



Zwischenbericht

KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG FÜR DIE STADT IMMENSTADT

Auftraggeber
Stadt Immenstadt
Gartenstr. 7
85757 Immenstadt
Tel.: +49 8131 99-202
Ansprechpartner:

Auftragnehmer
energielenker projects GmbH
Richard-Strauss-Straße 71
81679 München
muenchen@energielenker.de
Ansprechpartner:
Herr Dr.-Ing. Sebastian Weck-Ponten



Lesehinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde im vorliegenden Bericht bei Personenbezeichnungen in der Regel die maskuline Form verwendet. Diese schließt jedoch gleichermaßen die feminine Form mit ein. Die Leserinnen und Leser werden dafür um Verständnis gebeten.

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Hintergrund & Motivation	8
1.2 Wärmeplanungsgesetz	8
1.3 Projektstruktur	9
2 Bestandsanalyse.....	10
2.1 Datengrundlage	10
2.2 Eignungsprüfung.....	12
2.3 Charakterisierung der Stadt Immenstadt	14
2.3.1 Demographische Entwicklung	14
2.3.2 Wirtschaft.....	14
2.4 Energie- und Treibhausgasbilanz.....	14
2.4.1 Energiebilanz für die Wärmeerzeugung der Stadt Immenstadt.....	15
2.4.2 THG-Emissionen	18
2.5 Kartografische Darstellungen	21
2.5.1 Überwiegende Gebäudenutzung	21
2.5.2 Überwiegende Baualtersklasse	22
2.5.3 Wärmeverbrauch /-bedarf	24
2.5.4 Wärmeliniendichte.....	26
2.5.5 Überwiegender Energieträgeranteil	27
2.5.6 Infrastrukturanalyse.....	29
3 Potenzialanalyse	32
3.1 Einsparpotenzial	33
3.2 Biomasse	40
3.2.1 Biogene Festbrennstoffe	40
3.2.2 Biogaspotenzial.....	41
3.3 Umweltwärme.....	41
3.3.1 Abwasserwärmemenutzung	42
3.3.2 Wärme aus Oberflächengewässern	43
3.3.3 Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	44

3.4	Geothermie	44
3.4.1	Tiefengeothermie.....	45
3.4.2	Oberflächennahe Geothermie.....	46
3.5	Solarthermie	51
3.6	Abwärme	54
3.6.1	Industrielle Abwärme	55
3.6.2	Abwärme an der Kläranlage.....	57
3.7	Wasserstoff	57
3.8	Sektorenkopplung	60
3.9	Stromerzeugungstechnologien für die Wärmenutzung	61
3.9.1	Photovoltaik	61
3.9.2	Windenergie.....	63
3.9.3	Wasserkraft.....	65
4	Literaturverzeichnis	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Beplantes Gebiet nach Eignungsprüfung Stadt Immenstadt	13
Abbildung 2-2: Prozentualer Anteil Wirtschaftssektoren Stadt Immenstadt.....	14
Abbildung 2-3: Endenergieverbrauch Wärme nach Sektoren in der Stadt Immenstadt.....	15
Abbildung 2-4: Prozentualer Anteil des Endenergieverbrauchs Wärme nach Sektoren im Basisjahr.....	16
Abbildung 2-5: Endenergieverbrauch Wärme nach Energieträger in der Stadt Immenstadt ..	16
Abbildung 2-6: Endenergieverbrauch Wärme nach Energieträgern in Immenstadt.....	17
Abbildung 2-7: Prozentualer Anteil der THG-Emissionen nach Sektoren in der Stadt Immenstadt im Basisjahr	19
Abbildung 2-8: THG-Emissionen nach Sektoren in der Stadt Immenstadt.....	19
Abbildung 2-9: Anteil THG-Emissionen nach Energieträger	20
Abbildung 2-10: Prozentualer Anteil THG-Emissionen nach Energieträger.....	20
Abbildung 2-11 Überwiegende Gebäudenutzung in der Stadt Immenstadt	22
Abbildung 2-12 Überwiegende Baualtersklassen in der Stadt Immenstadt	23
Abbildung 2-13: <i>Absoluter Wärmebedarf im Basisjahr 2022 der Stadt Immenstadt</i>	24
Abbildung 2-14: <i>Wärmedichte 2022 auf Baublockebene in der Stadt Immenstadt</i>	25
Abbildung 2-15: <i>Wärmeliniendichte der Stadt Immenstadt für das Basisjahr.....</i>	27
Abbildung 2-16: <i>Verteilung der Versorgung nach Energieträgern auf Baublockebene in der Stadt Immenstadt</i>	28
Abbildung 2-17: <i>Gasnetzverlauf der Stadt Immenstadt</i>	30
Abbildung 2-18: <i>Karte der Wärmenetze und Standorte der zugehörigen Erzeugungsanlagen in Immenstadt</i>	31
Abbildung 3-1: Übersicht der verschiedenen Potenzialbegriffe	32
Abbildung 3-2: Gegenüberstellung der beiden Sanierungsszenarien für die Stadt Immenstadt	38
Abbildung 3-3: Wärmeerzeugung durch die Nutzung von Geothermie (in Anlehnung an (LfU Geothermie, 2025)	45
Abbildung 3-4: Potenzialflächen für Erdwärmesonden für das Stadtgebiet von Immenstadt	48
Abbildung 3-5: Gesamtansicht der Potenzialflächen für Erdwärmekollektoren für das Stadtgebiet von Immenstadt	50
Abbildung 3-6: Potenzialflächen für Grundwasserwärmepumpen in Immenstadt	51
Abbildung 3-7: Potenziale für Freiflächen-Solarthermieanlagen in der Stadt Immenstadt.....	53
Abbildung 3-8: Übersicht Potenzialbegriffe Abwärme	54
Abbildung 3-9: <i>Nutzung von industrieller und gewerblicher Abwärme in Abhängigkeit des Temperaturniveaus eigene Darstellung</i>	55
Abbildung 3-10: Strombedarf von verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von 1 kWh Raumwärme und Trinkwarmwasser im Jahresdurchschnitt (BDI, 2021)	58
Abbildung 3-11: Wasserstoffkernnetz (eigene Darstellung).....	60
Abbildung 3-12: <i>Photovoltaik Potenzial Freifläche EEG-Förderkulisse Stadt Immenstadt</i>	63
Abbildung 3-13: Potenzialflächen für Windenergieanlagen	65
Abbildung 3-14: Bestehende Wasserkraftanlagen (Immenstadt)	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Datenlieferanten leitungsgebundener Energieträger in Immenstadt	11
Tabelle 2-2: Endenergieverbrauch pro Einwohner im Basisjahr	17
Tabelle 2-3: Emissionsfaktoren der Energieträger für das Jahr 2022.....	18
Tabelle 2-4: THG-Emissionen pro Einwohner in Immenstadt im Basisjahr	21
Tabelle 2-5: Übersicht Wärmenetze im Kommunalgebiet der Stadt Immenstadt	29
Tabelle 3-1: Spezifischer Energieverbrauch nach Baualtersklasse im Einfamilienhaus (EFH) in Anlehnung an (ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI, 2024)	35
Tabelle 3-2: Spezifischer Energieverbrauch nach Baualtersklasse im Mehrfamilienhaus (MFH) in Anlehnung an (ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI, 2024)	36
Tabelle 3-3: Spezifischer Energieverbrauch nach Baualtersklasse für Gewerbe, Handel und Dienstleistungen in Anlehnung an (ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI, 2024).....	37
Tabelle 3-4: Spezifischer Energieverbrauch nach Baualtersklasse für Industrie in Anlehnung an (ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI, 2024).....	37
Tabelle 3-5: Biomassepotenziale für die Stadt Immenstadt	41
Tabelle 3-6: Wertebereiche der Wassertemperaturen an der Messstation Sonthofen	44
Tabelle 3-7: Übersicht der Flächenpotenziale für Erdwärmesonden für die Stadt Immenstadt	48
Tabelle 3-8: Übersicht der Flächenpotenziale für Erdwärmesonden für die Stadt Immenstadt	49
Tabelle 3-9: Übersicht der Flächenpotenziale für Solarthermie auf Dachflächen für die Stadt Immenstadt	52
Tabelle 3-10: Übersicht der Flächenpotenziale für Solarthermie auf Freiflächen für die Stadt Immenstadt	54
Tabelle 3-11: Übersicht der Flächenpotenziale für PV-Freiflächen für die Stadt Immenstadt	62
Tabelle 3-12: Übersicht der Flächenpotenziale für Photovoltaik auf Dachflächen für die Stadt Immenstadt	63

Abkürzungsverzeichnis

ALKIS	Amtliches Liegenschaftskataster
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Biomasseheizkraftwerk
BP	Bebauungsplan
BWN	Bayernwerke Natur
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO _{2e}	Kohlenstoffdioxid äquivalent
COP	Coefficient of Performance
DLM	Digitales Landschaftsmodell
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EW	Einwohnerwert Kläranlage
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GWK	Stadtwerke Immenstadt
JAZ	Jahresarbeitszahl
K	Kelvin
KWK	Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
KWP	Kommunale Wärmeplanung
LOD	Level of Detail
MFH	Mehrfamilienhaus
NWG	Nicht-Wohngebäude
THG	Treibhausgas
WEA	Windenergieanlage
WPG	Wärmeplanungsgesetz

1 Einleitung

1.1 Hintergrund & Motivation

Der Klimawandel ist nicht nur messbar, sondern seine Auswirkungen sind auch sicht- und spürbar. Allgegenwärtig sind der Temperaturanstieg sowie schmelzende Gletscher und Pole. Daraus resultieren ein steigender Meeresspiegel sowie eine Häufung von Extremwetterereignissen. Das Ausmaß der weiteren klimatischen Veränderung und die davon abhängigen Szenarien sind zum jetzigen Zeitpunkt kaum vorhersehbar. Grund dieser Effekte sind vor allem die Emissionen von Treibhausgasen (THG). Die Erdgeschichte ist geprägt davon, dass die Temperaturen und CO₂-Emissionen steigen und fallen. Signifikant ist jedoch die Geschwindigkeit des aktuellen CO₂-Anstiegs, der deutlich macht, wie das menschliche Handeln eindeutig einen negativen Effekt auf unsere Umwelt hat.

Die EU hat sich Ziele gesetzt, um dieser Dynamik der Veränderung entgegenzuwirken. Diese Ziele beinhalten eine ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft, die Klimaneutralität bis 2045 und die Wiederherstellung der biologischen Vielfalt. Den Weg dahin sollen rund 50 Einzelmaßnahmen weisen, die zugleich den Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft bereiten.

Die ILE Alpsee-Grünten ist eine Region im Allgäu, in der die Kommunen Immenstadt, Sonthofen, Blaichach, Burgberg und Rettenberg durch ein Integriertes Ländliches Entwicklungskonzept (ILEK) zusammenarbeiten, um die Lebensqualität, die Wettbewerbsfähigkeit und die nachhaltige Entwicklung der Region zu fördern. Das ILEK konzentriert sich auf Bereiche wie Zusammenarbeit, Landwirtschaft, Biodiversität, Energie, Klimaschutz, Mobilität sowie Infrastruktur, Soziales und Kultur, um die Region als Lebens-, Arbeits- und Erholungsraum zu sichern und weiterzuentwickeln.

1.2 Wärmeplanungsgesetz

Die kommunale Wärmeplanung (KWP) ist ein strategisches Instrument, welches den Kommunen ermöglicht, das Thema Wärme im Rahmen der nachhaltigen Stadtentwicklung zu gestalten. Ziel der kommunalen Wärmeplanung ist es, den optimalen und kosteneffizientesten Weg zu einer umweltfreundlichen und fortschrittlichen Wärmeversorgung vor Ort zu finden. Die Wärmeplanung bietet den Kommunen einen starken Hebel, um die Energiewende im Bereich Wärme sowohl schneller als auch effizienter voranzutreiben. Der konsequente Ansatz, der auf Klimaneutralität ausgerichtet ist, gibt den kommunalen Entscheidungsträgern eine strategische Handlungsgrundlage. Ein Wärmeplan ersetzt jedoch niemals eine detaillierte Fachplanung vor Ort.

Die Bestimmungen zum Umfang, Inhalt und damit verbundenen Befugnissen und Verpflichtungen der kommunalen Wärmeplanung sind im Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Abk. Wärmeplanungsgesetz – WPG) für alle Kommunen festgelegt. Das WPG wurde am 17. November 2023 vom Bundestag beschlossen und ist am 01. Januar 2024 in Kraft getreten. Das WPG verpflichtet jede Kommune im Bundesgebiet zur Erstellung eines kommunalen Wärmeplans. Kommunen mit einer Einwohnergröße über 100.000 Einwohner müssen bis zum 30. Juni 2026 einen Wärmeplan vorlegen, Kommunen mit weniger als 100.000 Einwohner haben bis zum 30. Juni 2028 Zeit.

Im WPG werden Angaben getätigt, welche Inhalte eine Wärmeplanung erfüllen muss, um den Gesetzesvorgaben zu entsprechen. Mit diesem Vorgehen möchte die Bundesregierung einen

einheitlichen, bundesweiten Standard schaffen, der die Planungs- und Investitionssicherheit erhöht sowie klare Zuständigkeiten benennt. Ziel der Wärmeplanung ist es, den vor Ort besten und kosteneffizientesten Weg zu einer klimafreundlichen und fortschrittlichen Wärmeversorgung zu ermitteln und so das übergeordnete Klimaneutralitätsziel 2045 voranzutragen.

Mit dem WPG wurden die Länder verpflichtet, die Erstellung der Wärmeplanungen in einem Landesgesetz umzusetzen und die Erstellung der Wärmeplanungen zu kontrollieren und finanziell zu unterstützen. In Bayern ist das Landesgesetz seit dem 01.01.2025 gültig.

1.3 Projektstruktur

Zur erfolgreichen Erstellung des kommunalen Wärmeplans bedarf es einer ausführlichen Vorarbeit und einer systematischen Projektbearbeitung. Hierzu sind unterschiedliche Arbeitsschritte notwendig, die aufeinander aufbauen und die relevanten Einzelheiten sowie projektspezifischen Merkmale einbeziehen. Die Konzepterstellung lässt sich grob in die nachfolgenden Bausteine nach Vorgabe des WPG § 13 gliedern:

1. den Beschluss oder die Entscheidung der planungsverantwortlichen Stelle über die Durchführung der Wärmeplanung
2. Eignungsprüfung
3. Bestandsanalyse
4. Potenzialanalyse
5. Entwicklung und Beschreibung eines Zielszenarios
6. Einteilung des geplanten Gebiets in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete, sowie die Darstellung der Wärmeversorgungsarten für das Zieljahr
7. Entwicklung einer Umsetzungsstrategie mit konkreten Umsetzungsmaßnahmen, die innerhalb des beplanten Gebiets zur Erreichung des Zielszenarios beitragen sollen

Die einzelnen Bausteine bauen aufeinander auf und sind nicht trennscharf abzugrenzen. Die Vorgehensweise der einzelnen Arbeitsschritte wird in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich beschrieben.

2 Bestandsanalyse

Um eine nachhaltige Wärmestrategie zu entwickeln, ist es zunächst notwendig die aktuelle Situation zu analysieren und darzustellen. In den folgenden Abschnitten werden die Datengrundlage, die Charakterisierung der Stadt Immenstadt, kartografische Darstellungen und die Energie- und Treibhausgasbilanz vorgestellt.

2.1 Datengrundlage

Maßgeblich für den Umfang und die Qualität der Daten ist die Anlage 1 zu § 15 des WPG. Für die Bestands- und Potenzialanalyse in Immenstadt wurden u. a. folgende Daten berücksichtigt:

- ▶ ALKIS-Daten (u. a. Flurstücke, Adressen, Gebäudepolygone, Gebäudetyp)
- ▶ Landschaftsmodell (BasisDLM+)
- ▶ 3D-Gebäudemodelle (CityGML LoD 2)
- ▶ Bezirksschornsteinfegerdaten (Straßenzugsebene)
- ▶ Zensusdaten aus der Befragung 2022 (Beheizungsstruktur, Baualter)
- ▶ Verbrauchsdaten von lokalen Energieversorgern
- ▶ Versorgungsstruktur der Erdgas- und Wärmenetze inkl. Ausbauplänen
- ▶ Kommunale Gebäudestatistiken
- ▶ Beschlossene, noch nicht umgesetzte Projekte der Wärmeversorgung
- ▶ Laufende und geplante Infrastrukturmaßnahmen (u. a. Netzausbau, Modernisierung von Netzen sowie Tief- und Straßenbau)
- ▶ Weitere Daten u. a. zu Abwasserleitungen, unvermeidbaren Abwärmepotenzialen, Biomasse, Biogas, Wasserstoff, Denkmalschutz, Siedlungsentwicklung (z. B. ausgewiesene Neubaugebiete)
- ▶ Daten des Energie-Atlas Bayern
- ▶ Daten des Umweltatlas Bayern
- ▶ Umfrage
- ▶ Weitere angefragte Daten und Layer (z. B. shapes) von verschiedenen Informationsquellen

Öffentlich zugängliche Informationen wie z. B. das Baujahr wurden überwiegend rasterbasiert erfasst und auf die gebildeten Baublöcke und die enthaltenen Adressen verteilt.

Ziel der Datenerhebung ist es, einen möglichst hohen Anteil an Realdaten (z. B. abgerechnete Verbrauchsdaten) zu berücksichtigen und so eine hohe Datengüte zu erreichen. Die Verbrauchsdaten leitungsgebundener Energieträger Strom, Wärmenetz und Erdgas wurden von den folgenden Netzbetreibern und dem kommunalen Wärmenetzbetreiber bereitgestellt (siehe Tabelle 2-1).

Die Verbrauchsdaten wurden für mehrere Jahre angefragt. Es liegen hauptsächlich Daten zu den Jahren 2022, 2023 und 2024 vor, teilweise auch zu 2021. Um die jahresübergreifende Witterung auszugleichen und um eine witterungsabhängige Ausgangsbasis für die Wärmeplanung bereitzustellen, wurden die Verbräuche der jeweiligen Jahre mit den Klimafaktoren des Deutschen Wetterdienstes witterungsbereinigt (Deutscher Wetterdienst, 2023). Aus den witterungsbereinigten Verbrauchsdaten wurden Mittelwerte gebildet, die zur Analyse der Ist-Situation und zur Bilanzierung herangezogen wurden. Der Zeitpunkt dieser Referenzsituation wird als Basisjahr bezeichnet.

Tabelle 2-1: Datenlieferanten leitungsgebundener Energieträger in Immenstadt

Energieträger	Netzbetreiber	Wärmeverbrauch
Wärmenetz	Sozial-Wirtschafts-Werk des Landkreises Oberallgäu Wohnungsbau GmbH, Umfrage	Adressscharf
Erdgas	Schwaben Netz GmbH	Baublöcke des Versorgers
Umweltwärme / Wärmepumpe	AllgäuNetz GmbH & Co. KG	Baublöcke des Netzbetreibers; Wärmeverbrauch aller registrierten Wärmepumpen und Stromdirektheizungen

Bei der Erhebung, Verarbeitung und Visualisierung der gesammelten Daten werden die Vorgaben an den Datenschutz stets eingehalten. Dabei müssen sowohl bei der Datenerfassung als auch bei der Darstellung entsprechende Richtlinien eingehalten werden. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

- ▶ Daten von Aggregatoren (z.B. Energieversorgern) wurden für mindestens fünf Gebäude aggregiert übermittelt. Auf Basis der Gebäudedaten (Nutzfläche) wurde die Summe der Gebäude disaggregiert und verteilt. Dadurch können adress-/gebäudescharfe Verbräuche ermittelt werden, die dennoch den Datenschutzbestimmungen entsprechen, da sie einen gemittelten Wert darstellen. Dabei kann es entsprechend zu Abweichungen vom tatsächlichen Verbrauch kommen.
- ▶ Zudem wurde im Rahmen einer Umfrage Daten zu einzelnen Gebäuden ermittelt, die von den Datenlieferanten zur Nutzung in der Wärmeplanung freigegeben wurden. Diese liegen entsprechend adressscharf vor und wurden so weiterverarbeitet.
- ▶ Um den Datenschutz für alle genutzten Daten zu gewährleisten, werden alle adressscharfen Daten in der Darstellung auf Baublockebene aggregiert.

Dabei kann es vorkommen, dass manche Baublöcke über natürliche Trennungen wie Schienenwege, sonstige natürliche Trennungen (z. B. Fließgewässer) und den Straßenverkehr hinausragen. Diese Baublöcke bilden die kleinste Einheit innerhalb der kartografischen Darstellungen.

Die von den Versorgern gebildeten Baublöcke wichen von den für die kommunale Wärmeplanung gebildeten Baublöcken ab. Folglich wurden die Verbrauchswerte aus den Baublöcken der Netzbetreiber in die bestehenden Baublöcke für den kommunale Wärmeplan umverteilt. Dazu wurden die baublockbezogenen Energieverbräuche anhand der Gebäudeanzahl im Baublock sowie der beheizten Nutzflächen der Einzelgebäude adressscharf aufgeteilt. Anschließend wurden die Daten der Einzeladressen auf die Baublöcke für den kommunale Wärmeplan aggregiert.

Die Gasverbrauchsdaten wurden brennwertbezogen übermittelt. Diese wurden für die weitere Nutzung auf den Heizwert umgerechnet. Schließlich wurden die Heizwertdaten mit einem Erzeugerwirkungsgrad von 90 % multipliziert. Folglich sind die Wärmeverbräuche in der Form von Erzeugernutzwärmeabgaben berücksichtigt.

Für viele Gebäude lagen keine Verbrauchswerte vor. Für diese Gebäude wurden spezifische Energiebedarfswerte berechnet. Auf Basis der adressscharfen und witterungsbereinigten Gasverbräuche, des Baualters und des Gebäudetyps wurden Energiewerte nach beheizter Nutzfläche für Typgebäude gebildet und den Gebäuden zugewiesen, die eine ähnliche Nutzung, eine äquivalente (überwiegende) Baualtersklasse und einen äquivalenten Gebäudetyp aufweisen. Für alle Gebäude, die nicht-leitungsgebunden versorgt werden und für die keine weiteren Daten der energetischen Versorgung zur Verfügung standen, konnten somit auf Grundlage von realen Gasverbrauchsdaten Bedarfswerte zugewiesen werden.

Für eine große Anzahl an Gebäuden war zusätzlich der Energieträger unbekannt. Der Energieträger dieser Gebäude wurde überwiegend anhand der Zensusdaten ermittelt. Für einzelne Gebäude, die nicht im ZENSUS abgebildet werden (Nichtwohngebäude) und für die keine Information bezüglich des Energieträgers vorliegen, konnte kein Energieträger zugewiesen werden.

Die Kehrbuchdaten konnten aufgrund der Straßenbezugsebene nicht für die Berechnung des adressscharfen Wärmebedarfs oder die Zuordnung des Energieträgers herangezogen werden, da eine Zuordnung der Gebäude auf einzelne Adressen bzw. auf Baublöcke – insbesondere bei langen Straßen – nicht sinnvoll möglich ist. Zusätzlich bestehen Unschärfen in den Kehrbuchdatensätzen aufgrund von datenschutzrechtlichen Randbedingungen in Bayern.

Während der Bestandsanalyse wurden die Daten und Informationen in einer Datenbank gesammelt sowie in einem geographischen Informationssystem (GIS) gespeichert und weiterverarbeitet. Die gesammelten Informationen (wie z. B. Energieverbräuche, Verteilung der eingesetzten Energieträger, Alter des Gebäudebestandes) und deren GIS-gestützte Verortung bilden die Grundlagen für die kartografischen Darstellungen der Bestandsanalyse sowie für die weiteren Analysen.

2.2 Eignungsprüfung

Im Wärmeplanungsgesetz (WPG) ist in § 14 vorgesehen, dass für das gesamte Planungsgebiet oder für Teilgebiete eine Eignungsprüfung durchgeführt werden muss, um eine Entscheidung zu treffen, welche Teilgebiete sich nicht für eine vollumfängliche Wärmeplanung, sondern für eine verkürzte Wärmeplanung eignen. Bedingung laut § 14 Absatz 4 WPG ist die Einschätzung, ob das Planungsgebiet oder Teilgebiete sich mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht eignen für die Versorgung über eine Wärmenetz oder ein Wasserstoffnetz.

