildung von Biofilmen langfristig beeinträchtigen können. Im Gegensatz dazu erfordert die Nutzung von Oberflächenwasser oder Kläranlagenabfluss regelmäßige aufwändige Reinigungen oder spezielle Konstruktionen des Wärmetauschers. Bei der Verwendung von sauberem Trinkwasser als Wärmequelle entfällt dieser Schritt. Aufgrund der hohen regulatorischen Einschränkungen wird die Trinkwasserwärme als theoretisches Potenzial angesehen. Für die Wärmeversorgung in Amöneburg dürfte sie unter den aktuellen Umständen keine hohe Bedeutung haben.

Abwasser

Abwasser kann durch Wärmeübertrager als Wärmequelle erschlossen und mittels Wärmepumpen auf ein geeignetes Temperaturniveau gebracht werden. Im Gegensatz zu Oberflächengewässern weist Abwasser auch im Winter eine Temperatur von 10-12 °C auf und kann somit für eine effiziente Wärmegewinnung genutzt werden. Nach dem Wärmeplanungsgesetz sollen alle Kanalabschnitte ab einer Dimensionierung von DN800 sowie Kläranlagen hinsichtlich ihres Wärmepotenzials untersucht werden. Bei der Nutzung von Abwasserwärme können verschiedene Nutzungsarten unterschieden werden, welche sich hinsichtlich der technischen, ökologischen und ökonomischen Eignung für die Stadt Amöneburg

unterscheiden. Grundsätzlich kann zwischen der Erschließung der Abwasserwärme im Kanalnetz, im Zulauf einer Kläranlage und im Ablauf einer Kläranlage unterschieden werden (siehe Abbildung 24).

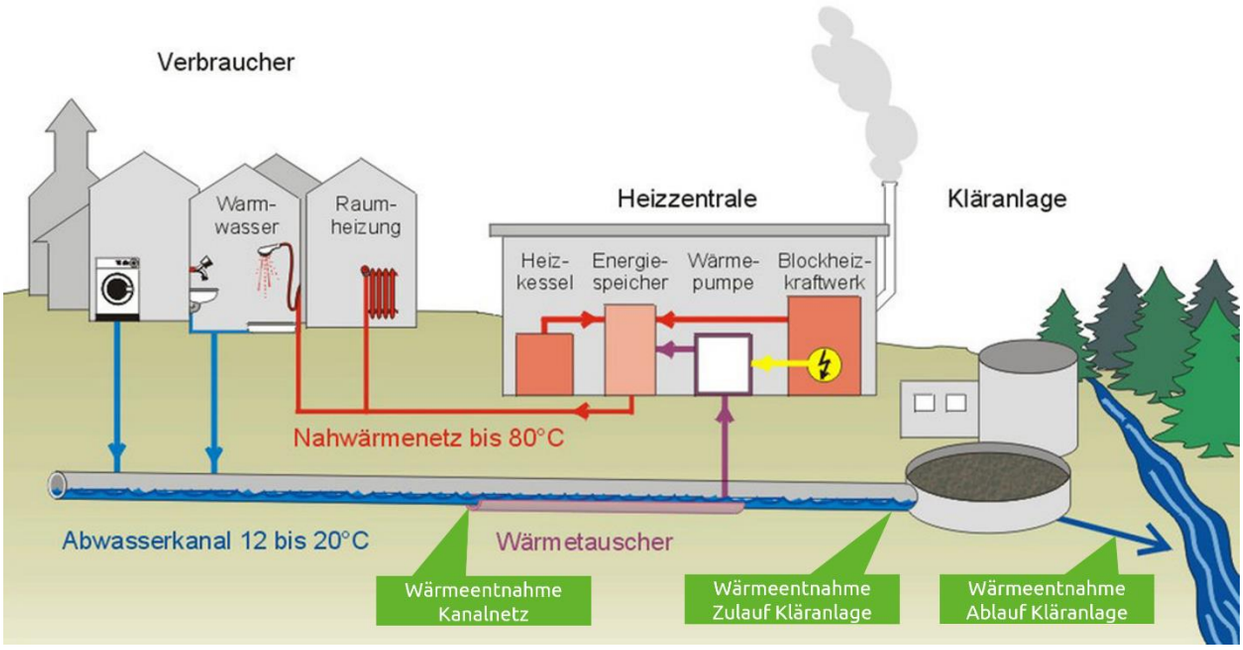


Abbildung 24: Wärmeentnahmemöglichkeiten Abwasser

Die Erschließung kann technisch mit verschiedenen Systemen umgesetzt werden. Meist kommen zum Einsatz:

- Wärmetauscher, die nachträglich in bestehende Kanäle eingebaut werden
- in Kanalrohren werksseitig integrierte Wärmeübertrager
- Systeme mit Sonderbau

Kanalinterne Lösungen für Wärmetauscher erfordern einen größeren Eingriff in das Kanalnetz und bieten sich vor allem bei Neubau oder Sanierung/Austausch von Kanalabschnitten an. Um die biochemischen Prozesse in der Kläranlage nicht zu beinträchtigen, gilt beim Abwasser die Vorgabe, dass das Abwasser in der Kläranlage eine Temperatur von mindestens 12 °C haben sollte. Dies ist auch ein elementarer Nachteil der Entnahme im unmittelbaren Kläranlagen-Zulauf. Bei einer Entnahme im Kanalnetz hat das Abwasser Zeit, um sich durch die Aufnahme der Erdwärme thermisch zu regenerieren. Es lässt sich mit einem Wärmeeintrag von etwa 0,01 K/m kalkulieren, der von der Erdtemperatur, der Kanalart und der Abwassertemperatur abhängt. Bei einer Entnahme im Kanalnetz kann mit einer Temperaturentnahme von 3 Kelvin kalkuliert werden, somit erreicht das Abwasser nach einigen hundert Metern (inkl. Sicherheitsabstand) wieder seine ursprüngliche Temperatur und eine erneute Wärmeentnahme wäre denkbar. Die genaue Abkühlung des Abwassers ist jedoch nicht auf 3 Kelvin begrenzt und wird in der Ausführung über die Dimensionierung des Wärmetauschers bestimmt. Diese Möglichkeit entfällt im unmittelbaren Zulauf der Kläranlage und es sollte maximal eine Temperatur von 0,5 Kelvin entnommen werden, um auch im Winter einen reibungslosen Klärprozess zu gewährleisten, der die Aktivität der Bakterien im Klärbecken nicht negativ beeinträchtigt.

Wesentlich einfacher zu erschließen ist die Wärmeentnahme am Kläranalgenablauf. Die Erschließung des geklärten Abwassers im Auslauf der Kläranlage (auch Klarwasser genannt) ist technisch leichter zu lösen und für Großwärmepumpen zur Fernwärmeversorgung interessant, da alle Abwasser die einer Kläranlage aus verschiedenen Sammlerkanälen zufließen an einer Stelle gebündelt wieder aus der Kläranlage herausfließen. Es handelt sich somit um den höchstmöglichen Volumenstrom. Das geklärte

Abwasser bietet durch den hohen Volumenstrom sowie geringere Einschränkungen der thermischen Abkühlung (keine Rücksicht auf Klär-Bakterienprozesse nötig) das größte Leistungspotenzial. Da es sich um Klarwasser handelt, bildet sich weniger Biofilm auf dem Wärmetauscher.

Im Untersuchungsgebiet von Amöneburg befinden sich mehrere kleinere Kläranlagen, unter anderem in Amöneburg selbst sowie in den Stadtteilen Erfurtshausen, Mardorf und Roßdorf. Für diese Anlagen liegen keine exakten Trockenwetterzuflüsse vor, jedoch ist aufgrund der geringen Einwohnerzahlen in den jeweiligen Einzugsgebieten nicht von relevanten Abwassermengen auszugehen – weder an den Kläranlagen noch im vorgelagerten Kanalnetz. Darüber hinaus wird der aktuelle Zustand der Kläranlage Amöneburg künftig nicht mehr gelten, da ein Umbau bzw. ein Standortwechsel vorgesehen ist. Auch der Wärmeatlas Hessen weist für das gesamte Untersuchungsgebiet kein Abwasserwärmepotenzial aus. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass keine ausreichenden Abwassermengen vorhanden sind, um eine wirtschaftlich sinnvolle Nutzung von Abwasserwärme zu ermöglichen. Insgesamt wird das Potenzial zur Abwasserwärmenutzung in Amöneburg daher als nicht relevant eingeschätzt. Sowohl der geringe Volumenstrom als auch die daraus resultierende niedrige Wärmeleistung sprechen gegen eine praktische Umsetzung. Alternative Wärmequellen sollten vorrangig geprüft werden.

4.2.3 Solarthermie

In vielen Wärmenetzsystemen kann Solarthermie in Abhängigkeit regionaler Gegebenheiten ein passender Baustein für die zukünftige Wärmeerzeugung sein. Typischerweise werden dabei Flachkollektoren oder Vakuum-Röhrenkollektoren zur Gewinnung der Wärme eingesetzt. Die günstigeren Flachkollektoren weisen i.d.R. mit jährlich 340 – 450 kWh/m² Bruttokollektorfläche niedrigere spezifische Wärmeerträge gegenüber den kostenintensiveren Vakuum-Röhrenkollektoren mit jährlich 400 – 540 kWh/m² auf.

In Kombination mit weiteren Erzeugeranlagen können Solarthermie-Anlagen auch in den Rücklauf eines Netzes einspeisen, was eine flexible Einspeisefahrweise in Vor- oder Rücklauf je nach Jahreszeit ermöglicht. Die Kombination mit Speichertechnologien rundet die Einsatzmöglichkeiten von Solarthermieanlagen für Fernwärmenetze ab. Zusammenfassend bieten sich folgende Vor- und Nachteile für die Wärmeerzeugung mittels solarthermischer Anlagen:

Vorteile

- Solarthermieanlagen sind integrierbar in bestehende Strukturen
- Ressourcenschonend
- Preisstabilität und niedrige Energiekosten
- Hohe Effektivität bei zukünftig prognostizieren, niedrigen Wärmenetztemperaturen

Nachteile

- Saisonale Erzeugung (hauptsächlich Sommer)
- Flächenintensivität
- Flächenkonkurrenz (Landwirtschaft, PV-Anlagen)

<u>Freiflächenanlagen</u>

Für die Errichtung von Freiflächen-Solarthermieanlagen stehen in Amöneburg grundsätzlich ausreichend große theoretische Flächen zur Verfügung. Abbildung 25 zeigt, dass die als für Solarenergie unzulässig eingestuften Flächenanteile insgesamt nur einen geringen Einfluss auf das nutzbare Flächenpotenzial haben. Für das wirtschaftliche Potenzial kommen jedoch nur Flächen in Betracht, welche in unmittelbarer Nähe zu künftigen Wärmenetzen liegen, um lange Transportleitungswege und die damit

verbundenen hohen Investitionen und Wärmenetzverluste zu vermeiden. Der mögliche Solarthermie-Ertrag hängt maßgeblich von der verfügbaren Fläche, dem Eignungsfaktor (bspw. tatsächlicher Flächennutzung) sowie der gewählten Kollektorart ab. Auf einer Beispiel-Fläche von etwa 10 Fußballfeldern könnten – abhängig von diesen Faktoren – bis zu rund 14 GWh Nutzwärme pro Jahr erzeugt werden (siehe Rechnung in Abbildung 26). Es zeigt sich, dass Röhrenkollektoren mehr Energieausbeuten generieren, jedoch sind die Investitionskosten für Röhrenkollektoren entsprechend höher. Als Quelle für den spezifischen Wärmeertrag wurde der AGFW Praxisleitfaden Solarthermie [9] genutzt.

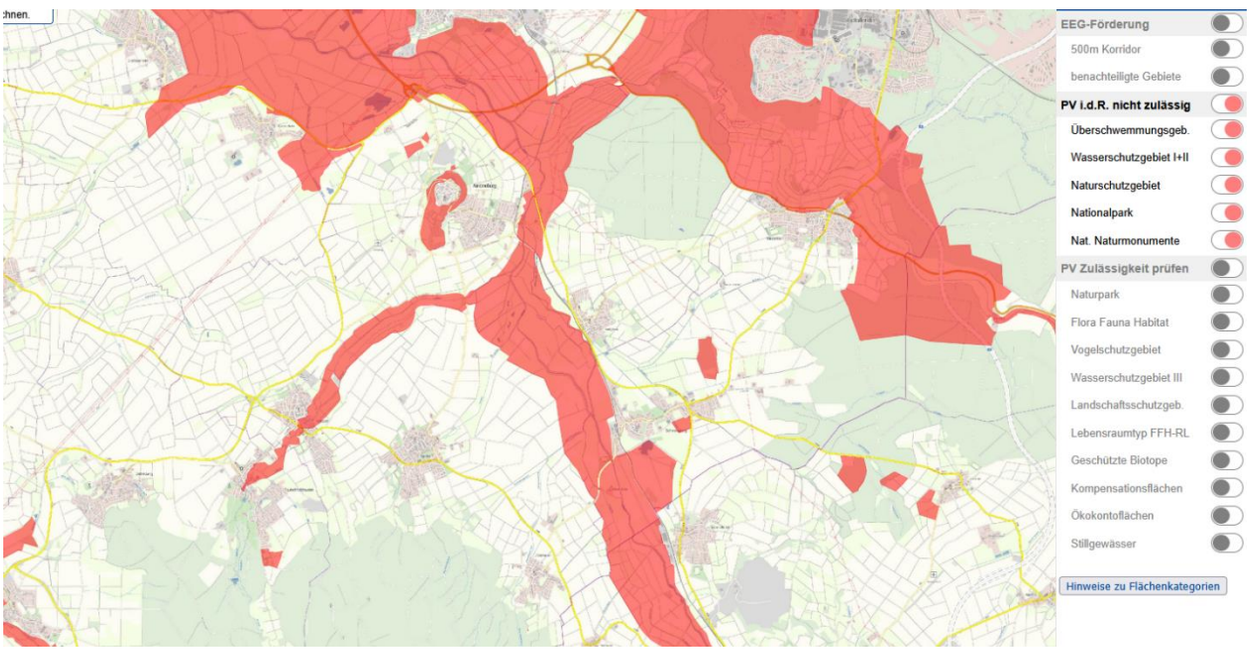


Abbildung 25: Gebietseinschränkungen (Zulässigkeit von Freiflächen-PV als Indikator für Solarthermie) [10]

BEISPIELFLÄCHE: 10 Fussballfelder

Annahmen und Berechnungsgrundlagen	
Flächenberechnung Freiflächen	
Grundrissfläche	71.400 m²
Eignungsfaktor	35 %
Daraus folgende Bruttokollektorfläche:	24.990 m²

		Energiepotenzial	
Spezifischer Wärmeertrag		Bei 100% Flächennutzung	Bei 70% Flächennutzung
Flachkollektoren - Min	328 kWh/a qm Brutto	8 GWh/a	6 GWh/a
Flachkollektoren - Basis	410 kWh/a qm Brutto	10 GWh/a	7 GWh/a
Röhrenkollektoren - Basis	456 kWh/a qm Brutto	11 GWh/a	8 GWh/a
Röhrenkollektoren - Max	548 kWh/a qm Brutto	14 GWh/a	10 GWh/a

Abbildung 26: Solarthermiepotenzial – Beispielrechnung

Solarthermische Anlagen eigenen sich aufgrund ihrer saisonal abhängigen Wärmeerzeugung nicht für den monovalenten Betrieb von Wärmenetzen. Da die höchsten Erträge der Solarthermie dann anfallen,

wenn das Wärmenetz die geringste Einspeisung benötigt, ist in der Regel eine Beschränkung der Erzeugungsmengen auf 10-30 % des jährlichen Gesamtwärmebedarfs des Netzes sinnvoll. Der Einsatz von Saisonalspeichern kann diese Quote auf 50-70 % verbessern (oder mehr, abhängig von Feldgröße und Speichergröße). Allerdings sind Saisonalspeicher mit hohen Investitionen verbunden. Aufgrund der genannten Punkte wird Freiflächensolarthermie als theoretisches und technisches Potenzial eingestuft, jedoch mit einer mittleren Bedeutung für die Wärmeversorgung für das Projektgebiet.

4.2.4 Abwärme aus Industrie, Gewerbe bzw. öffentlicher Liegenschaften

Unvermeidbare Abwärme, die oft als ein unerwünschtes Nebenprodukt verschiedener industrieller Prozesse betrachtet wird, kann einen bedeutenden Beitrag zur Wärmewende leisten. Durch effiziente Nutzungstechnologien kann diese Abwärme vor allem in Wärmenetzen in nutzbare Energie umgewandelt werden. In Abhängigkeit des Wärmeträgermediums und des Temperaturniveaus der anfallenden Abwärme kann diese ohne weiteres direkt in ein Wärmenetz eingespeist oder über eine hocheffiziente Wärmepumpe für ein Wärmenetz nutzbar gemacht werden. Auch eine Direktnutzung in Abwärme verursachenden Unternehmen ist möglich. Diese Praxis reduziert nicht nur den Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten, sondern verringert auch die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und mindert somit den CO_2-Ausstoß. Die Integration von Abwärme in die Energieversorgung trägt daher nicht nur zur Verbesserung der Energieeffizienz bei, sondern unterstützt auch die Ziele der Wärmewende in Amöneburg, indem sie einen nachhaltigen Weg zur Wärmebereitstellung bietet.

Seit Inkrafttreten des Energieeffizienzgesetzes (EnEfG) am 18. November 2023 und dem Start der bundesweiten Plattform für Abwärme Anfang 2025 wird der Zugang zu Informationen über industrielle Abwärmepotenziale deutlich verbessert. Die Plattform – betrieben durch die Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) im Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) – ermöglicht erstmals einen deutschlandweiten Überblick über gewerbliche Abwärmequellen. Grundlage ist § 17 Abs. 2 EnEfG.

Unternehmen mit einem jährlichen Gesamtenergieverbrauch von mehr als 2,5 GWh sind verpflichtet, ihre Abwärmemengen auf der Plattform zu melden und sowohl regelmäßig als auch bei Änderungen unverzüglich zu aktualisieren (§ 20 Abs. 4 EnEfG). Nach Aussetzung der ursprünglichen Frist erfolgte die erste verpflichtende Meldung nun zum 1. Januar 2025.

Ziel der Plattform ist es, industrielle Abwärme leichter für lokale Projekte nutzbar zu machen und so zur Steigerung der Energieeffizienz sowie zum Erreichen der nationalen Klimaziele beizutragen. Danach müssen folgende Informationen übermittelt werden.

1. Name des Unternehmens,
2. Adresse des Standortes oder der Standorte, an dem die Abwärme anfällt,
3. die jährliche Wärmemenge und maximale thermische Leistung,
4. die zeitliche Verfügbarkeit in Form von Leistungsprofilen im Jahresverlauf,
5. die vorhandenen Möglichkeiten zur Regelung von Temperatur, Druck und Einspeisung,
6. das durchschnittliche Temperaturniveau in Grad Celsius.

Abbildung 27: Inhalte der Plattform für Abwärme nach Energieeffizienzgesetz

Der Stadt Amöneburg und zukünftigen Wärmenetzbetreibern wird angeraten, neben der vorliegenden Analyse die Plattform für Abwärme zu Koordination und zur Kontaktaufnahme mit potenziellen Abwärmelieferanten zu nutzen.

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung wurde die Plattform für Abwärme des Bundes ausgewertet, die auf Basis des Energieeffizienzgesetzes potenzielle industrielle Abwärmequellen erfasst. Für das Untersuchungsgebiet konnte dabei kein relevantes Abwärmepotenzial identifiziert werden. Auch die ergänzende Auswertung des Wärmeatlas Hessen bestätigt diese Einschätzung: Es liegen keine bekannten industriellen oder gewerblichen Abwärmequellen mit nutzbarem Temperaturniveau oder ausreichender Verfügbarkeit im Untersuchungsgebiet vor.

Daraus ergibt sich, dass aktuell kein nutzbares Abwärmepotenzial für die kommunale Wärmeversorgung zur Verfügung steht. Die Integration industrieller Abwärme in zukünftige Wärmenetze kann somit auf absehbare Zeit nicht als realistische Option betrachtet werden. Sollte sich die Industriestruktur in Zukunft verändern oder neue Betriebe mit relevanter Prozessabwärme ansiedeln, wäre eine erneute Prüfung im Rahmen eines fortgeschriebenen Wärmeplans sinnvoll.

4.2.5 Biomasse

Im Kontext der erneuerbaren Energien versteht man unter Biomasse alle organischen Stoffe, die für die Energiegewinnung genutzt werden können. Diese können aus der Land- und Forstwirtschaft sowie aus der Abfallwirtschaft (Gewerbe, Kommune, private Haushalte) stammen. Biomasse ist gespeicherte Sonnenenergie in Form von Energiepflanzen, Holz oder Reststoffen wie etwa Stroh, Biomüll oder Gülle. Bioenergie ist unter den Erneuerbaren Energieträgern der „Alleskönner“: Sowohl Strom, Wärme als auch Treibstoffe können aus fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse gewonnen werden. Da Biomasse rund um die Uhr verfügbar und flexibel einsetzbar ist, kann ihr eine bedeutende Rolle bei der Wärmeversorgung auf Basis Erneuerbarer Energien zukommen. Besonders im Winter, wo viele der anderen Umweltquellen nicht zur Verfügung stehen, kann die Biomasse sinnvoll eingesetzt werden.

Feste Biomasse in holzartiger Form wird meist in Biomasseheizkesseln verfeuert. Anderweitige feste und flüssige Biomassen z.B. auf pflanzlicher oder tierischer Basis (Maissilage, Grassilage, Rindergülle, Hühnermist etc.) werden zu gasförmiger Biomasse umgewandelt, wozu Biogasanlagen benötigt werden. Es lässt sich in Blockheizkraftwerken (KWK-Anlage) zur Strom- und Wärmeproduktion verwenden oder in Biogaskesseln zur reinen Wärmeproduktion. Letztere sind vor allem zur Deckung von Spitzenlasten in Wärmenetzen von hoher Bedeutung. Alternativ kann Biogas in einem chemischen Prozess zu sog. Biomethan veredelt werden, welches sich in bestehende Gasnetze einspeisen lässt.