Durch das Ergebnis der Eignungsprüfung kann insbesondere auf die Erhebung bestimmter Daten im Rahmen einer verkürzten Wärmeplanung verzichtet werden. Darüber hinaus kann in Teilgebieten, die bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt vollständig oder nahezu vollständig aus erneuerbaren Energien oder aus nicht vermeidbarer Abwärme versorgt werden, auf eine Wärmeplanung nach § 14 Absatz 6 WPG ganz verzichtet werden.

Für die Eignungsprüfung sind die bestehenden Energieinfrastruktur wie z. B. Gasnetze, Wärmenetze, die Wärmeliniendichte und die Möglichkeiten der Versorgung über ein Wasserstoffnetz als Prüfindikatoren herangezogen worden. Das Ergebnis ist in Abbildung 2-1 dargestellt.

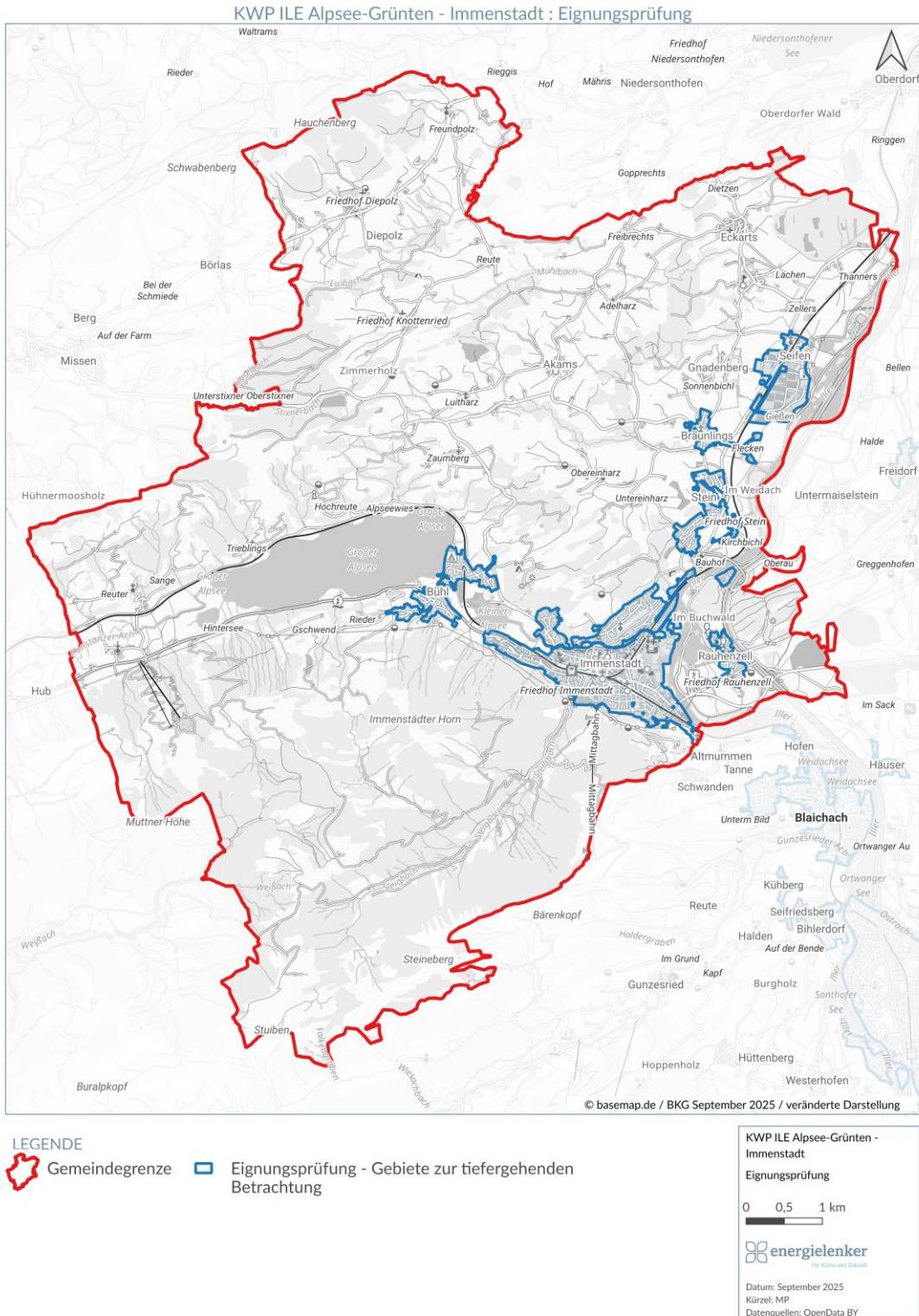


Abbildung 2-1: Beplantes Gebiet nach Eignungsprüfung Stadt Immenstadt

2.3 Charakterisierung der Stadt Immenstadt

2.3.1 Demographische Entwicklung

Ende des Jahres 2022 wohnten 14.400 Menschen in Stadt Immenstadt. Bis zum Jahr 2039 soll die Bevölkerungszahl der Stadt Immenstadt auf 14.800 Menschen steigen. Es sind die Bevölkerungszahlen des Statistischen Landesamt für Bestandsanalyse herangezogen worden (Statistik B. L., 2021). Im Vergleich zum Jahr 2022 wäre das ein Bevölkerungsanstieg von etwa 2,77 %, bzw. 400 Personen.

2.3.2 Wirtschaft

Die Wirtschaft in der Stadt Immenstadt besteht im Jahr 2022 aus einer Mischung aus Großunternehmen, klein- und mittelständischen Unternehmen sowie Start-Ups und Handwerksbetrieben. Hierzu zählen folgende Branchenzugehörigkeiten samt der Gebäudeanzahl laut IHK-Standortportal Bayern (IHK-Standortportal, 2024):

- ▶ Industrie (Anzahl: 98)
- ▶ Einzelhandel (247)
- ▶ Großhandel (102)
- ▶ Verkehr und Logistik (22)
- ▶ Gastgewerbe (124)
- ▶ Dienstleistungen für Unternehmen (231)
- ▶ Dienstleistungen für Personen (246)

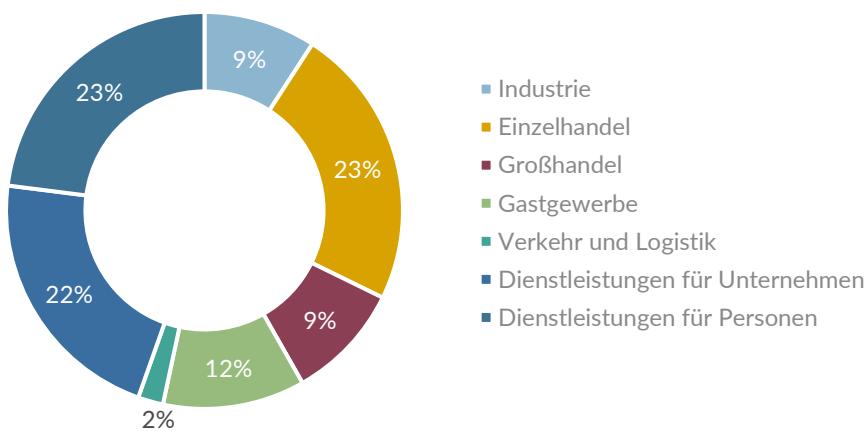


Abbildung 2-2: Prozentualer Anteil Wirtschaftssektoren Stadt Immenstadt

2.4 Energie- und Treibhausgasbilanz

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Immenstadt dargestellt. Der tatsächliche Energieverbrauch ist dabei für das Basisjahr erfasst und bilanziert worden. Die Grundlage der Bilanzierung bilden die GIS-Daten, die jeder Adresse anhand unterschiedlicher Datengrundlagen zugeordnet wurden (vgl. Abschnitt 2.1).

Aufgrund der Anforderungen aus dem Wärmeplanungsgesetz (WPG) ist die Energiebilanz in der kommunalen Wärmeplanung ausschließlich auf die Endenergieträger beschränkt, die zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Für den Stromverbrauch werden nur die relevanten Anteile für den Betrieb von Wärmepumpen und strombetriebenen Direktheizungen (z. B. Nachtspeicheröfen) für die Bilanz herangezogen. Für die Energie- und Treibhausgasbilanz wurde ein internes Bilanztool und die gebäudescharfen GIS-Daten herangezogen.

2.4.1 Energiebilanz für die Wärmeerzeugung der Stadt Immenstadt

Im Basisjahr weist die Stadt Immenstadt sektorenübergreifend einen Endenergieverbrauch für die Wärmebereitstellung von 179.790 MWh auf (vgl. Abbildung 2-3). In Abbildung 2-4 wird die prozentuale Verteilung der Endenergieverbräuche im Wärmesektor nach Verwendung dargestellt. Die privaten Haushalte nehmen im Basisjahr mit 50 % den größten Anteil am Gesamtwärmeverbrauch ein. Der Sektor Industrie weist mit 23 % den zweit größten Anteil auf. Als dritt größter Anteil ist der Sektor GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) mit 21 % zu nennen. Auf den Sektor kommunale Einrichtungen entfällt lediglich ein Anteil von 6 %.

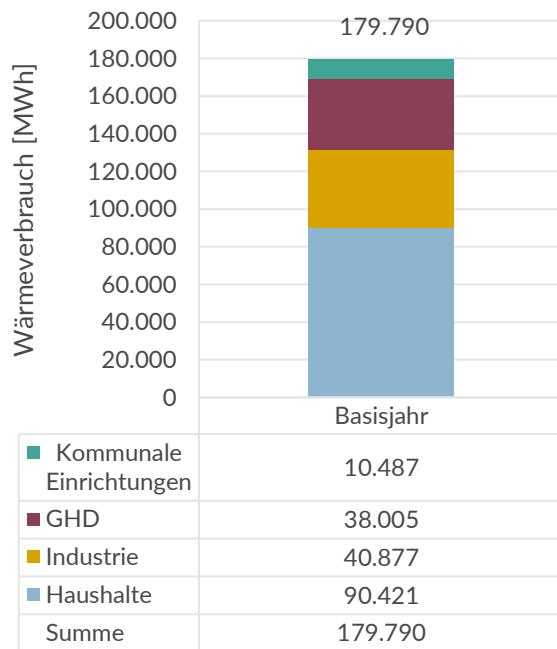


Abbildung 2-3: Endenergieverbrauch Wärme nach Sektoren in der Stadt Immenstadt

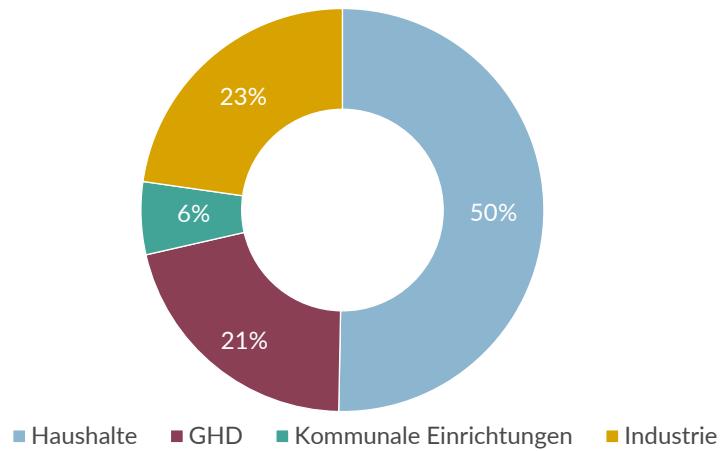


Abbildung 2-4: Prozentualer Anteil des Endenergieverbrauchs Wärme nach Sektoren im Basisjahr

Aus Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6 ist der Wärmeverbrauch pro Energieträger ersichtlich. Den größten Anteil der Wärmeversorgung nimmt Erdgas mit 43 % (77.185 MWh) ein. Gefolgt von Heizöl mit 34 % (61.501 MWh), zu je 6 % Biomasse (11.375 MWh) und Wärmenetze (10.776 MWh), Kohle mit 4 % (6.528 MWh) und Wärmepumpe mit 2 %. Die durch Wärmepumpen erzeugte Wärmemenge wurde für die Bilanz mithilfe einer angenommenen durchschnittlichen Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,2 aus der dafür aufgewendeten Strommenge berechnet. Über die restlichen nichtleitungsgebundenen Energieträger sind mit 2 % (3.350 MWh) Verbräuche erfasst, die keinem Energieträger zuweisbar waren. Kleinere Anteile sind im Diagramm als Sonstige Energieträger dargestellt und beinhalten die Nutzung von Strom für elektrische Direktheizung bzw. Nachspeicheröfen mit 1,6 % (2.824 MWh), Biogas ebenfalls mit 1,6 % (2.851 MWh) sowie Solarthermie und Flüssiggas mit je 0,1 %. Über 80 % der Endenergie im Bereich Wärme wird derzeit noch fossil bereitgestellt.

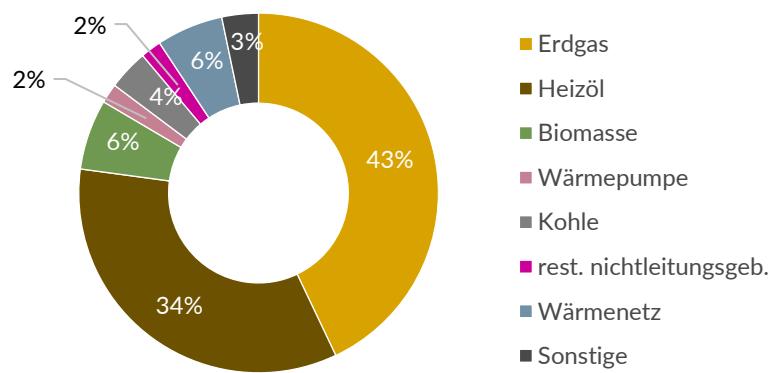


Abbildung 2-5: Endenergieverbrauch Wärme nach Energieträger in der Stadt Immenstadt

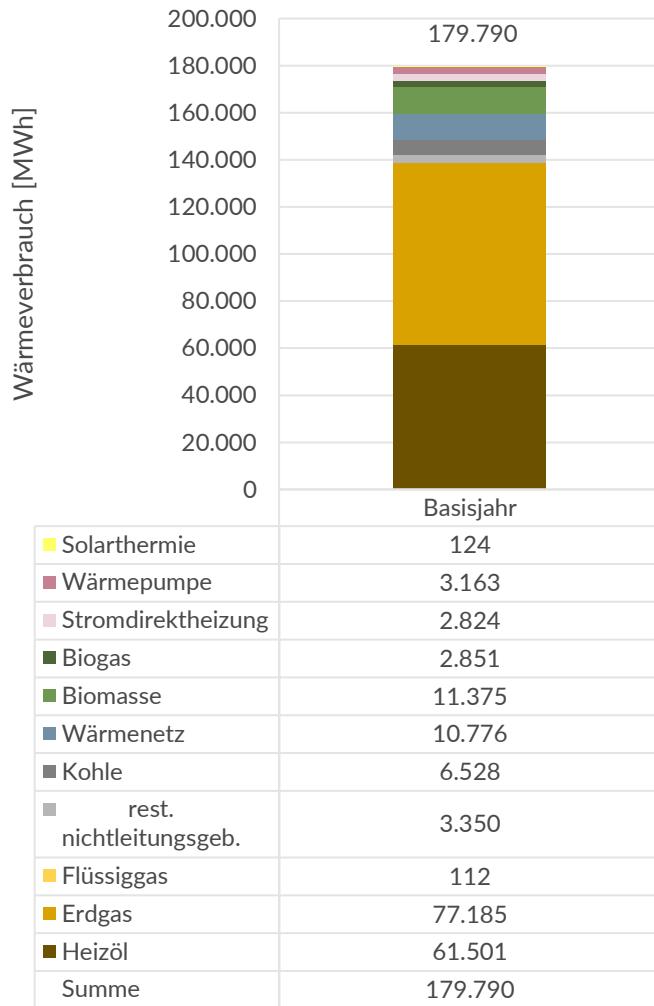


Abbildung 2-6: Endenergieverbrauch Wärme nach Energieträgern in Immenstadt

Endenergieverbrauch pro Einwohner

Die absoluten Werte für die sektorspezifischen Endenergieverbräuche aus Abbildung 2-3 sind in der Tabelle 2-2 pro Einwohner dargestellt. Im Basisjahr hatte Immenstadt 14.400 Einwohner, der Endenergieverbrauch pro Person lag bei 12,49 MWh.

Tabelle 2-2: Endenergieverbrauch pro Einwohner im Basisjahr

Endenergieverbrauch pro Einwohner in MWh/Person	
<i>Haushalte</i>	6,28
<i>Industrie</i>	2,84
<i>Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)</i>	2,64
<i>Kommunale Einrichtungen</i>	0,73
<i>Summe</i>	12,49

2.4.2 THG-Emissionen

Anhand der ermittelten Verbräuche und energieträgerspezifischer Emissionsfaktoren werden die THG-Emissionen berechnet. Dazu sind THG-Emissionsfaktoren notwendig. Für die THG-Emissionsfaktoren sind die Werte aus dem Technikkatalog des Leitfaden Wärmeplanung (Prognos AG; ifeu, 2024) herangezogen worden. In Tabelle 2-3 werden die Emissionsfaktoren der jeweiligen Energieträger dargestellt.

Tabelle 2-3: Emissionsfaktoren der Energieträger für das Jahr 2022

Emissionsfaktoren der Energieträger [gCO ₂ e/kWh]			
Strom	505	Flüssiggas	276
Heizöl	313	Braunkohle	445
Erdgas	257	Steinkohle	433
Holz	22	Heizstrom	505
Umweltwärme	158	Sonstige Erneuerbare	25
Sonnenkollektoren	23	Sonstige Konventionelle	330
Biogase	121	Abfall	27
Wärmenetz	118	rest. nichtleitungsgeb.	236

Der Emissionsfaktor für die restlichen nichtleitungsgebundenen Energieträger ist anhand der Schornsteinfegerdaten der Gesamtkommune auf die Energieträger Biomasse und Heizöl nach ihrer Gewichtung aufgeteilt worden.

Nachfolgend werden die THG-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern sowie pro Einwohner dargestellt.

Im Basisjahr weist die Stadt Immenstadt sektorenübergreifend THG-Emissionen von 46.582 tCO₂e für die Wärmebereitstellung auf. Abbildung 2-7 zeigt die prozentuale Verteilung der THG-Emissionen für die Sektoren der Stadt Immenstadt.

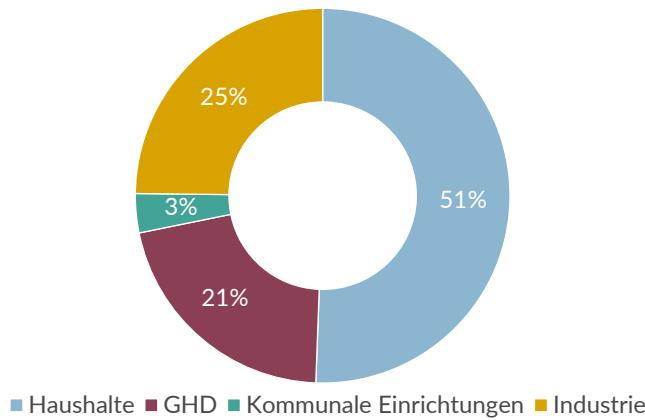


Abbildung 2-7: Prozentualer Anteil der THG-Emissionen nach Sektoren in der Stadt Immenstadt im Basisjahr

In Abbildung 2-8 sind die THG-Emissionen nach Sektoren in der Stadt Immenstadt dargestellt. Die meisten THG-Emissionen verursacht der Haushaltssektor mit rund 23.562 tCO₂e (51 %) im Basisjahr. Der Industriesektor emittiert 11.560 tCO₂e (25 %). Auf den Sektor GHD verteilen sich 9.887 tCO₂e (21 %) und die kommunale Einrichtungen 1.573 tCO₂e (3 %).

In Abbildung 2-10 sind die Emissionen nach Verwendung der Energieträger und in Abbildung 2-10 nach prozentualer Gewichtung dargestellt. Es ist zu beachten, dass auf Grund der Lesbarkeit die Energieträger mit einem Anteil kleiner 2 % in der Kategorie Sonstige für diese Darstellung zusammengefasst wurden.

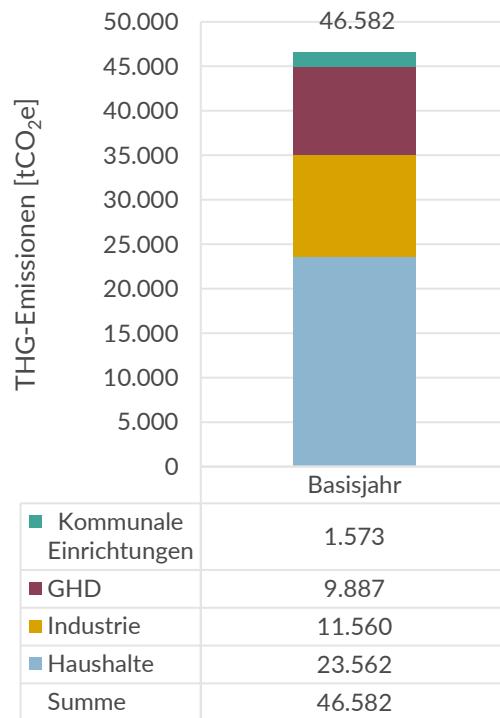


Abbildung 2-8: THG-Emissionen nach Sektoren in der Stadt Immenstadt

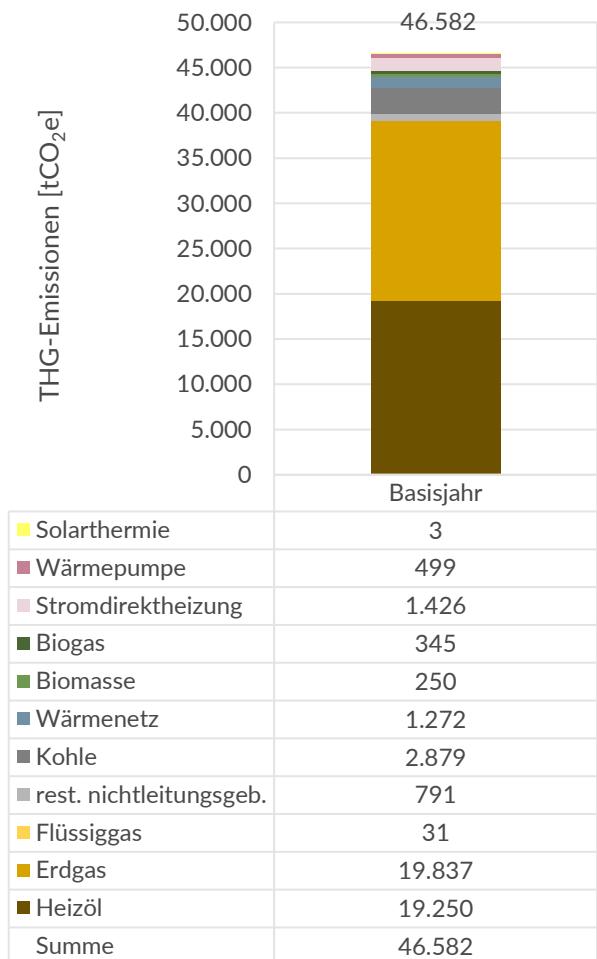


Abbildung 2-9: Anteil THG-Emissionen nach Energieträger

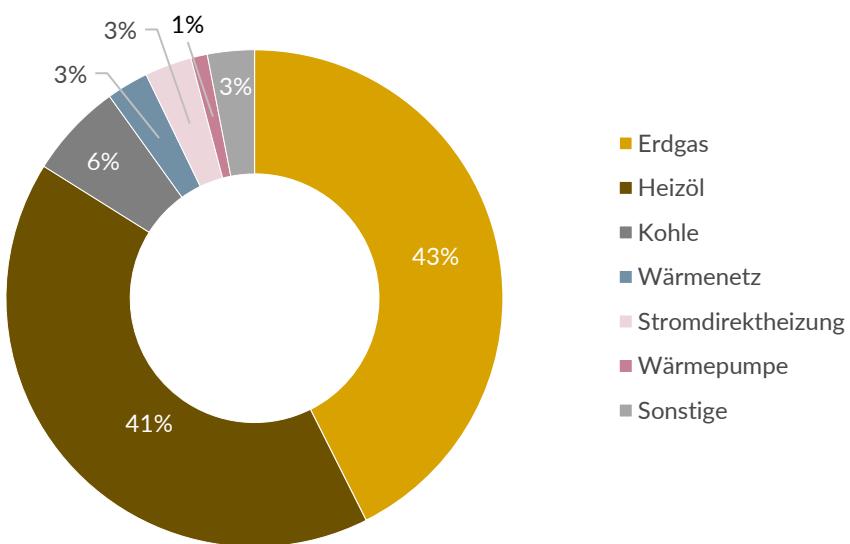


Abbildung 2-10: Prozentualer Anteil THG-Emissionen nach Energieträger

THG-Emissionen pro Einwohner

Die Absolutwerte der sektoralen THG-Emissionen aus Abbildung 2-8 werden in der Tabelle 2-4 auf die Einwohner Immenstadts bezogen. Pro Kopf wurden 3,23 tCO₂e im Wärmebereich emittiert.