In den letzten Jahren ist die Diskussion über den Einsatz von Biomasse als erneuerbare Energien und nachhaltige Wärmequellen immer präsenter geworden. Biomasse wird dabei oft als vielversprechende Alternative zu fossilen Brennstoffen vor allem im ländlichen Raum mit einer hohen Biomasseverfügbarkeit gepriesen. Jedoch ist der Einsatz von fester Biomasse im innerstädtischen Bereich nicht frei von Kritik und Herausforderungen. Diese Kritikpunkte sollen zunächst aufgefasst werden, bevor der Einsatz von Biomasse in der Wärmeversorgung von Amöneburg diskutiert wird.

Luftverschmutzung und Gesundheitsrisiken: Biomasseanlagen, insbesondere Holzfeuerungen, setzen bei der Verbrennung Partikel und Schadstoffe frei, die die Luftqualität in städtischen Gebieten erheblich beeinträchtigen können. Feinstaub, Kohlenmonoxid und flüchtige organische Verbindungen können zu Atemwegsproblemen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und anderen Gesundheitsproblemen führen. Besonders für Menschen mit Atemwegs- oder Herzproblemen können diese Emissionen schwerwiegende Folgen haben.

Lärm- und Geruchsbelästigung: Biomasseanlagen können auch zu Lärm- und Geruchsbelästigungen führen, die das Wohlbefinden und die Lebensqualität der Anwohner beeinträchtigen. Der Betrieb von Biomasseanlagen kann zu kontinuierlichem Lärm durch den Betrieb von Maschinen und Gebläsen sowie zu unangenehmen Gerüchen durch die Verbrennung von Biomasse führen. Eine Aufstellung in der Nähe zu dichtbesiedelten Gebieten sollte gerade bei Holzfeuerung vermieden werden oder zumindest darauf geachtet werden, dass die Hauptwindrichtung vor Ort die Rauchgase von den Gebieten wegträgt.

Platzbedarf und Logistik: Der Einsatz von Biomasseanlagen erfordert oft beträchtliche Mengen an Platz für die Lagerung von Brennstoffen wie Holzpellets oder Hackschnitzel. In innerstädtischen Gebieten, wo der Raum bereits begrenzt ist, kann dies zu Herausforderungen führen. Zusätzlich erfordern der Transport und die Logistik der Biomasse einen regelmäßigen Zustrom von Fahrzeugen, was den Verkehr und die Belastung der Straßeninfrastruktur erhöhen kann. Werkhöfe von Stadtwerken sind häufig eine gute Möglichkeit zur Aufstellung.

Konkurrenz zu anderen Nutzungen: Die Nutzung von Biomasse als Brennstoff kann auch mit anderen wichtigen städtischen Nutzungen konkurrieren, wie beispielsweise der Nutzung von Biomasse als Rohstoff für die Lebensmittelproduktion oder die biologische Vielfalt. Die intensive Nutzung von Biomasse für energetische Zwecke kann zu Konflikten mit der Nahrungsmittelproduktion oder der Erhaltung von Ökosystemen führen.

Abbildung 28 vergleicht, wie flächenintensiv verschiedene Wärmequellen sind. Biomasse benötigt zwar mehr Fläche als andere potenzielle Wärmequellen, ermöglicht jedoch – standortabhängig – die Nutzung von Ressourcen, die andernfalls ungenutzt bleiben würden. Die Abbildung verdeutlicht, in welcher Größenordnung der Wärmebedarf durch eine systematische Sanierung des Gebäudestandes reduziert werden kann.

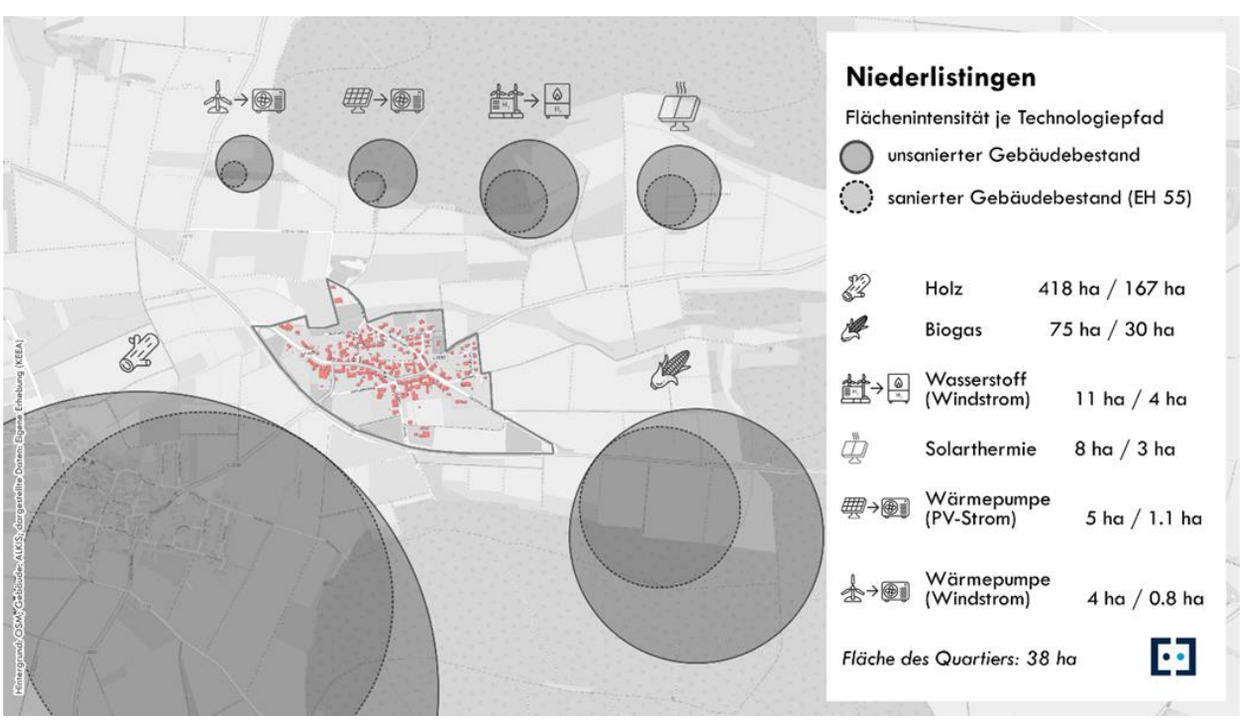


Abbildung 28: Flächenintensität verschiedener (nachhaltiger) Wärmeenergiequellen (exemplarisch) [11]

<u>Feste Biomasse aus Agrar- und Waldflächen</u>

Die Karte in Abbildung 29 zeigt das theoretische Biomassepotenzial aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen im Untersuchungsgebiet. Grundlage der Berechnung ist eine modellhafte energetische Verwertung in einer fiktiven Biogasanlage mit einem angenommenen thermischen Wirkungsgrad

von 60 %. Dabei wird unterstellt, dass nur ein begrenzter Anteil der Flächen für Energiepflanzen zur Verfügung steht, um Nutzungskonflikte mit der Nahrungsmittelproduktion und ökologischen Flächen zu vermeiden. Auch Aspekte wie Bodenschutz, Biodiversität und Fruchtfolgen wurden in der Potenzialabschätzung berücksichtigt. Auf dieser Basis ergibt sich ein theoretisches Biomassepotenzial von rund 51,1 GWh pro Jahr.

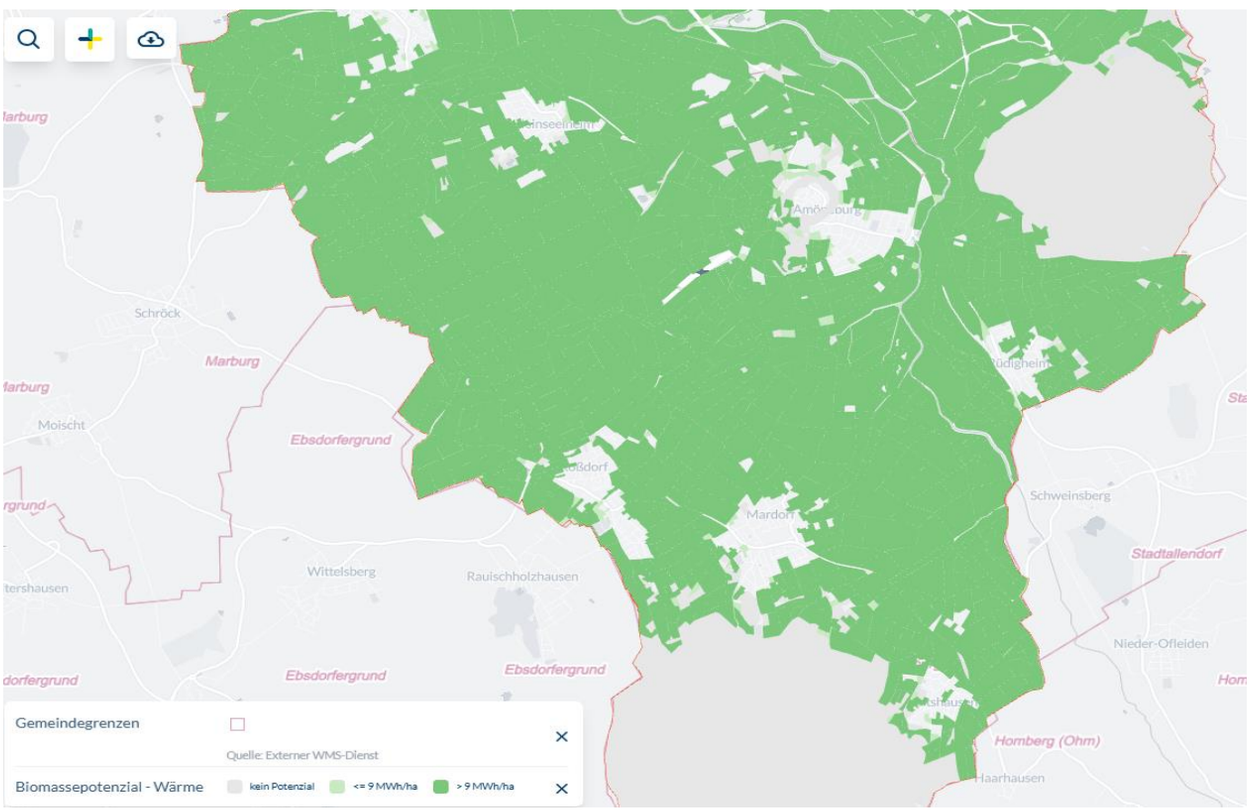


Abbildung 29: theoretisches Potenzial aus Agrar- und Waldflächen [3]

Damit ließen sich rein rechnerisch etwa 54 % des jährlichen Wärmebedarfs der Kommune abdecken. Logistische Faktoren wie Transportaufwand, Lagerung und saisonale Verfügbarkeit spielen eine Rolle bei der realen Nutzbarkeit dieses Potenzials.

<u>Gasförmige Biomasse</u>

In Amöneburg existieren zwei Biogasanlagen, an denen das Biogas in Blockheizkraftwerken in Strom und Wärme umgewandelt wird. Die erzeugte Wärme wird in die vorhandenen Wärmenetze eingespeist (vgl. Kapitel 3.6).

4.2.6 Großwärmespeicher

Wärmespeicher kommen in einem Großteil von Wärmesystemen zum Einsatz. Sie ermöglichen die effiziente Nutzung und Verteilung von Wärme, indem sie zeitliche Diskrepanzen zwischen Wärmeproduktion und -verbrauch ausgleichen. Während in heutigen Systemen häufig Pufferspeicher genutzt werden, um Spitzenlasten in der Wärme zu decken und einen technisch und ökonomisch sinnvollen Anlagenbetrieb zu gewährleisten, können in Zukunft größere und sogar saisonale Speicher relevant werden. Besonders bei der Integration erneuerbarer Energiequellen wie Solarthermie oder verschiedene Umweltwärmequellen sind Wärmespeicher unverzichtbar, da diese Energiequellen oft unregelmäßig verfügbar sind und teilweise eine saisonale Speicherung erfordern. Durch die Speicherung überschüssiger Wärme während Zeiten geringer Nachfrage und deren Abgabe bei Spitzenlasten können Wärmenetze stabil und wirtschaftlich betrieben werden. Die wirtschaftliche Komponente ergibt sich vor allem in Zeiten

dynamischer Strompreise für (Groß-)Wärmepumpen. Bei geringen Strompreisen können die Wärmepumpen Wärme vorproduzieren, welche zunächst gespeichert und in Zeiten höherer Strompreise im Wärmenetz verteilt wird, währenddessen die Wärmepumpen ausgeschaltet bleiben können. Dies trägt nicht nur zur Reduktion von CO_2-Emissionen bei (da günstige Strompreise vor allem bei Wind- und Solarstromüberschüssen vorliegen), sondern fördert auch die Versorgungssicherheit und die Flexibilität im Umgang mit volatilen Energiequellen.

Bei Einsatz von Freiflächensolarthermieanlagen ist der Einsatz von großen Saisonalspeichern eine Option, um die vor allem im Sommer und Spätsommer zur Verfügung stehende Wärme für das Winterhalbjahr, d.h. die Saison mit hohem Wärmebedarf, nutzbar zu machen. Solche Saisonalwärmespeicher sind jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden, ihre Wirtschaftlichkeit muss besonders bei kleinen Bestandsnetzen wie in Amöneburg eingehend geprüft werden.

4.2.7 Power-to-X (Windkraft & PV)

Unter Power-to-X (PtX) und synthetischen Brennstoffen wird in diesem Kapitel zum einen die Möglichkeit zur lokalen Durchführung von Power-to-X-Prozessen aus Überschussstrom erörtert. Für eine zielgerichtete Durchführung von Power-to-X-Prozessen wird Überschussstrom im Stromnetz benötigt. Dieser kann entweder gespeichert werden („Power-to-Power“), in Wärme umgewandelt werden („Power-to-Heat“) oder über Elektrolyse („Power-to-Gas“) in verschiedene synthetische Brennstoffe umgewandelt werden, wie z.B. Wasserstoff und Methan.

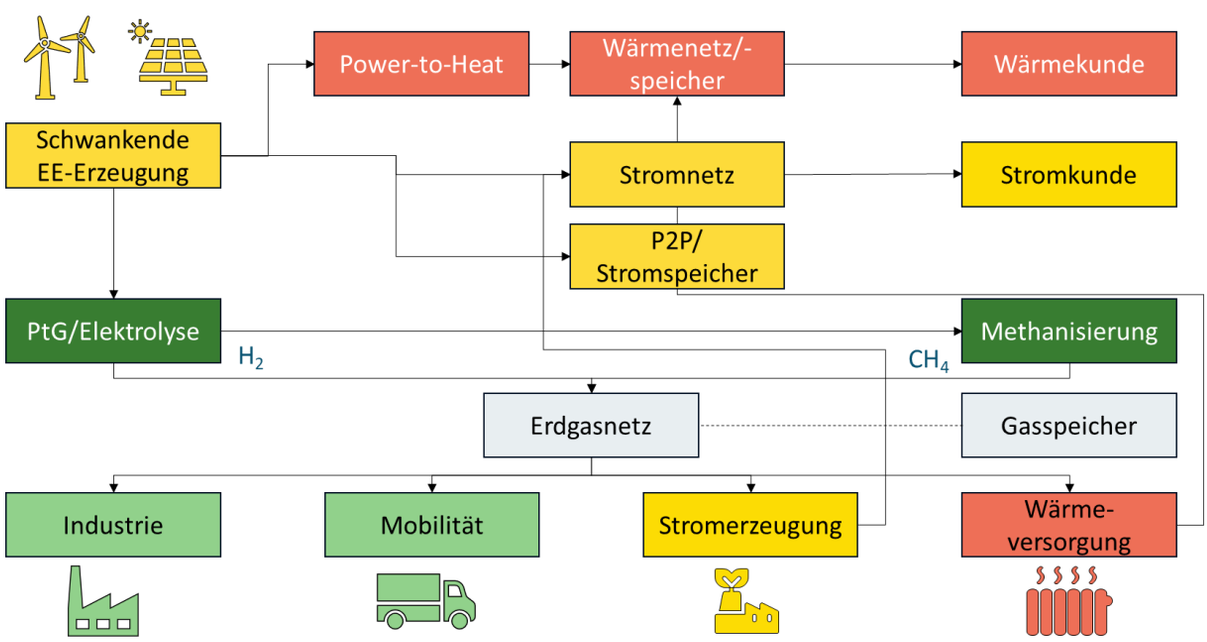


Abbildung 30: Übersicht verschiedener Power-to-X Prozesse

Bei der Umwandlung von Strom in gasförmige Energieträger, etwa im Rahmen von Power-to-Gas-Prozessen, treten jedoch hohe Umwandlungsverluste auf – insbesondere bei der anschließenden Rückverstromung. Die Vorteile solcher Verfahren liegen allerdings in der vergleichsweise günstigen und langfristigen Speicherbarkeit der erzeugten Gase. Während thermische Energie nur kurzfristig und unter erheblichen Speicherverlusten (z. B. durch Abkühlung, Isolation, Platzbedarf) gespeichert werden kann, lassen sich Gase wie Wasserstoff oder Methan in bereits vorhandenen Gasspeichern oder -netzen längerfristig und saisonal puffern.

Somit eröffnet Power-to-Gas das Potenzial, Sommerstromüberschüsse saisonal in den Winter zu verschieben, um dort etwa zur Deckung von Heizbedarfen beizutragen. Power-to-Heat-Anwendungen

hingegen sind technisch einfacher und kostengünstiger, stoßen jedoch an ihre Grenzen, wenn es um Langzeitspeicherung geht. Ein zentrales Hemmnis für die großtechnische Umsetzung von Power-to-Gas sind die hohen Investitionskosten für Elektrolyseure, Speichertechnik und Verteilinfrastruktur sowie die derzeit noch fehlende Wirtschaftlichkeit ohne Förder- oder Anreizsysteme.

Die folgende Übersicht zeigt die derzeit installierten Stromerzeugungsleistungen im Untersuchungsgebiet Amöneburg – aufgeschlüsselt nach den wichtigsten Technologien:

- Photovoltaik: 7 MW
- Windkraft: 18 MW
- Stromspeicher: 0,9 MW

Aus diesen Werten ergibt sich ein grundsätzliches Potenzial zur Erzeugung von Überschussstrom – insbesondere in wind- und sonnenreichen Zeiten. Die tatsächlich nutzbare Menge an Überschussstrom sowie daraus ableitbare Jahreswärmemengen durch Power-to-X-Prozesse lassen sich jedoch aktuell nicht belastbar prognostizieren. Gründe hierfür sind unter anderem die wachsende Zahl privater Stromspeicher, die Konkurrenz zur Einspeisevergütung, volatil erzeugte Strommengen sowie eine unklare Entwicklung des zukünftigen Ausbaus erneuerbarer Anlagen.

Daher kann zum jetzigen Zeitpunkt auch nicht abgeschätzt werden, in welchem Umfang Power-to-X-Anwendungen zur Deckung des künftigen Wärmebedarfs in Amöneburg beitragen könnten. Grundsätzlich bleiben sie aber eine zukunftsorientierte Ergänzung im Energiemix – vor allem im Hinblick auf eine zunehmende Sektorenkopplung und das langfristige Ziel der Dekarbonisierung.

4.2.8 Regionale Stoffkreisläufe

Die thermische Nutzung regionaler Stoffkreisläufe bietet grundsätzlich eine Möglichkeit, die Nachhaltigkeit und Effizienz der Wärmeversorgung zu verbessern. Dabei werden lokale Ressourcen wie biogene Abfälle oder organische Materialien gezielt genutzt, um Wärmeenergie zu erzeugen und diese in ein Wärmenetz einzuspeisen. Die Erzeugung kann dabei in dedizierten Müllverbrennungsanlagen oder als Mitverbrennung in großen fossilen Kraftwerken realisiert werden. Neben einer Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen kann die thermische Nutzung regionaler Stoffkreisläufe auch zur Minimierung von Umweltbelastungen beitragen, indem sie die Emissionen und den Ressourcenverbrauch verringern. Darüber hinaus stärkt sie die regionale Wertschöpfung, indem sie lokale Wirtschaftskreisläufe fördert und gegebenenfalls sogar Arbeitsplätze schafft. Eine integrierte Nutzung regionaler Stoffkreisläufe in der Wärmeplanung kann daher ein wichtiger Baustein auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Energieversorgung sein. Auf dem Untersuchungsgebiet Amöneburg befindet sich derzeit keine Müllverbrennungsanlage. Aufgrund der hohen Investitionen ist eine solche für die Zukunft nicht vorgesehen. Daher besteht kein technisch nutzbares Wärmepotenzial aus lokaler thermischer Abfallbehandlung.

5 Zielszenario und Entwicklungspfade

Das Zielszenario stellt den angestrebten Endzustand einer klimaneutralen Wärmeversorgung dar. Zunächst muss auf Grundlage der Erkenntnisse aus der Bestands- und Potenzialanalyse die Einteilung in verschiedene Versorgungsgebiete vorgenommen werden. Gemäß §17 WPG werden zur Bestimmung des maßgeblichen Zielszenarios unterschiedliche jeweils zielkonforme Szenarien betrachtet, die insbesondere die voraussichtliche Entwicklung des Wärmebedarfs innerhalb des beplanten Gebiets sowie die Entwicklung der für die Wärmeversorgung erforderlichen Energieinfrastrukturen berücksichtigen. Aus diesen Szenarien wird für das Planungsgebiet das maßgebliche Zielszenario unter Darlegung der Gründe entwickelt. Anschließend wird unter Berücksichtigung spezifischer Annahmen für jedes Teilgebiet eine Simulation der Entwicklung von Wärmeversorgungsarten und Wärmemengen für die Stützjahre 2030, 2035 und 2040 vorgenommen, um somit den Entwicklungspfad zu bestimmen, der zum Zielszenario führen soll.