Tabelle 2-4: THG-Emissionen pro Einwohnenden in Immenstadt im Basisjahr

	THG-Emissionen / EW [tCO ₂ e / Einwohnenden]
Haushalte	1,64
Industrie	0,80
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	0,69
Kommunale Einrichtungen	0,11
Summe	3,23

2.5 Kartografische Darstellungen

Im Folgenden werden alle kartografischen Darstellungen der Bestandsanalyse beschrieben.

2.5.1 Überwiegende Gebäudenutzung

In Abbildung 2-11 ist die überwiegende Gebäudenutzung der Stadt Immenstadt für die erstellten Baublöcke dargestellt. Die Gebäudenutzung ist in Wohngebäude, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) und Industrie kategorisiert. Gebäude, die keine der oben genannten Nutzungen zugewiesen werden konnten, sind mit keine Angabe (k. A.) bezeichnet.

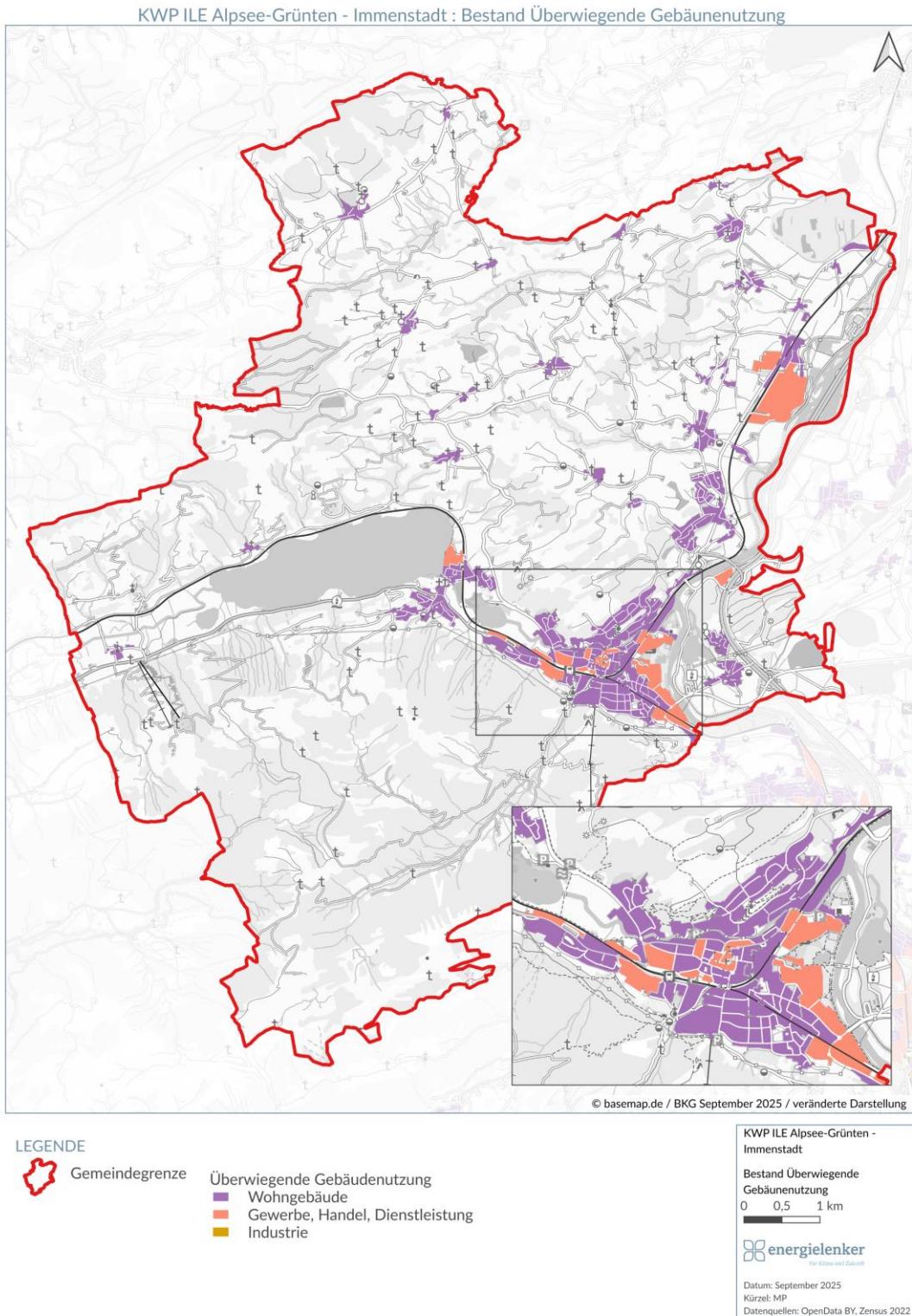


Abbildung 2-11 Überwiegende Gebäudenutzung in der Stadt Immenstadt

2.5.2 Überwiegende Baualtersklasse

In Abbildung 2-12 sind die überwiegenden Baualtersklassen der Baublöcke dargestellt. Der Großteil der Gebäude ist zwischen 1949 und 1978 erbaut. Die Stadt weist einen historischen Kern mit überwiegendem Gebäudebestand vor 1919 auf.

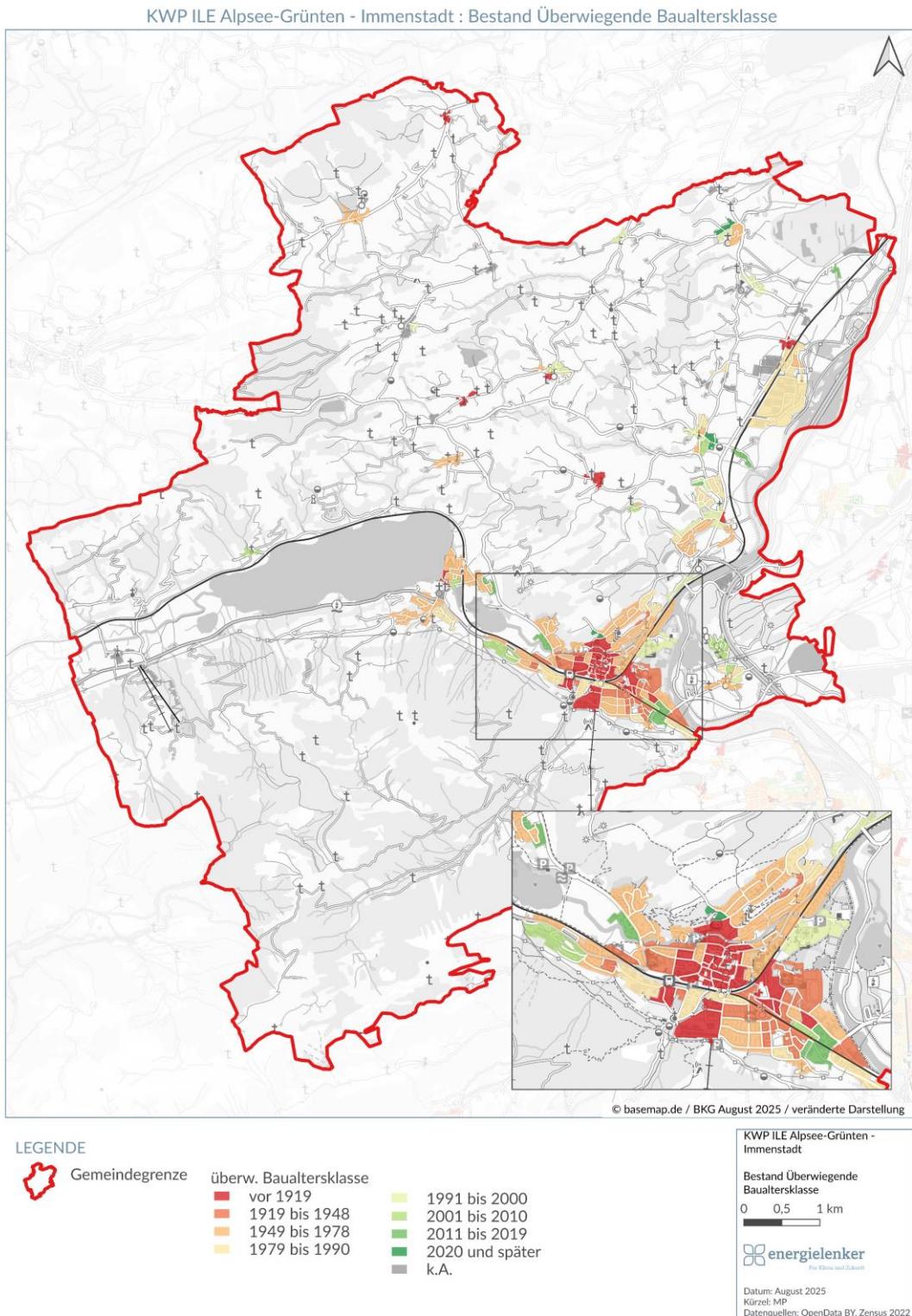


Abbildung 2-12 Überwiegende Baualtersklassen in der Stadt Immenstadt

2.5.3 Wärmeverbrauch/-bedarf

Für die Darstellung der Wärmeverbräuche bzw. -bedarfe (im Folgenden nur noch als Wärmeverbrauch benannt) wurden anschließend die gebäudescharfen Daten auf Baublockebene aggregiert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2-13 dargestellt.

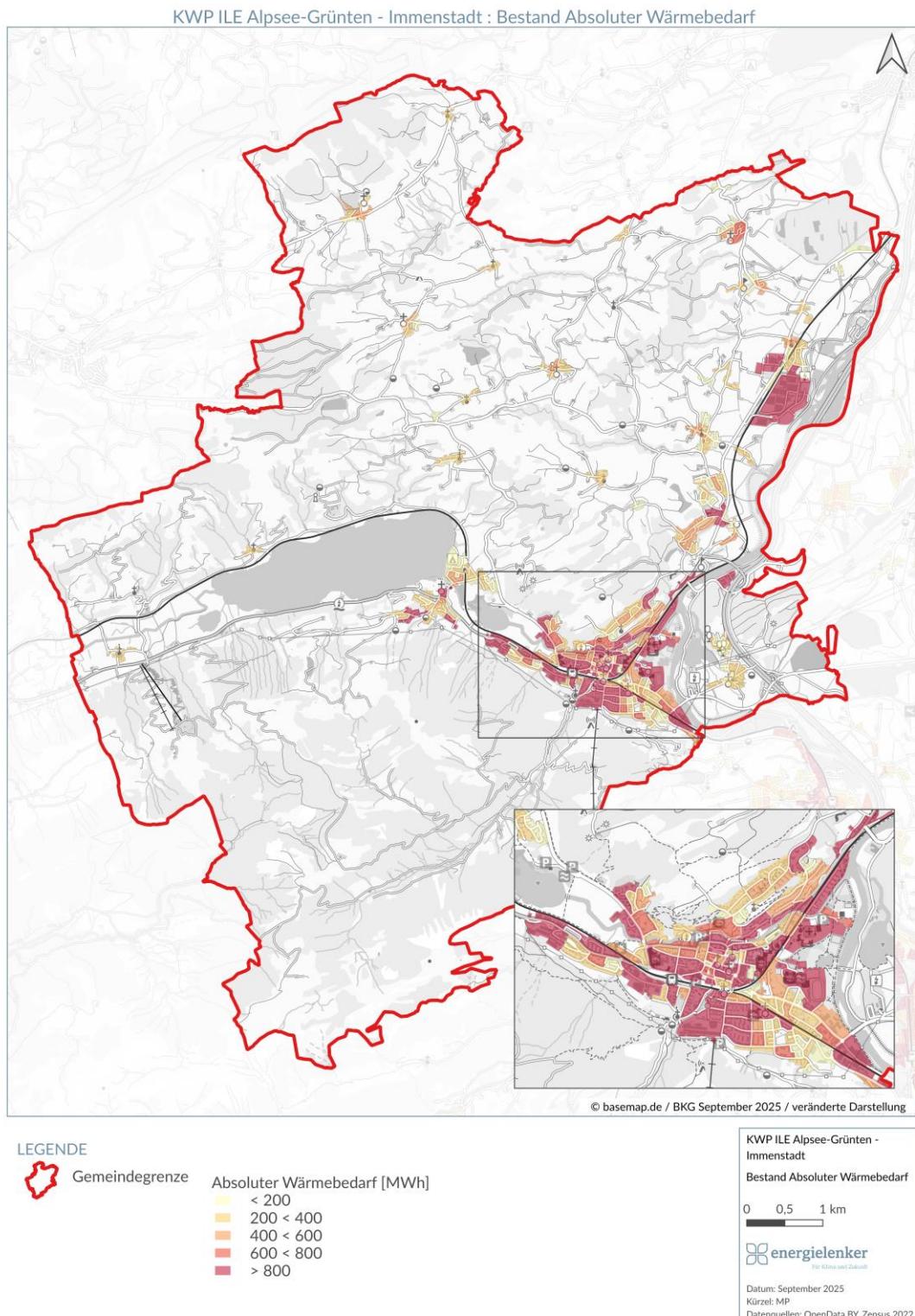


Abbildung 2-13: Absoluter Wärmebedarf im Basisjahr 2022 der Stadt Immenstadt

In Abbildung 2-14 ist die Wärmedichte auf Baublockebene für die Stadt Immenstadt dargestellt. Wie zu erwarten ist insbesondere im Stadtkern sowie in den Gewerbe-/Industriegebieten die Wärmedichte sehr hoch.

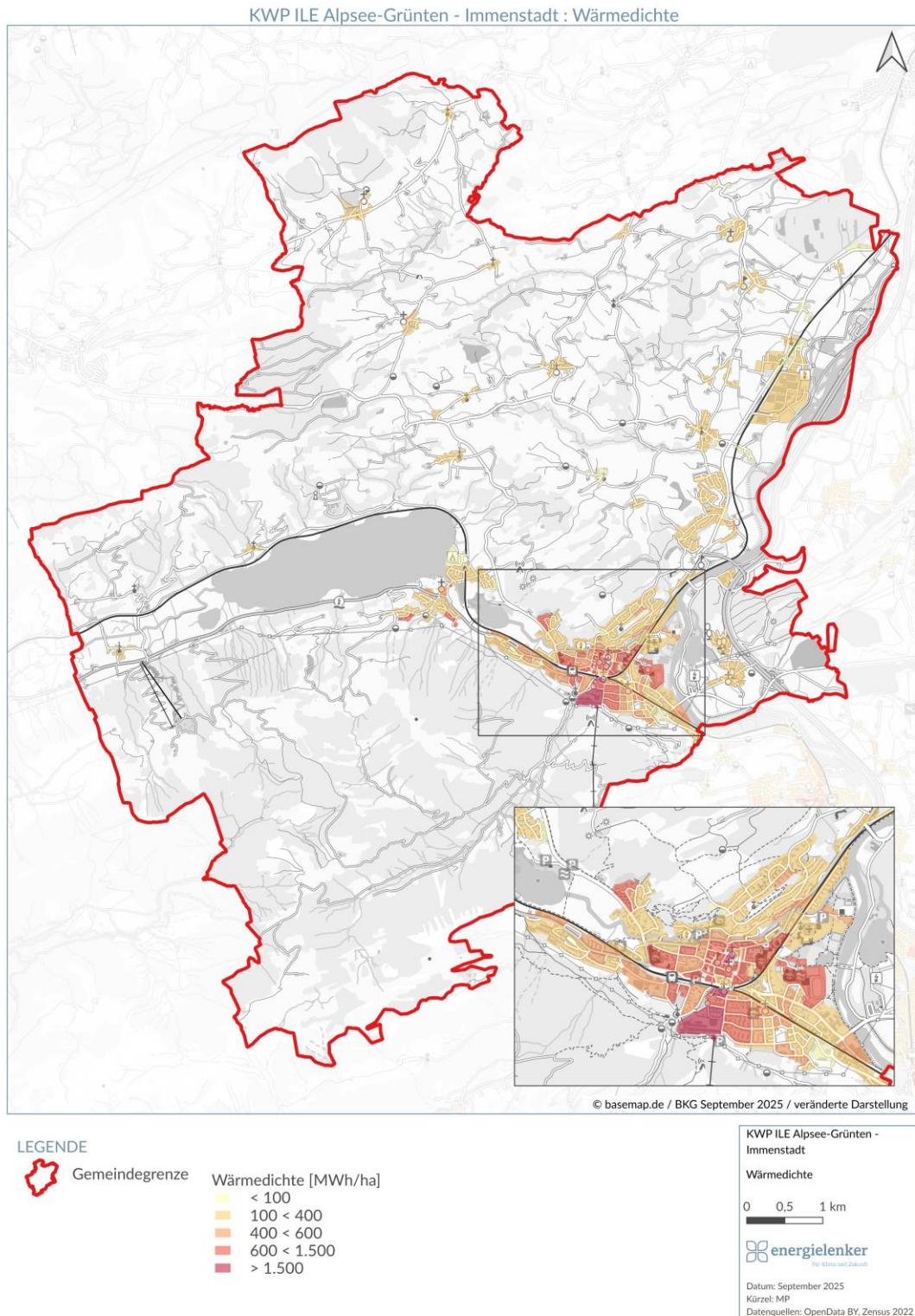


Abbildung 2-14: Wärmedichte 2022 auf Baublockebene in der Stadt Immenstadt

2.5.4 Wärmeliniendichte

Ein weiterer, wichtiger Indikator, insbesondere für die Bewertung einer zentralen Wärmeversorgung, ist die Wärmeliniendichte. Sie beschreibt die Wärmemenge, die pro Meter und Jahr entlang einer Straße transportiert werden muss, um alle Gebäude entlang dieser Straße mit Wärme zu versorgen. Eine hohe Wärmeliniendichte deutet darauf hin, dass ein mögliches Wärmenetz eine hohe Wärmemenge über eine kurze Strecke transportieren muss, was auf eine effiziente Nutzung der Leitungen hinweist, und ein Kriterium für die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes im Vergleich zu einer dezentralen Versorgung ist. Hierzu werden die Gebäude anhand ihrer Adresse dem jeweiligen Straßenzug zugeordnet. Hierbei ist zu beachten, dass jede Wärmelinie für sich steht, d.h. es wird nicht berücksichtigt, dass im Falle eines Wärmenetzbaus über die Haupttrasse auch die Wärmemenge von angeschlossenen Straßenzügen transportiert werden muss.

Wie in Abbildung 2-15 dargestellt, sind in der Stadt Immenstadt hohe Wärmeliniendichten insbesondere im Bereich des Stadtkerns mit dichter Bebauung, sowie in Industrie- und Gewerbegebieten mit hohen absoluten Wärmeverbrauch zu finden.

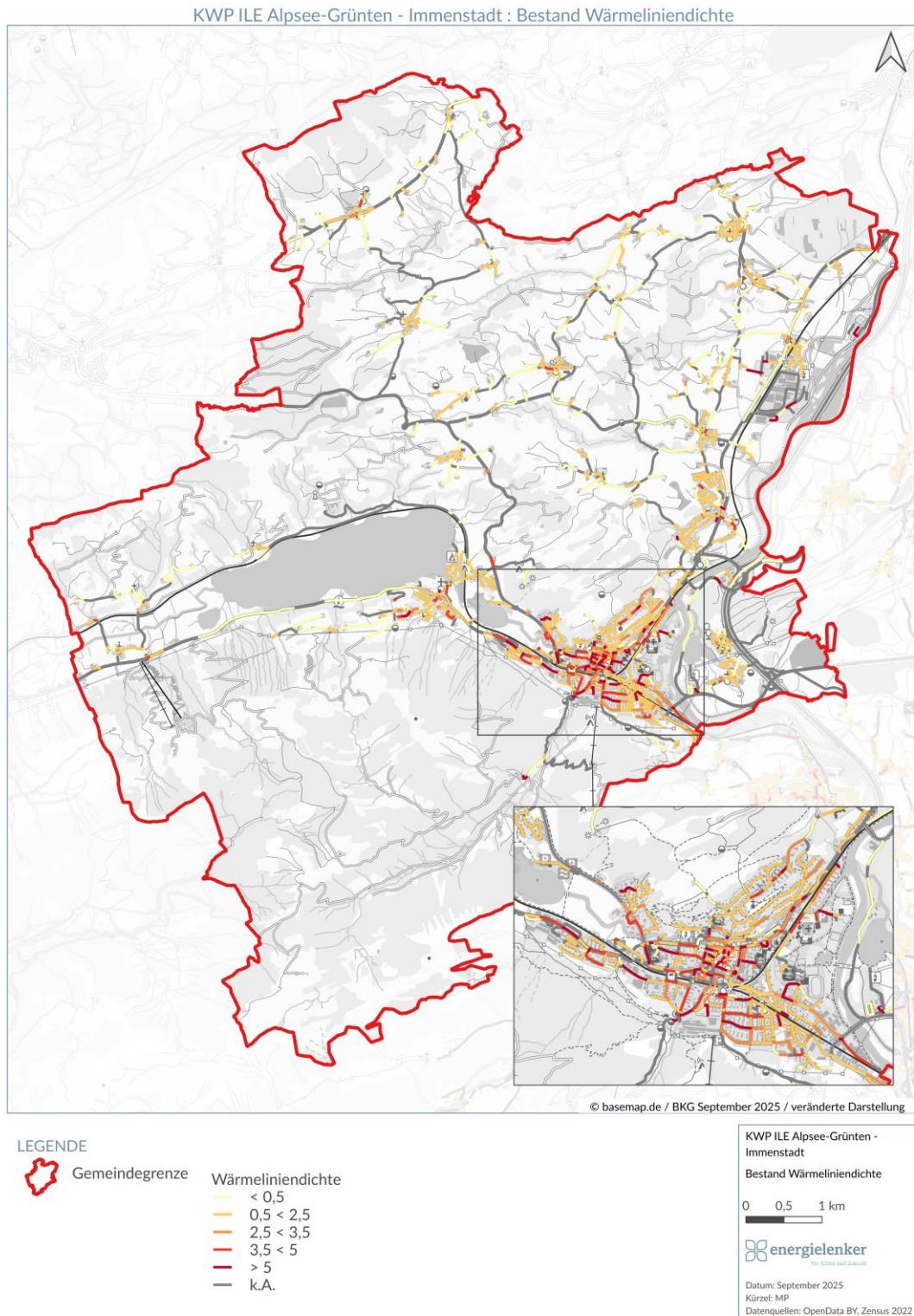


Abbildung 2-15: Wärmeliniendichte der Stadt Immenstadt für das Basisjahr

2.5.5 Überwiegender Energieträgeranteil

In Abbildung 2-16 ist die Verteilung der überwiegenden Versorgung nach Energieträgern bezogen auf die Gebäudeanzahl je Baublock dargestellt. Im Kern der Stadt gibt es einige Baublöcke mit überwiegender Wärmenetzversorgung. In den Randbereichen überwiegen Gas-

und Öl-Versorgung. Besonders in kleineren Ortsteilen und Weilern wird Biomasse mit einem hohen Anteil genutzt.

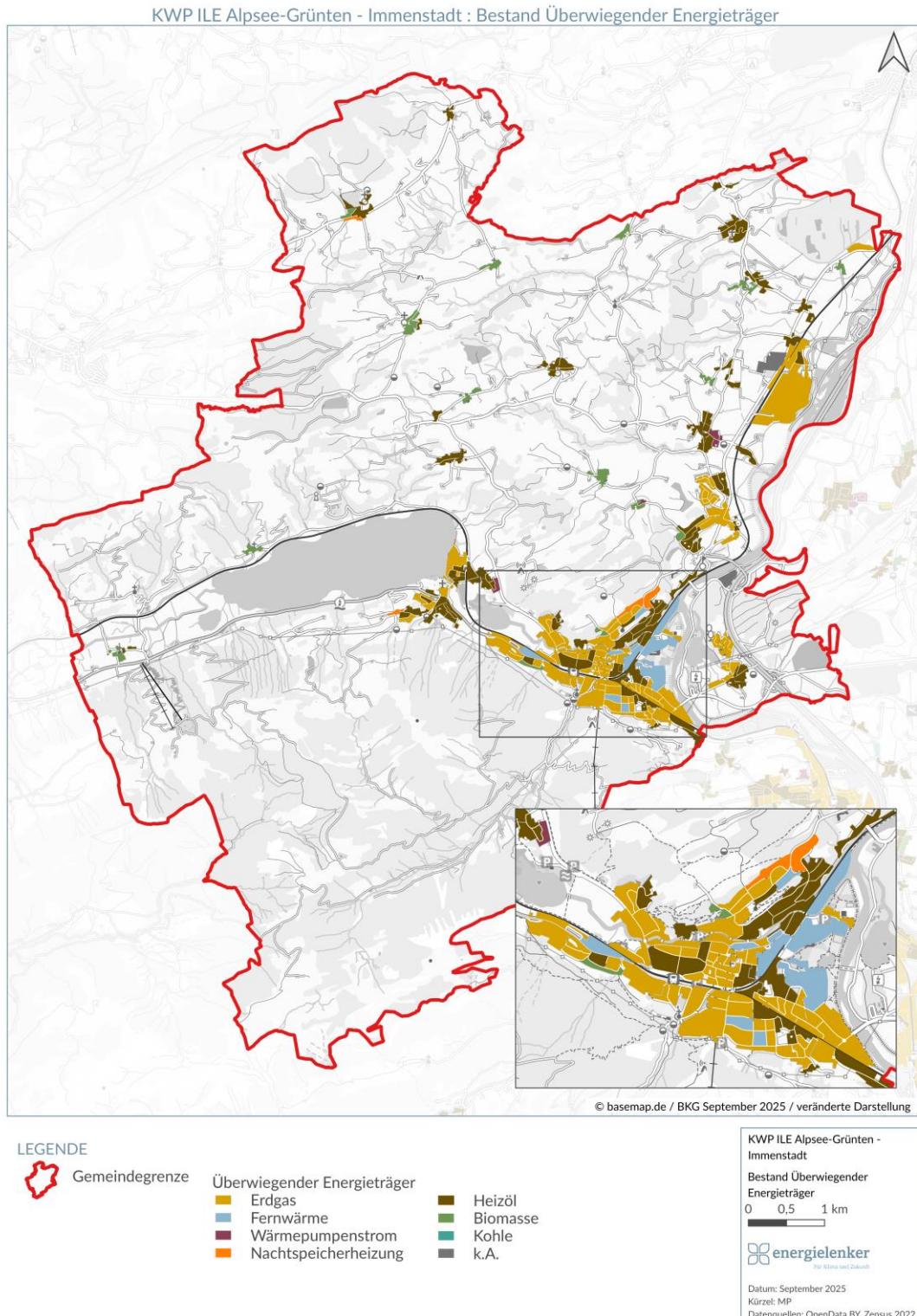


Abbildung 2-16: Verteilung der Versorgung nach Energieträgern auf Baublockebene in der Stadt Immenstadt

2.5.6 Infrastrukturanalyse

Durch die Nutzung bestehender Infrastruktur können Investitionskosten und Ressourcen eingespart werden. Gleichzeitig können technische Risiken minimiert werden. Bei der kommunalen Wärmeplanung soll deshalb auch die bestehende Infrastruktur in die Strategie einbezogen werden.

In Immenstadt sind fast alle Ortsteile an der Iller mit einem Gasnetz verbunden (siehe Abbildung 2-17). In dem Rest des Gebiets (insbesondere im Nordwesten) liegen keine Gasnetzanschlüsse vor.

In Anlehnung an die Definition im Gebäudeenergiegesetz wird zwischen Wärmenetzen und Gebäudenetzen unterschieden. Ein Wärmenetz ist demnach ein Netz mit mindestens 16 Gebäuden bzw. 100 Wohneinheiten. Alle Wärmenetze mit weniger Gebäuden oder Wohneinheiten werden als Gebäudenetze bezeichnet.

In der Stadt Immenstadt sind neben dem Gasnetz auch zwei Wärmenetze und mehrere Gebäudenetze vorhanden. Informationen über die Wärmenetze sind in Tabelle 2-5 aufgelistet.

Tabelle 2-5: Übersicht Wärmenetze im Kommunalgebiet der Stadt Immenstadt

Name	Status	Länge [km]	Anschlussnehmer	Überwiegender Energieträger	Vorlauf Temperatur [°C]
Wärmenetz Stadtwerke Immenstadt	In Betrieb	3,9	ca. 39	Biomasse	90°C
Wärmenetz Oberes Feld	In Betrieb	0,7	ca. 11	Biomasse (Pellets)	Keine Angabe

Für Das Wärmenetz der Stadtwerke Immenstadt wurden in der Vergangenheit mögliche Netzerweiterungen analysiert. Diese Planungen sind aufgrund der aktuellen Marktlage nicht mehr aktuell und können nicht für die kommunale Wärmeplanung herangezogen werden. Aktuell sind Netzerweiterungen möglich, die Umsetzung ist jedoch ungewiss. Zudem sind Netzverdichtungen in Abhängigkeit der Nachfrage grundsätzlich möglich. Die Wärme dieses Wärmenetzes wird hauptsächlich über Holzhackschnitzel, ansonsten durch Heizöl und Erdgas bereitgestellt. An dem Netz sind insgesamt 30 m³ Wärmespeicher angeschlossen. Im Jahr 2026 wird ein neuer Ofen (3 MW Hackschnitzel) und weitere Wärmespeicher in Betrieb gehen. Zwei Wärmespeicher mit einem Gesamtvolumen von 150 m³ ersetzen die bestehenden Pufferspeicher. Im Anschluss der Erweiterung des Heizwerkes werden erneuerbare Energiequellen und der Einsatz von Wärmepumpen geprüft, um das Wärmenetz zukünftig klimaneutral aufzustellen.

Das Wärmenetz Oberes Feld ist aufgrund der Kapazitätsgrenze der Heizzentrale nicht erweiterbar. Die Wärme dieses Wärmenetzes wird vollständig über Holzpellets bereitgestellt.

In Abbildung 2-18 sind die Leitungsverläufe sowie Heizzentralen der Wärmenetze dargestellt. Die Gebäudenetze können aufgrund der Datengrundlage nicht dargestellt werden.



Abbildung 2-17: Gasnetzverlauf der Stadt Immenstadt

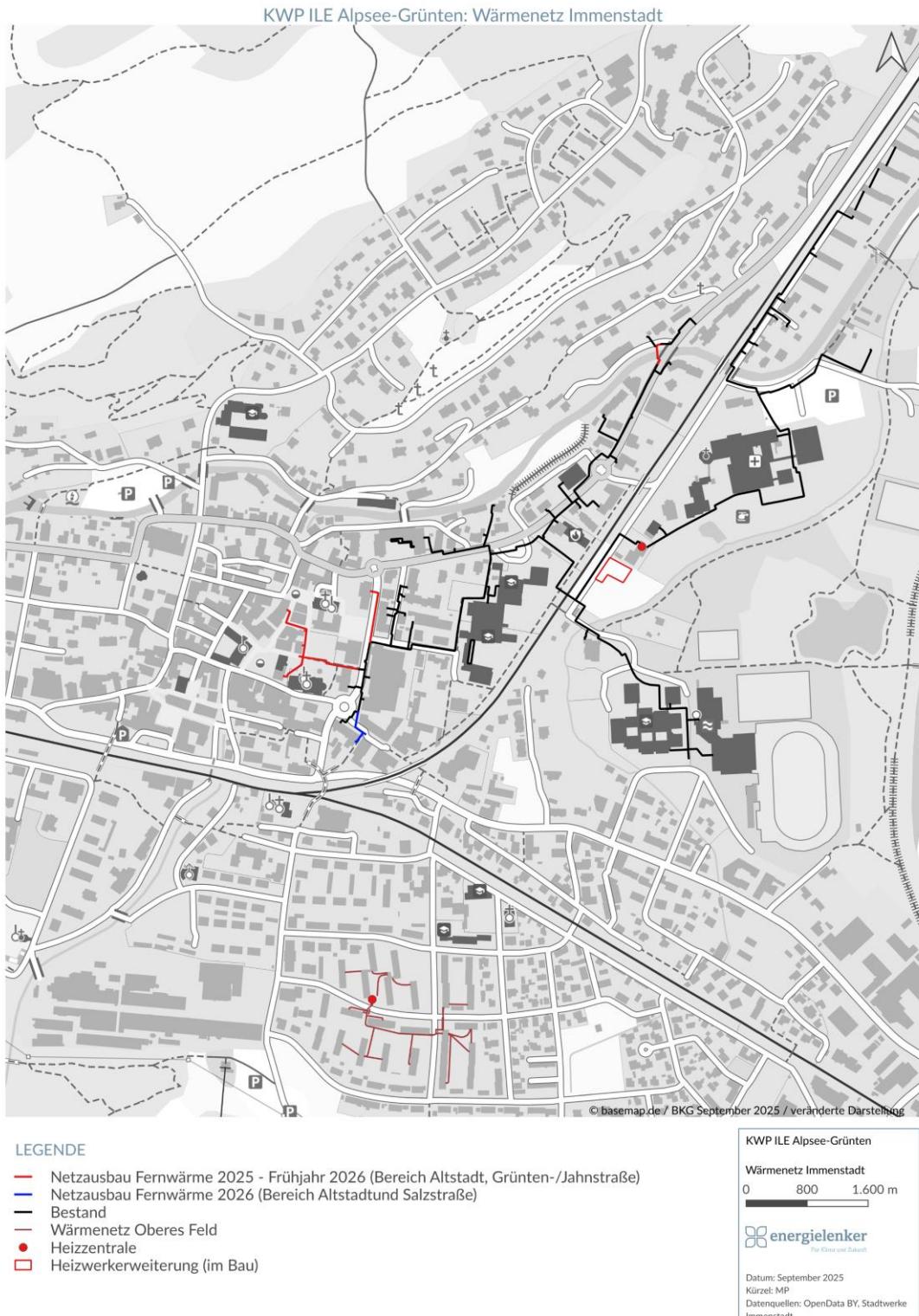


Abbildung 2-18: Karte der Wärmenetze und Standorte der zugehörigen Erzeugungsanlagen in Immenstadt

3 Potenzialanalyse

Zur Erreichung der Klimaschutzziele müssen, neben der Dekarbonisierung des Stromsektors und der Ausnutzung erneuerbarer Stromquellen, auch die Potenziale lokaler Wärmequellen ausgeschöpft werden. Lokale Wärmequellen können u. a. Solarenergie, Geothermie, Grundwasser, Oberflächengewässer, Abwasser, Abwärme (z. B. aus dem Gewerbe) oder Biomasse sein. Erneuerbare Wärmequellen können sowohl auf Grundstücksebene als auch auf Quartiersebene über Quartiersansätze und Wärmenetze genutzt werden. Neben der Erzeugung und Verteilung der Wärme wird auch die Speicherung thermischer Energie eine wesentliche Rolle spielen.

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden Potenziale zur Nutzung von erneuerbaren Energien im Bereich der Wärmeversorgung, Potenziale unvermeidbarer Abwärme sowie verschiedene Möglichkeiten zur Endenergieeinsparung aufgezeigt und bewertet.

Der Potenzialbegriff wird in verschiedene Gruppen unterteilt (siehe Abbildung 3-1): Das theoretische, das technische, das wirtschaftliche und das umsetzbare Potenzial.

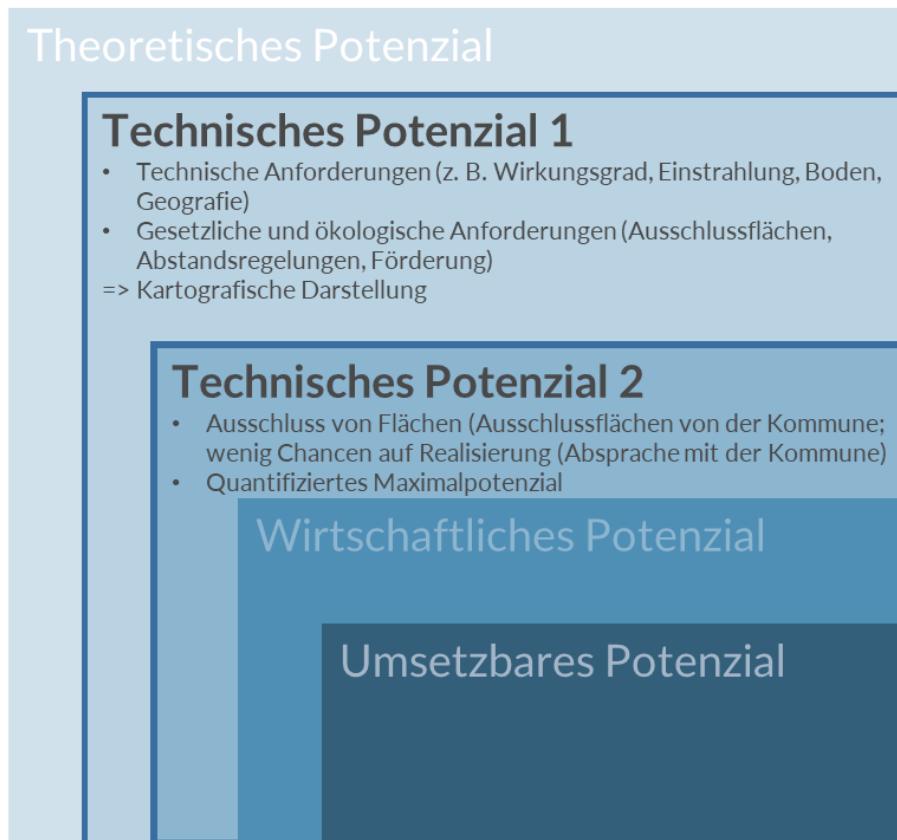


Abbildung 3-1: Übersicht der verschiedenen Potenzialbegriffe

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde das technisch nutzbare Potenzial anhand von Potenzialflächen ermittelt. Die Potenzialflächen wurden anhand des Verschnitts von verschiedenen Flächenarten im GIS gebildet. Die theoretisch möglichen Nutzungsflächen wurden durch Restriktionsflächen wie z. B. Wasserschutzgebiete, bebaute Flächen, Straßen und Verkehrswege, Waldflächen, Gewässer sowie weiteren Randbedingungen wie z. B. Abstandsgrenzen zu Gebäuden oder Flurstücksgrenzen reduziert. Für die Analysen der oberflächennahen Geothermie sowie der Solarthermie wurden zusätzlich Pufferflächen auf

landwirtschaftlichen Flächen um die Siedlungsflächen bzw. Ortskerne erzeugt, die als Wärmequellen für Wärmenetze dienen könnten. Weitere Randbedingungen ergeben sich durch Förderrandbedingungen wie z. B. dem EEG-Förderkorridor für PV-Anlagen. Die Randbedingungen sind stark von der aktuellen Gesetzeslage abhängig und können zukünftig variieren. Die resultierenden Nutzungsflächen ergeben somit die Grundlage zur Ermittlung des technisch nutzbaren Potenzials 1. Anschließend wurden die Potenzialflächen mit der Kommune abgestimmt. Die finalen Potenzialflächen stellen das technische Potenzial 2 kartografisch dar. Anhand dieser Flächen wurden die Potenziale quantifiziert, sodass sich die maximalen technischen Potenziale ergeben. Da die Wärmeplanung einen strategischen Plan für das gesamte Kommunalgebiet darstellt, können die einzelnen Flächen nicht auf Basis von Bauplanungsrecht, Privilegierungen, Flächenkonkurrenzen oder Eigentumsverhältnissen bewertet werden. Diese Kriterien sollten in einer tiefergehenden Prüfung berücksichtigt werden, um das wirtschaftliche und tatsächlich umsetzbare Potenzial zu bewerten.

Nachfolgend werden die technischen Potenziale anhand der einzelnen Technologien bzw. Kategorien beschrieben.

3.1 Einsparpotenzial

Die Gestaltung einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Wärmeversorgung in Kommunen stellt eine der zentralen Herausforderungen im Kontext des Klimaschutzes dar. Insbesondere vor dem Hintergrund der Klimaziele und der Notwendigkeit, den CO₂-Ausstoß drastisch zu reduzieren, werden Städte und Gemeinden immer häufiger mit der Frage konfrontiert, wie ihre Wärmeversorgung optimiert werden kann, um sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile zu erzielen.

Die kommunale Wärmeplanung, die auf eine effiziente und ressourcenschonende Wärmebereitstellung abzielt, bietet zahlreiche Potenziale für Einsparungen im Bereich Energieverbrauch und Emissionen. Zu den wichtigsten Hebeln in diesem Kontext gehören die Themen Sanierung, die Effizienz von Heizungsanlagen und der Gedanke der Suffizienz.

Suffizienz: Reduktion durch Verhaltensänderung

Neben der Effizienz von Gebäuden und Heizungsanlagen gewinnt in der Diskussion um Einsparpotenziale zunehmend auch der Ansatz der Suffizienz an Bedeutung. Suffizienz bedeutet, den tatsächlichen Bedarf an Wärme zu hinterfragen und zu reduzieren, anstatt sich ausschließlich auf die Steigerung der Effizienz zu konzentrieren. Dieser Gedanke ist besonders im Kontext der kommunalen Wärmeplanung von Bedeutung, da er nicht nur ökologische Vorteile bietet, sondern auch soziale und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt.

Der Suffizienzansatz kann auf verschiedene Weise in die kommunale Wärmeplanung der Stadt integriert werden. Beispielsweise durch eine verstärkte Sensibilisierung der Bürger für einen bewussten Umgang mit Wärmeenergie, etwa durch niedrigere Raumtemperaturen oder eine gezielte Nutzung von Wärmequellen in öffentlichen Gebäuden. Auch die Optimierung von Nutzungszeiten und die Vermeidung von Wärmeüberschüssen können dazu beitragen, den Gesamtenergieverbrauch in der Stadt zu senken.

Ein weiterer Aspekt der Suffizienz ist die Reduktion des Wärmeverbrauchs durch den Ausbau von quartierspezifischen Lösungen, die eine bedarfsgerechte Wärmeversorgung gewährleisten. In vielen Fällen ist es nicht notwendig, für jedes Gebäude individuell eine hohe Heizleistung bereitzustellen, wenn durch gemeinschaftliche Lösungen wie Wärmenetze oder

effiziente lokale Speichertechnologien die Wärmeerzeugerleistung und der Gesamtenergieverbrauch gesenkt werden kann. Auch in diesem Bereich erfordert die kommunale Wärmeplanung ein Umdenken, weg von einer rein leistungsorientierten Versorgung hin zu einem nachhaltigen Konzept, das mit weniger Energie auskommt.

Effizienzsteigerung durch moderne Heizsysteme

Neben der Reduktion des Konsums durch Verhaltensänderung spielt die Effizienz der Heizungsanlagen eine zentrale Rolle in der kommunalen Wärmeversorgung. Moderne Heizsysteme wie Wärmepumpen oder Wärmenetzsysteme, bieten erhebliche Potenziale zur Reduktion des Energieverbrauchs. Darüber hinaus kann die Umstellung von alten Heizkesseln auf Brennwerttechnologie den CO₂-Ausstoß deutlich senken, indem die im Abgas enthaltene Wärme zurückgewonnen und für die Heizwärme genutzt wird.

Die Integration von erneuerbaren Energien, wie beispielsweise Solarenergie oder geothermische Energie und Umweltwärme mittels Wärmepumpen, in bestehende Heizsysteme ist ein weiterer Schritt, der zu einer nachhaltigen Effizienzsteigerung beiträgt. In Kombination mit modernen Speichersystemen, die die Wärmeüberschüsse zu Zeiten geringer Nachfrage speichern können, wird die Heizungsanlage noch flexibler und unabhängiger von externen Energiequellen. Auch die digitale Steuerungstechnik spielt eine wachsende Rolle. Durch smarte Heizsysteme, die den Wärmebedarf in Echtzeit überwachen und regulieren, können weitere Effizienzpotenziale gehoben werden.

Ein gut geplantes Heizsystem, das auf die spezifischen Gegebenheiten vor Ort zugeschnitten ist, kann also nicht nur den Energieverbrauch senken, sondern auch die Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung erhöhen.

Sanierung zur Reduktion von Wärmeverlusten

Ein wesentliches Einsparpotenzial in der kommunalen Wärmeversorgung liegt in der Sanierung bestehender Gebäude. Besonders in älteren Bestandsgebäuden gehen durch unzureichend gedämmte Gebäudehüllen sowie veraltete Fenster und Türen erhebliche Mengen an Wärme verloren. Laut einer Vielzahl von Studien kann ein bedeutsamer Teil des Heizenergieverbrauchs allein durch die Verbesserung der Dämmung eingespart werden. Doch nicht nur die Gebäudehülle spielt eine Rolle, auch die Erneuerung von Heizsystemen, wie zuvor erwähnt, kann wesentliche Einsparungen bei den Betriebskosten und den CO₂-Emissionen mit sich bringen.

Ein integrativer Ansatz der Sanierung, der sowohl die Gebäudehülle als auch die Anlagentechnik umfasst, bietet besonders große Einsparpotenziale. Die energetische Sanierung ist jedoch nicht nur eine Frage der Reduktion von Wärmeverlusten, sie ist auch eng mit der Frage nach der Nutzung erneuerbarer Energiequellen verbunden. Solche Maßnahmen ermöglichen es, den CO₂-Ausstoß erheblich zu verringern und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren.

Zur genaueren Einschätzung der möglichen Einsparpotenziale werden die Gebäude der Stadt Immenstadt in Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG) unterteilt. Wohngebäude werden dabei weiter differenziert in Einfamilienhäuser (WG-EFH) und Mehrfamilienhäuser (WG-MFH), während Nichtwohngebäude in Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungsgebäude (NWG-GHD) sowie in industriell genutzte Gebäude (NWG-IND) unterteilt werden.

Basierend auf dem aktuellen Wärmebedarf wird die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs im Gebäudebestand prognostiziert. Hierfür werden die adressscharfen Verbrauchsdaten genutzt.

Je nach Gebäudetyp wird der aktuelle Wärmebedarf dann in Raumwärme, Wärme zur Trinkwasserbereitung und Prozesswärme aufgegliedert. Industriegebäuden werden ein hoher Anteil an Prozesswärme und geringe Anteile für Heizung und Trinkwarmwasser zugeteilt (AG Energiebilanzen e.V., 2024).

Auf Basis der Baualtersklasse wird nun der spezifische Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser geprüft. Als Grenzwerte werden öffentliche Daten des Leitfadens kommunale Wärmeplanung aus dem zugehörigen Technikkatalog verwendet (Prognos AG; ifeu, 2024). Auf dieser Datenbasis wird das Sanierungspotenzial der einzelnen Gebäude ermittelt und der restliche Energieverbrauch nach erfolgreicher Sanierung bzw. mögliche Einsparungen ermittelt.

In Tabelle 3-1, Tabelle 3-2, Tabelle 3-3 und *Tabelle 3-4* sind die spezifischen Energieverbräuche nach Gebäudetypen für die verschiedenen Baualtersklassen aufgelistet.