5.1 Voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete

Im Rahmen des Zielszenarios ist es besonders wichtig, Teilgebiete zu bestimmen, in denen die Nutzung und der Betrieb spezifischer Versorgungslösungen effizient und wirtschaftlich realisierbar erscheinen. Dabei unterscheidet dieser Bericht vier unterschiedliche Gebietskategorien:

1. **Wärmenetzgebiet**
   Teilgebiet, das gemäß den festgelegten Kriterien grundsätzlich für den Aufbau von Wärmenetzen geeignet ist.
2. **Wasserstoffnetzgebiet**
   Teilgebiet, in dem der Aufbau eines Wasserstoffnetzes langfristig vorgesehen oder geplant ist.
3. **Einzelversorgungsgebiet**
   Teilgebiet, das nicht für eine Erschließung mit Wärme- oder Wasserstoffnetzen vorgesehen ist. In diesen Bereichen erfolgt die Wärmeerzeugung individuell für jedes Gebäude (z.B. mittels Wärmepumpe, Biomasse, etc.).
4. **Prüfgebiet**
   Ein Teilgebiet, das nicht in eines der vorgenannten Gebietsarten eingeteilt werden soll, weil die für eine Einteilung erforderlichen Umstände noch nicht ausreichend bekannt sind oder in welchem ein erheblicher Anteil der ansässigen Letztverbraucher durch leitungsgebunden grünes Methan versorgt werden soll, in Einklang mit einem noch zu erstellendem Gasnetztransformationsplan.

Die präzise Kategorisierung dieser Gebiete ermöglicht eine zielgerichtete Planung und trägt dazu bei, die Weichen für eine nachhaltige, klimaneutrale Wärmeversorgung zu stellen. Gerade Wärmenetze stellen eine zentrale Technologie für die klimafreundliche Wärmeversorgung der Zukunft dar. Sie ermöglichen eine effiziente Verbindung zwischen Wärmesenken und erneuerbaren Energiequellen, wodurch eine leitungsgebundene und nachhaltige Versorgung gewährleistet wird. Da der Ausbau solcher Netze jedoch mit hohen Kosten sowie erheblichem Planungs-, Erschließungs- und Bauaufwand verbunden ist, ist eine sorgfältige Auswahl potenzieller Versorgungsgebiete von zentraler Bedeutung. Diese Gebiete müssen in anschließenden Untersuchungen detailliert geprüft werden.

Im Folgenden wird das Vorgehen für die Bestimmung einer jeden Kategorie dargestellt sowie die sich daraus ergebenden Gebiete.

5.1.1 Einteilung in Wärmenetzgebiete

Die Festlegung von Eignungsgebieten für Wärmenetze stellt einen zentralen Aspekt der kommunalen Wärmeplanung dar und bildet die Basis für nachfolgende Planungen und Investitionsentscheidungen. Um jedoch belastbare Entscheidungen zur endgültigen Abgrenzung von Wärmenetzversorgungsgebieten treffen zu können, sind weiterführende Analysen notwendig, wie beispielsweise Machbarkeitsstudien.

In der kommunalen Wärmeplanung für Amöneburg wurden potenzielle Wärmenetzgebiete anhand mehrerer Kriterien identifiziert.

A. Mindestens 15 zusammenhängende Straßen bzw. Straßenabschnitte mit einer Wärmeliniendichte von mindestens 2.000 kWh je Trassenmeter
B. Vorhandene potenzielle Ankerkunden (vor allem kommunale Gebäude)
C. Vorhandene und erschließbare EE-Potenziale
D. Lokale Spezifika (z.B. bereits vorhandene oder geplante Wärmenetze)

Die folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Wärmeliniendichten im Planungsgebiet mit farblicher Untergliederung. Dabei lässt sich erkennen, dass **Kriterium A** vor allem in der Kernstadt, Mardorf und Roßdorf erfüllt ist.

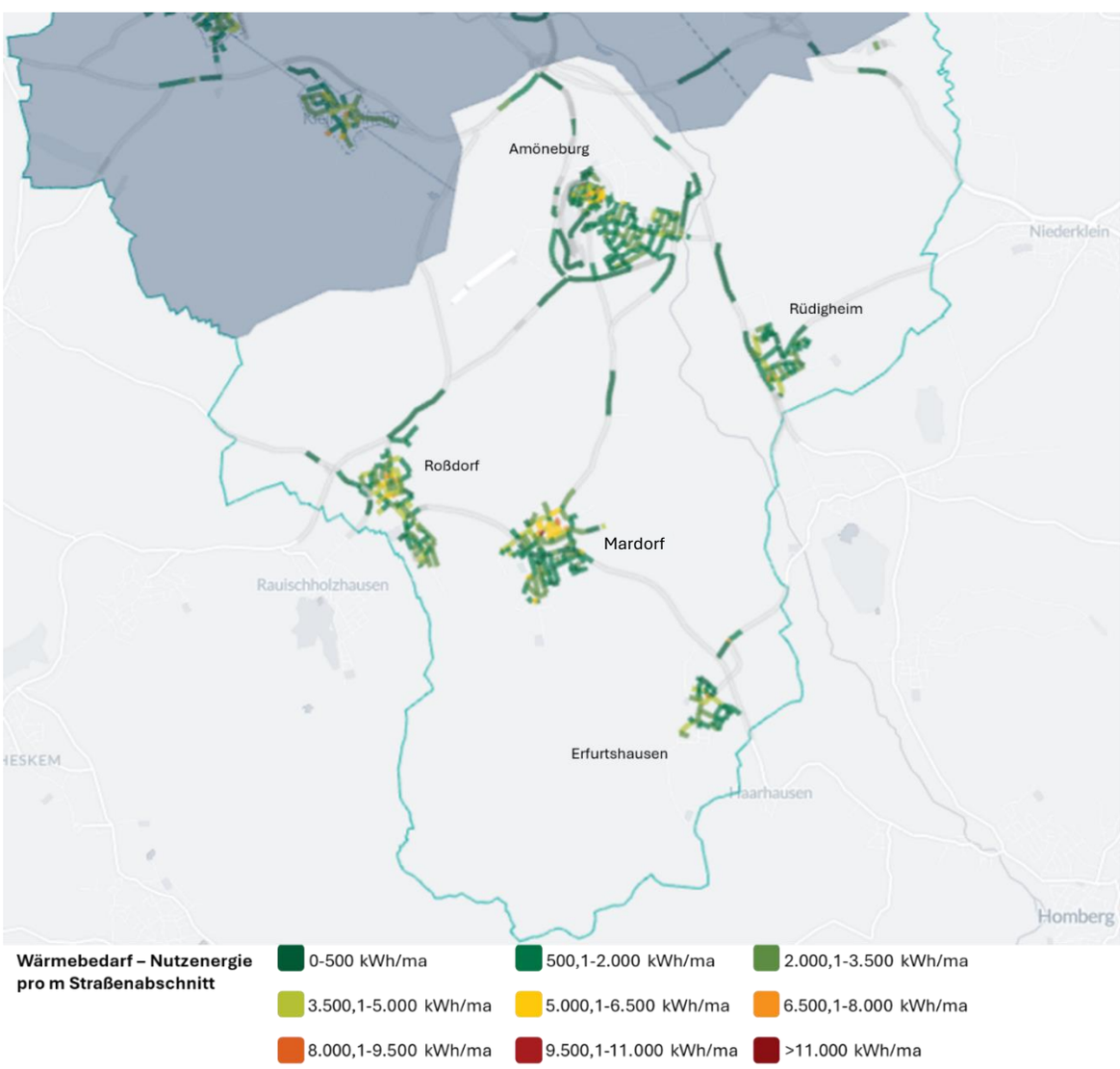


Abbildung 31: Kriterium A - Wärmeliniendichten im Planungsgebiet [3]

Die nachfolgende Tabelle zeigt die durchschnittliche Wärmeliniendichte in den jeweiligen Teilgebieten bei einer theoretischen Erschließung in jeder Straße sowie einer Anschlussquote von 100 %. Die Werte werden ermittelt auf Basis des Gesamtwärmebedarfs sowie der Gesamt-Straßenlänge des Teilgebiets und dienen als grober Indikator für die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Wärmeliniendichte in einem realen Wärmenetz aufgrund der individuellen Netzführung höher oder niedriger ausfallen kann. Auf Grundlage der Werte gilt Kriterium A für keines der Teilgebiete als erfüllt.

Teilgebiet / Stadtteil	Wärmeliniendichte [kWh/(m*a)]
Kernstadt Amöneburg	1.056
Erfurtshausen	1.229
Mardorf	1.120
Roßdorf	1.072
Rüdigheim	725

Tabelle 2: Theoretische Wärmeliniendichte je Teilgebiet

Ferner existieren in allen Stadtteilen Amöneburgs kommunale Gebäude (**Kriterium B**), die als Ankerkunden eines künftigen Wärmenetzes in Betracht gezogen werden könnten, um initial einen hohen Wärmeabsatz zu ermöglichen und damit die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes zu verbessern. Die folgende Abbildung zeigt die genaue Lage der kommunalen Liegenschaften. In den Stadtteilen Erfurtshausen und Mardorf sind die kommunalen Liegenschaften bereits an die dort bestehenden Wärmenetze angeschlossen.

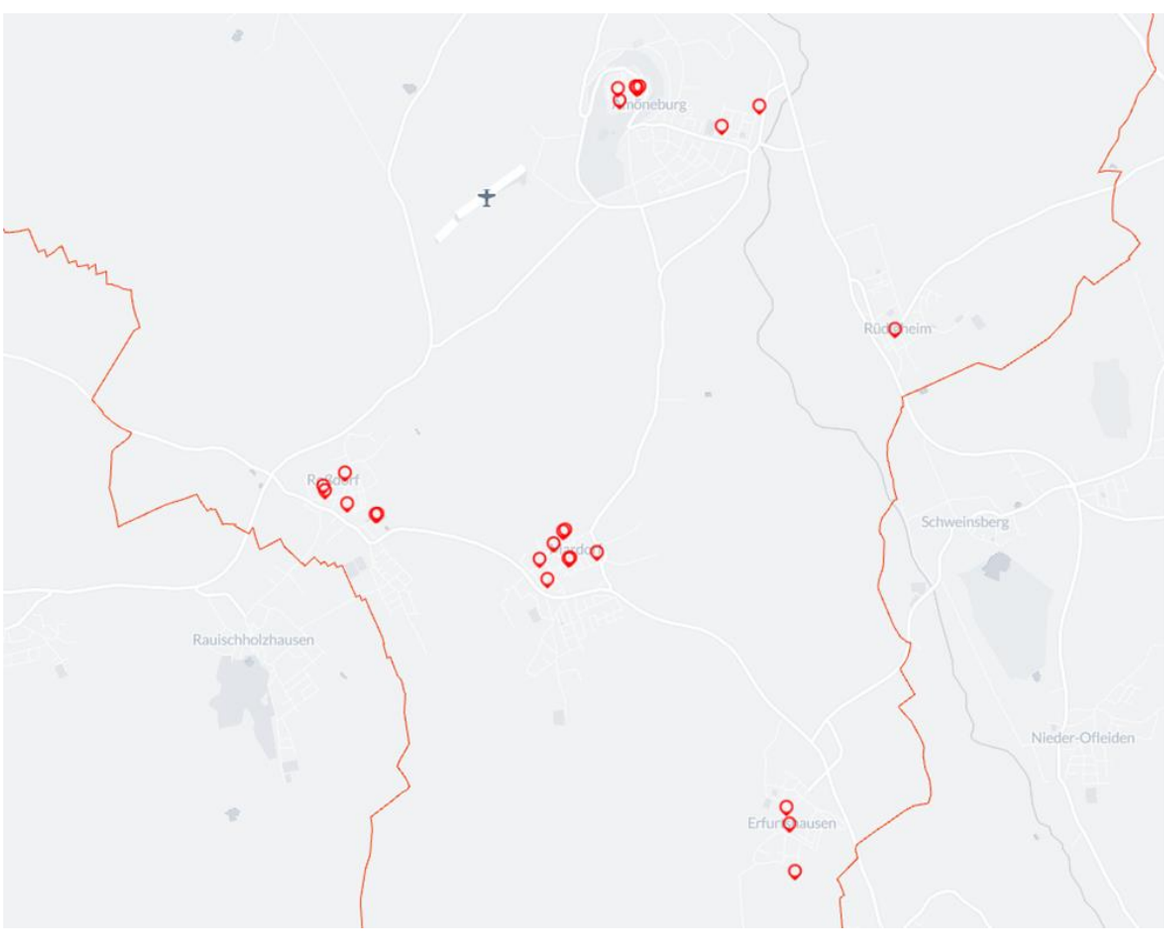


Abbildung 32: Kriterium B - Kommunale Gebäude im Planungsgebiet [2]

Im Kapitel Potenzialanalyse konnten keine geografisch eindeutigen Potenziale ermittelt werden. Solarthermie oder oberflächennahe Geothermie sind theoretisch vorhanden, jedoch nicht eindeutig zu lokalisieren. Das **Kriterium C** ist insofern nicht unmittelbar erfüllt.

Zu lokalen Spezifika (**Kriterium D**) zählen Aspekte, die den individuellen Charakter eines Planungsgebiets bzw. dessen Teilgebiete berücksichtigen. Denkbar sind hier beispielsweise baulich bedingten Einschränkungen für Tiefbauarbeiten, aber auch bestehende oder konkret geplante Wärmenetze. Insofern lokale Akteure, unabhängig von dieser Wärmeplanung, die technische und wirtschaftliche Realisierung eines Wärmenetzes in einem Teilgebiet unter Beweis gestellt haben, soll diese Wärmeplanung dem Rechnung tragen, indem die entsprechenden Teilgebiete als Wärmenetzeignungsgebiet (bei bestehenden oder konkret geplanten Wärmenetzen) klassifiziert werden. Darüber hinaus kann ein Teilgebiet als Prüfgebiet klassifiziert werden, insofern es in diesem Gebiet deutliche Bestrebungen zur Errichtung von Wärmenetzen gibt (beispielsweise im Rahmen einer genossenschaftlichen Initiative). Die existierenden Wärmenetze wurden in Kapitel 3 erschöpfend dargestellt und werden in der nächsten Abbildung nochmals auf einer Karte für das gesamte Plangebiet dargestellt.

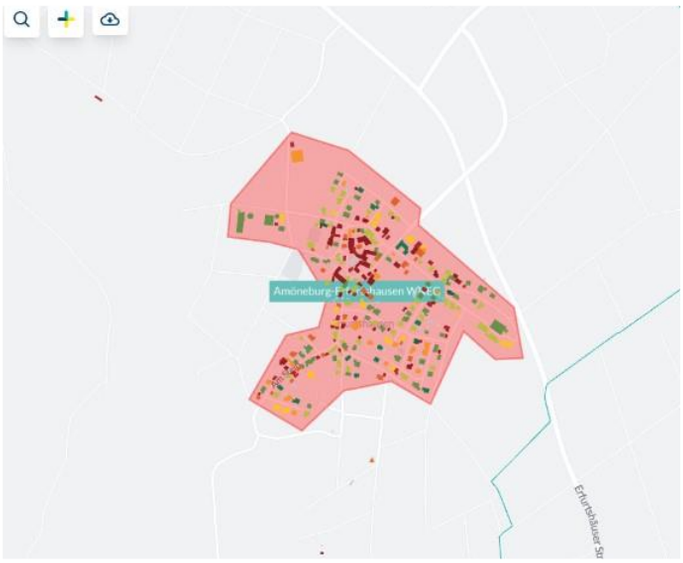
Abbildung 33: Kriterium D - vorhanden oder geplante Wärmenetze im Planungsgebiet [2]

Aus den vorgenannten Betrachtungen werden die folgenden Wärmenetzeignungsgebiete abgeleitet:

Fernwärmenetzgebiet
Erfurtshausen

- **wahrscheinlich geeignet**
- Entscheidungskriterium: D

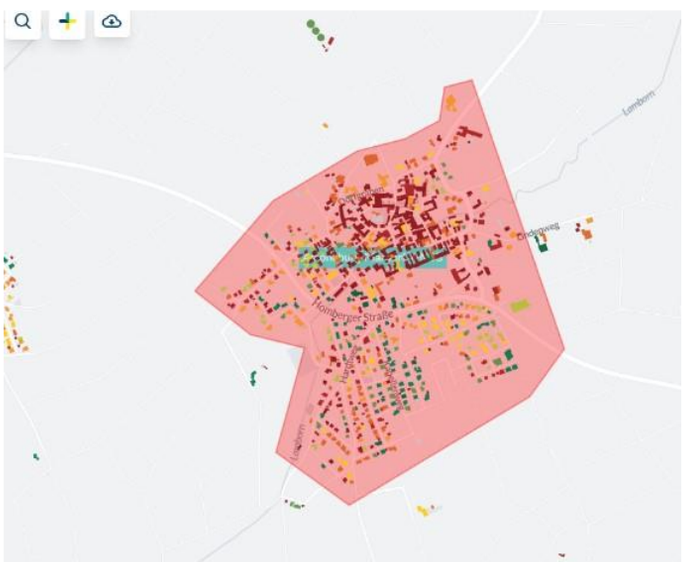
- Wärmebedarf aktuell: **7,5 GWh/a**
- Anzahl Gebäude (Adressen) : **197**
- **Wärmequelle** aus bestehender oder zu erweiternder Heizzentrale (Biomasse)



Fernwärmenetzgebiet
Mardorf

- **wahrscheinlich geeignet**
- Entscheidungskriterium: D

- Wärmebedarf aktuell: **26,8 GWh/a**
- Anzahl Gebäude (Adressen) : **577**
- **Wärmequelle** aus bestehender oder zu erweiternder Heizzentrale (Biomasse)



Fernwärmenetzgebiet
Rüdigheim

- **wahrscheinlich geeignet**
- Entscheidungskriterium: D – Wärmenetz in Planung

- Wärmebedarf aktuell: **9,7 GWh/a**
- Anzahl Gebäude (Adressen) : **191**
- **Wärmequelle:** Solarthermie

Abbildung 34: Wärmenetzeignungsgebiete

Weitere detaillierte Prüfungen zur praktischen Realisierbarkeit von Wärmenetzen bzw. deren Erweiterung in den Wärmenetzgebieten sollten vorgenommen werden. Für eine fundierte Bewertung wären

umfassende Analysen der topografischen und geologischen Gegebenheiten erforderlich, ebenso wie infrastrukturelle und wirtschaftliche Abwägungen. Es ist daher möglich, dass einige in diesem Bericht ausgewiesene Wärmeteilgebiete oder Abschnitte davon bei näherer Betrachtung aufgrund der genannten Faktoren als ungeeignet eingestuft werden könnten.

5.1.2 Einteilung in Wasserstoffnetzgebiete

Wie bereits in Kapitel 2.4 dargelegt, liegt Amöneburg in relativer Nähe zur Stadt Marburg, die im Rahmen des Ausbaus des „regionalen Wasserstoff-Backbone Nord- und Mittelhessen“ voraussichtlich zwischen 2032 und 2037 an das überregionale Wasserstoffnetz angeschlossen wird. Die Nähe zu dieser Infrastruktur eröffnet theoretisch auch für Amöneburg Perspektiven zur Nutzung von Wasserstoff. Da jedoch eine große Zahl industrieller Abnehmer in Amöneburg nicht vorhanden ist, erscheint der Anschluss an ein künftiges Wasserstoffnetz aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten unwahrscheinlich. Auch liegen zum aktuellen Zeitpunkt keine entsprechenden Planungen vor. Ein Wasserstoffnetzgebiet wird daher für das Planungsgebiet Amöneburg nicht ausgewiesen.

5.1.3 Einteilung in Prüfgebiete

Wie zuvor erläutert, wird ein Prüfgebiet dann ausgewiesen, wenn für ein Teilgebiet die Rahmenbedingungen auf eine potenzielle Eignung für ein Wärmenetz hinweisen. In Roßdorf besteht ein konkretes Interesse am Aufbau eines Wärmenetzes, sodass hier ein entsprechendes Entscheidungskriterium vorliegt. Der aktuelle Wärmebedarf beläuft sich auf 22,8 GWh pro Jahr, verteilt auf rund 810 Wohngebäude. Aufgrund dieser Größenordnung und des beabsichtigten Vorhabens wird Roßdorf als Prüfgebiet ausgewiesen.

Prüfgebiet
Roßdorf

- Entscheidungskriterium: beabsichtigtes Wärmenetz (Nahwärmeinitiative)

- Wärmebedarf aktuell: **22,8 GWh/a**
- Anzahl Gebäude (Adressen): **435**

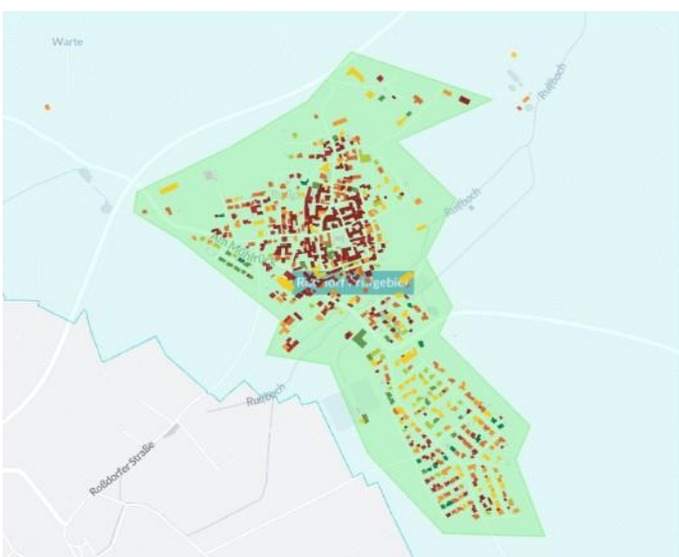


Abbildung 35: Prüfgebiete

5.1.4 Einteilung Einzelversorgungsgebiete

Gebiete, welche für eine Einteilung in die vorgenannten Versorgungsgebietsarten nicht infrage kommen, werden als Einzelversorgungsgebiete deklariert. Sie eignen sich nicht als Wärmenetzgebiete, da sie über keine ausreichende Wärmeliniendichte verfügen, nur wenige oder keine potenzielle Ankerkunden (vor allem kommunale Gebäude) sich in den Gebieten befinden und/oder keine vorhandenen bzw. erschließbaren EE-Potenziale oder Abwärmepotenziale dort existieren. Für Wasserstoff- oder Biomethanversorgung eignen sie sich ebenfalls nicht, da dort keine Gasnetzinfrastruktur existiert oder ausreichende industrielle Großverbraucher. Bei den Einzelversorgungsgebieten handelt es sich um alle

weiteren Stadtteile und Siedlungsgebiete, die nicht in den vorherigen Einteilungen genannt wurden. Sie werden zu einem Einzelversorgungsgebiet zusammengefasst. Eine Darstellung dessen zeigt die folgende Abbildung. Aufgrund der dünnen Siedlungsstruktur in dem Einzelversorgungsgebiet beinhaltet dieses trotz seiner großen Fläche lediglich 1.099 Gebäude.