Tabelle 3-1: Spezifischer Energieverbrauch nach Baualtersklasse im Einfamilienhaus (EFH) in Anlehnung an (ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI, 2024)

Baualtersklasse	Spezifischer Energieverbrauch heute [kWh / m ²]	Einsparung [kWh / m ²]	Spezifischer Energieverbrauch nach Sanierung [kWh / m ²]	Einsparung [%]
WG-EFH – Referenzszenario (geringe Sanierungstiefe)				
bis 1918	113	33	80	29
1919-1948	103	48	55	47
1949-1978	93	28	65	30
1979-1994	87	38	49	44
1995-2011	62	5	57	8
2012-2020	48	0	48	0
2021-2035	39	0	39	0
WG-EFH – Klimaschutzszenario (hohe Sanierungstiefe)				
bis 1918	113	52	61	46
1919-1948	103	55	48	53
1949-1978	93	41	52	44
1979-1994	87	38	49	44
1995-2011	62	23	39	37
2012-2020	48	0	48	0
2021-2035	39	0	39	0

Tabelle 3-2: Spezifischer Energieverbrauch nach Baualtersklasse im Mehrfamilienhaus (MFH) in Anlehnung an (ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI, 2024)

Baualtersklasse	Spezifischer Energieverbrauch heute [kWh / m ²]	Einsparung [kWh / m ²]	Spezifischer Energieverbrauch nach Sanierung [kWh / m ²]	Einsparung [%]
WG-MFH - Referenzszenario				
bis 1918	98	24	74	24
1919-1948	94	42	52	45
1949-1978	86	22	64	26
1979-1994	80	32	48	40
1995-2011	67	13	54	19
2012-2020	43	0	43	0
2021-2035	42	0	42	0
WG -MFH - Klimaschutzszenario				
bis 1918	98	37	61	38
1919-1948	94	48	46	51
1949-1978	86	40	46	47
1979-1994	80	34	46	43
1995-2011	67	29	38	43
2012-2020	43	0	43	0
2021-2035	42	0	42	0

Tabelle 3-3: Spezifischer Energieverbrauch nach Baualtersklasse für Gewerbe, Handel und Dienstleistungen in Anlehnung an (ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI, 2024)

Baualtersklasse	Spezifischer Energieverbrauch heute [kWh / m ²]	Einsparung [kWh / m ²]	Spezifischer Energieverbrauch nach Sanierung [kWh / m ²]	Einsparung [%]
NWG-GHD – Referenzszenario				
bis 1978	133	21	112	16
bis 2009	69	10	59	14
ab 2010	45	2	43	4
NWG -GHD – Klimaschutzszenario				
bis 1918	98	37	90	32
1919-1948	94	48	43	37
1949-1978	86	40	32	30

Tabelle 3-4: Spezifischer Energieverbrauch nach Baualtersklasse für Industrie in Anlehnung an (ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI, 2024)

Baualtersklasse	Spezifischer Energieverbrauch heute [kWh / m ²]	Mittlere Jährliche Reduktion [%]	Spezifischer Energieverbrauch nach Sanierung [kWh / m ²]	Einsparung [%]
NWG-Industrie - Referenzszenario				
bis 1978	44	-1,8%	26	41
bis 2009	20	-1,6%	13	35
ab 2010	9	-0,2%	8	11
NWG -Industrie - Klimaschutzszenario				
bis 1918	44	-2,6%	18	59
1919-1948	20	-2,4%	9	55%
1949-1978	9	-0,8%	7	22

Das Potenzial für die Stadt Immenstadt zur Einsparung des Wärmebedarfs durch energetische Sanierung wird auf Basis des aktuellen Wärmebedarfs ermittelt. Insgesamt werden zwei Szenarien betrachtet. Zum einen das „Referenzszenario“, welches mit einer festen Sanierungsquote von 0,8 % sanierter Gebäude pro Jahr kalkuliert wird. Zum anderen das „Klimaschutzszenario“, welches mit einer variabel aufsteigenden Sanierungsquote kalkuliert wird. Dieses startet im Basisjahr bei einer Sanierungsrate von 0,8 % und steigt kontinuierlich auf eine jährliche Rate von 2,8 % im Zieljahr an.

Die Auswahl der zu sanierenden Gebäude erfolgt nach dem größten Einsparpotenzial, da hier der höchste wirtschaftliche Anreiz für eine Gebäudesanierung liegt. Für diese Gebäude wird ein neuer Wärmebedarf nach Sanierung ab dem jeweiligen Jahr in die Rechnung übernommen.

Im Referenzszenario wurde für 1.707 Gebäude ein Sanierungspotenzial berechnet. Dies entspricht ca. 52 % des Gebäudebestands. Im Klimaschutzszenario ergibt sich für 2.435 Gebäude ein Sanierungspotenzial, das entspricht ca. 74 % des Gebäudebestands der Stadt Immenstadt.

In Abbildung 3-2 sind beide Szenarien gegenübergestellt.

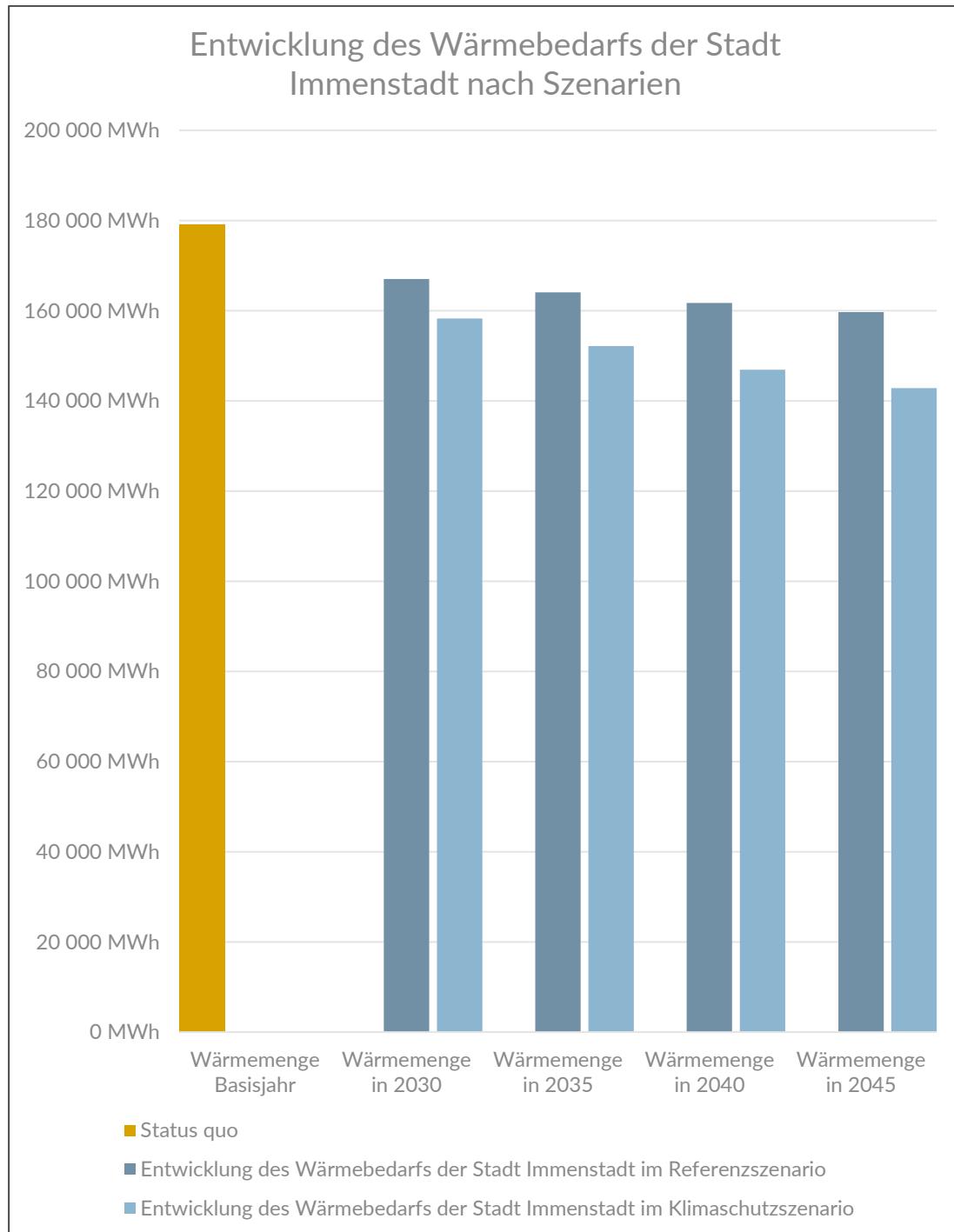


Abbildung 3-2: Gegenüberstellung der beiden Sanierungsszenarien für die Stadt Immenstadt

3.2 Biomasse

Bei der Verwendung von Biomasse als Energieträger wird generell zwischen der primären und der sekundären Biomasse unterschieden. Die primäre Biomasse bezeichnet dabei die direkt für die energetische Nutzung kultivierte Biomasse wie z. B. Raps oder Getreide. Die sekundäre Biomasse, auch Abfall-Biomasse genannt, wird aus organischen Reststoffen wie beispielsweise Altpapier oder Sägereststoffen sowie Lebensmittelabfällen gebildet. Die Biomasse entstammt primär der Land-, Forst- und Abfallwirtschaft. Diesbezüglich ist zwischen holzartiger Biomasse, Energiepflanzen, Wirtschaftsdünger aus der Landwirtschaft und biogenen Rest- und Abfallstoffen zu unterscheiden. Je nach Aufbereitungsweg zu festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen ergeben sich Möglichkeiten zur Erzeugung von Strom, Treibstoffen und Wärme. Typisch für feste Biomasse sind verschiedenste Holzbrennstoffe (u. a. Scheitholz, Holzhackschnitzel oder Holzpellets). Flüssige Bioenergien sind vor allem Biokraftstoffe wie Pflanzenöl, Biodiesel oder Bioethanol. Als gasförmige Bioenergie ist Biogas zu nennen. In jüngster Zeit gewinnt vor allem die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität und die anschließende Einspeisung in das Erdgasnetz zunehmend an Bedeutung. Das zu Biomethan aufbereitete Biogas erweist sich als eine klimafreundliche Alternative zu Erdgas.

Ein wesentlicher Umweltvorteil der Biomasse liegt in der Verminderung treibhauswirksamer Emissionen, zumal nur so viel CO₂ freigesetzt werden kann, wie zuvor durch die Biomasse gebunden wurde. Biomasse ist sowohl grundlastfähig als auch flexibel einsetzbar. Ein wesentlicher Vorteil liegt darin, dass Biomasse zur Erzeugung hoher Temperaturen im industriellen Bereich genutzt werden kann.

Biomasse ist mit Abstand die flächenintensivste unter den erneuerbaren Energien. Die Energieerträge aus verschiedenen Substraten variieren dabei zum Teil stark. Unter ethischen Gesichtspunkten ist die Problematik der Flächenkonkurrenz von konventionell angebauten Energiepflanzen zur Lebensmittelproduktion nicht außer Acht zu lassen. Zukünftig wird vor allem die verstärkte stoffliche Nutzung von Biomasse, beispielsweise zur Herstellung von Biokunststoffen, gegen den Einsatz dieser zur Energiegewinnung sprechen. Ebenso sollten bei der Nutzung von Holzenergie die Prinzipien der Nachhaltigkeit und der Ressourceneffizienz beachtet werden. Die energetische Nutzung des Rohstoffes Holz sollte am Ende der stofflichen Verwertungskette stehen, die Wertschöpfung und die höhere Klimaschutzleistung stehen im Vordergrund. Zusätzlich sind Aspekte wie z. B. Auswirkungen auf die Artenvielfalt zu berücksichtigen. Zusammenfassend sollte eine umfassende Bewertung der Potenziale, Risiken und Auswirkungen von Biomasse im Kontext der spezifischen regionalen Gegebenheiten durchgeführt werden, um eine verantwortungsvolle und nachhaltige Nutzung sicherzustellen.

3.2.1 Biogene Festbrennstoffe

Biogene Festbrennstoffe für die Energieerzeugung fallen entweder aus Rest- und Abfallholz an (Waldderholz, Flur- / Siedlungsholz) oder können speziell zu diesem Zweck angebaut werden. In der kommunalen Wärmeplanung wird sich auf Rest- und Abfallmengen konzentriert.

In der Stadt Immenstadt existiert Biomassepotenzial in Form von Waldderholz und Flur- / Siedlungsholz. Die Energiepotenziale können über den Energie-Atlas Bayern (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, 2024) abgerufen werden. Das dort ausgegebene Energiepotenzial wurde mit einem Wirkungsgrad von 77 % in einen jährlichen Wärmeertrag umgerechnet, dies entspricht der Nutzung in einem größeren BHKW

(Prognos AG; ifeu, 2024). Die im Energie-Atlas Bayern genannten Flächen wurden nach Nutzungsart auf Grundlage der ALKIS-Daten berechnet (Statistik B. L., 2024).

Tabelle 3-5: Biomassepotenziale für die Stadt Immenstadt

Art der Biomasse	Jährliches Energiepotenzial	Durchschnittlicher jährlicher Wärmeertrag
Waldderholz	66.100 GJ / 18.361 MWh	14,132 GWh / a
Flur- / Siedlungsholz	3.000 GJ / 833 MWh	0,641 GWh / a
Kurzumtriebsplantagen (Pappeln)	0 GJ / 0 MWh	0 GWh / a
Summe		14,8 GWh / a

Die im Energie-Atlas Bayern ausgewiesenen Biomassepotenziale für die Stadt Immenstadt betragen insgesamt rund 14,8 GWh pro Jahr. Davon entfallen etwa 14,13 GWh/a auf Waldderholz und rund 0,64 GWh/a auf Flur- und Siedlungsholz. Potenziale aus Kurzumtriebsplantagen sind nicht vorhanden.

3.2.2 Biogaspotenzial

Nach Akteursinformationen und Informationen der beteiligten Kommunen der ILE Alpsee Grünten besteht für die Region kein nennenswertes Potenzial zur Erzeugung von Biomethan.

3.3 Umweltwärme

Die Nutzung des Umweltwärmepotenzials wird i. d. R. über den Einsatz von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen (Kompressionswärmepumpen) ermöglicht, die das Temperaturniveau der Wärmequelle auf ein nutzbares Temperaturniveau anheben. Wärmepumpen bieten flexible Einsatzmöglichkeiten, sowohl bezüglich der Art der Wärmequelle, als auch bezüglich des Temperaturniveaus auf der Senkenseite und gelten im zunehmend elektrifizierten Gebäudesektor als Schlüsseltechnologie (Weck-Ponten, 2023). Wärmepumpen sind nicht auf die Verfügbarkeit von Brennstoffen angewiesen und emittieren somit lokal keine Treibhausgase. Sie kommen vor allem im Einzelgebäudebereich zum Einsatz. Darüber hinaus können Großwärmepumpen im Quartiersbereich und in Wärmenetzen eingesetzt werden. Inzwischen werden auch Wärmepumpen mit klimaneutralem Kältemittel (z. B. Propan oder CO₂) angeboten. Im Zusammenhang mit dem Einsatz von erneuerbarem Strom können Wärmepumpen einen großen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten.

Die Effizienz von Wärmepumpen hängt maßgeblich vom Temperaturhub ab, also der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke. Wärmepumpenhersteller geben die Effizienz bei bestimmten Betriebspunkten in Form des COP (Coefficient of Performance) an. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) stellt das Verhältnis der Nutzwärmemenge bezogen auf die eingesetzte elektrische Arbeit über eine Jahresbilanz dar und gilt als die zentrale Kennzahl für Wärmepumpen. Bei der Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen stammt ca. 75 % der Energie aus der Wärmequelle (bei einer angenommenen JAZ von 4,0). Die restliche

Energie wird meist in Form von elektrischer Energie für den Betrieb der Wärmepumpen benötigt.

Wichtige Unterscheidungsmerkmale von Wärmepumpen sind das Wärmequellen- und Wärmesenkenmedium. In Deutschland kommen insbesondere Sole-Wasser-, Luft-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen zum Einsatz. Sole-Wasser-Wärmepumpen nutzen Sole (ein frostsicheres Wärmeträgerfluid) als Wärmequelle und Wasser als Wärmesenkenmedium. Luft-Wasser-Wärmepumpen nutzen entsprechend Luft als Wärmequelle und Wasser als Wärmesenke. Wasser-Wasser-Wärmepumpen werden sowohl für die Temperaturerhöhung von Wärme aus Oberflächengewässern und Abwasser als auch in der oberflächennahen Geothermie, insbesondere für Grundwasserbrunnensysteme, eingesetzt.

3.3.1 Abwasserwärmennutzung

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung werden zudem die Potenziale betrachtet, die im kommunalen Abwasser vorhanden sind. Dazu werden zum einen die Potenziale

- der Abwasserkanäle,
- am Zulauf der Kläranlage und
- das gereinigte Abwasser am Auslauf der Kläranlage

betrachtet. Energie, die in einem Abwasserkanal im Zulauf der Kläranlage entnommen wird, ist später nicht mehr für Prozesse in der Kläranlage vorhanden. Die Entnahme von Abwasserwärme wird in der Regel nur in Abschnitten des Kanalnetzes von mindestens DN 800 empfohlen, in denen der Trockenwetterfluss im Jahresmittel mindestens 15 l/s beträgt. Abwasserwärme kann oft in Kommunen ab ca. 3.000 bis 5.000 Einwohnern genutzt werden (Umweltbundesamt, Umweltbundesamt, 2023).

Für den Wärmeentzug können konservative Entnahmetemperaturen von 3 – 4 K angenommen werden, bei Wärmeentzugsleistungen von 2 – 4 kW / m² Wärmeübertrageroberfläche. Die Temperatur im Zulauf der Kläranlage darf nicht zu stark absinken, da sonst ein reibungloser technischer Betrieb nicht gewährleistet ist. Die Zulauftemperatur zu Kläranlagen sollte 10 °C nicht unterschreiten (Umweltbundesamt, Umweltbundesamt, 2023).

Zusätzlich sollte sich der potenziell zu nutzende Kanal in örtlicher Nähe zu Wärmeabnehmern oder einem Wärmenetz befinden. Weiterhin ist zu prüfen, ob die gesamte Abwasserableitung in einem Misch- oder Trennsystem geführt wird. Durch die Teilung der Schmutzabwässer und des Regenwassers kann es zu deutlichen Unterschieden des Trockenwetterflusses kommen.

Der Abwasserverband Obere Iller betreibt mit der Verbandskläranlage Obere Iller die einzige Kläranlage im Gebiet der ILE Alpsee Grünten. Nach Informationen des Abwasserverbands Obere Iller besteht in der gesamten Region ILE Alpsee Grünten kein Potenzial für die Wärmenutzung aus Abwasser. Zum einen wegen fehlender Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Nutzung auf der Abnehmerseite (keine große, dicht besiedelte und urban geprägte Einzugsgebiete, in denen kontinuierlich ausreichend warmes Abwasser anfällt). Zum anderen weist das Abwasser an der Kläranlage aufgrund des alpinen Einflusses im Mittel um ca. 3 K kleinere Temperaturen auf als Werte von vergleichbaren Kläranlagen (unter 8 °C bis max. 16 °C, im Durchschnitt Ø 11 - 12 °C). Eine zusätzliche Abkühlung vor der Kläranlage würde die biologischen Reinigungsstufe (Mikroorganismen) und so die Kläranlagenbetrieb beeinträchtigen. Daraufhin würden sich auch die Betriebskosten der Kläranlage erhöhen.

3.3.2 Wärme aus Oberflächengewässern

Wasser hat eine hohe Wärmekapazität und eignet sich daher hervorragend als Medium für die Wärmeübertragung und als Wärmespeicher. Wärme kann aus Oberflächengewässern entnommen und über Wärmepumpen für verschiedene Einsatzzwecke genutzt werden. Ähnlich wie bei der oberflächennahen Geothermie, kann aufgrund des Temperaturniveaus der Oberflächengewässer die Wärme sowohl zum Heizen als auch Kühlen genutzt werden. In der Potenzialanalyse werden insbesondere Fließgewässer und größere Seen betrachtet.

Es ist zu beachten, dass jede Wärmeentnahme und Wärmezufuhr aus stehenden oder fließenden Gewässern Einflüsse auf diese haben. So führt z. B. eine zu starke Erwärmung des Wassers zu einer erhöhten Aktivität der Mikroorganismen und kann damit – ähnlich wie ein Nährstoffeintrag – eutrophierend wirken. Deshalb sind die Anforderungen an den Gewässerschutz stets zu berücksichtigen. Insbesondere bei stehenden Gewässern ist immer der Einzelfall zu prüfen, da jeder See aufgrund des Standortes (Wetterrandbedingungen, Klima), der Geologie und Hydrologie (u. a. Zu- bzw. Abflüsse in den bzw. aus dem See), der Tiefe und der Ausdehnung unterschiedlich anfällig für Nährstoffein- bzw. Nährstoffausträge ist. In Bayern ist für die Wärmeentnahme aus Oberflächengewässern eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich. Tiefgreifende Analysen unterliegen einer Fachplanung.

Ein mögliches Potenzial für die Wärmenutzung aus stehenden Gewässern bieten der Rauhenzeller See für den Ort Rauhenzell sowie der Große Alpsee und der Kleine Alpsee für den Ort Bühl am Alpsee aufgrund ihrer Größe und Nähe zu potenziellen Wärmeabnehmern. Aufgrund der geringen Wärmeliniendichten von Rauhenzell und den umliegenden Gebäuden ist eine wirtschaftliche Nutzung fraglich. Das Wärmepotenzial des Großen und des Kleinen Alpsees sollte zukünftig durch Machbarkeitsstudien detailliert analysiert werden. Zusätzlich könnte das Potenzial des Auwaldsees für eine Heizungsunterstützung des Hallenbads bzw. der Julius-Kunert-Halle untersucht werden.

Neben stehenden Gewässern wurden auch Fließgewässer betrachtet. Für eine Wärmeentnahme aus Fließgewässern bestehen sowohl Regelungen und Randbedingungen in Bezug auf Gewässerschutz (Abkühlung des Gewässers, Ausleitmengen) als auch Natur- und Artenschutz (FFH-Gebiete und Naturschutzgebiete). In Bezug auf FFH-Gebiete und Naturschutzgebiete bestehen keine grundlegenden Einschränkungen in diesem Gebiet.

Grundsätzlich ist die Abkühlung von Fließgewässern in den Sommermonaten als positiv zu bewerten. Durch das Stadtgebiet fließt die Iller. Basierend auf Daten der Messstation in Sonthofen (siehe Tabelle 3-6) und dem alpinen Einfluss der Iller ist eine Abkühlung in den Wintermonaten kritisch zu hinterfragen. Aufgrund dessen kann von einer ganzjährigen Nutzung der Wärme aus der Iller nicht ausgegangen werden. Die Wassertemperaturen sind für weitere Analysen in der Detailplanung zu berücksichtigen, wenn Entnahmemengen, der Ort der Entnahmestelle sowie Auswirkungen der Wasserentnahme und Wasserwiedereinleitung auf die Flusstemperatur unter Berücksichtigung der Durchmischung bekannt sind. Weiterhin ist der Einsatz von Wärmespeichern zur Überbrückung kalter Tage (bzw. geringen Flusstemperaturen) zu prüfen.

Nach der Studie Wärmepumpen an Fließgewässern könnte die Iller 50 % bis 75 % des Wärmebedarfs von Immenstadt im Winter decken (2024, FfE, Wärmepumpen an Fließgewässern). Aufgrund von Informationen aus einer BEW-Machbarkeitsstudie in Blaichach kann ein grundsätzliches Nutzungspotenzial der Iller in den Gebieten der ILE Alpsee Grünten bestätigt werden (Weber, 2024).

Tabelle 3-6: Wertebereiche der Wassertemperaturen an der Messstation Sonthofen

Zeitraum	Temperaturspreizung
2010 - 2025	0,1 °C - 19,7 °C
2023	1,3 °C - 18,1 °C
2024	0,9°C - 17,9°C

Als Standort für eine Wärmeentnahme aus der Iller sind aufgrund der Nähe und keiner Trennung durch Bahnschienen insbesondere das Gewerbegebiet im Südosten entlang der Blaichacher und Sonthofener Straße, die Mehrfamilienhäuser Im Stillen, die Klinik des Klinikverbund Allgäu GmbH und der Ortsteil Seifen mit dem Gewerbegebiet der Robert Bosch GmbH prädestiniert.