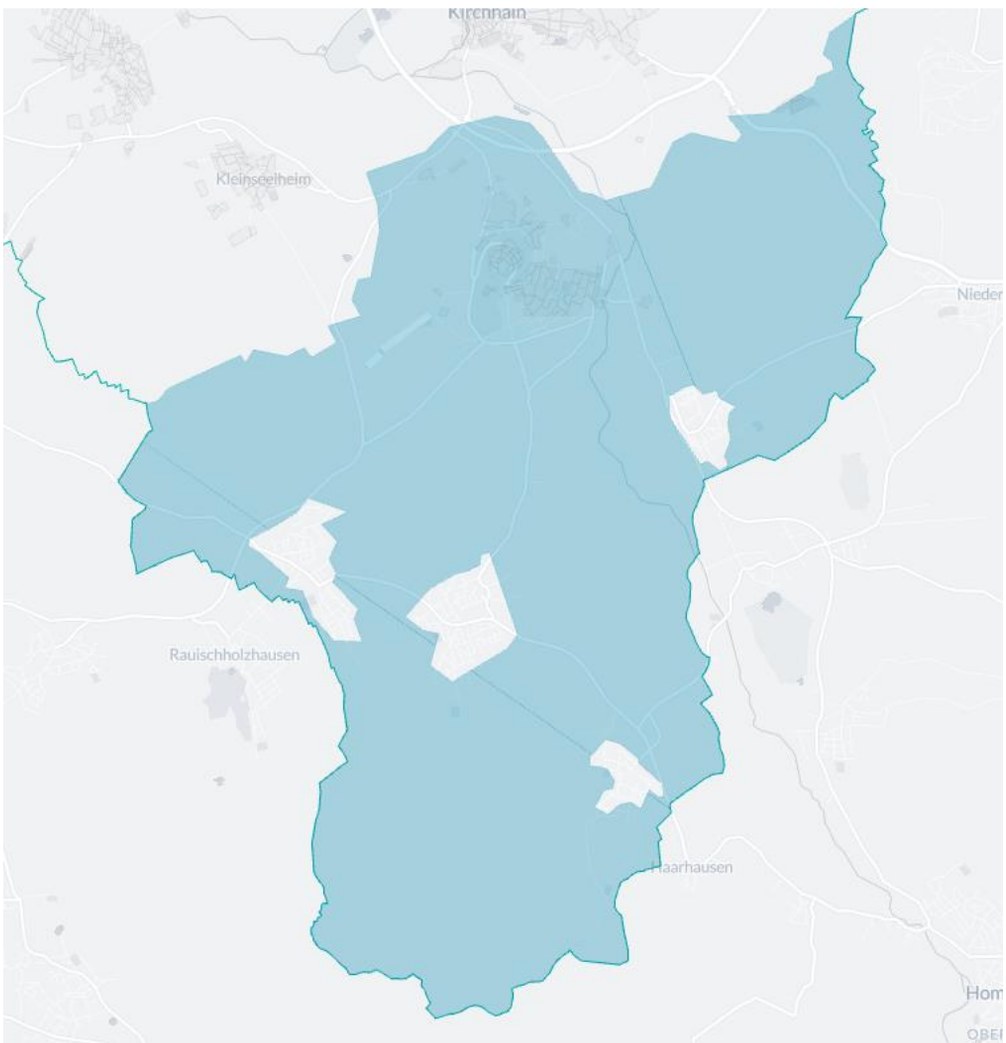


Abbildung 36: Einzelversorgungsgebiete (blau)

<u>Möglichkeiten einer dezentralen Versorgung</u>

Im Kontext der kommunalen Wärmeplanung stellt die dezentrale Wärmeversorgung eine zentrale Option für Einzelversorgungsgebiete dar. Unter den verfügbaren Technologien gewinnt insbesondere die Wärmepumpe an Bedeutung. Sie bietet die Möglichkeit, Wärme aus der Umgebungsluft effizient zu nutzen und eignet sich somit als nachhaltige Alternative zu zentralen, fossilen Heizsystemen. Im Zuge des anstehenden Austauschs veralteter, fossiler Heizungsanlagen gilt die Wärmepumpe – sowohl in geothermischer Ausführung als auch auf Basis von Umgebungsluft – als eine wirtschaftlich tragfähige und zukunftsorientierte Lösung. Aufgrund der in Kapitel 4.2.1 vorgestellten Ergebnisse wird die geothermische Ausführung in dem Untersuchungsgebiet jedoch vermutlich eine untergeordnete Rolle spielen im Vergleich zur Ausführung auf Basis von Umgebungsluft.

Für Bestandsgebäude mit einem Bedarf nach hohen Vorlauftemperaturen bietet sich hingegen der Einsatz von Pelletheizungen an. Diese Form der Biomasseverfeuerung kann eine wichtige Ergänzung im dezentralen Versorgungsmix darstellen, insbesondere in Regionen, in denen erneuerbare Wärmequellen nicht durchgängig verfügbar sind. Um die Vorteile beider Systeme zu kombinieren, empfiehlt sich in manchen Anwendungsfällen der Einsatz einer Hybridlösung aus Pelletheizung und Wärmepumpe. Diese Kombination ermöglicht eine flexible Anpassung an wechselnde Energiebedarfe, steigert die Versorgungssicherheit und unterstützt die schrittweise Reduktion fossiler Energieträger im Wärmesektor.

5.1.5 Einstufung der voraussichtlichen Wärmeversorgungsgebiete

Zusammenfassend sind in der folgenden kartografischen Darstellung alle Wärmeversorgungsgebiete abgebildet:

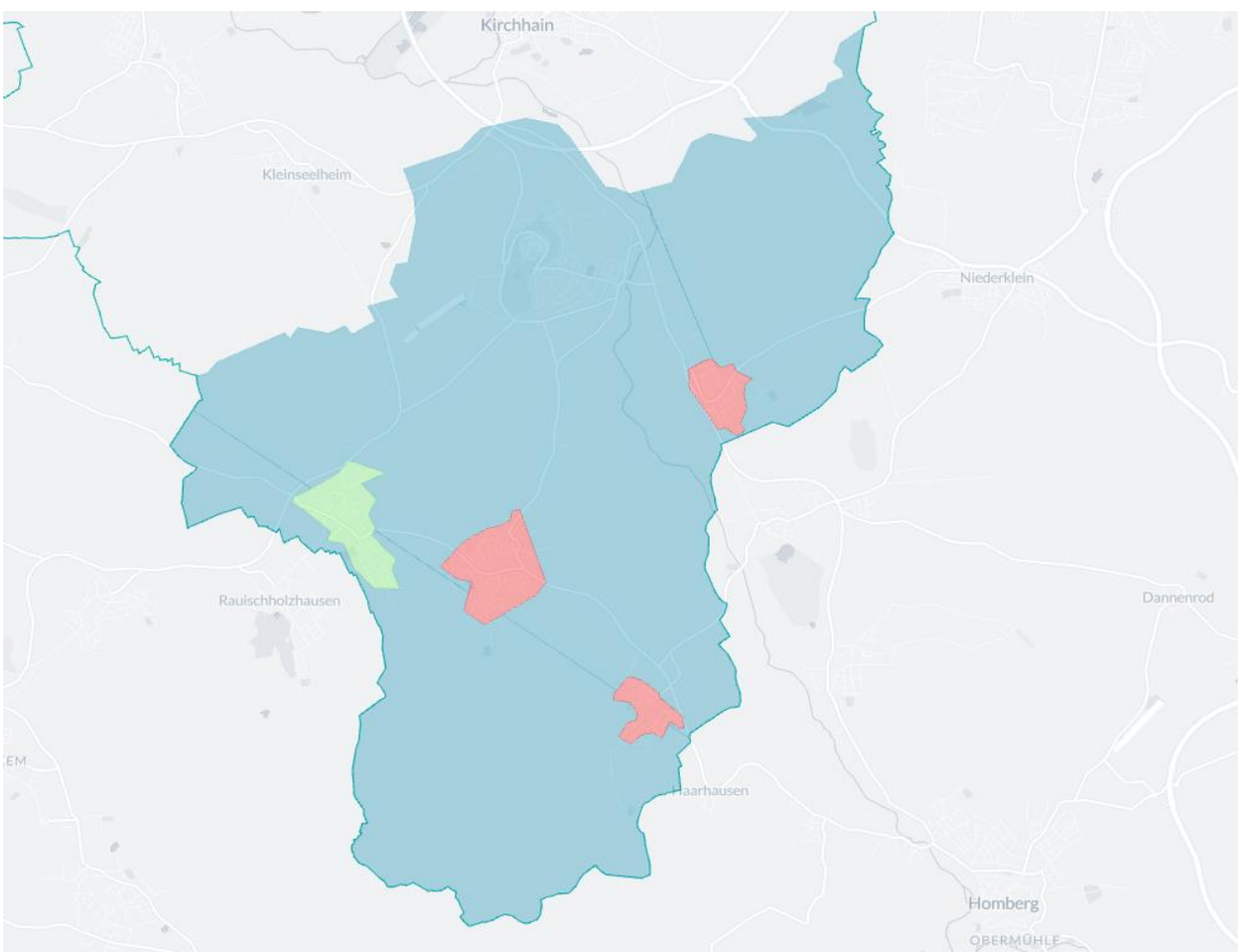


Abbildung 37: Wärmenetzeignungsgebiete (rot), Prüfgebiete (grün), Einzelversorgungsgebiet (blau)

In der nachfolgenden Tabelle werden die Gebiete und ihre abschließende Beurteilung für die Wärmeversorgungsart aufgeführt.

Gebiet	Wärmenetz Eignung	Wasserstoffnetz Eignung	Einzelversorgung Eignung	Abschließende Empfehlung	Begründung
Erfurtshausen	wahrscheinlich geeignet	sehr wahrscheinlich ungeeignet	wahrscheinlich geeignet	Wärmenetzgebiet	bestehendes Wärmenetz
Mardorf	wahrscheinlich geeignet	sehr wahrscheinlich ungeeignet	wahrscheinlich geeignet	Wärmenetzgebiet	bestehendes Wärmenetz
Rüdigheim	wahrscheinlich geeignet	sehr wahrscheinlich ungeeignet	wahrscheinlich geeignet	Wärmenetzgebiet	Wärmenetz in Bau
Roßdorf	Prüfgebiet	sehr wahrscheinlich ungeeignet	wahrscheinlich geeignet	Prüfgebiet	existierende Initiativgruppe mit Interesse am Thema Wärmenetz

Abbildung 38: Bewertungsmatrix künftiger Wärmeversorgunggebiete

5.2 Kostenprognose in Form von Wärmevollkostenvergleich

Als Orientierung für mögliche Heizungsalternativen für die Gebäudebesitzer lassen sich verschiedene GEG-konforme Heizungsmöglichkeiten (d.h. 65 % EE-Anteil für neue Heizungsanlagen gem. GEG) in einem Vollkostenvergleich gegenüberstellen.

Grundlage des Vergleichs ist ein durchschnittliches Einfamilienhaus mit 22.500 kWh/a Wärmebedarf, wie es für das Untersuchungsgebiet typisch ist. Dabei werden Brennstoffkosten bzw. Arbeitspreis bei Fernwärme berücksichtigt, Betriebs- und Grundkosten sowie Kapitalkosten. Der Wärmearbeitspreis für die regionale Fernwärme wird hierbei mit 12,5 Ct/kWh angenommen, der Grundpreis beträgt 60 € monatlich. Alle Preise sind in Netto angegeben, der Betrachtungszeitraum beträgt 15 Jahre.

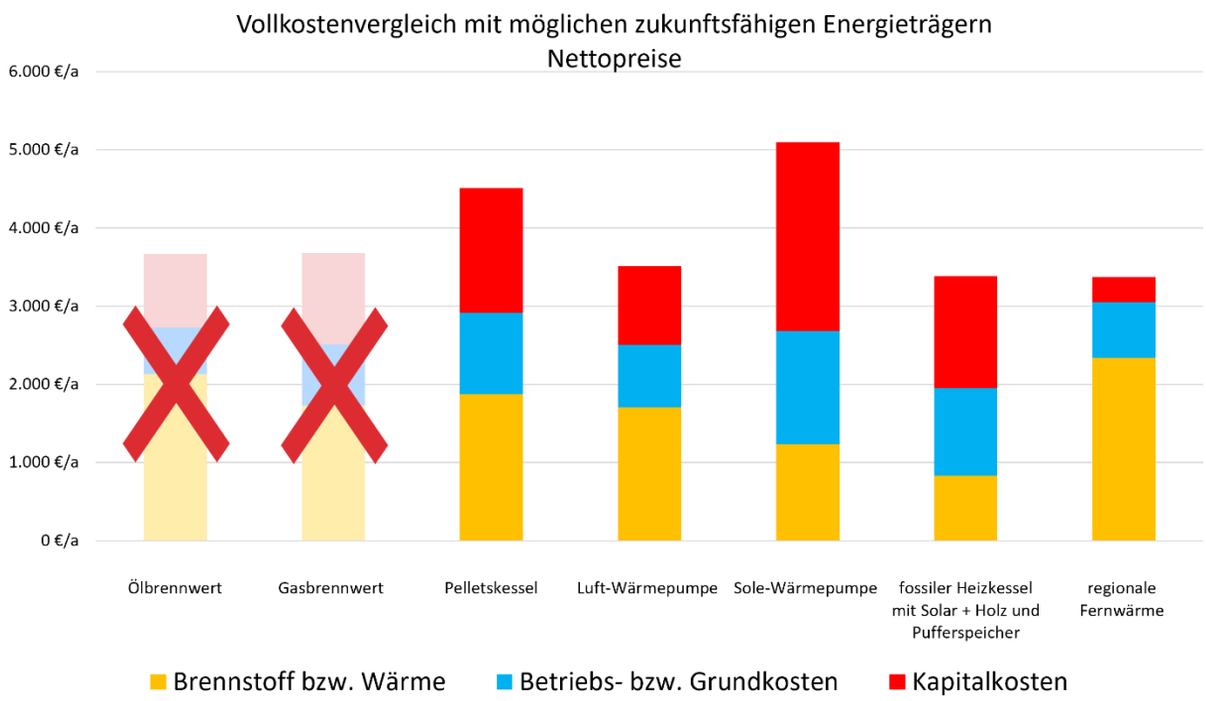


Abbildung 39: Marktpreisniveau GEG-konforme Heizung im durchschn. Einfamilienhaus

Wie in der obigen Abbildung zu sehen, wird der Referenzwert für einen wettbewerbsfähigen Fernwärmepreis vor allem durch die Alternative Luft-Wärmepumpe sowie Biomasseheizung mit Solarthermie und fossilem Anteil gesetzt. Die jährlichen Vollkosten der drei dargestellten Lösungen bewegen sich bei ca. 3500 € im Jahr. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass vor allem die Preise für Holz bzw. Pellets in den nächsten Jahren aufgrund wachsender Nachfrage vermutlich steigen werden.

Wie die Abbildung weiterhin zeigt, sind die Wärmelieferkosten für die Versorgungsoption „Fernwärme“ verhältnismäßig hoch, die Kapitalkosten jedoch gering. Die Grafik soll die Kostenzusammenstellung aus Kundensicht darstellen. Bei "regionale Fernwärme" sind die Kapitalkosten des Kunden vor allem jene für Wärmeübergabestation und Hausanschluss (inkl. Förderung) und daher eher gering. Die Investkosten für das Fernwärmenetz trägt der Netzbetreiber, der diese mittels seiner vertraglichen Preisgestaltung im Kostenanteil "Brennstoff bzw. Wärme" weitergibt, woraus verhältnismäßig hohe laufende Kosten resultieren.

5.3 Ermittlung des Zielszenarios

5.3.1 Ermittlung des zukünftigen Wärmebedarfs (Sanierungsszenarien)

Die Ermittlung des zukünftigen Wärmebedarfs ist eine der wichtigsten Ergebnisse des Zielszenarios. Es ist unerlässlich, den Wärmebedarf signifikant zu reduzieren, um eine realistische Chance zu haben, den zukünftig anfallenden Wärmebedarf erneuerbar decken zu können.

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung ist der Einfluss der fortschreitenden Klimaerwärmung auf den zukünftigen Raumwärmebedarf zu berücksichtigen. Grundlage hierfür bilden die Projektionen der Heizgradtage (Gradtagszahlen) in Deutschland, die nach anerkannten Energieszenarien [12] von einer klimabedingten Reduktion der Heizgradtage um etwa 0,2 % pro Jahr ausgehen. Dies entspricht einem Rückgang des witterungsabhängigen Raumwärmebedarfs um rund 10 % bis Mitte der 2040er-Jahre im Vergleich zum klimatologischen Referenzzeitraum 1990–2010. Regionale Analysen des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) bestätigen für Mittelhessen eine ähnliche

Größenordnung, da bis 2050 mit einer zusätzlichen mittleren Lufttemperaturerhöhung von etwa 1 °C zu rechnen ist [13].

Für die Zielszenarien der Wärmeplanung wird daher eine realistische Annahme getroffen, wonach der Raumwärmebedarf allein aufgrund der klimatischen Erwärmung bis zum Jahr 2045 um insgesamt 10 % sinkt. Dies wird linearisiert als Reduktionsrate von 2,5 % je Fünfjahresperiode abgebildet (2030: -2,5 %, 2035: -5 %, 2040: -7,5 %, 2045: -10 %). Diese Größenordnung ist konsistent mit den verfügbaren wissenschaftlichen Quellen und stellt eine plausible Grundlage für die strategische Entwicklung der Wärmeversorgung in Mittelhessen dar.

Neben den klimabedingten Effekten sind vor allem Sanierungs- und Effizienzmaßnahmen relevant, um den Wärmebedarf nachhaltig zu senken. Die Begriffe „Sanierungsquote“ und „Sanierungstiefe“ sind wichtige Kennzahlen im Bereich der Gebäudemodernisierung, insbesondere wenn es um Energieeffizienz geht.

Die Sanierungsquote gibt an, welcher Anteil des gesamten Gebäudebestands innerhalb eines bestimmten Zeitraums energetisch saniert wird. Sie wird in Prozent ausgedrückt und ermöglicht es, den Fortschritt bei der Modernisierung von Gebäuden zu messen. Eine hohe Sanierungsquote bedeutet, dass viele Gebäude modernisiert werden, während eine niedrige Quote darauf hindeutet, dass nur wenige Gebäude saniert werden. Das Ziel einer Sanierungsquote in Deutschland ist umstritten, aber es wird allgemein eine Quote von 2% oder mehr pro Jahr angestrebt, um die Klimaziele im Gebäudebereich zu erreichen. Die aktuelle Sanierungsquote liegt jedoch deutlich darunter bei etwa 0,7 % pro Jahr.

Die Sanierungstiefe hingegen beschreibt den Umfang und die Gründlichkeit der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen. Sie gibt an, wie stark die Energieeffizienz eines Gebäudes durch die Sanierung verbessert wurde. Eine hohe Sanierungstiefe bedeutet, dass umfassende Maßnahmen ergriffen wurden, wie beispielsweise die Dämmung von Wänden und Dächern, der Austausch von Fenstern und die Modernisierung der Heizungsanlage. Eine geringe Sanierungstiefe bedeutet, dass nur einzelne Maßnahmen durchgeführt wurden, die zu geringeren Energieeinsparungen führen.

Für die Quantifizierung der Energieeinsparpotenziale können drei Szenarien zur Abbildung der durchschnittlichen Sanierungsquote und -tiefe gebildet werden:

Szenario I „geringe Sanierung“:	Sanierungsquote in Höhe von 1,0 % p.a. Sanierungstiefe in Höhe von 25 %
Szenario II „mittlere Sanierung“:	Sanierungsquote in Höhe von 1,5 % p.a. Sanierungstiefe in Höhe von 35 %
Szenario III „hohe Sanierung“:	Sanierungsquote in Höhe von 2,0 % p.a. Sanierungstiefe in Höhe von 50 %

Aus den vorangestellten Parametern ergeben sich für die drei dargestellten Szenarien folgende Energieeinsparungen (inkl. Einsparungen durch Klimaveränderung):

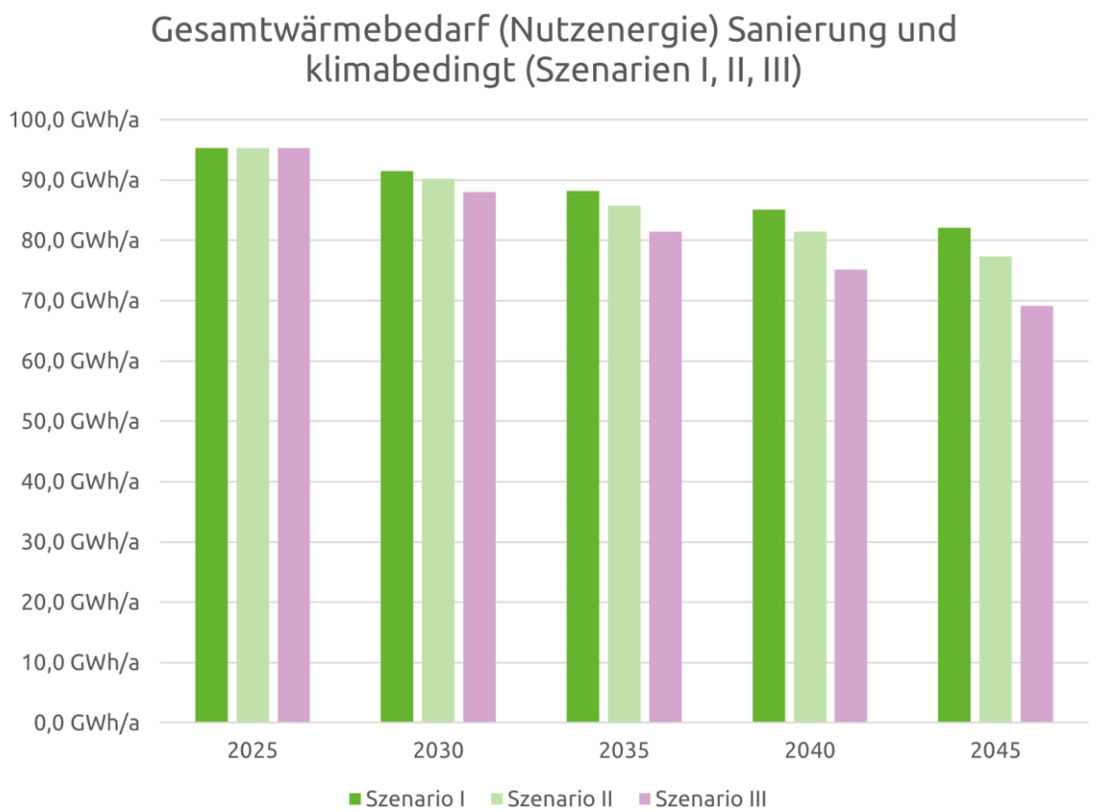


Abbildung 40: Entwicklung des Gesamtwärmebedarfs in [GWh/a] bis 2045, Szenarien I-III

Die Gesamteinsparung bis 2045 für die o.g. Szenarien betragen:

Szenario I: 14 % (davon 10 % durch Klimaerwärmung)

Szenario II: 19 % (davon 10 % durch Klimaerwärmung)

Szenario III: 27,5 % (davon 10 % durch Klimaerwärmung)

Zusätzlich zu den o.g. linearen Sanierungsquoten und -tiefen wurde im Rahmen dieser kommunalen Wärmeplanung ein weiteres Szenario entworfen, welches die spezifischen Gegebenheiten im Planungsgebiet und die wirtschaftlichen Aspekte stärker berücksichtigt.

<u>Sanierungsszenario IV „Kosten-Nutzen-Verhältnis“</u>

Für eine zielgerichtete und wirtschaftlich sinnvolle Sanierung des Gebäudebestands ist es plausibler anzunehmen, dass sowohl die effizientesten Sanierungsmaßnahmen als auch die ineffizientesten Gebäude zeitlich priorisiert werden. Nicht alle Maßnahmen führen bei gleichem Aufwand zu vergleichbaren energetischen Einsparungen – einige sind thermodynamisch besonders wirksam und weisen ein günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Dabei wird im Hinblick auf die in den nächsten Jahren steigenden Energie- und CO_2 -Kosten ein wirtschaftlich orientiertes Handeln der Gebäudeeigentümer zugrunde gelegt. Durch die Priorisierung dieser besonders ergiebigen Maßnahmen in Kombination mit der Sanierung besonders verlustreicher Gebäude kann der Energieverbrauch eines Quartiers oder einer Kommune schrittweise und effizient gesenkt werden. In Tabelle 3 werden die wichtigsten Sanierungsmaßnahmen bewertet. Dabei wurde festgelegt, dass nicht alle Sanierungsmaßnahmen umgesetzt werden sollen, da dies einer Vollsanierung des gesamte Gebäudebestandes auf Energieeffizienzklasse A+ gleichkäme, wie im Kapitel Potenzialanalyse beschrieben. Stattdessen werden im Rahmen dieses Szenarios die Umsetzung der Top 3-Maßnahmen gem. folgender Tabelle angenommen:

Rang	Maßnahme	Kosten-Nutzen-Verhältnis (typisch)	Erläuterung
1	**Dämmung der obersten Geschossdecke**	⭐⭐⭐⭐⭐ (sehr hoch)	Günstig & schnell gemacht, große Wirkung, oft ohne Eingriff in Wohnraum.
2	**Dämmung des unteren Gebäudeabschlusses (Kellerdecke/Bodenplatte)**	⭐⭐⭐	Spart Heizenergie effektiv, vor allem bei unbeheiztem Keller oder Erdreich.
3	**Fassadendämmung (Außenwände)**	⭐⭐⭐	Hohe Einsparung, aber auch hohe Kosten. Sinnvoll bei sowieso geplanter Fassadenerneuerung.
4	**Dämmung des Dachs (wenn nicht mit Decke abgedeckt)**	⭐⭐⭐	Teurer als Decke, aber wichtig bei ausgebautem Dachgeschoss.
5	**Fenstertausch**	⭐⭐	Teuer, einzelne Flächen, kann zu Wärmebrücken führen, wenn ungedämmt kombiniert.
...	**Heizungstausch ohne Dämmung**	⭐	Nur begrenzt sinnvoll, wenn das Gebäude weiter hohe Wärmeverluste hat. Erst dämmen, dann neue Heizung dimensionieren.

Maßnahmen für die Sanierungssimulation

Tabelle 3: Priorisierung verschiedener Sanierungsmaßnahmen

Für die zeitliche Wärmebedarfsentwicklung über die Stützjahre 2030, 2035 und 2040 bis zum Zieljahr 2045 soll die Sanierung des Gebäudestandes schrittweise entsprechend den Effizienzklassen der Gebäude erfolgen. Die Gebäude der Effizienzklassen D-H im Untersuchungsgebiet Amöneburg haben einen Wärmeverbrauch von 82 GWh/a im Jahr und sind damit für 86 % des Wärmebedarfs verantwortlich. Der systematische Sanierungsansatz verfolgt das Ziel, bis 2045 einen überwiegenden Anteil des Gebäudebestandes im Untersuchungsgebiet Amöneburg auf mindestens Energieeffizienzklasse C (75-100 kWh/(m²a)) aufzuwerten.

Den Auftakt bilden bis 2030 alle Gebäude der Energieeffizienzklasse H. Hierbei werden zunächst nur die zwei wichtigsten Sanierungsmaßnahmen umgesetzt: die Dämmung der obersten Geschossdecke und die Dämmung des unteren Gebäudeabschlusses. Da viele Gebäude dieser Effizienzklasse im Planungsgebiet Fachwerkhäuser sind und unter Denkmalschutz stehen, wurde entschieden, dass eine Fassadensanierung nicht realisiert werden kann.

- Gebäude mit den Energieeffizienzklassen H (>250 kWh/m²a) (dunkelrot) werden saniert zu EE-Klassen B und C
- Dämmung bzw. Vollsanierung von oberster Geschossdecke, unterem Gebäudeabschluss und KEINE Fassadendämmung, da Denkmalschutz an Fachwerkhäusern besteht
- zugrunde gelegte Maßnahmen können durch Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahmen gefördert werden

Abbildung 41: Sanierung der Gebäudeklassen H (dunkelrot) bis zum Jahr 2030

Im nächsten Schritt folgt bis 2035 die Sanierung aller Gebäude der Klasse G. Auch wird auf eine Fassadendämmung verzichtet, da es sich größtenteils um denkmalgeschützte Fachwerkhäuser handelt.

- Gebäude mit den Energieeffizienzklassen G (>200 kWh/m²a) (rot) werden saniert zu EE-Klassen B und C
- Dämmung bzw. Vollsanierung von oberster Geschossdecke, unterem Gebäudeabschluss und KEINE Fassadendämmung, da Denkmalschutz an Fachwerkhäusern besteht
- zugrunde gelegte Maßnahmen können durch Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahmen gefördert werden

Abbildung 42: Sanierung der Gebäudeklassen G (rot) bis zum Jahr 2035

Bis 2040 sollen dann alle Gebäude mit Effizienzklasse F folgen, einschließlich der energetischen Sanierung der Fassade, da hier keine denkmalgeschützten Fassaden angenommen werden.

- Gebäude mit den Energieeffizienzklassen F (>160 kWh/m²a) (orange) werden saniert zu EE-Klassen B und C
- Dämmung bzw. Vollsanierung von oberster Geschossdecke, unterem Gebäudeabschluss und Fassadendämmung
- zugrunde gelegte Maßnahmen können durch Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahmen gefördert werden

Abbildung 43: Sanierung der Gebäudeklassen F (orange) bis zum Jahr 2040

Den Abschluss bilden bis spätestens 2045 die Gebäude der Klassen D und E, sodass nach und nach ein Großteil des schlecht sanierten Gebäudebestands energetisch ertüchtigt ist.

- Gebäude mit den Energieeffizienzklassen D & E (>100 kWh/m²a) (gelb-orange) werden saniert zu EE-Klassen B und C
- Dämmung bzw. Vollsanierung von oberster Geschossdecke, unterem Gebäudeabschluss und Fassadendämmung
- zugrunde gelegte Maßnahmen können durch Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahmen gefördert werden

Steinweg
Steinweg
Steinweg
Trärkgasse
Hallgasse
Kronengasse
Kronengasse
Kronengasse
Kronengasse
Hallgasse
Hallgasse
Hallg

Jahr	Gesamtwärmebedarf (Nutzenergie)	Einsparung zum Basisjahr 2025	Davon nur durch Sanierung
2025 (Basisjahr)	95,3 GWh/a	-	
2030	88,1 GWh/a	8 %	5 %
2035	83,7 GWh/a	12 %	7 %
2040	72,6 GWh/a	24 %	17 %
2045	61,8 GWh/a	35 %	26 %

Tabelle 4: Entwicklung des Gesamtwärmebedarfs (Nutzenergie) in [GWh/a] bis 2045, Szenario IV

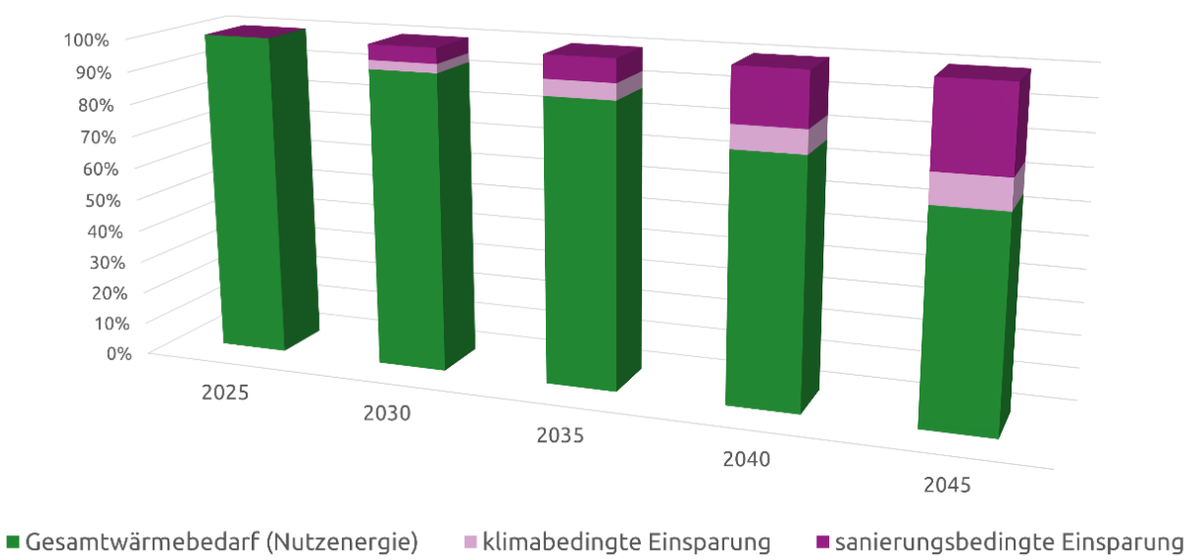


Abbildung 45: Entwicklung des Gesamtwärmebedarfs (Nutzenergie) in [GWh/a] bis 2045, Szenario IV

Es zeigt sich, dass bis zum Jahr 2045 insgesamt eine Energieeinsparung von 35 % erfolgen kann, 10 % davon sind aufgrund der prognostizierten Klimaveränderung zu erwarten. Somit entfallen 25 % Energieeinsparung auf die Gebäudesanierung. Es fällt auf, dass die Einsparungen durch Sanierung bis 2035 geringer sind als danach. Dies liegt daran, dass bei den bis dahin zu sanierenden Gebäuden der Effizienzklassen G & H eine Dämmung der Fassade aufgrund eines möglichen Denkmalschutzes nicht berücksichtigt wird. Entsprechend geringer fällt die Energieeinsparung aus.

Für die Erstellung des Zielszenarios wird das Sanierungsszenario IV herangezogen.

5.3.2 Entwicklungspfade für die Energieinfrastruktur (Entwicklungsszenarien)

Die Anforderungen und der Entwicklungsbedarf für die Energieinfrastruktur der kommenden Jahre hängen einerseits von dem zu erwartenden Wärmebedarf ab, wie sie im vorherigen Kapitel errechnet wurden, andererseits von dem „Wärmemix“, d.h. mit welchen Wärmeversorgungstechnologien diese Bedarfe bedient werden sollen. Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung für das Zieljahr 2045 wurden drei alternative Szenarien für den zukünftigen Wärmemix in den Teilgebieten entwickelt. Diese

Entwicklungsszenarien unterscheiden sich in der Gewichtung zentraler erneuerbarer Versorgungsoptionen (Fernwärme, Wärmepumpen und Biomasse) und spiegeln unterschiedliche Ausprägungen des Transformationspfades hin zu einer treibhausgasneutralen Wärmeversorgung wider.

Versorgungs-quoten im Zieljahr 2045	**Wärmenetzeignungsgebiet**			**Einzelversorgungsgebiet**	
Wärmemix	Fernwärme	Wärmepumpe	Biomasse	Wärmepumpe	Biomasse
Szenario A	50%	25%	25%	50%	50%
Szenario B	70%	25%	5%	70%	30%
Szenario C	95%	0%	5%	95%	5%

Tabelle 5: Anteile der Wärmeerzeugung im Zieljahr 2045 in verschiedenen Entwicklungsszenarien

Szenario A stellt eine ausgewogene Verteilung der Versorgungstechnologien dar. In den Wärmenetzeignungsgebieten wird eine gleichmäßige Aufteilung zwischen Fernwärme (50 %), Wärmepumpen (25 %) und Biomasse (25 %) angenommen. Im Einzelversorgungsgebiet werden Wärmepumpen und Biomasse jeweils hälftig eingesetzt (50 %). Dieses Szenario repräsentiert eine diversifizierte Versorgungsstrategie mit hoher technologischer Robustheit.

Szenario B betont eine verstärkte Ausweitung leitungsgebundener Wärme. Die Fernwärmeversorgung wird in den Wärmenetzeignungsgebieten auf 70 % erhöht, während Wärmepumpen bei 25 % und Biomasse bei nur 5 % liegen. Auch im Einzelversorgungsgebiet steigt der Anteil der Wärmepumpen deutlich auf 70 %, während Biomasse auf 30 % zurückgeht. Dieses Szenario illustriert einen Pfad, der stark auf die Skalierung von Wärmepumpentechnologien und den Ausbau erneuerbarer Fernwärme setzt, wobei Biomasse eher eine Ergänzungsrolle einnimmt.

Szenario C beschreibt eine weitgehende Dominanz leitungsgebundener Wärme und elektrischer Wärmeerzeugung. In den Wärmenetzeignungsgebieten wird nahezu ausschließlich Fernwärme (95 %) vorgesehen, während Biomasse nur noch 5 % beiträgt und Wärmepumpen keine Rolle mehr spielen. Parallel dazu basiert die Wärmeversorgung im Einzelversorgungsgebiet zu 95 % auf Wärmepumpen, ergänzt durch einen 5%igen Biomasseanteil. Dieses Szenario steht für eine weitgehende Elektrifizierung und Zentralisierung der Wärmeversorgung und reflektiert damit eine radikale Umstellung auf wenige, skalierbare Technologien.

Die Szenarien bilden unterschiedliche Entwicklungspfade für die Transformation des Wärmesystems ab und ermöglichen eine Bewertung sowohl hinsichtlich Versorgungssicherheit als auch im Hinblick auf die Integration erneuerbarer Energieträger und regionaler Ressourcenpotenziale. Analog zum vorherigen Kapitel soll jedoch auch für die Entwicklung des Wärmemixes ein spezifischeres Szenario erstellt werden, das die lokalen Gegebenheiten stärker berücksichtigt.

Szenario D verfolgt den Ansatz, dass gemäß GEG spätestens ab dem 01.07.2028 in Bestandsgebäuden defekte Heizungen, die nicht repariert werden können, durch neue Heizungen mit mindestens 65 % EE-Anteil ersetzt werden müssen. Über das Alter der Heizungen wird antizipiert, wann eine Heizung nicht mehr reparabel ist und ausgetauscht werden muss. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass in diesem Moment das entsprechende Gebäude auf die Zielwärmeversorgungsart des jeweiligen Teilgebiets umgestellt wird. In Wärmenetzeignungsgebieten ist dies die Versorgungsart „Fernwärme“, in Einzelversorgungsgebieten die Versorgungsart „Wärmepumpe“. Die Versorgungsart „Biomasse“ ist zum derzeit noch etwas stärker verbreitet als Wärmepumpen. Langfristig (bis 2045) werden Wärmepumpen jedoch als dominierende Technologie auftreten und Biomasse-Heizungen zahlenmäßig überholen. Biomasse bleibt eine Nische für unsanierbare Altbauten oder Gebäude mit hohen Vorlauftemperaturen. Aufgrund der im Zielszenario zugrunde gelegten umfassenden (Teil-)Sanierung des Gebäudebestands

(vgl. Szenario IV), wird der Anteil von Biomasseheizungen im Jahr 2045 als gering angenommen (ca. 5 %).

Noch ist unklar, was mit den Prüfgebieten geschehen wird. Da im Rahmen dieser Planung ein dekarbonisiertes Zielszenario präsentiert werden soll, wird vorerst davon ausgegangen, dass in den Prüfgebieten Einzelversorgungslösungen realisiert werden, d.h. Prüfgebiete wie Einzelversorgungsgebiete behandelt werden.

Für das Szenario wird angenommen, dass das durchschnittliche Heizungsalter, ab dem eine Heizung nicht mehr repariert wird und ausgetauscht werden muss, maximal **35 Jahre** beträgt. Daraus folgt für die Berechnung des Zielszenarios eine sukzessive Umstellung der Heizungen gemäß Tabelle 6.

Heizungsbaujahr	wird ausgetauscht bis	in Wärmenetzeigungsgebieten wird umgestellt auf...	in Einzelversorgungssgebieten wird umgestellt auf...	in Prüfgebieten wird umgestellt auf...
bis 1995	2030	Fernwärme	95% Wärmepume 5% Pelletskessel	95% Wärmepume 5% Pelletskessel
1996 - 2005	2035	Fernwärme	95% Wärmepume 5% Pelletskessel	95% Wärmepume 5% Pelletskessel
2006 - 2015	2040	Fernwärme	95% Wärmepume 5% Pelletskessel	95% Wärmepume 5% Pelletskessel
ab 2016	2045	Fernwärme	95% Wärmepume 5% Pelletskessel	95% Wärmepume 5% Pelletskessel

Tabelle 6: Austauschjahre für Heizungen in Anhängigkeit ihres Baujahres, Szenario IV D

In Abbildung 10 wurden die Heizungsalter aller in Amöneburg installierten Heizungen aufgeführt. Teilweise existieren mehrere Heizungsanlagen innerhalb eines Gebäudes. Für ein solches Gebäude geht aus den Schornsteinfegerdaten nicht eindeutig hervor, welche Anlage die hauptsächlich genutzte Heizungsanlage ist. Als Näherung wird daher angenommen, dass es jene Anlage mit der größten Nennwärmeleistung ist. Um also für Gebäude mit mehreren Heizungsanlagen den Umstellungszeitpunkt zu bestimmen, wird das Heizungsalter des Erzeugers mit der größten Nennwärmeleistung zugrunde gelegt.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Umstellung der Wärmeerzeugungsart (im Gegensatz zu Sanierungen und Klimaerwärmung) **keinen Einfluss auf** den Bedarf von **Nutzenergie** hat. Die Umstellung hat jedoch einen **Einfluss auf** den Bedarf von **Endenergie**.

- *Nutzwärmebedarf* (oft auch Heizwärmebedarf) ist die Wärme, die das Gebäude braucht, um die gewünschten Raumtemperaturen zu erreichen und die erforderlichen Mengen an Warmwasser bereitzustellen. Er hängt von Gebäudehülle, Lüftung, internen Gewinnen, Solltemperaturen und Nutzung ab – **nicht** von der Art des Wärmeerzeugers.
- Der *Endenergiebedarf* beschreibt die zur Deckung des Nutzwärmebedarfs erforderliche Energiemenge, die in das Gebäude eingeht, z.B. in Form eines Brennstoffs. Die **Endenergie** hängt neben dem Nutzwärmebedarf zusätzlich von Art und Wirkungsgrad des Wärmeerzeugeuers ab sowie von weiteren Verlusten im Verteilsystem. **Vor allem durch die Umstellung auf Wärmepumpen** sinkt der Endenergiebedarf stärker als der Nutzwärmebedarf. Wärmepumpen mit einer JAZ von 3 bewirken eine Reduktion von über 66% des Endenergiebedarfs, da nur noch 1/3 der Energie in Form von Strom benötigt wird, um den Bedarf an Nutzenergie zu decken. Die übrigen 2/3 Wärme werden der Umgebungsluft entzogen. Auch die Umstellung von z.B. Öl-Heizungen auf Fernwärme verringert den Endenergiebedarf, da die Wirkungsgradverluste in den Gebäuden geringer sind.

Für die Erstellung des Zielszenarios wird das Entwicklungsszenario D in Kombination mit dem Wärmebedarfsszenario IV herangezogen.

5.4 Zielszenario

Das Zielszenario beschreibt, wie sich wichtige Kennzahlen zur Wärmeversorgung in den kommenden Jahren entwickeln sollen. Ab 2030 werden dafür alle fünf Jahre Zielmarken gesetzt, die als Wegweiser hin zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung 2045 dienen.