3.3.3 Luft-Wasser-Wärmepumpen

Luft-Wasser-Wärmepumpen nutzen die Außenluft als Wärmequelle. Aufgrund der schwankenden Außenlufttemperatur unterliegt auch die Effizienz der Wärmepumpe Schwankungen. Zusätzlich sind die Außenlufttemperaturen in der Heizsaison, in der der Großteil des Wärmebedarfs anfällt, am geringsten, sodass die JAZ von Luft-Wasser-Wärmepumpen im Vergleich zu geothermisch betriebenen Wärmepumpen – mit relativ konstanten Quellentemperaturen – i. d. R. geringer ausfällt.

Die Investitionskosten von Luft-Wasser-Wärmepumpen sind geringer als bei Sole- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpen, da die Kosten für die Quellenerschließung nicht anfallen. Wegen der geringeren Investitionskosten und eines geringeren Planungsaufwandes, ist die Luft-Wasser-Wärmepumpe die Wärmepumpenart, die derzeit am häufigsten installiert wird. Insbesondere in den voraussichtlich dezentral versorgten Gebieten, in denen das geothermische Potenzial oder die Freiflächenverfügbarkeit gering ist, wird die Luft-Wasser-Wärmepumpe – neben Biomasse-Heizungen – der präferierte Wärmeerzeuger sein. Darüber hinaus können mit Außenluft betriebene Großwärmepumpen für die Wärmebereitstellung von Wärmenetzen eingesetzt werden. Aufgrund der Ausweisung der voraussichtlichen Wärmeversorgungsgebiete nach WPG unabhängig von der Wärmeerzeugertechnologie und aufgrund der Tatsache, dass die Wärme aus der Außenluft unbegrenzt zur Verfügung steht, wird kein Potenzial für Luft-Wasser-Wärmepumpen berechnet oder ausgewiesen.

3.4 Geothermie

Als Geothermie wird sowohl die in der Erde gespeicherte Wärmeenergie als auch deren ingenieurtechnische Nutzbarmachung bezeichnet. Bei der Energiegewinnung aus Geothermie wird zwischen der Tiefengeothermie (petrothermale und hydrothermale Geothermie) und der oberflächennahen Geothermie differenziert. In Abbildung 3-3 sind unterschiedliche Systeme zur Nutzung von Geothermie dargestellt.

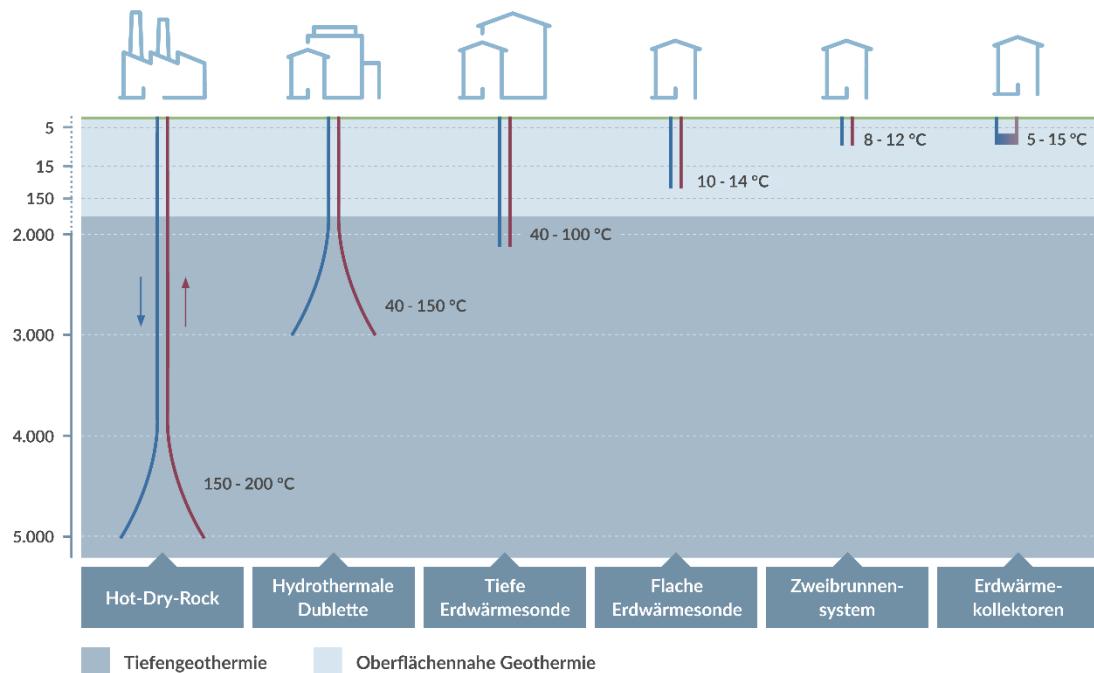


Abbildung 3-3: Wärmeerzeugung durch die Nutzung von Geothermie (in Anlehnung an (LfU Geothermie, 2025))

Der große Vorteil von Geothermie gegenüber volatilen erneuerbaren Energiequellen, wie z. B. Wind- und Sonnenenergie, ist die Grundlastfähigkeit und meteorologische Unabhängigkeit.

3.4.1 Tiefengeothermie

Tiefengeothermie bezeichnet die Nutzung geothermischer Lagerstätten ab 400 m Tiefe zur Stromproduktion und/oder Wärmebereitstellung und bietet die Möglichkeit, größere Energieversorgungsprojekte umzusetzen. Bei guten geologischen Voraussetzungen kann die Tiefengeothermie für eine künftig klimaneutrale WärmeverSORGUNG in den Städten eine herausragende Rolle spielen. Die Tiefengeothermie bietet aufgrund des hohen Temperaturniveaus die Chance bestehende Wärmenetze zu dekarbonisieren. Innerhalb der Tiefengeothermie wird zwischen petrothermalen und hydrothermalen Systemen unterschieden.

Als hydrothermale Lagerstätten werden offene Systeme bezeichnet, bei denen die Wärme einem natürlichen Thermalwasserreservoir entnommen wird. Für die Nutzung der hydrothermalen Geothermie ist eine ergiebige, wasserführende Gesteinsschicht (Nutzhorizont) notwendig. Diese Schicht sollte vertikal und lateral möglichst weit ausgebreitet sein, um eine langfristige Nutzung zu gewährleisten. Das vorhandene Thermalwasser kann (abhängig von der Förderrate und Temperatur) sowohl für die Erzeugung von Strom und Wärme als auch für die Erzeugung von Wärme allein genutzt werden. Für die Nutzbarmachung des Thermalwassers bedarf es in der Regel zwei oder mehr Bohrungen. Dabei handelt es sich mindestens um eine Förder- und eine Injektionsbohrung (Dublette).

Bei petrothermalen Systemen erfolgt die Wärmeentnahme aus dem tiefen Untergrund unabhängig von wasserführenden Horizonten. Durch das Einpressen von Wasser in eine Injektionsbohrung wird das vorhandene Kluftsystem in den Bodenschichten geweitet

(Stimulation) oder neue Klüfte durch das Aufbrechen von Gestein (Fracking) geschaffen. Mit einer zweiten Bohrung, die den stimulierten Bereich durchteuft, wird ein unterirdischer Wärmeübertrager erzeugt, durch den im Betrieb Wasser zirkuliert.

Information

Im Zuge der Potenzialanalyse der Tiefengeothermie werden potenziell nutzbare Gebiete im und um das Stadtgebiet dargestellt. Darüber hinaus wird im Zuge der kommunalen Wärmeplanung kein quantitatives Potenzial der Tiefengeothermie berechnet. Für tiefgreifendere Analysen sollten geologische Fachplaner, die auf Tiefengeothermie spezialisiert sind, kontaktiert werden sowie geologische Fachgutachten des Untergrunds und Machbarkeitsstudien erstellt werden.

Im Umkreis des Stadtgebiets von Immenstadt gibt es keine bestehende Tiefengeothermiebohrung. Zudem sind nach dem Energie-Atlas Bayern in der Region um Immenstadt keine Potenziale für Tiefengeothermie ausgewiesen. Des Weiteren wurden in der Region auch keine seismischen Messungen oder sonstige Aktivitäten bezüglich Tiefengeothermie angegangen, sodass von keinem Tiefengeothermepotenzial für die Stadt Immenstadt auszugehen ist.

Frühere Untersuchungen zur Tiefengeothermie in Stein/Immenstadt zeigten, dass eine wirtschaftliche Nutzung aufgrund der hohen Kosten für Bohrungen nicht realisierbar wäre. Bereits in den 1960er Jahren wurden mehrere Bohrungen durchgeführt, darunter eine bei 3,7 Kilometern Tiefe, die jedoch ergab, dass das Vorkommen zu klein und die Zusammensetzung (Jod- und Eisensalze) für eine wirtschaftliche Nutzung ungeeignet war (ALLGäu, 2001).

3.4.2 Oberflächennahe Geothermie

Systeme zur Nutzung oberflächennaher Geothermie verwenden die thermische Energie des Untergrunds bis in eine Tiefe von 400 m. Die Nutzung oberflächennaher Geothermie ist besonders für die gebäudebezogene Wärmeversorgung (Heizen und/oder Kühlen, vor allem Niedertemperaturheizsysteme) geeignet, aber auch für Quartierskonzepte in Form von z. B. kalten Nahwärmennetzen. Aufgrund der niedrigen Temperaturen im oberflächennahen Untergrund wird i. d. R. eine Wärmepumpe eingesetzt, um das Temperaturniveau der Quelle auf ein nutzbares Temperaturniveau anzuheben.

Die grundsätzliche geothermische Eignung eines Gebiets hängt von der Beschaffenheit des Bodens und der Temperaturen im Untergrund ab. Die Wärme in der Erde ist ganzjährig verfügbar. Ab ca. 15 m bis 20 m Tiefe können witterungsbedingte Temperaturveränderungen vernachlässigt werden (Weck-Ponten, 2023). Ab dieser Tiefe überwiegt der geothermische Wärmegradient, sodass die Temperatur um ca. drei Kelvin pro 100 m zunimmt.

Als geothermische Wärmequellsysteme werden hauptsächlich Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren und Grundwasserbrunnen eingesetzt. Darüber hinaus gibt es noch weitere Quellsysteme wie z. B. Erdwärmekörbe, Grabenkollektoren, Energie-Spundwände oder Energiepähle. Die nachfolgenden Analysen konzentrieren sich auf Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden. Diese beiden Wärmequellenvarianten sind geschlossene Systeme, in denen ein Wärmeträgerfluid zirkuliert.

Information

Die nachfolgende quantitative Potenzialermittlung im Zuge der kommunalen Wärmeplanung stellt keine grundstückbezogene Fachplanung dar, sondern ist eine grobe Abschätzung von Potenzialflächen und daraus berechneten Energiemengen, die aus dem Erdboden entzogen und über Wärmepumpen nutzbar gemacht werden. Sie ersetzen keine spezifische Standortbeurteilung, die im Falle konkreter Umsetzungsplanungen zusätzlich erfolgen muss. Wird eine geothermische Nutzung des oberflächennahen Untergrunds angestrebt, sollten zwingend ein geologischer Fachplaner und Bohrunternehmen kontaktiert werden.

Auf Grundlage von Daten und Informationen der bayerischen Geoportale (Energie-Atlas Bayern und Umweltatlas Bayern) sowie GIS-basierten Analysen konnten Potenzialflächen für Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren ermittelt werden, die eine grundsätzliche Eignung der Gebiete für die jeweilige Wärmequellenart ausweisen. Für die Ermittlung der Potenzialflächen wurden bayernspezifische Abstandsempfehlungen zur Grundstücksgrenze und zu Gebäuden berücksichtigt. Aus den Potenzialflächen konnten u. a. mithilfe der gemittelten Wärmeleitfähigkeiten in unterschiedlichen Tiefen im Untergrund quantitative Potenziale in Form von Energiemengen berechnet werden. Die berechneten Energiemengen sind nicht grundsätzlich addierbar. Die angegebenen Potenzialflächen von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren konkurrieren in der Regel.

Erdwärmesonden

Erdwärmesonden sind meist Polyethylenrohre (i. d. R. Doppel-U-Rohre), die in vertikale bzw. schräg verlaufende Bohrlöcher mit Abstandshaltern eingebracht werden. Zur Abdichtung und Verbesserung der Wärmeübertragungseigenschaften der Erdwärmesonde wird das Bohrloch anschließend mit einem Verfüllmaterial verfüllt. Erdwärmesondenbohrungen sind bei der zuständigen Behörde anzulegen. Grundlegend gilt für Erdwärmesonden das Grundwasserrecht. Die Nutzung oberflächennaher Erdwärmesonden ist daher von der geographischen Lage von u. a. Wasser- und Heilquellenschutzgebieten sowie der Hydrogeologie abhängig. Neben dem Grundwasserschutz kann auch das Bergrecht tangiert werden. Deswegen werden oberflächennahe Erdwärmesonden häufig nur bis zu einer Tiefe von 100 m ausgeführt bzw. die geothermisch gewonnene Energie auf nur einem Grundstück genutzt. Erdwärmesonden sind das am weitest verbreitete geothermische Wärmequellsystem in Deutschland. Erdwärmesonden weisen ein Wärmequellentemperaturniveau auf, das nahezu unabhängig von Wetter und Bedingungen ist. Darüber hinaus sind Erdwärmesonden geeignet ein Gebäude zusätzlich zur Wärmeversorgung auch zu kühlen.

In Abbildung 3-4 sind die Potenzialflächen für Erdwärmesonden auf den Flurstücken der bebauten Gebiete dargestellt. Die Potenzialflächen wurden sowohl für bebaute Gebiete als auch für landwirtschaftlich genutzte Flächen im Umkreis von bebauten Gebieten ermittelt. Letztere sind insbesondere für zentrale Versorgungsoptionen über beispielsweise kalte Nahwärmenetze relevant. Für die Ermittlung der Potenzialflächen wurden Ausschlussgebiete wie z. B. Wasserschutzgebiete oder Ausschlussgebiete aufgrund von Bohrrisiken durch Karstgesteine und Sulfatgesteine berücksichtigt. Darüber hinaus wurden Flächen für die landwirtschaftlichen Gebiete außerhalb der Siedlungsfläche, die aufgrund von Bahnlinien, Flüssen oder sonstigen Hindernissen von der nächsten Bebauung getrennt sind, nicht in die Potenzialflächen inkludiert.

Anhand von Informationen zu bestehenden Bohrungen wurde in Immenstadt eine Bohrtiefenbegrenzung von 60 m angenommen. Anhand der angesetzten Randbedingungen ergeben sich Potenzialflächen von insgesamt 1.104 ha. Mit einer angesetzten JAZ von 4,1 [[Miara et al. 2011] -> Miara, M. ; Günther, D. ; Kramer, T. ; Oltersdorf, T. ; Wapler, J.: Wärmepumpen Effizienz – Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz] und Jahresvollaststunden von 1.800 h/a ergibt sich ein durch Wärmepumpen bereitgestelltes, nutzbares Wärmepotenzial von 1.801 GWh/a. Die Ergebnisse unterteilen sich wie folgt anhand der Flächenarten:

Tabelle 3-7: Übersicht der Flächenpotenziale für Erdwärmesonden für die Stadt Immenstadt

Flächenart	Potenzialfläche	Möglicher Wärmeertrag über Wärmepumpen
Siedlungsfläche	127 ha	197 GWh /a
Landwirtschaftliche Flächen im Umkreis der Siedlungsgebiete	977 ha	1.604 GWh /a

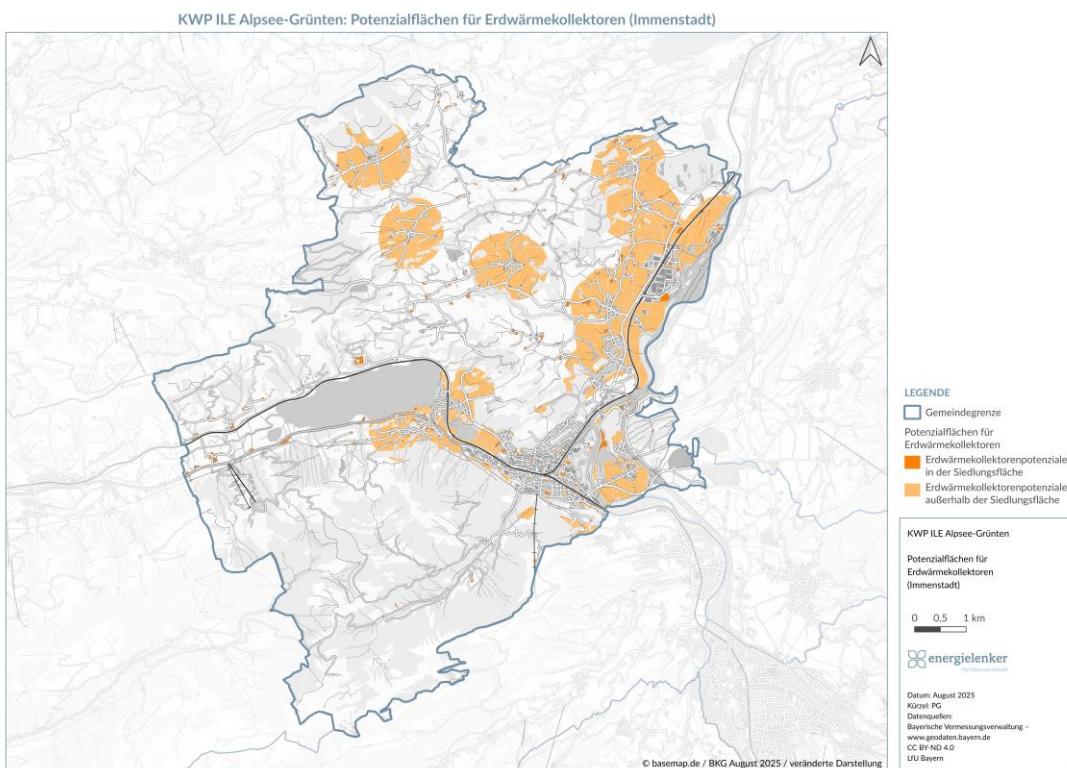


Abbildung 3-4: Potenzialflächen für Erdwärmesonden für das Stadtgebiet von Immenstadt

Erdwärmekollektoren

Erdwärmekollektoren sind ein geothermisches Wärmequellsystem, bei dem horizontale Rohrleitungen unterhalb der Frostgrenze in einer Einbautiefe von ca. 1,5 m in den Boden eingebbracht werden. Erdwärmekollektoren zeichnen sich durch einen höheren Flächenbedarf als Erdwärmesonden aus, da sie flächig im Boden verlegt werden. Die geothermisch genutzte Fläche sollte für diese Systeme ca. das 1,5- bis 2-fache der zu beheizenden Fläche betragen. Allerdings kann die notwendige Fläche u. a. durch mehrstöckige Kollektorsysteme

(Sandwichsysteme), durch den Einsatz von vertikal eingebrachten Kollektorsystemen sowie durch die Kombination mit solarthermischen Anlagen zur Regeneration des Untergrundes verringert werden. Die Wärme beziehen die Kollektoren hauptsächlich aus der eingestrahlten Sonnenwärme und über versickerndes Niederschlagswasser. Für Erdwärmekollektoren ist i. d. R. kein wasserrechtliches Erlaubnisverfahren notwendig. Dadurch können Erdwärmekollektoren eine Alternative zu beispielsweise Erdwärmesonden in Gebieten darstellen, die für diese Systeme genehmigungsrechtlich nicht zulässig sind.

In Abbildung 3-5 ist die Gesamtansicht der Potenzialflächen für Erdwärmekollektoren für das Stadtgebiet von Immenstadt dargestellt. Die Potenzialflächen wurden sowohl für bebaute Gebiete als auch für landwirtschaftlich genutzte Flächen im Umkreis von bebauten Gebieten ermittelt. Letztere sind insbesondere für zentrale Versorgungsoptionen über beispielsweise kalte Nahwärmenetze relevant. Neben klassischen Ausschlussgebieten wie z. B. Wasserschutzgebiete wurde zusätzlich auch die Grabbarkeit berücksichtigt. Zusätzlich wurden Potenzialflächen in den Siedlungsgebieten ausgeschlossen, die kleiner sind als die doppelte Fläche des zu beheizenden Gebäudes. Darüber hinaus wurden Flächen für die landwirtschaftlichen Gebiete außerhalb der Siedlungsfläche, die aufgrund von Bahnlinien, Flüssen oder sonstigen Hindernissen von der nächsten Bebauung getrennt sind, nicht in die Potenzialflächen inkludiert.

Anhand der angesetzten Randbedingungen ergeben sich Potenzialflächen von insgesamt 910 ha. Für die Berechnung der aus dem Erdboden entziehbaren Wärmemengen und schließlich der Wärmemengen, die durch Wärmepumpen für die Gebäude bereitgestellt werden, wurde ein GIS-Layer mit Informationen zu den Wärmeleitfähigkeiten im oberflächennahen Erdboden genutzt. Für einige Flächen sind keine Angaben zur Wärmeleitfähigkeit hinterlegt, sodass diese nicht in der quantitativen Ermittlung einfließen konnten. Mit einer angesetzten JAZ von 4,0 [[Miara et al. 2011] -> Miara, M. ; Günther, D. ; Kramer, T. ; Oltersdorf, T. ; Wapler, J.: Wärmepumpen Effizienz – Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz] und Jahresvollaststunden von 1800 h/a ergibt sich ein durch Wärmepumpen bereitgestelltes, nutzbares Wärmepotenzial von 368 GWh/a. Die Ergebnisse unterteilen sich wie folgt anhand der Flächenarten:

Tabelle 3-8: Übersicht der Flächenpotenziale für Erdwärmesonden für die Stadt Immenstadt

Flächenart	Potenzialfläche	Möglicher Wärmeertrag über Wärmepumpen
Siedlungsfläche	25,8 ha	10 GWh /a
Landwirtschaftliche Flächen im Umkreis der Siedlungsgebiete	884 ha	358 GWh /a

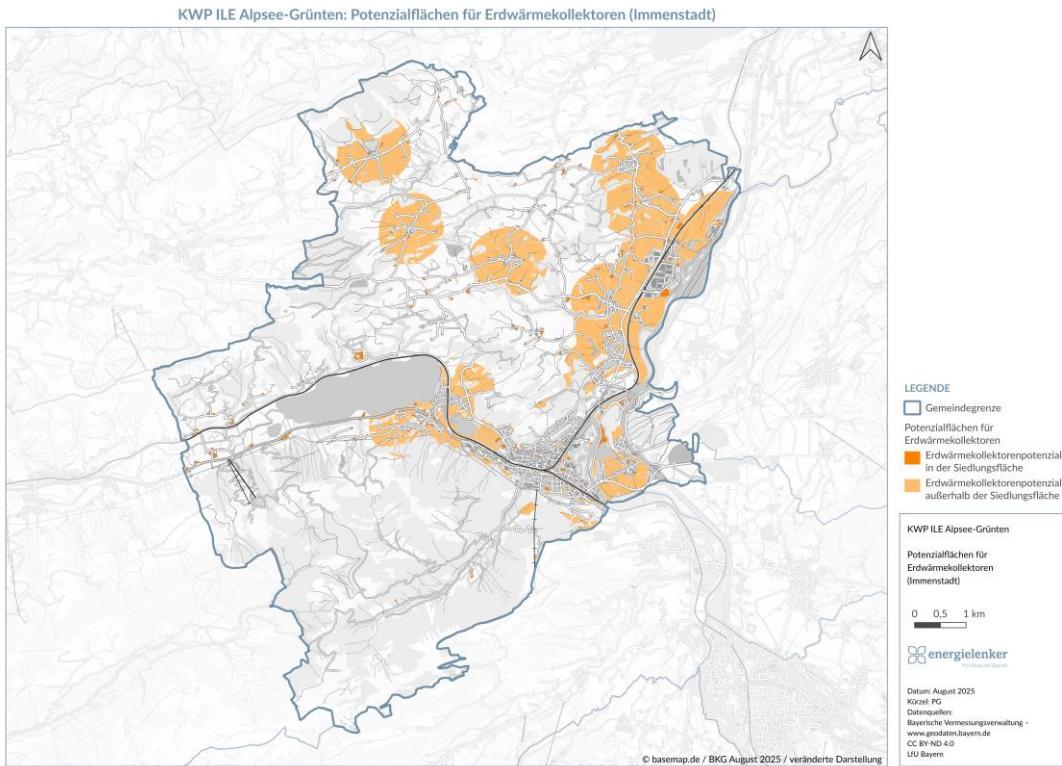


Abbildung 3-5: Gesamtansicht der Potenzialflächen für Erdwärmekollektoren für das Stadtgebiet von Immenstadt

Grundwasserbrunnen

Grundwasserbrunnen sind offene Systeme und bestehen aus mindestens einem Förder- und Schluckbrunnen. Im Förderbrunnen wird das Grundwasser über eine Pumpe angesaugt und nach der Wärmeübertragung in einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe im Schluckbrunnen wieder in den Grundwasserleiter eingespeist. Das quantitative Potenzial (Wärmemengen) von Grundwasserbrunnensystemen ist aufgrund einem detaillierten Informationsbedarf über die Hydrologie des Untergrunds und thermischen Wechselwirkungen von mehreren Systemen innerhalb des gleichen Grundwasserleiters nicht über eine flächige Berechnung wie bei Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren zu ermitteln. Stattdessen werden die Potenzialkarten aus dem Energie-Atlas Bayern bewertet und auf eine quantitative Potenzialermittlung verzichtet. In Abbildung 3-6 sind die Potenzialflächen für Grundwasserbrunnen und bestehende Brunnenanlagen in Immenstadt dargestellt.