Bei der Berechnung dieser Zielmarken wurden die verschiedenen Faktoren berücksichtigt, wie sie im vorherigen Kapitel erläutert wurden:

- die Aufteilung der Versorgungsgebiete und die sich daraus ergebenden Wärmeversorgungsarten
- die Nutzenergieeinsparungen aufgrund von Klimaerwärmung
- die Nutzenergieeinsparungen aufgrund von Gebäudesanierung
- die Endenergieeinsparung aufgrund von Heizungstausch

Da sich Rahmenbedingungen im Laufe der Zeit verändern können – zum Beispiel durch neue Technologien oder deutliche Verbesserungen bei bestehenden Heizsystemen – muss auch das Zielszenario flexibel angepasst werden. Dadurch kann sich auch die Mischung der eingesetzten Energieträger zu bestimmten Zeitpunkten ändern.

Auf Grundlage des derzeitigen Wissens und der Vorgaben des Wärmeplanungsgesetzes ergibt sich das im Folgenden beschriebene Szenario.

5.4.1 Endenergieverbrauch nach Endenergiesektoren

Das Zielszenario für den Endenergieverbrauch nach Gebäudesektoren zeigt, dass in allen drei Sektoren große Einsparungen von über 50 % realisiert werden. Dies liegt daran, dass alle Sektoren in Einzelversorgungsgebieten und Prüfgebieten vorkommen. Die dort hauptsächlich eingesetzten Wärmepumpen bewirken, zusätzlich zur Wärmebedarfsreduktion durch Sanierung und Klimaerwärmung, eine starke Reduktion des Endenergieverbrauchs. Während dieser im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) von 35 GWh/a auf 12 GW/a sinkt, reduziert er sich bei den kommunalen Einrichtungen von 0,6 GWh/a auf 0,2 GWh/a. Die größte Reduzierung des Endenergieverbrauchs erfolgt absolut gesehen bei privaten Haushalten – von 80 GWh/a auf 28 GWh/a im Jahr 2045.

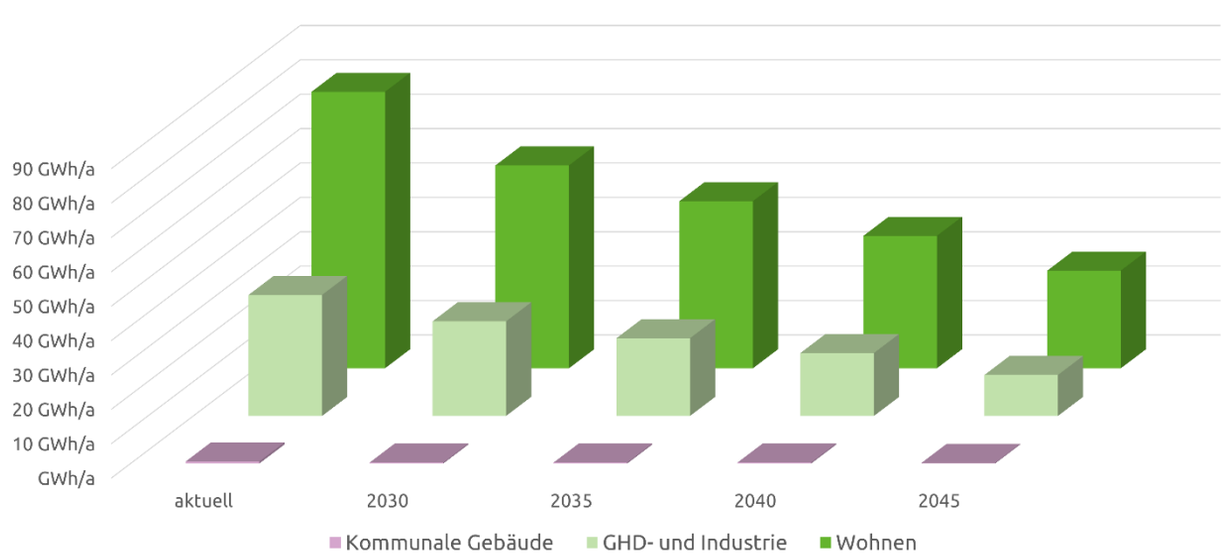


Abbildung 46: Endenergieverbrauch nach Endenergiesektoren

5.4.2 Endenergieverbrauch nach Energieträgern

Wie bereits im Kapitel Bestandsanalyse beschrieben, ist die vorherrschende Wärmeerzeugungsart aktuell Heizöl, gefolgt von Holz und Fernwärme. Die Anteile von Flüssiggas und Stromdirektheizungen sind relativ gering, Wärmepumpen existieren aktuell kaum. Der Anteil an Heizöl nimmt bis 2045 kontinuierlich ab, und wird sukzessive durch Endenergieverbrauch für Fernwärme und Wärmepumpe verdrängt. Klassische Holzöfen reduzieren sich und werden durch moderne Pelletheizungen ersetzt, die jedoch nur ca. 5 % der Heizungen im Planungsgebiet ausmachen. Da es sich hier um die Darstellung des Endenergiebedarfs handelt, soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass der Wärmepumpen-Anteil mit dem Faktor 3 multipliziert werden müsste, um auf den Wärmebedarf zu schließen. Das heißt der meiste Wärmebedarf wird durch Wärmepumpen gedeckt werden, auch wenn die dafür benötigte Endenergie geringer ist als die für Fernwärme.

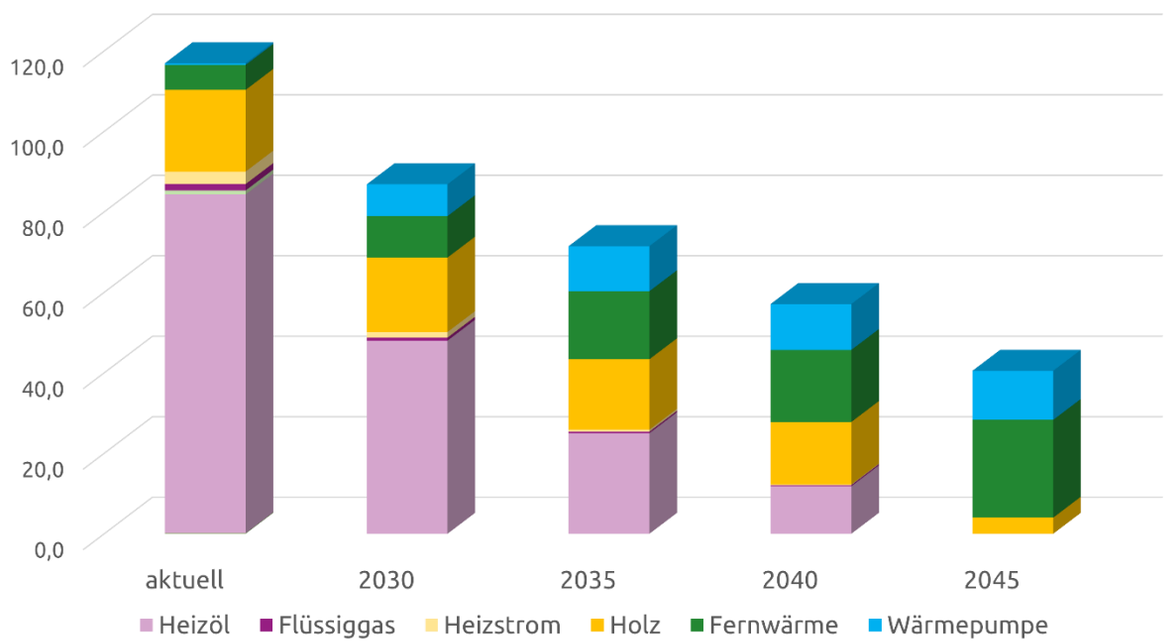


Abbildung 47: Endenergieverbrauch nach Energieträgern in GWh/a

5.4.3 Jährliche Emissionen von Treibhausgasen

Im Zielszenario verringern sich die CO_2-Emissionen in den fünf Jahresschritten erst auf 58 %, dann auf 37 %, auf 22 % in 2040 und schließlich auf 4 % der Ausgangsmenge im Jahr 2045. Der entscheidende Grund dafür ist der schrittweise Abschied von Ölheizungen und der Umstieg auf erneuerbare Heizsysteme.

Obwohl der Einsatz strombasierter Heizungen deutlich zunimmt, sinken die Emissionen kontinuierlich – vor allem in den ersten Jahren. Der Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor schreitet schneller voran als in vielen anderen Bereichen. Schon 2030 soll mindestens 80 % des Stroms aus erneuerbaren Quellen stammen. Auch bestehende Wärmenetze müssen bis spätestens 2045 vollständig auf erneuerbare Energiequellen umgestellt werden, sofern dies nicht schon früher erfolgt ist.

Neue Wärmenetze sollten von Anfang an mit klimaneutraler Erzeugung geplant werden. Ist das im Einzelfall nicht sofort möglich, muss zumindest der schnelle Übergang zu vollständig erneuerbarer Wärmeversorgung gewährleistet sein – auch, um die Voraussetzungen für eine Förderung im Rahmen der Bundesförderung effiziente Wärmenetze zu erfüllen.

Ein kleiner Rest an CO_2-Emissionen bleibt jedoch auch im Jahr 2045. Der KWW-Technikkatalog [14] gibt die Emissionsfaktoren zu Berechnung vor: dort wird auch für Energiequellen wie beispielsweise Biogas, Strom oder Prozesswärme im Jahr 2045 noch ein kleine Menge CO_2-Äquivalent pro kWh Endenergie vorgegeben, welche zu dem in der folgenden Abbildung dargestellten Restbetrag von 1.100 t/a führt.

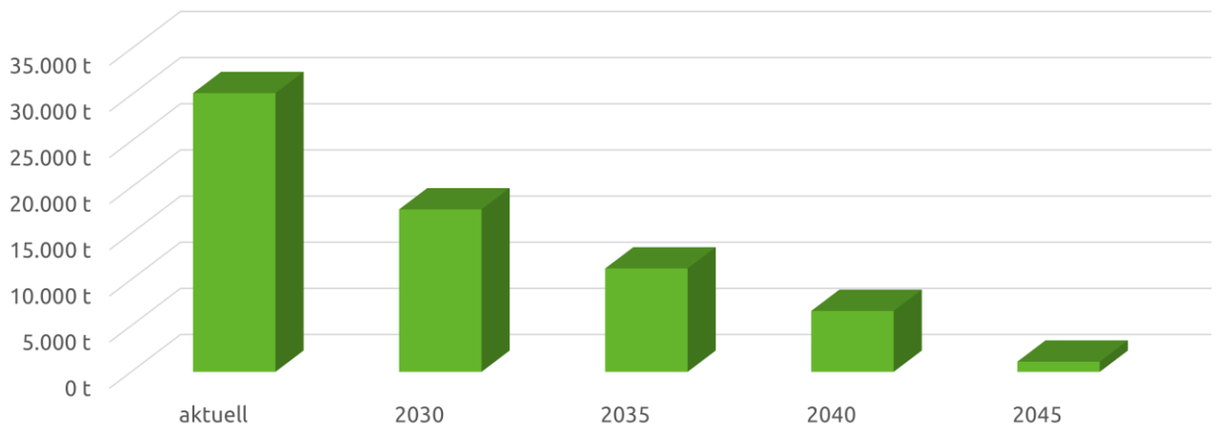


Abbildung 48: Jährliche Emissionen von Treibhausgasen

5.4.4 Endenergieverbrauch der Fernwärme nach Energieträgern

Die Fernwärmeversorgung in Amöneburg setzt sich aktuell fast vollständig aus Biomasse zusammen. Bis 2030 steigt der Wärmebedarf deutlich an, wobei Biomasse weiterhin den größten Teil ausmacht und erstmals spürbare Beiträge aus Solarthermie und Umgebungsluft hinzukommen. Ab 2035 wird der Energiemix zunehmend diversifiziert: Geo- oder Solarthermie und Umgebungsluft gewinnen an Bedeutung, und zusätzlich leisten E-Kessel erste Beiträge zur Deckung der Spitzenlast. Bis 2040 und 2045 setzt sich diese Entwicklung fort, sodass Biomasse zwar weiterhin die Basis darstellt, jedoch durch stetig wachsende Anteile von Geo- oder Solarthermie, Umgebungsluft und E-Kesseln ergänzt wird. Im Zieljahr 2045 ergibt sich so ein ausgewogener Energiemix, in dem Biomasse den größten, E-Kessel jedoch den zweitgrößten Anteil ausmachen, während Geo- oder Solarthermie und Umgebungsluft stabile Beiträge leisten. Vor diesem Hintergrund stellt die Abbildung eine Abschätzung der zukünftig eingesetzten Energiequellen dar.

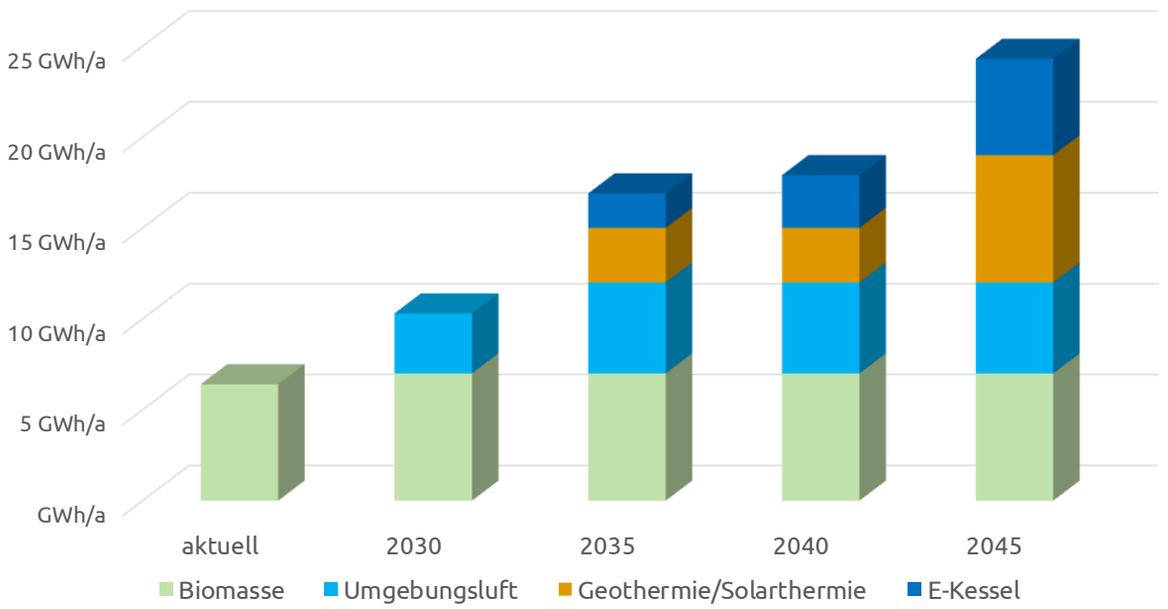


Abbildung 49: Endenergieverbrauch der Fernwärme nach Energieträgern in GWh/a

5.4.5 Anteil Fernwärme am gesamten Endenergieverbrauch der Wärmeversorgung

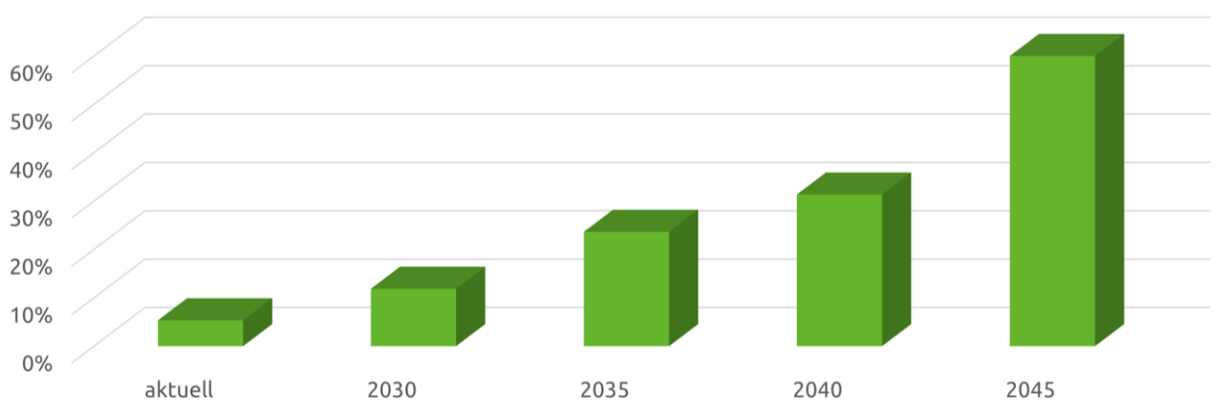


Abbildung 50: Anteil Fernwärme am gesamten Endenergieverbrauch der Wärmeversorgung

Wie auch schon in Abbildung 47 dargestellt, steigt der Endenergieverbrauch für Fernwärme bis zum Jahr 2045 kontinuierlich. Während er aktuell nur 5% ausmacht, steigt er bis 2030 auf 12%, bis 2035 auf 24%, bis 2040 auf 31% und erreicht in 2045 60%. Dies setzt voraus, dass die dargestellten Wärmenetz-eignungsgebiete nahezu vollständig durch Wärmenetze erschlossen werden.

5.4.6 Anzahl der Gebäude mit Anschluss an Wärme- und Gasnetz

Zum aktuellen Zeitpunkt haben etwa 229 Gebäude einen Fernwärmenetzanschluss. Da es im Plangebiet voraussichtlich nicht zum Ausbau eines Netzes für Biomethan oder Wasserstoff kommt, werden im Jahr 2045 keine Gebäude so beheizt werden. Hingegen werden 979 Gebäude an ein Fernwärmenetz anschlossen sein, 1.556 Gebäude werden eine dezentrale Wärmepumpe besitzen und weitere 158 Gebäude über eine Pelletheizung verfügen.

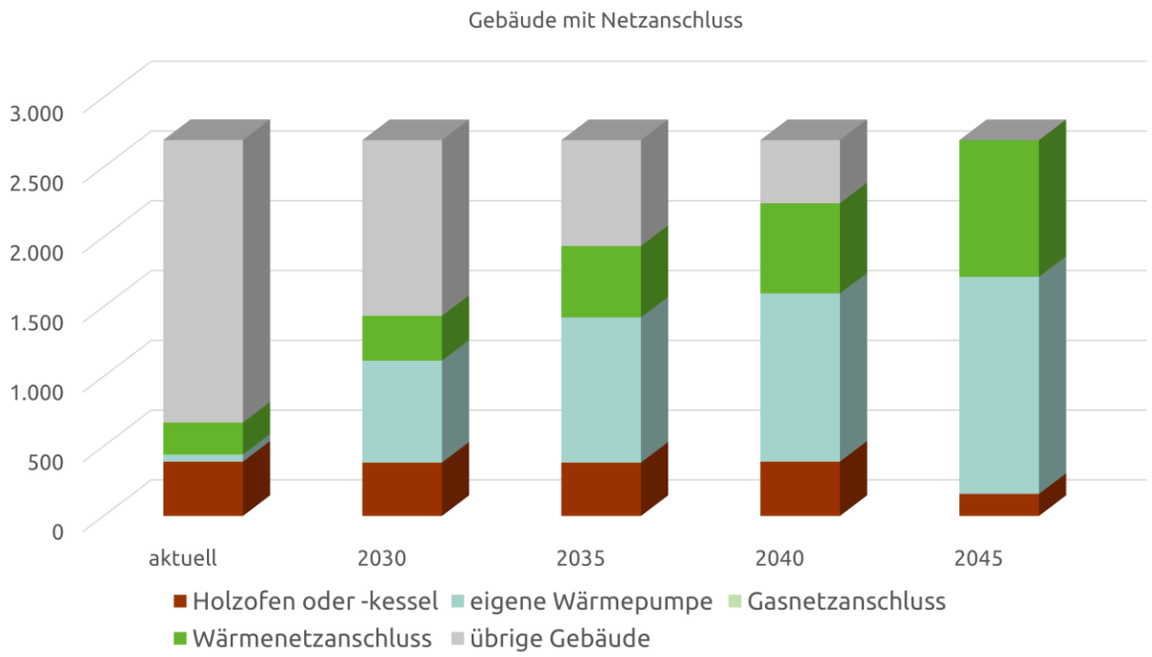


Abbildung 51: Anzahl der Gebäude mit Anschluss an Wärme- und Gasnetz sowie dezentrale Versorgungslagen

6 Strategie und Maßnahmenkatalog

Auf Grundlage der Bestands- und der Potenzialanalyse wurde im Einklang mit dem Zielszenario eine Umsetzungsstrategie mit der planungsverantwortlichen Stelle erarbeitet, mit der das Ziel der Versorgung mit ausschließlich aus erneuerbaren Energien oder aus unvermeidbarer Abwärme erzeugter Wärme bis zum Zieljahr 2045 erreicht werden soll. Nachdem zunächst die Methodik zur Erarbeitung dieser Maßnahmen vorgestellt wird, wird der explizite Maßnahmenkatalog dargestellt und erläutert.

6.1 Methodik und Vorgehensweise

Im folgenden Kapitel werden spezifische Maßnahmen vorgestellt, die wesentlich zur erfolgreichen Umsetzung der Wärmewende beitragen. Diese umfassen sowohl die Durchführung technischer Studien, organisatorische Änderungen innerhalb der planungsverantwortlichen Stelle als auch Strategien zur Implementierung der kommunalen Wärmeplanung und flankierende Maßnahmen. Die vorgeschlagenen Maßnahmen basieren auf den Ergebnissen der vorhergehenden Bestands- und Potenzialanalyse und sollen die Erreichung des Zielszenarios sicherstellen. Die Wärmewende bietet einen großen Handlungsspielraum. Die erarbeiteten Maßnahmen berufen sich auf die Expertise des Projektteams zur Erstellung der kommunalen Wärmeplanung, erfordern jedoch eine fortlaufende Evaluation und möglicherweise Anpassungen, z.B. nachdem neue Erkenntnisse auftreten oder sich gesetzliche Rahmenbedingungen ändern.

Die beschriebenen Maßnahmen fallen in den Verantwortungsbereich der planungsverantwortlichen Stelle, die zugleich als Maßnahmenverantwortliche fungiert. Maßnahmen, die außerhalb der Zuständigkeit der Stadt Amöneburg liegen und auf deren Umsetzung die Stadt keinen direkten Einfluss hat, können nicht Teil des kommunalen Wärmeplans sein. Für die Wärmenetzinfrastruktur wird eine Ausschreibung zur Planung, Errichtung und zum Betrieb der Netze in Betracht gezogen.

Eine valide Schätzung der Investitionen von Infrastrukturmaßnahmen ist ohne Durchlaufen der notwendigen Planungsphasen nicht möglich. Somit wird sich auf die Angabe der Kosten für die planungsverantwortliche Stelle konzentriert und nicht auf die Investitionen, die zur Errichtung von Infrastruktur benötigt werden.

6.2 Maßnahmenkatalog

Die vorgestellten Maßnahmen umfassen sowohl die Planung und den Ausbau regenerativer Wärmeinfrastruktur als auch soziale und organisatorische Ansätze, um eine breite Akzeptanz und Unterstützung der Bürgerinnen und Bürger zu gewinnen und die Wärmewende organisatorisch in der Stadtverwaltung zu verankern. Der Maßnahmenkatalog versteht sich dabei als flexibles Instrument, das an die individuellen Bedürfnisse und Ressourcen der Stadt Amöneburg angepasst werden kann und regelmäßig auf seine Wirksamkeit hin überprüft werden soll. Ziel ist es, durch eine strukturierte und transparente Vorgehensweise die Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung zu stärken und so das wesentliche Fundament für die Wärmewende in Amöneburg zu legen. Im Rahmen der folgenden Maßnahmensteckbriefe sollen die einzelnen Maßnahmen erläutert werden.

Maßnahme 1 Strategie zur Dekarbonisierung für kommunale Liegenschaften (in Abstimmung mit Wärmenetzgebieten)	
Handlungsfeld: Kommunikation der Wärmeplanung	**Priorität:** Hoch

Beschreibung und Ziel:
Heute werden viele der kommunalen Liegenschaften in Amöneburg noch mit Heizöl beheizt und müssen dekarbonisiert werden. Ein Anschluss an ein Wärmenetz oder die Umstellung auf eine Wärmepumpe dienen als zentrale Untersuchungspunkte. Kommunale Liegenschaften können als Ankerkunden für Wärmenetze dienen, können den Wärmenetzausbau strategisch leiten und Bürger in Amöneburg den Anschluss an ein Wärmenetz ermöglichen. Ein Monitoring des Energiebedarfs der kommunalen Liegenschaften kann flankierend durchgeführt werden.

Umsetzungsschritte:

1. Abstimmung mit Gebäudemanagement der Stadt Amöneburg
2. Energetische Analyse aller Liegenschaften (Aufnahme Heiztechnik und Peripherie)
3. Realisierungswahrscheinlichkeit Wärmenetz zum Anschluss der Liegenschaft
4. Prüfung dezentraler Versorgungsvarianten (v.a. Wärmepumpe)
5. Erstellung Strategiebild für alle Liegenschaften
6. Terminierung von Umstellungs- und Sanierungsmaßnahmen
7. Sequenzielle Durchführung von Planungs- und Umstellungsmaßnahmen

Verantwortliche Stelle:	Stadtverwaltung Amöneburg - Liegenschaftsmanagement
Zeitraum	Mitte 2026 – Ende 2027
Kosten:	15.000 - 30.000 € je nach Detailgrad der Ausarbeitung
Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit:	Laufende Kommunikation der Fortschritte an Bevölkerung als Klimaschutz-Vorbildrolle

Maßnahme 2
Organisationsstruktur Stadt Amöneburg -
Einberufung einer Arbeitsgruppe Wärmewende

Handlungsfeld:	**Priorität:**
Struktur Stadtverwaltung	Hoch

Beschreibung und Ziel:
Die Wärmewende verursacht einen hohen planerischen Aufwand, welcher mit weiteren Stadtentwicklungsprozessen verschnitten werden muss. Gesetzlich wird das öffentliche Interesse an erneuerbarer Wärme in Gebäuden und Wärmenetzen im Wärmeplanungsgesetz bekräftigt. Somit kann in Zukunft die Errichtung von Wärmeinfrastruktur im Rahmen von Abwägungsentscheidungen gegenüber Wasserschutzgebieten, dem Landschaftsbild, Denkmalschutz oder im Forst-, Immissionsschutz-, Naturschutz-, Bau- oder Straßenrecht priorisiert werden.

Umsetzungsschritte:
1. Errichtung innerbehördliche und interdisziplinäre „Arbeitsgruppe kommunale Wärmewende“ (1x monatlich á 1-2 Stunden)
2. Entwicklung und Steuerung von Projekten und Maßnahmen im Kontext der kommunalen Wärmewende, ggf. unter Einbeziehung von externen Experten
3. Bildung einer Lenkungsgruppe (inkl. Bürgermeister) zur Umsetzung der Arbeitsgruppenergebnisse
4. Einbindung eines Arbeitsgruppenvertreters zur Abstimmung mit Stadtentwicklungsmaßnahmen

Verantwortliche Stelle:	Bürgermeister, Klimaschutzmanagement, Arbeitsgruppe kommunale Wärmewende
Zeitraum	Fortlaufend
Kosten:	Interne Personalkosten in Abhängigkeit der Ausgestaltung
Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit:	Kommunikation der Einberufung an Bürger

Maßnahme 3
Frühzeitige Erstellung von Energiekonzepten bei Erschließung von Neubaugebieten

Handlungsfeld:	**Priorität:**
Struktur Stadtverwaltung	Mittel

Beschreibung und Ziel:
Schon heute müssen Neubauten (in Neubaugebieten) nach Gebäudeenergiegesetz mindestens 65% erneuerbare Energien in ihren Heizungsanlagen integriert haben. Im Neubau wird häufig auf die Wärmepumpe gesetzt, aber auch Nahwärmelösungen mit geringeren Temperaturen oder eine Versorgung aus dem städtischen Fernwärmenetz müssen untersucht werden. Neubaugebiete müssen in die kommunale Wärmeplanung integriert werden. Für jedes Neubaugebiet sollte frühzeitig ein Energiekonzept mit Fokus auf die klimafreundliche Wärmeversorgung erstellt werden, welches ins Zielbild der KWP passt.

Umsetzungsschritte:
1. Mit städtischem Beschluss zur Erschließung eines Neubaugebiets soll die Erstellung eines Energiekonzepts beauftragt werden
2. Varianten Anschluss an ein mögliches städtisches Fernwärmenetz, Errichtung eines Inselnetzes und Erschließung mit dezentralen Wärmepumpen müssen frühzeitig untersucht werden
3. Frühzeitige Entscheidung für eine Versorgungsart, Berücksichtigung bei der Erschließungsplanung des Neubaugebiets

Verantwortliche Stelle:	Stadtverwaltung - Stadtplanung (ggf. zzgl. externem Dienstleister im Rahmen einer Machbarkeitsstudie)
Zeitraum	Fortlaufend
Kosten:	Je nach Größe des Neubaugebiets etwa 25.000 - 50.000 € (ggf. 50% förderfähig über die BEW als Machbarkeitsstudie)
Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit:	Einbindung potenzieller Gebäudeeigentümer in den Erstellungsprozess zur Stärkung der Akzeptanz für gewählte Lösung.

Maßnahme 4
Beratungsangebot für Sanierungsmaßnahmen

Handlungsfeld:	**Priorität:**
Gebäudesanierung	Hoch

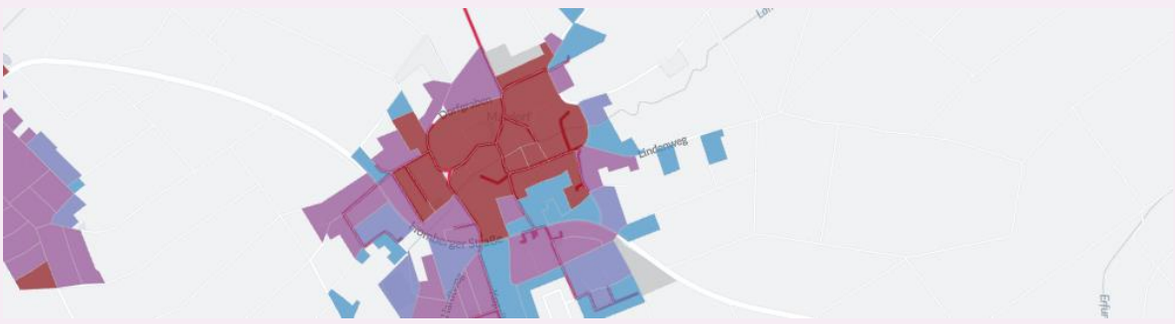
Beschreibung und Ziel:
Der aktuelle Gebäudebestand ist vielfach unsaniert oder nur teilweise modernisiert und weist daher eine schlechte bis mittlere Energieeffizienz auf. Um Eigentümern eine klare Orientierung zu geben, werden sinnvolle Sanierungsmaßnahmen aufgezeigt – sowohl unter energetischen als auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Dabei werden Investitionskosten, mögliche Einsparpotenziale sowie verfügbare Fördermittel transparent dargestellt. Auf diese Weise erhalten sie Unterstützung bei der Entscheidungsfindung, etwa durch individuelle Sanierungsfahrpläne oder Empfehlungen zu passenden Technologien wie Wärmepumpen, Wärmenetzen oder Dämmmaßnahmen. Gleichzeitig leistet dieser Ansatz einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der kommunalen Klimaschutzziele und fügt sich nahtlos in die übergeordnete Wärmeplanung ein.

Umsetzungsschritte:
1. Einrichtung einer Anlaufstelle (z. B. Energieberatungsbüro im Rathaus oder Quartiersbüros)
2. Qualifiziertes Personal einstellen oder externe zertifizierte Energieberater (BAFA-gelistet) beauftragen
3. Fördermittel prüfen und beantragen (BAFA, NKI, Landesprogramme)
4. Monitoring: Anzahl Beratungen, Umsetzungsquote, Rückmeldungen.
5. Jährliche Berichterstattung an Stadtrat / Öffentlichkeit

Verantwortliche Stelle:	Stadtverwaltung Amöneburg - Klimaschutzmanagement
Zeitraum	ab Mitte 2026 fortlaufend
Kosten:	200.000 €, Finanzierung teilweise möglich über BAFA-Förderungen (80 % bei EBW), NKI-Förderprogramme oder Landesmittel.
Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit:	Infoveranstaltungen, Online-Sprechstunden, Sanierungstage

Maßnahme 5
Strategieentwicklung „Wärmenetzgebiete“
im Rahmen der Arbeitsgruppe Wärmewende

Handlungsfeld:	**Priorität:**
Aufbau Wärmeinfrastruktur	Sehr hoch



Beschreibung und Ziel:

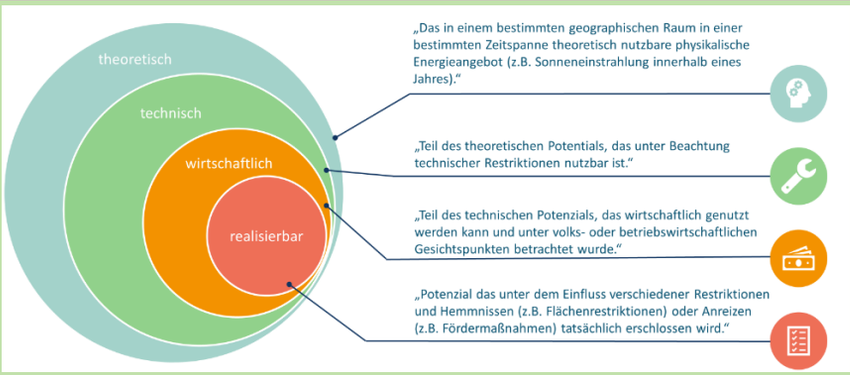
Aktuell liegt in Amöneburg kein konkreter Fahrplan für den Bau eines neuen Wärmenetzes oder den Ausbau eines bestehenden Wärmenetzes vor. Für die Erstellung einer Machbarkeitsstudie liegen derzeit noch zu wenig Rahmenbedingungen vor. Diese sind im Rahmen einer Strategieentwicklung durch die Arbeitsgruppe Wärmewende zu konkretisieren. Es ist zu klären in welcher Konstellation die Wärmnetzentwicklung vorangetrieben werden soll und ob ein Wärmenetzneubau oder ein Gebäudenetzausbau priorisiert wird. Einfließen sollte z.B. die Dekarbonisierungsstrategie für kommunale Liegenschaften sowie die Identifikation weiterer potenzieller „Ankerkunden“.

Umsetzungsschritte:

1. Erstellung einer Strategie zum Wärmenetzneubau oder -ausbau im Rahmen der Arbeitsgruppe Wärmewende
2. Einbindung der lokalen Stakeholder (z.B. EAM)
3. Möglicher Ansatz: Erstellung einer Machbarkeitsstudie
4. Fragenklärung der Finanzierung der Machbarkeitsstudie (BEW-Förderung vs. Eigenanteil)

Verantwortliche Stelle:	Arbeitsgruppe Wärmewende
Zeitraum	Mitte 2026 – Ende 2027
Kosten:	Kosten der Arbeitsgruppe Wärmewende (interne Personalkosten)
Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit:	Einbindung Stakeholder sowie Gewerbetreibender im Wärmenetzgebiet zur Maximierung der Netzanschlussquote

Maßnahme 6 Zusammenstellung möglicher Potenziale für vertiefende Betrachtung (Machbarkeitsstudien) für langfristiges klimaneutrales Wärmenetz	
Handlungsfeld: Aufbau Wärmeinfrastruktur	**Priorität:** Mittel



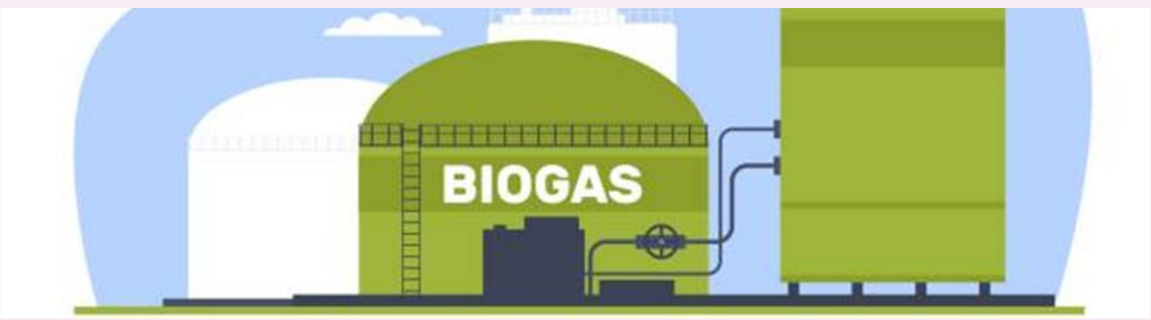
Beschreibung und Ziel:
Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden eine Reihe von Möglichkeiten genannt, die langfristig den Betrieb eines klimaneutralen Wärmenetzes ermöglichen können. Die Arbeitsgruppe Wärmewende soll hier einen potenziellen Wärmenetzbetreiber unterstützen, indem sie vorab eine Übersicht der besonders vielversprechenden Potenziale anfertigt, die im Rahmen von Machbarkeitsstudien weiter untersucht werden müssten, bzw. welche Schritte vorbereitend unternommen werden müssten. Die konkrete Anfertigung von Machbarkeitsstudien wäre zum jetzigen Zeitpunkt verfrüht, da erst die übergeordnete Strategieentwicklung erfolgen muss. Zu den besonders relevanten Potenzialen gehören Abwasserwärme, gasförmige Biomasse und industrielle Abwärme.

Umsetzungsschritte:
1. Erstellung Liste relevanter Potenziale
2. Zusammenstellung einer Übersicht möglicher vorbereitender Maßnahmen für spätere Schritte, z.B. Machbarkeitsstudien

Verantwortliche Stelle:	Arbeitsgruppe Wärmewende
Zeitraum	Anfang 2026 – Ende 2026
Kosten:	Kosten der Arbeitsgruppe Wärmewende (interne Personalkosten)
Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit:	-

Maßnahme 7
Unterstützende Begleitung bei der Transformation und Entwicklung der bestehenden genossenschaftlichen Nahwärmenetze

Handlungsfeld:	**Priorität:**
Planung Energieinfrastruktur	Hoch



Beschreibung und Ziel:
Die bestehenden Nahwärmenetze („Bioenergiedörfer“) werden weitestgehend durch biogene Brennstoffe betrieben. Um weitere Verbraucher anzuschließen, müssen die Wärmenetze sowie die Wärmeerzeugung in vielen Fällen erweitert bzw. ertüchtigt werden. Technische Anpassungsmaßnahmen sind mittel- und langfristig erforderlich, um Engpässe im Rohrnetz zu erweitern sowie weitere erneuerbare Wärmequellen zu integrieren.

Umsetzungsschritte:
1. Übergreifende Erfassung aller Erzeuger- und Netzstrukturen
2. Identifikation und Bewertung sinnvoller Maßnahmen zur Entwicklung der Nahwärmenetze (Konzeptionierung, techn. Planung, Wirtschaftlichkeitsanalyse, Baumaßnahmen)
3. Nutzung von Synergien durch gemeinsame Beauftragung
4. Unterstützung der Genossenschaften bei der Einholung und Bearbeitung von Anfragen möglicher neuer Anschlussnehmer

Verantwortliche Stelle:	Arbeitsgruppe Wärmewende
Zeitraum	Fortlaufend
Kosten:	interne Planungskosten, zzgl. mögliche finanzielle Unterstützung für Ausarbeitung von Konzepten bzw. Transformationspläne
Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit:	Enge Zusammenarbeit der Kommunen mit den Energiegenossenschaften unter Berücksichtigung bestehender Abstimmungsformate.

Maßnahme 8
Abstimmung der Aufstellung einer Zielnetzplanung Strom für Amöneburg

Handlungsfeld:	**Priorität:**
Planung Energieinfrastruktur	Mittel

Beschreibung und Ziel:
Das Stromnetz in Amöneburg spielt eine zentrale Rolle in einer zukünftigen klimaneutralen Wärmeversorgung. Die Versorgung von Großwärmepumpen in Wärmenetzen sowie dezentralen Wärmepumpen muss über das Stromnetz gewährleistet werden können. Die Kommune kann mit dem Stromnetzbetreiber die Erstellung einer Stromzielnetzplanung abstimmen, welche den gewählten Pfad in der kommunalen Wärmeplanung validiert.

Umsetzungsschritte:
1. Vorstellung der Ergebnisse der KWP bei Stromnetzbetreiber, Abstimmung zur Erstellung eines Zielnetzplanes Strom
2. Einspeiseanalyse (Entwicklung EE-Einspeiser in Amöneburg)
3. Kapazitätsanalyse (Leitungsinfrastruktur, Ortsnetzstationen)
4. Kundenanalyse (Strombedarfsentwicklung)

Verantwortliche Stelle:	Stadtverwaltung Amöneburg in Abstimmung mit dem Stromnetzbetreiber
Zeitraum	Bis Ende 2026
Kosten:	2.000 - 5.000 € (Abstimmungsaufwand)
Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit:	Kommunikation von Netzkapazitäten an Gebäudeeigentümer hinsichtlich der Möglichkeit von dezentralen Wärmepumpen und an potenzielle Wärmenetzbetreiber für den Betrieb von Großwärmepumpen.

7 Verstetigungs- und Controllingkonzept

Die Stadt Amöneburg hat in Zusammenarbeit mit der EAM und weiteren Akteuren im Rahmen des kommunalen Wärmeplans einen umsetzungsorientierten Maßnahmenkatalog ausgearbeitet. Dieser soll in der anschließenden Realisierung ein hohes Maß an CO_2-Emissionsreduzierung bewirken und eine sozialverträgliche Wärmewende in Amöneburg bis hin zum klimaneutralen Zielszenario begleiten.

Die **Verstetigungsstrategie** ist im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung von entscheidender Bedeutung, um die kontinuierliche Umsetzung der Maßnahmen und die Fortschreibung des Plans sicherzustellen. Die Strategie gewährleistet, dass die Ziele der Wärmeplanung nicht nur kurzfristig erreicht werden, sondern langfristig Bestand haben und angepasst werden können. Der kommunale Wärmeplan ist ein dynamisches Planungsdokument. Beschlossene Maßnahmen müssen aktiv in die Umsetzung gebracht werden, damit der Plan nicht erst in 5 Jahren zur Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung lt. §25 Wärmeplanungsgesetz wieder relevant wird. Durch die Etablierung von kontinuierlichen Überwachungs- und Evaluationsmechanismen wird sichergestellt, dass die erzielten Fortschritte regelmäßig überprüft und optimiert werden. Zudem werden für jede Maßnahme die zuständigen Stellen bei der Stadt Amöneburg benannt, welche für die Umsetzung der Maßnahmen die Hauptverantwortung tragen. Somit wird die Resilienz und Anpassungsfähigkeit des kommunalen Wärmeplans gestärkt, was letztlich zu einer nachhaltigeren und effizienteren Energienutzung auf lokaler Ebene beiträgt und den Grundstein einer erfolgreichen Wärmewende legen soll.

Die fachbezogene Steuerung und Koordination des Gesamtprozesses "Wärmewende" kann zukünftig durch das Klimaschutzmanagements maßgeblich gesteuert und begleitet werden. Zur Einbindung weiterer kommunaler Kompetenzen soll eine „Arbeitsgruppe Wärmewende" gegründet werden, die in regel-mäßigen Treffen relevante Themen sowie Maßnahmen vor- und nachbereitet. Die folgenden Handlungsfelder sollen durch Vertreter der Kommune in der Arbeitsgruppe Wärmewende mindestens repräsentiert sein:

- Klimaschutzmanagement
- Fördermittelmanagement
- Liegenschaften, Bau und Stadtentwicklung

Ziel ist die Schaffung, Qualifizierung und Etablierung von Personalkapazitäten bei der Stadtverwaltung. Generell müssen Personalkapazitäten mit der Haushaltslage und aktuellen Fördersituation abgestimmt sein.