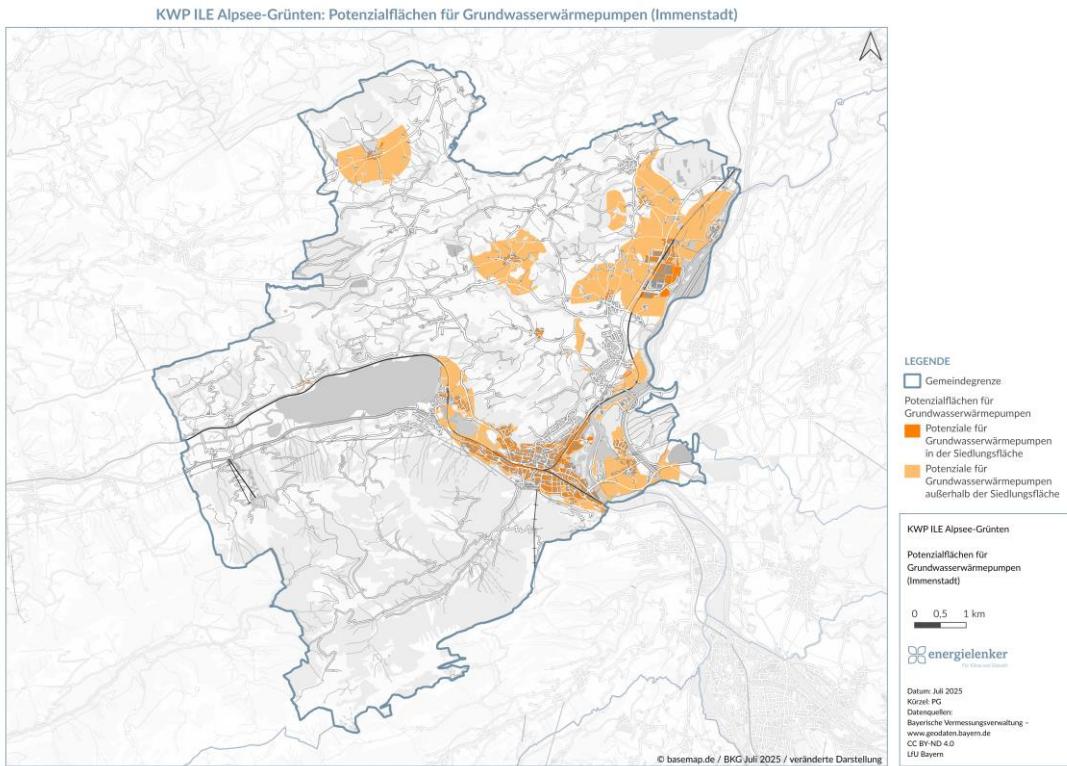


Abbildung 3-6: Potenzialflächen für Grundwasserwärmepumpen in Immenstadt

3.5 Solarthermie

Solare Strahlungsenergie hat vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für den Beitrag zur kommunalen Wärmeplanung. Sie kann in Form von Solarthermie als Erzeuger für Wärmeenergie oder in Form von Photovoltaik als Stromerzeuger genutzt werden. Zwischen klassischen Solarthermie- und PV-Anlagen besteht aufgrund der limitierten Flächenverfügbarkeiten eine Flächenkonkurrenz. Durch den Einsatz von PVT-Kollektoren kann sowohl Strom als auch Wärme erzeugt werden, wodurch die Flächenkonkurrenz teilweise aufgehoben wird. PVT-Anlagen werden im Folgenden nicht näher betrachtet. PV-Anlagen werden in Kapitel 3.9.1 erläutert.

Solarthermische Anlagen sind ein wichtiger Bestandteil der Wärmewende, da sie sowohl mit Hilfe von zentralen als auch dezentralen Anlagen dazu beitragen können, auf einer gesamtstädtischen Ebene einen CO₂-freien Wärmesektor zu realisieren. Solarthermie lässt sich ähnlich wie klassische Photovoltaikanlagen auf Dach- und Freiflächen realisieren. Aufgrund der saisonalen Schwankungen der Solarstrahlung gilt es zu beachten, dass solarthermische Anlagen ohne einen ausreichend großen saisonalen thermischen Speicher nicht den Heizwärmebedarf und TWW-Bedarf allein decken können.

Grundsätzlich wird bei der Solarthermie die eintreffende Sonnenstrahlung durch Absorber aufgenommen. Die entstehende thermische Energie wird dann auf eine Wärmeträgerflüssigkeit geleitet. In der Regel ist das ein Gemisch aus Wasser und Glykol, auch Solarfluid genannt. Das Solarfluid fließt zu einem Wärmespeicher, gibt dort die thermische Energie an das Heizungsmedium (Wasser) ab und erhitzt es. Danach läuft das Solarfluid wieder zum Kollektor zurück, um durch den Absorber erneut erwärmt zu werden.

Die Installation von Solarthermieanlagen auf Dachflächen ermöglicht i. d. R. die Deckung des Warmwasserbedarfs außerhalb der Heizperiode (Mai bis September) für einen 4-Personen-Haushalt. Hierzu ist bereits eine Bruttokollektorfläche von 4-6 m² ausreichend. Im Schnitt können bei einer Kollektorfläche von 6 m² ca. 2.000-2.400 kWh/a Wärme erzeugt werden. Damit erzeugt eine Solarthermie über das Jahr gesehen rund 60 % des Warmwasserbedarfs.

In sogenannten Kombi-Solaranlagen kann darüber hinaus, neben der Warmwasserbereitung, auch Energie zum Heizen der Wohnfläche genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichend große Dachfläche, da die Kollektorfläche ungefähr doppelt so groß sein muss wie bei reinen Solarthermieanlagen für die Warmwasserbereitung. Durch Kombi-Solaranlagen lassen sich 20-25 % des jährlichen Wärmeenergiebedarfs decken. Eine zusätzliche herkömmliche Heizung ist in jedem Fall erforderlich.

Für die Berechnung des Energieertrags von Solarthermie-Anlagen kann ein spezifischer Ertrag von 333,33 kWh/m² zugrunde gelegt werden, basierend auf einer mittleren globalen Strahlung von 1.000 kWh/m² (Umweltbundesamt, Sonnenkollektoren – Solarthermie, 2024).

Solarthermie auf Dachflächen

Die Nutzung von Solarthermie auf Dachflächen erfolgt meist als Hybridsystem in Kombination mit einer weiteren Heizungsart. Solarthermie auf dem Dach ist sehr effizient, da die Technologie weitestgehend ausgereift und die Transportwege kurz sind. Die Nutzung von Sonnenenergie erhöht die energetische Autarkie von Haushalten und Gebäuden und reduziert die Abhängigkeit von externen Versorgungsquellen.

Die Dachflächen im Gebiet umfassen insgesamt 35,1 ha, die laut Solarkataster für Solarthermie nutzbar sind. Auf diesen Flächen lassen sich pro Jahr rund 117,1 GWh Wärme gewinnen (siehe Tabelle 3-9). Je nach Größe der Anlagen kann die komplette Wärmemenge nicht vollständig genutzt werden, da der Großteil der Wärme in den Sommermonaten erzeugt wird und in den Wintermonaten der meiste Wärmeverbrauch anfällt. Wird die Solarthermieanlage nur für die TWW-Bereitung dimensioniert, kann der Nutzungsanteil deutlich erhöht werden. Bei der hier vorgestellten vereinfachten Berechnung der kompletten Dachfläche mit dem oben beschriebenen Energiekennwert wird nicht die komplette Wärmemenge nutzbar sein. Dementsprechend sind die berechneten Energiemengen zu werten.

Tabelle 3-9: Übersicht der Flächenpotenziale für Solarthermie auf Dachflächen für die Stadt Immenstadt

Flächenart	Potenzialfläche laut Solarkataster	Durchschnittlicher jährlicher Wärmeertrag
Dachflächen	35 ha	117 GWh/a

Solarthermie auf Freiflächen

Neben Dachanlagen können Solarthermieanlagen auch auf Freiflächen errichtet werden. Sie können aufgrund des Skaleneffektes ähnlich wie bei Freiflächen-PV kostengünstigere Wärme produzieren als Aufdachanlagen und speisen die erzeugte Wärme i. d. R. in Wärmenetze ein. Hier werden Netztemperaturen von bis zu 100 °C erreicht. Bei der Einbindung von Wärme aus der Solarthermie sind die Vor- und Rücklauftemperaturen des Wärmenetzes sowie die saisonale Einspeiseperiode von März bis Oktober zu beachten. Somit können Solarthermieanlagen nur durch den Einsatz von Speichersystemen die Wärmebereitstellung in den Wintermonaten unterstützen.

Für Solarthermieanlagen gilt dieselbe potenzielle Flächenkulisse wie für Freiflächen-Photovoltaikanlagen mit dem Unterschied, dass für die Nutzung im Fernwärmebereich die Nähe zur Wärmeversorgung eine Rolle spielen. Vor- und Rücklaufleitungslänge unterliegen Installationskosten und Wärmeverlusten. Damit der Wärmeverlust der Anschlussleitung nicht zu groß wird, werden nicht alle landwirtschaftlichen Flächen um das Siedlungsgebiet, sondern nur Flächen in einem gewissen Puffer zum Siedlungsrand berücksichtigt. Die Mindestgröße für betrachtete Freiflächen liegt dabei bei 5 ha.

Bei den Anlagen kann zwischen Freiflächen- und Agri-Solarthermie unterschieden werden. Der Unterschied liegt dabei in der Höhe der Aufständerung, die eine landwirtschaftliche Nutzung der Fläche unterhalb noch zulässt (z. B. als Weidefläche). In der Wirkungsweise und im Ertrag bestehen keine Unterschiede.

In Abbildung 3-7 sind die Potenzialflächen für Freiflächen-Solarthermieanlagen dargestellt.

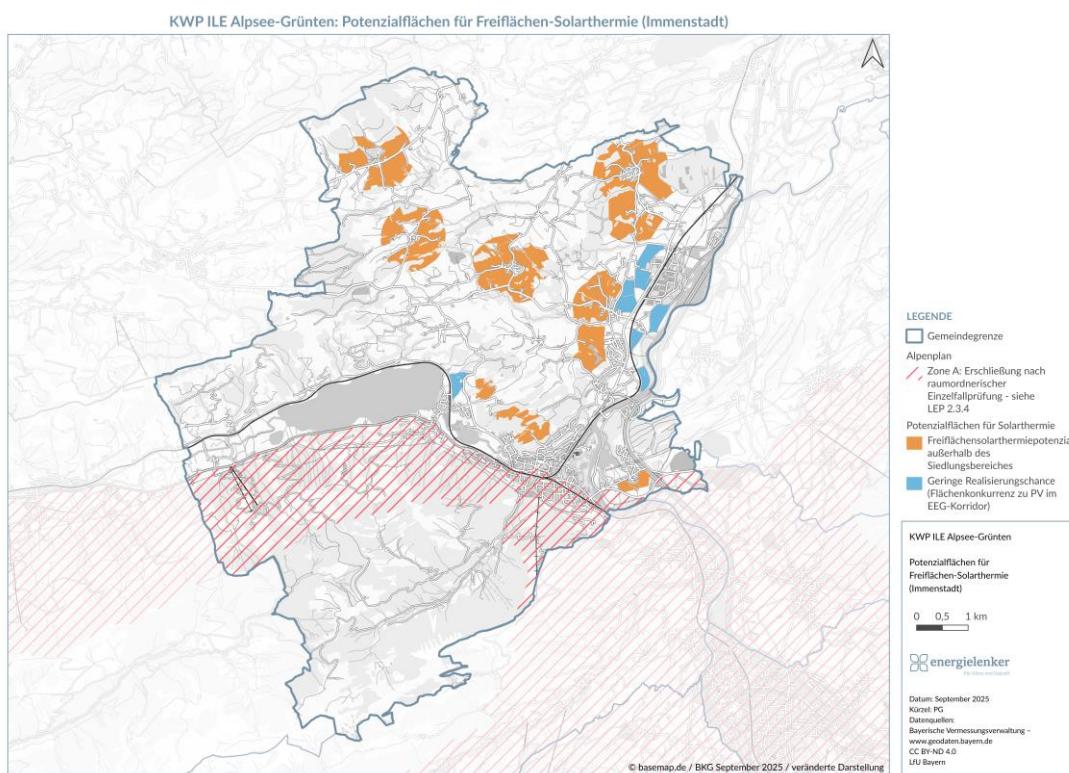


Abbildung 3-7: Potenziale für Freiflächen-Solarthermieanlagen in der Stadt Immenstadt

Für die Freiflächen-Solarthermie wurden Potenzialflächen außerhalb des Siedlungsbereichs ermittelt. Zusätzlich sind auch Flächen innerhalb des 500-m-EEG-Korridors (vgl. Kapitel 3.9.1) dargestellt, in denen Photovoltaik-Freiflächenanlagen nach § 37 EEG gefördert werden. In diesen Gebieten ist die Umsetzung von solarthermischen Freiflächenanlagen als gering einzuschätzen. In den blauen Flächen können auch Flächen liegen, die nach Baugesetz privilegiert sind (vgl. Kapitel 3.9.1; 200 m-Korridor), für diese Flächen wird ebenso eine geringe Realisierungschance ausgewiesen. Für die Analysen wurden Flächen der Alpenzone C und B aufgrund von raumordnerischen Belangen ausgeschlossen. Die Zone A, die eine Erschließung nach raumordnerischer Einzelfallprüfung vorsieht (vgl. LEP 2.3.4), ist kein Ausschlusskriterium und entsprechend zur Information dargestellt.

Die quantitativen Ergebnisse sind in Tabelle 3-10 aufgeführt. Diese sind ähnlich wie bei solarthermischen Dachanlagen zu werten. Die berechneten Potenziale werden i. d. R. nicht

vollständig genutzt werden können. Auf der einen Seite wegen der Unterschiede zwischen Bedarf und Erzeugung. Auf der anderen Seite müssten für die Nutzung dieser Wärmemenge auch entsprechend Wärmenetze und große Pufferspeicher installiert werden, um die Wärme zu verteilen und auch in der Heizperiode zu nutzen. Zudem werden für die Flächenanalysen landwirtschaftliche Flächen herangezogen. Ob die Landwirte Flächen für eine solarthermische Nutzung zur Verfügung stellen, ist oft fraglich. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der Fläche nicht für eine solarthermische Nutzung zur Verfügung steht.

Tabelle 3-10: Übersicht der Flächenpotenziale für Solarthermie auf Freiflächen für die Stadt Immenstadt

Flächenart	Technische Potenzialfläche	Durchschnittlicher jährlicher Wärmeertrag
200 m - Korridor	18 ha	61 GWh /a
500 m - Korridor (Geringe Realisierungschance, da Flächenkonkurrenz zu PV nach §37 EEG)	71 ha	236 GWh /a
Außerhalb des 500 m - Korridors	501 ha	1.669 GWh /a

3.6 Abwärme

Abwärme bezeichnet die Wärmeenergie, die als Nebenprodukt anfällt und in der Regel an die Umwelt abgegeben wird. Das theoretische Abwärmepotenzial bezieht sich auf die maximal mögliche Energiemenge, die durch Abwärmenutzung verfügbar wäre, ohne limitierende Faktoren zu berücksichtigen. Das technisch nutzbare Abwärmepotenzial berücksichtigt die aktuellen technischen Möglichkeiten zur Erfassung und Umwandlung der Abwärme in nutzbare Energie. Das wirtschaftlich nutzbare Abwärmepotenzial ist die Energiemenge, deren Rückgewinnung und Nutzung unter den angesetzten ökologischen Bedingungen und Kostenstrukturen erfolgen kann.

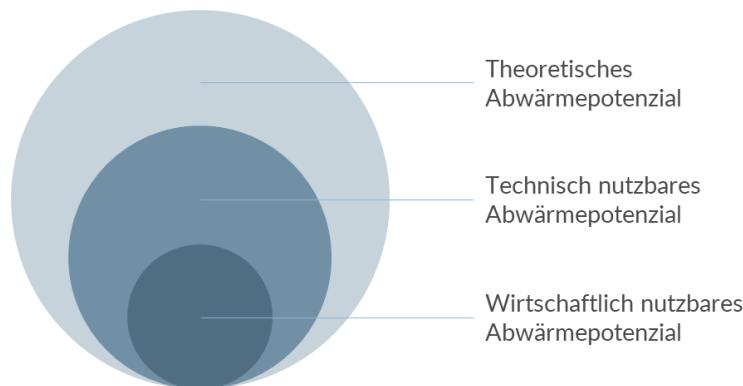


Abbildung 3-8: Übersicht Potenzialbegriffe Abwärme

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung wird ausschließlich das theoretische Abwärmepotenzial bewertet. Die technischen und wirtschaftlichen Limitierungen sollten in separaten Machbarkeitsstudien oder Transformationsplänen untersucht werden.

3.6.1 Industrielle Abwärme

Abwärme im industriellen Umfeld bezeichnet die Wärmeenergie, die in Unternehmen bei Prozessen anfällt und ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Je nach Unternehmensbranche und Prozessen am jeweiligen Standort variiert das Abwärmepotenzial bedeutend. Das Temperaturniveau der vorhandenen Abwärmequelle ist einer der wichtigsten Faktoren bei der Einordnung des Potenzials und der resultierenden Auswahl der entsprechenden Technik zur Nutzung der Abwärmequelle. Zudem ist die kumulierte Energiemenge, aber auch die Verfügbarkeit und Kontinuität der Abwärme relevant. In Abbildung 3-9 sind die Nutzungsmöglichkeiten von industrieller und gewerblicher Abwärme in Abhängigkeit des Temperaturniveaus der Wärmequelle dargestellt. Es werden typische Abwärmequellen mit grobem Temperaturbereich den möglichen Nutzungen gegenübergestellt (siehe Abbildung 3-9).

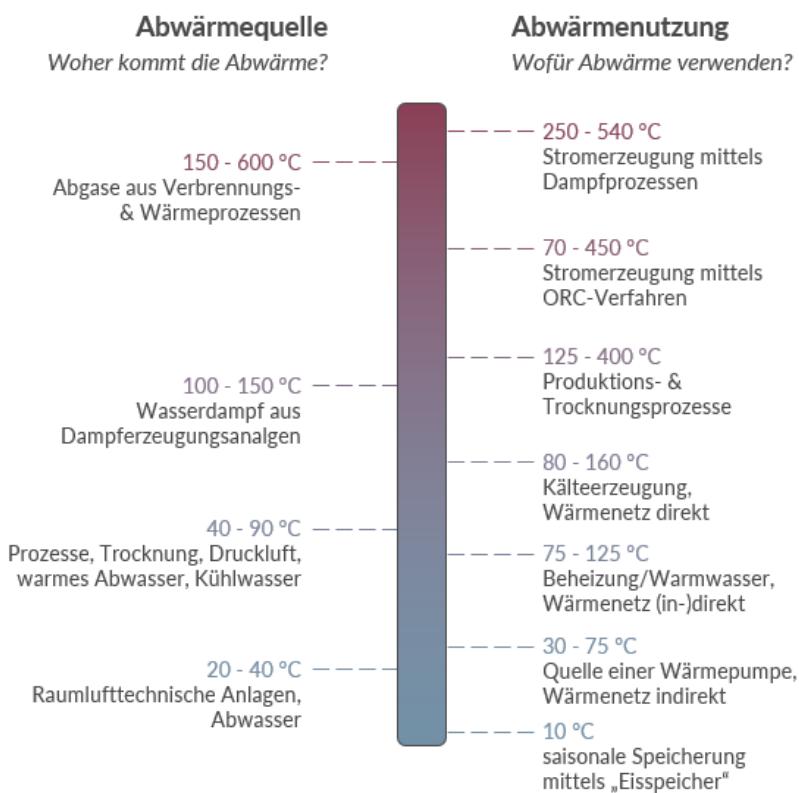


Abbildung 3-9: Nutzung von industrieller und gewerblicher Abwärme in Abhängigkeit des Temperaturniveaus
eigene Darstellung

Bei der Einordnung von Abwärmepotenzialen im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung als ganzheitliches Instrument ist zu berücksichtigen, dass eine unternehmensinterne Nutzung der anfallenden Abwärme als höchste Priorität gilt. Eine solche Untersuchung kann zusammen mit der Konkretisierung von Abwärmepotenzialen im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für Unternehmen durchgeführt werden. Falls keine direkte Nutzung der Abwärme möglich ist, kann die übrige, sogenannte unvermeidbare Abwärme ausgekoppelt und langfristig als Potenzial zur Bereitstellung von Wärme für z. B. Wärmenetze genutzt werden. Liegt die Abwärme auf einem geringen Temperaturniveau vor, muss ggf. das Temperaturniveau über Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau angehoben werden. Die Wärmepumpen können entweder mit elektrischem Strom (Kompressionswärmepumpen) oder Wärme auf einem hohen Temperaturniveau (Sorptionswärmepumpen) betrieben werden.

Potenziale für neue Wärmenetze oder die Erweiterung von bestehenden Wärmenetzen finden sich in städtebaulichen Strukturen mit entsprechend hoher Wärmeliniendichte. Die Wärmedichte bzw. Wärmeliniendichte sind Indikatoren für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen – je höher die Wärmeliniendichte, desto geringer fällt der Anteil der Leistungsverluste aus. Bei der Kopplung von Industriebetrieben als Abwärmequellen und Wärmeabnehmern ist die räumliche Entfernung ein maßgebliches Kriterium der Machbarkeit. Die sinnvolle Grenze variiert je nach Wärmemenge, Temperaturniveau und Vorhandensein oder Planungen von Wärmenetzen und kann nicht pauschal bewertet werden. Es wird empfohlen für relevante (Industrie-) Gebiete oder Unternehmen eine vertiefte Untersuchung durchzuführen.

Ermittlung industrieller Abwärmepotenziale durch Portalabfrage und Akteursgespräche

Zur Identifizierung industrieller Abwärmepotenziale wurden sowohl die in der Plattform für Abwärme des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle hinterlegten Daten als auch Informationen aus direkten Akteursgesprächen ausgewertet. Auf diese Weise konnten bestehende und potenzielle unvermeidbare Abwärmequellen erfasst und hinsichtlich ihrer Eignung für eine kommunale Wärmeversorgung eingeordnet werden.

Die Plattform für Abwärme weist als Einträge für Abwärmelieferanten in Immenstadt die Robert Bosch GmbH und die Firma Monta Klebebandwerk GmbH auf.

Das Akteursgespräch mit der Robert Bosch GmbH hat ergeben, dass auf dem Gelände in Immenstadt schon Wärmerückgewinnung genutzt wird und ein unvermeidbares Abwärmepotenzial von ca. 8,2 GWh pro Jahr über Nasskühltürme bei einem Temperaturniveau von ca. 26 °C zur Verfügung steht. Die Abwärme weist einen Grundlastanteil auf, der das ganze Jahr und rund um die Uhr zur Verfügung steht, der Hauptteil ist jedoch in den Sommermonaten außerhalb der Heizperiode vorhanden, dessen Wirtschaftlichkeit fraglich ist. Der Betrieb eines Wärmenetzes durch Bosch, um andere Wärmeabnehmer in der Umgebung zu versorgen, ist seitens Bosch bislang nicht vorgesehen und wird auch zukünftig als unwahrscheinlich angesehen.