Bezüglich der Organisation und Koordination für die Fortschreibung der KWP ist die Klärung von Aufgaben, Zuständigkeiten und Befugnissen notwendig. Die Aufgaben können wie folgt zugewiesen werden:

Aktualisierung von Daten → *Klimaschutzmanagement*

Hierzu gehören u.a. Bestands- als auch Potenzialdaten. Bei Weiterverwendung des digitalen Zwillings sollten aktualisierte Daten auch dort importiert werden. Aber auch Informationen zu sich ergebenden Bauprojekten oder Vorhaben der Netzbetreiber sind fortwährend zu berücksichtigen und zu aktualisieren.

Berichtswesen (Monitoring & Reporting) → *Klimaschutzmanagement*

Die im Folgenden im Rahmen des Controlling-Konzepts dargestellten Zielindikatoren sind gemäß jeweiliger Vorgabe zu monitoren. Eine ergänzendes Reporting mit Erläuterung hilft bei der Einordnung und Plausibilisierung der jeweiligen Entwicklungen. Dies kann im Rahmen von Protokollen oder Kurzberichten erfolgen.

Evaluation von Maßnahmen & Strategien *→ Arbeitsgruppe Wärmewende*

Aufbauend auf dem im vorherigen Kapitel dargestellten Strategie- und Maßnahmenkatalog müssen die Maßnahmen kritisch bewertet werden, dazu gehört auch Anpassung oder Ergänzung von Maßnahmen.

Für die Evaluation und Steuerung der Maßnahmen können weitere Fachexperten aus den folgenden Bereichen in die Arbeitsgruppe nach Bedarf integriert werden:

- Energie und Stadtplanung
- Gebäude- und Energiemanagement
- Handwerkskammer
- Netzbetreiber
- Bezirksschornsteinfeger

Weitere externe Akteure (z.B. Wohnungswirtschaft, Großverbraucher aus Gewerbe oder Industrie, potenzielle Investoren etc.) werden maßnahmenbezogen und bedarfsgerecht in die Fortschreibung der KWP involviert.

Zur Messung der Zielerreichung des Maßnahmenkatalogs ist ein regelmäßiges **Controllingkonzept** unabdingbar. Es sollen dabei geeignete Schritte für die Top-down und Bottom-up Nachverfolgung herausgearbeitet werden. Weiterhin sind geeignete Indikatoren und Rahmenbedingungen für die Datenerfassung und -auswertung zu erstellen. Dazu wurden im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung verschiedene „SMARTe“ Ziele festgelegt. Der Grundsatz von „SMARTen“ Zielen ist ein Konzept, das verwendet wird, um Ziele klar zu definieren und die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass sie erfolgreich erreicht werden [15]. „SMART“ steht für:

- **Spezifisch:** Ein Ziel sollte klar und präzise formuliert sein.
- **Messbar:** Es ist wichtig, dass der Fortschritt und das Erreichen des Ziels messbar sind. Dies ermöglicht es, den Erfolg zu quantifizieren und bei Bedarf Anpassungen vorzunehmen.
- **Attraktiv:** Das Ziel sollte realistisch und erreichbar sein, basierend auf den verfügbaren Ressourcen und Fähigkeiten. Ein Ziel, das zu ambitioniert ist, kann demotivierend wirken, während ein zu einfaches Ziel keine Herausforderung darstellt.
- **Relevant:** Das Ziel sollte eine Bedeutung haben und im Einklang mit den übergeordneten Zielen oder Werten der Wärmewende stehen.
- **Terminiert:** Ein „SMARTes“ Ziel muss einen klaren Zeitrahmen haben, innerhalb dessen es erreicht werden soll. Ein konkreter Endpunkt schafft Dringlichkeit und Fokus.

Zusammengefasst hilft das „SMART“-Prinzip dabei, Ziele klar zu definieren, ihre Erreichbarkeit zu überprüfen und sicherzustellen, dass sie in einem festgelegten Zeitrahmen verwirklicht werden können.

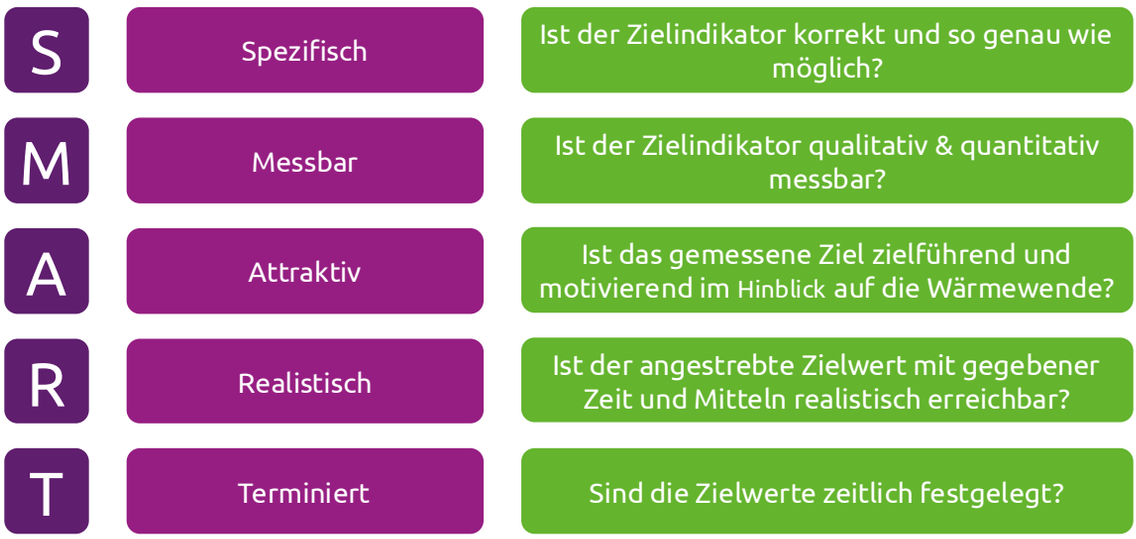


Abbildung 52: „SMARTe" Ziele zur Kontrolle der Zielerreichung

Nachfolgend werden die Zielindikatoren und der Erhebungsprozess dieser für die Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung in Amöneburg vorgestellt.

- **Anzahl installierter Wärmepumpen**: Der Wärmepumpenbestand in Amöneburg soll kontinuierlich steigen, so dass vor allem Gebäude in sog. Einzelversorgungsgebieten, welche keinen Anschluss an ein Wärmenetz erwarten können, ihre Wärmeversorgung dekarbonisieren können. Im Zielzustand wird angenommen, dass alle Gebäude, welche nicht über ein Wärmenetz oder Wasserstoffnetz versorgt werden, zum Großteil mittels Wärmepumpe versorgt werden. Dies gilt auch für Gebäude innerhalb eines sog. Prüfgebiets, da hier die Versorgung durch ein Wärmenetz weitergehend zu prüfen ist und bis dahin eine Einzelversorgung angenommen wird. Die Erhebung der Anzahl installierter Wärmepumpen soll in Zusammenarbeit mit dem Stromnetzbetreiber EAM erfolgen. Hierzu ist die Anzahl der Kunden mit „Wärmepumpentarif" als Indikator für vorhandene Wärmepumpen heranzuziehen. Sollte hier seitens der EAM keine Auskunft erteilt werden, können über eine Bürgerplattform der Stadt Amöneburg die installierten Wärmpumpen anonymisiert und freiwillig registriert und gezählt werden.
- **Geförderte Wärmepumpen über kommunales Förderprogramm**: langfristig (in 5 Jahren) muss nochmals geprüft werden, ob eine neue Haushaltssituation ein solches Programm zulässt. Sollte dies der Fall sein, wäre ein weiterer Zielindikator, dass 50 % aller in Amöneburg umgesetzten Wärmepumpen über das kommunale Förderprogramm gefördert werden. Die Auswertung kann dabei intern erfolgen.
- **Anzahl installierter Wärmenetzanschlüsse:** Eine zentrale Maßnahme der Wärmewende in Amöneburg liegt in der Errichtung eines bzw. mehrerer Wärmenetze. Die Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung zeigen die mögliche Ausbreitung dieser Wärmenetze und die Gebäude mit Anschlussmöglichkeit an ein Wärmenetz. Die Erhebung der Anzahl installierter Wärmenetzanschlüsse erfolgt über den oder die zukünftigen Wärmenetzbetreiber in Amöneburg.
- **Versorgungsanteil Wärmebedarf mittels Wärmenetze:** Auf Basis der skizzierten Teilgebiete inkl. des Wärmebedarfs wird ein Zielanteil für den Wärmeanteil aus Wärmenetzen am Gesamtwärmebedarf in Amöneburg skizziert. Die Erhebung kann im Rahmen der

Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans im Jahr 2030 erfolgen. Eine Erhebung ist über den/die zukünftigen Wärmenetzbetreiber möglich.

- **Anzahl Heizölkessel:** Heizölkessel sind die häufigste Wärmeerzeugungstechnologie im Untersuchungsgebiet Amöneburg. Die Verringerung der Anzahl von Heizölkesseln ist besonders wichtig für die Wärmewende, weil Heizöl deutlich höhere spezifische CO_2-Emissionen verursacht als Erdgas. Bei der Verbrennung von Heizöl entstehen pro Kilowattstunde Wärme rund 20-30 % mehr CO_2 als bei Erdgas. Dadurch tragen Heizölkessel überproportional zur Klimabelastung bei. Der Austausch dieser Kessel durch effizientere und klimafreundlichere Technologien ist daher ein entscheidender Schritt, um die CO_2-Emissionen im Wärmesektor in Amöneburg zu senken und die Wärmewende erfolgreich zu gestalten. Die Erhebung der Anzahl installierter bzw. aktiver Heizölkessel erfolgt über die regionale Schornsteinfegerinnung.
- **Anteil erneuerbarer Energien an Wärmeerzeugung:** Ein Indikator für die Wärmeerzeugung bildet u.a. der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung in Amöneburg. Dabei gilt die Versorgung über Wärmepumpen und Wärmenetze als 100 % treibhausgasneutral, unabhängig der eigentlich produzierten Wärme bzw. des produzierten Stroms. Die Stadt Amöneburg kann über verschiedene Maßnahmen die Wärmewende direkt beeinflussen, z.B. über die individuelle Förderung von Wärmepumpen oder Wärmenetzanschlüssen. Es liegt jedoch außerhalb ihres Geltungsbereichs, wie Strom und Wärme konkret produziert werden – hier gibt es zudem bereits bundesweite Auflagen, dass Strom und Wärme bis 2045 treibhausgasneutral produziert werden müssen. Ein kontinuierlich steigender Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeerzeugung bis zur vollständigen Klimaneutralität im Jahr 2045 ist somit fundamental, um eine Verschiebung wichtiger Maßnahmen in spätere Jahre zu vermeiden. Die Erhebung kann im Rahmen der Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans im Jahr 2030 erfolgen.
- **CO_2-Emissionen durch Heizöl:** Übergeordnet verfolgt die Wärmewende das Ziel, die Wärmeversorgung bis spätestens 2045 vollständig zu dekarbonisieren. Somit ist eine kontinuierliche Reduktion der CO_2-Emissionen durch die Substitution von Heizöl-Geräten durch Wärmepumpen und Wärmenetze in Einzelversorgungs- und Wärmenetzgebieten das Fundament einer funktionierenden Wärmewende. Die Erhebung kann im Rahmen der Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans im Jahr 2030 erfolgen.
- **Gesamtwärmebedarf in Amöneburg:** Die Energieeinsparpotenziale in Gebäuden und damit die Senkung des Gesamtwärmebedarfs in Amöneburg stellen einen wichtigen Hebel in der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung dar. Jede Kilowattstunde Wärme, welche nicht benötigt wird, muss auch nicht aus den begrenzten erneuerbaren Wärmequellen bereitgestellt werden. Im Rahmen des Zielszenarios wurde ein realistisches Energieeinsparpotenzial ermittelt, welche als Zielindikator verwendet wird. Es sei dabei zu erwähnen, dass dieser keine möglichen Neubauten und Neubaugebiete (inkl. neuer Industriegebiete) und den damit verbundenen steigenden Wärmebedarf beinhaltet. Die Erhebung kann im Rahmen der Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans im Jahr 2030 erfolgen.

8 Beteiligungs- und Controllingkonzept

8.1 Beteiligungsprozesse während der Wärmeplanung

Kommunikation und Bürgerbeteiligung sind in der kommunalen Wärmeplanung von zentraler Bedeutung, da die komplexen und teils kontroversen Gesetzgebungsprozesse rund um das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und das Wärmeplanungsgesetz (WPG) zu einer Verunsicherung bei vielen Bürgerinnen und Bürgern geführt haben. Viele Menschen haben Fragen zur Zukunft ihrer Heizsysteme und zur Finanzierung der anstehenden Umstellungen. Die klare und transparente Kommunikation seitens der Stadt Amöneburg verfolgt das Ziel, Vertrauen aufzubauen, indem über lokale Ziele, konkrete Maßnahmen und langfristige Vorteile aufgeklärt wird. Wenn Bürger aktiv in die Planungsprozesse eingebunden werden, können ihre Sorgen und Bedenken direkt berücksichtigt werden. So können auch Missverständnisse reduziert und das Verständnis für notwendige Schritte erhöht werden. Bürgerbeteiligung ermöglicht es zudem, maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln, die auf die Bedürfnisse und Möglichkeiten der Stadt abgestimmt sind, was wiederum die Akzeptanz für die Wärmewende vor Ort steigert und zur erfolgreichen Umsetzung beiträgt.

Im Rahmen der Erarbeitung des kommunalen Wärmeplans wurden verschiedene Beteiligungsformate umgesetzt. Die Energiegenossenschaften wurden frühzeitig in einer Informationsveranstaltung Ende Februar 2025 über die Wärmeplanung der Kommune informiert. In einer abendfüllenden Veranstaltung wurden unter anderem die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen der Wärmeplanung erläutert. Außerdem wurden Genossenschaften darum gebeten, Verbrauchsdaten und Informationen zu ihren Wärmenetzen im Rahmen der Bestandsanalyse mitzuteilen.

Neben dieser Veranstaltung zu Beginn der Wärmeplanung wurden zudem eine Veranstaltung zur Präsentation der Zwischenergebnisse der Bestands- und Potenzialanalyse abgehalten, welche sich besonders an die Bürgerinnen und Bürger gerichtet hat. Neben einem allgemeinen Teil, welcher die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen erläuterte, wurden die wichtigsten Kennzahlen der Bestandanalyse präsentiert sowie die relevantesten EE-Potenziale. In einer 1-stündigen Frage- und Diskussionsrunde konnte die Bürger mit der Verantwortlichen für die kommunale Wärmeplanung in den Dialog treten und sich einbringen. Zum Abschluss der Wärmeplanung wurde eine weitere Öffentlichkeitsveranstaltung durchgeführt, in der die Ergebnisse aus dem Zielszenario sowie die Perspektiven für eine klimaneutrale Wärmeversorgung thematisiert und diskutiert wurden. Die Informationsabende wurden durch die Stadt mittels Plakate und digitalen Anzeigen beworben.

Die Erarbeitung des Wärmeplans wurde fortlaufend durch einen Lenkungskreis begleitet, der u.a. aus Vertretern der Stadtverwaltung (Bürgermeister, Klimaschutzmanagement) bestand. So wurden insbesondere Informationen zu lokalen Rahmenbedingungen und Akteuren in die Bestands- und Potenzialanalyse sowie die Berechnung des Zielszenarios eingebracht. Darüber hinaus wurde der Stromnetzbetreiber regelmäßig konsultiert.

8.2 Kommunikationsstrategie für die Wärmewende in Amöneburg

Ziel dieser Strategie ist es, alle relevanten Akteure zu informieren, zu sensibilisieren und zu motivieren, sodass die geplanten Veränderungen gemeinsam erfolgreich umgesetzt werden. Die Kommunikationsstrategie bildet dabei einen zentralen Bestandteil der Verstetigungsstrategie und unterstützt die Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung und Nutzung erneuerbarer Energien.

8.2.1 Ziele der Kommunikationsstrategie

Die Strategie verfolgt folgende Hauptziele:

- Die Bevölkerung über die Notwendigkeit und Vorteile der Wärmewende aufzuklären.
- Akzeptanz zu fördern und die aktive Beteiligung der Bürger zu stärken.
- Transparenz über Fortschritte und Herausforderungen der Wärmewende zu schaffen.
- Die Zusammenarbeit zwischen Stadtverwaltung, Energieversorgern, Gebäudeeigentümern und weiteren Akteuren zu intensivieren.

8.2.2 Maßnahmen und Instrumente

Informationskampagnen

Regelmäßige Informationskampagnen sorgen dafür, dass die Bevölkerung kontinuierlich über Ziele, Fortschritte und Hintergründe der Wärmewende informiert wird. Hierzu können lokale Medien, Social Media, Radiostationen und Plakataktionen genutzt werden. Die Inhalte sollten klar verständlich, anschaulich und ansprechend gestaltet sein, um ein breites Publikum zu erreichen.

Workshops und Beratungsangebote

Workshops und individuelle Beratungen ermöglichen eine vertiefte Auseinandersetzung mit Themen wie Energieeinsparung, Nutzung erneuerbarer Energien und Fördermöglichkeiten. Experten führen durch die Veranstaltungen und bieten konkrete Handlungsempfehlungen, um Bürger zur Umsetzung eigener Projekte zu motivieren.

Transparenz durch Monitoring-Systeme

Ein Monitoring-System zur Nachverfolgung der Fortschritte und Wirkungen der Maßnahmen ist entscheidend für die Akzeptanz. Regelmäßige Berichte und öffentliche Präsentationen informieren die Bürger über den Stand der Wärmewende in Amöneburg und stärken das Vertrauen in die getroffenen Maßnahmen.

Förderprogramme und finanzielle Anreize

Ein weiterer Schwerpunkt der Kommunikationsstrategie liegt auf der Bekanntmachung von Förderprogrammen und finanziellen Anreizen. Durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit sollen Bürger über verfügbare Unterstützungsmöglichkeiten informiert und zur Nutzung angeregt werden. Dies kann über Broschüren, Online-Portale oder persönliche Beratungsgespräche erfolgen.

Zusammenarbeit und Beteiligung

Die Wärmewende gelingt nur durch enge Kooperation aller Beteiligten. Die Stadtverwaltung sollte regelmäßige Treffen und Austauschformate mit Energieversorgern, Eigentümern, lokalen Unternehmen und engagierten Bürgern organisieren. Ziel ist es, eine gemeinsame Vision zu entwickeln, um die gesetzten Klimaziele zu erreichen.

9 Literaturverzeichnis

[1] Hessisches Statistisches Landesamt, „Bevölkerung in Hessen am 31.12.2024," 2025.

[2] Landesenergieagentur Hessen GmbH, „Technische Machbarkeitsstudie zum Aufbau eines regionalen Wasserstoff-Backbones im Rhein-Main-Gebiet," August 2023. [Online]. Available: https://wirtschaft.hessen.de/sites/wirtschaft.hessen.de/files/2023-08/2023-08-Technische%2520Machbarkeitsstudie%2520Wasserstoff-Regionalnetz%2520Rhein-Main.pdf. [Zugriff am 07 Juli 2024].

[3] ENEKA GmbH, *Digitaler Zwilling für das Plangebiet Ost-Kreis,* 2025.

[4] SBG GmbH & Co. KG, „Nahwärme Initiative Mardorf - Biogasanlage Mardorf," [Online]. Available: https://www.nahwaerme-mardorf.de/technik/biogasanlage/. [Zugriff am 03 08 2025].

[5] M. Kaltschmitt, W. Streicher und A. Wiese, ERNEUERBARE ENERGIEN - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 3. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2003.

[6] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, [Online]. Available: https://www.hlnug.de/. [Zugriff am 25 07 2025].

[7] T. Storvick und G. Suppes, Handbook of Geothermal Energy, Springer, 2016.

[8] R. DiPippo, Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact. 4th ed., Elsevier Ltd., 2016.

[9] Arbeitsgemeinschaft Fernwärme (AGFW), „Praxixleitfaden Solarthermie," 2021.

[10] Landesenergieagentur Hessen GmbH, „Solar-Kataster Hessen," [Online]. Available: https://www.lea-hessen.de/buergerinnen-und-buerger/sonnenenergie-nutzen/solar-kataster-hessen/. [Zugriff am 25 07 2025].

[11] KEEA, „Wärmewende-Coaching LEA Hessen," 2024.

[12] Prognos, „Prognos BAU-Szenario 2023," [Online]. Available: https://www.prognos.com/sites/default/files/2024-06/BAU-Szenario-Prognos_Annahmen_und_Ergebnisse_2023__bereinigt.pdf. [Zugriff am 10 06 2025].

[13] HLNUG, „HLNUG Klimareport Hessen 2024," [Online]. Available: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/Klimareport_Hessen_2024.pdf. [Zugriff am 10 06 2025].

[14] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Technikkatalog Wärmeplanung," [Online]. Available: https://api.kww-halle.de/fileadmin/user_upload/Technikkatalog_W%C3%A4rmeplanung_Version_1.1_August24_CC-BY.xlsx. [Zugriff am 15 07 2025].

[15] A. Tegtmeier, „Aufgaben und Instrumente des Beteiligungsmanagements," in *Praxisleitfaden Kommunales Beteiligungsmanagement*, Leipzig, Springer Gabler, 2021, pp. 273-275.

[16] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Sanierungsbedarf im Gebäudebestand," Berlin, 2014.

[17] M. Schlesinger, P. Hofer, A. Kemmler und A. Kirchner, „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung," Basel, Köln, Osnabrück, 2010.

[18] Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg, „Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf von Gebäuden und den Ertrag erneuerbarer Energien," *14. Symposium Energieinnovation,* pp. 1-9, 2016.

[19] Deutsche Energie-Agentur, „DENA-Gebäudereport 2023 Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand.," Berlin, 2024.

[20] Umweltbundesamt, „Photovoltaik-Dachanlagen," 26 03 2024. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/photovoltaik/photovoltaik-dachanlagen#Wirtschaftlichkeit. [Zugriff am 08 08 2024].

[21] Landesenergieagentur Hessen GmbH, „Wärmeatlas Hessen," [Online]. Available: https://www.waermeatlas-hessen.de/#z=8.9794&c=9.0825%2C50.6068&r=0&l=top_plus_open%2Cde_grid_25832_group. [Zugriff am 24 07 2025].