Die Ermittlung der Abwärmepotenziale bei **Monta Klebebandwerk GmbH** in Immenstadt basiert ausschließlich auf den Daten aus dem Abwärmeportal. Weitere Informationen des Akteurs liegen nicht vor. Insgesamt liegt eine Abwärmemenge von 14,6 GWh vor. Die größten Abwärmequellen von rund 5,4 GWh/a ergeben sich aus den Kühlurm-Prozessen. Die Kühlurmabwärme weist ein Temperaturniveau zwischen 25 °C und 60 °C auf und ist an fünf Tagen pro Woche und dann 24 Stunden pro Tag verfügbar. Eine Silica-Anlage am Kamin liefert etwa 3,2 GWh Abwärme pro Jahr bei vergleichbarem Temperaturniveau, ist jedoch technisch schwer erschließbar, da die Abluft über den Dachkamin abgeführt wird. Eine Lurgi-Anlage am Kamin liefert weitere rund 2,8 GWh/a. Kleinere Quellen aus Beschichtungsabluft und Mischerei liegen zwischen 0,7 GWh/a und 0,8 GWh/a, weisen mittlere Temperaturen auf und sind teilweise nur saisonal nutzbar, etwa die Dachventilatoren der Beschichtungslinie im Sommerbetrieb. Die Kesselanlagen liefern zusammen etwa 1,5 GWh/a, wobei der Großteil der Abwärme bereits über Wärmerückgewinnung intern genutzt wird. Lediglich der Restwärmestrom (z. B. 196 kW bei 60–90 °C aus dem 12 t-Kessel, wäre potenziell nutzbar. Ein Geka-Kessel erreicht Temperaturen über 110 °C, ist jedoch technisch nicht nachrüstbar. Insgesamt ergibt sich ein diversifiziertes, aber technisch voraussichtlich nur eingeschränkt erschließbares Potenzial für nutzbare Abwärmemengen, das überwiegend aus Niedertemperaturabwärme besteht, zeitlich begrenzt verfügbar ist und teils nicht nachrüstbar ist.

Ein weiterer potenzieller Abwärmelieferant ist die Häusler Frischeservice GmbH, die perspektivisch die Investition in eine moderne Verbundkälteanlage mit einem natürlichen Kältemittel plant. Im Falle der Umsetzung mit CO₂ als Kältemittel, könnten- abhängig vom Lastbetrieb und nach aktuellem Planungsstand – ganzjährig eine nutzbare Wärmeleistung zwischen ca. 120 und 190 kW bereitgestellt werden.

3.6.2 Abwärme an der Kläranlage

Auf dem Gelände der Verbandskläranlage Obere Iller in Immenstadt werden zwei Blockheizkraftwerke (BHKW) mit elektrischen Leistungen von 290 kW bzw. 249 kW betrieben. Diese Aggregate verstromen das auf der Anlage erzeugte Klärgas und erzeugen dabei eine jährliche Wärmemenge von rund 3,3 Mio. kWh. Die gewonnene Wärme wird vollständig für die Klärwerksprozesse genutzt. Zukünftig ist eine Ausweitung der thermischen Nutzung im Rahmen einer Klärschlammtröcknung vorgesehen. Für die zusätzliche Trocknungsstufe wird ein erhöhter Wärmebedarf erwartet. Ein ungenutztes Abwärme potenzial liegt nicht vor.

3.7 Wasserstoff

Die Erzeugung von Wasserstoff kann durch verschiedene Verfahren erfolgen, wobei die Elektrolyse von Wasser unter Einsatz von erneuerbaren Energien eine der umweltfreundlichsten Methoden darstellt. Bei diesem Prozess wird Wasser (H₂O) mithilfe von elektrischem Strom in Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂) aufgespalten. Dies ermöglicht die Produktion von sogenanntem "grünem Wasserstoff", der keine Treibhausgasemissionen verursacht. Es gibt jedoch auch andere Methoden, wie z. B. die Dampfreformierung von Erdgas, die zwar kostengünstiger, aber weniger umweltfreundlich ist, da hierbei CO₂ freigesetzt wird.

Eine wichtige Funktion von Wasserstoff ist seine Eignung als Speichermedium, um überschüssige Energie aus erneuerbaren Quellen wie Wind- und Solarenergie zu speichern. Diese gespeicherte Energie kann dann bei Bedarf wieder in Wärme umgewandelt werden. Die hohe Energiedichte von Wasserstoff macht diesen besonders attraktiv für industrielle Anwendungen. Insbesondere in der Schwerindustrie, wie der Stahl- und Chemieindustrie, wird Prozesswärme auf einem hohen Temperaturniveau benötigt, das effektiv durch Wasserstoff bereitgestellt werden kann. Ebenso sind einige industrielle Prozesse schwer zu elektrifizieren oder mit direkten elektrischen Heizmethoden zu betreiben.

Neben dem industriellen Einsatz kann Wasserstoff auch zur dezentralen Gebäudebeheizung über Brennstoffzellengeräte oder Gasbrennwertkessel (H₂-Ready) verwendet werden. Jedoch ist der Einsatz von Wasserstoff im dezentralen Gebäudebereich aktuell technisch und wirtschaftlich unattraktiv. In privaten Haushalten sind die Energieeffizienz und die Kosten entscheidende Faktoren. Die Umwandlung von Elektrizität in Wasserstoff und anschließend in Wärme ist mit Energieverlusten verbunden. Dezentrale Lösungen, wie z. B. Wärmepumpen, sind oft die effizientere und kostengünstigere Lösung für die Raumheizung und Warmwasserbereitung im Wohngebäudebereich.

In Abbildung 3-10 ist der Strombedarf von verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von einer Kilowattstunde Raumwärme und Trinkwarmwasser über den Jahresdurchschnitt dargestellt. Um eine Kilowattstunde thermische Energie für Raumwärme und Trinkwarmwasser bereitzustellen, wird für einen mit Wasserstoff betriebenen Gasbrennwertkessel die 1,6-fache

Menge an elektrischer Energie benötigt. Im Vergleich zu Wärmepumpen ergibt sich somit in Abhängigkeit der JAZ ein um das Fünffache bzw. Achtfache höherer Stromeinsatz.

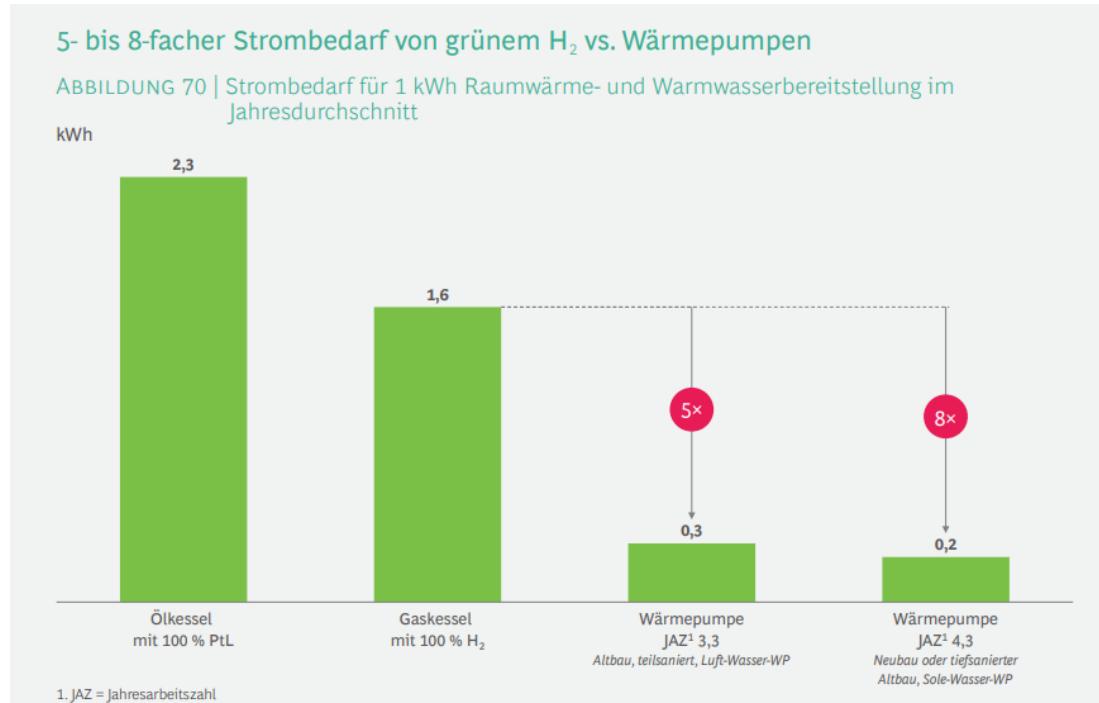


Abbildung 3-10: Strombedarf von verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von 1 kWh Raumwärme und Trinkwarmwasser im Jahresdurchschnitt (BDI, 2021)

Aufgrund der zusätzlich benötigten Strommenge zur Wasserstofferzeugung und der derzeit zu langsamem Ausbaugeschwindigkeit von erneuerbaren Stromerzeugern ist auch eine zukünftig komplett regenerative bzw. kostengünstige Bereitstellung von Wasserstoff im Gebäudebereich fraglich.

Wasserstoff kann auch für die Synthesierung von CO₂ zu Methan und Wasser genutzt und mit der vorhandenen Gasinfrastruktur transportiert und teilweise gespeichert werden. Der Energiegehalt von synthetischem Methan über den Zwischenprozess der Elektrolyse beträgt jedoch nur ca. 55 % der ursprünglich aufgewendeten elektrischen Energie. Je nach Einsatzsektor und Transportweg folgen weitere Verluste. Um die im Methan gebundene Energie dann wieder in Strom oder Wärme umzuwandeln, sind zusätzliche Umwandlungsverluste zu berücksichtigen.

Die Verteilung von Wasserstoff kann entweder durch Beimischung in bestehende Gasnetze oder durch deren vollständige Umstellung auf Wasserstoff erfolgen. Die Umstellung erfordert allerdings erhebliche Anpassungen an der Infrastruktur, einschließlich der Umrüstung von Gasnetzen, Speichern und Endgeräten. Vor diesem Hintergrund stellt sich insbesondere für Betreiber und Eigentümer von Gasverteilnetzen die Frage, welche Funktion die Netze auf lange Sicht einnehmen werden und welche wirtschaftlichen Effekte damit verbunden sind. Die Umstellung von bestehenden Gasnetzen bzw. ein Ausbau müssen insbesondere in Einklang mit der Wärmenetzstrategie und in Betrachtung des gesamten Energiesystems erfolgen.

Zudem wird die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff in Deutschland zukünftig regional unterschiedlich sein (vermehrt in Norddeutschland aufgrund von Überschussstrom aus Off-Shore-Windkraftanlagen bzw. in der Nähe von Wasserstofftransportleitungen).

Zukünftig ist eine überwiegende Wärmeversorgung des Gebäudebereichs über Wasserstoff nicht realistisch. Allerdings kann Wasserstoff für bestimmte Industriezweige mit hohen Temperaturanforderungen sinnvoll sein. Für einen wirtschaftlichen Einsatz von regenerativ erzeugtem Wasserstoff ist die Kombination von bestimmten Randbedingungen erforderlich. Randbedingungen sind u. a. ein hoher Energiebedarf, hohe Prozesstemperaturen sowie eine Wasserstoffverteilleitung bzw. ein Elektrolyseur in der Nähe.

Information

Die Nutzung von Wasserstoff für Zwecke der Wärmeversorgung wird in Fachkreisen bislang kontrovers diskutiert. Solange Wasserstoff nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung steht, sollte der Einsatz dort erfolgen, wo eine Dekarbonisierung anderweitig schwer zu erreichen ist. Hierzu zählen u. a. die Mineralölwirtschaft, die Stahlherstellung und die Chemieindustrie. Die Wasserstoffnetzeignung hängt maßgeblich von den Transformationsplänen des Gasnetzbetreibers ab. Diese befinden sich momentan noch in Erstellung. Demnach ist die Zukunft des Gasnetzes bzw. einzelner Gasabschnitte der Stadt noch nicht abschließend geklärt. Ob und zu welchen Konditionen Wasserstoff zur Wärmeerzeugung über das Gasnetz zur Verfügung steht, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht sicher vorherzusagen. Gebäudeeigentümer an Gasleitungen sollten sich daher vor der Installation frühzeitig mit dem Gasnetzbetreiber abstimmen und absichern.

Im Rahmen der Potenzialanalyse für Wasserstoff in der ILE Alpsee-Grünten wurden verschiedene Aspekte zu H₂-Kernnetz, Infrastruktur, H₂-Produktion sowie industrielle Bedarfe bewertet.

Die Infrastruktur des regionalen Gasnetzes ist grundsätzlich gut vorbereitet: Über 95 % des Verteilnetzes der Schwaben Netz GmbH gelten als H₂-ready.

Auf der anderen Seite ist nach Akteursinformationen eine Anbindung der Region an das überregionale H₂-Kernnetz (siehe Abbildung 3-11) derzeit nicht absehbar. In der ILE Alpsee Grünten ist, nach aktuellem Stand des Gasnetztransformationsplans, nicht mit einer Umstellung des Gasnetzes auf 100 % Wasserstoff vor 2040 zu rechnen (schwaben netz, 2025), sodass Wasserstoff in der Region voraussichtlich nicht für eine flächendeckende Versorgung der aktuellen Gaskunden zur Verfügung steht. Der Gasnetztransformationsplan und Aussagen zu konkreten Jahreszahlen für einen potenziellen Anschluss sind jedoch stark von den Randbedingungen (H₂-Großkundenbedarf, Elektrolyseurplanung etc.) abhängig und können sich in den nächsten Jahren ändern. Eine Priorisierung von Regionen wie Augsburg oder Günzburg liegt seitens Gasnetzbetreiber bereits vor.

Auch eine regionale Produktion von grünem Wasserstoff über Elektrolyseure ist nach aktuellen Informationen nicht geplant. Im Bereich der Wasserstoffproduktion plant Energie Schwaben ab 2027 den Bau von drei Elektrolyseuren mit jeweils 5 MW Leistung an den Standorten Allmannshofen, Illertissen und Rohrenfels/Oberhausen. Diese Anlagen liegen allerdings außerhalb des Wirkungskreises für die ILE Alpsee-Grünten (ca. 90-100 km entfernt) und sind somit voraussichtlich nicht relevant. Konkrete Aussagen zur potenziellen Anbindung oder Nutzung liegen derzeit nicht vor. Ebenso ist bislang kein konkreter H₂-Importpfad aus dem Süden erkennbar.

Information bezüglich konkreter industrieller Wasserstoffbedarfe in der Region (insbesondere aus Prozessen mit hohen Temperaturanforderungen) liegen zum aktuellen Stand nicht vor.

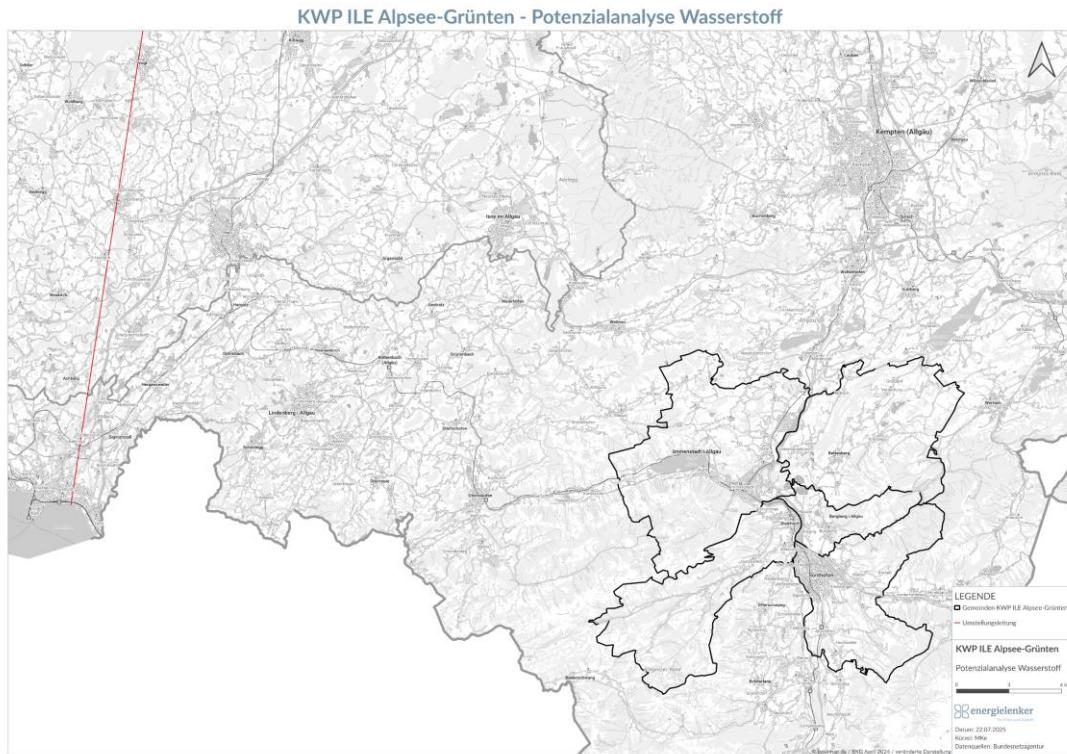


Abbildung 3-11: Wasserstoffkernnetz (eigene Darstellung)

Zusammenfassend ist der flächendeckende Einsatz von Wasserstoff für bestehende Gaskunden in der Region ILE Alpsee Grünten zukünftig voraussichtlich nicht gegeben.

3.8 Sektorenkopplung

Die Sektorenkopplung ist von großer Bedeutung für die Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Zum einen steigert sie die Effizienz durch optimierte Ressourcennutzung, was zu einem besseren Einsatz vorhandener Energiequellen führt. Darüber hinaus ermöglicht die Sektorenkopplung die Integration erneuerbarer Energien in verschiedene Bereiche wie Wärme, Verkehr und Industrie, wodurch die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringert wird. Sie trägt außerdem zur direkten und indirekten Reduktion von Emissionen in verschiedenen Sektoren bei, indem Energieflüsse miteinander vernetzt und Abfallprodukte in wertvolle Ressourcen umgewandelt werden. Des Weiteren fördert sie die Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz, indem Stoffkreisläufe geschlossen und Abfälle minimiert werden. Die Sektorenkopplung ist somit ein zentraler Bestandteil der Bemühungen, den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft zu beschleunigen.

Im Gebäudesektor gilt die Wärmepumpe als Schlüsseltechnologie. Sie ist ein prädestiniertes Beispiel für die Kopplung der Sektoren von Strom und Wärme. Weitere Beispiele sind Technologien wie die Großwärmepumpen für Wärmenetze, Elektrolyseure und Elektrodenkessel. Ein klimaneutraler Wärmesektor ist nur durch Sektorenkopplung und ausreichend erneuerbaren Strom zu erreichen. In diesem Sinne werden nachfolgend die stromerzeugenden Technologien Photovoltaik, Windkraft und Wasserkraft analysiert.

3.9 Stromerzeugungstechnologien für die Wärmenutzung

3.9.1 Photovoltaik

Eine Möglichkeit zur Nutzung von solarer Strahlungsenergie liegt in der klassischen Photovoltaiknutzung zur Stromproduktion. Photovoltaik kann auf Dachanlagen und Freiflächen errichtet werden, um den erzeugten Strom zur Selbstversorgung oder Einspeisung in das öffentliche Stromnetz zu nutzen. Dachanlagen werden im privaten Kontext meist in Verbindung mit Stromspeichern zur Eigenstromversorgung genutzt, um die Strombezugskosten zu senken. Photovoltaik kann aber auch dazu genutzt werden großflächige Freiflächen-Photovoltaikanlagen zu errichten, wobei der Strom entweder meist für industrielle Eigenstromversorgung oder Einspeisung in das öffentliche Netz genutzt wird. Hierbei sind jedoch meist standortspezifische Gegebenheiten ausschlaggebend, inwiefern der produzierte Strom genutzt werden kann (Nähe zu direkten Stromabnehmern oder öffentlichen Mittelspannungsleitungen).

Photovoltaik – Technische Anforderungen

Anders als Solarthermie, werden bei PV-Modulen deutlich geringere Wirkungsgrade erreicht, da der Prozess solare Strahlungsenergie in Strom umzuwandeln technologisch deutlich aufwendiger ist. Es kommen meist Mono- oder polykristalline Solarmodule zum Einsatz, die einen Wirkungsgrad von über 20 % (monokristalline Solarmodule) oder 12 – 16 % (polykristalline Solarmodule) aufweisen. Dem höheren Wirkungsgrad steht entsprechend auch ein höherer Anschaffungspreis entgegen.

Photovoltaikanlagen werden grundsätzlich in Süd- oder Ost-West-Ausrichtung errichtet. Dabei spielt es keine Rolle ob, die Anlage auf einem Dach oder einer Freifläche errichtet wird. Durch die unterschiedlichen Ausrichtungen können unterschiedliche Ertragskurven erzeugt werden. Während bei der Süd-Ausrichtung der maximale Ertrag zur Mittagszeit am höchsten ist, ermöglicht die Ost-West-Ausrichtung eine kontinuierlichere Stromproduktion. Je nach Nutzen des produzierten Stroms, ergeben sich dadurch unterschiedliche Anwendungsbeispiele. Eine südlich ausgerichtete PV-Anlage erzeugt am meisten Strom, jedoch sollte überschüssiger Strom gespeichert oder eingespeist werden. Eine Ost-West-Anlage erzeugt geringere Leistungen, kann aber meist durch den generellen Tagesablauf (höhere Produktionen am Morgen und Abend) besser direkt genutzt werden. Oftmals nutzen Industriebetriebe Ost-West-Ausrichtungen, um den Strom entsprechend ihrer Lastgängen zu verwenden.

Photovoltaik – Freiflächen-Potenziale räumliche Anforderungen

Die Ermittlung der Freiflächenpotenziale erfolgte auf Basis der Berücksichtigung unterschiedlicher flächenspezifischer Kriterien, die grundsätzlich nicht mit einer Errichtung einer Anlage vereinbar sind, oder die Errichtung deutlich erschweren.

Freiflächensolaranlagen bieten die Möglichkeit hohe Erträge solarer Strahlungsenergie zu erzielen, müssen jedoch anders als klassische Dachanlage einen detaillierten Genehmigungsprozess durchlaufen. Freiflächenanlagen sind bauliche Anlagen, die je nach Größe eine geringe bis deutliche Raumwirksamkeit haben, wodurch unterschiedliche öffentliche Belange beeinträchtigt werden können. Dementsprechend ist eine detaillierte Auswahl von räumlichen Kriterien notwendig, um Potenzialflächen identifizieren zu können. Flächen, die grundsätzlich hohe Erfolgsaussichten auf eine Umsetzung aufweisen, liegen innerhalb der Bereiche zur bauplanungsrechtlichen Privilegierung nach § 35 BauGB. Dieser Bereich erstreckt sich über Korridore entlang von Autobahnen und doppelgleisigen

Schienenwegen mit einer Entfernung von 200 m. Hier kann auf die Aufstellung von Bebauungsplänen i. d. R. verzichtet werden, wodurch der Genehmigungsprozess maßgeblich verkürzt wird. Der Gesetzgeber will dadurch bereits räumlich belastete Flächen (Infrastrukturtrassen) als Planungsraum hervorheben, wodurch entsprechend andere Freiflächen erhalten werden können. Auch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) fokussiert sich mit den entsprechend Förderkorridoren nach § 37 EEG entlang von Autobahnen und Schienenwegen mit einer Entfernung von 500 m. Für alle weiteren Flächen gilt die Berücksichtigung landes- und regionalplanerischer Vorgaben sowie naturschutzfachlichen Ausschlusskriterien für die Freiflächen-Potenziale.

Die Potenzialanalyse berücksichtigt insgesamt folgende Handlungsfelder als Ausschlusskriterien:

- ▶ Naturschutz
- ▶ Gewässerschutz
- ▶ Siedlungsräume
- ▶ Topographie
- ▶ Verkehrsinfrastrukturen

Für die Potenzialabschätzung von Freiflächen-PV-Anlagen wurde pro Modul eine Nennleistung von 720 W_p bei einer angenommenen Fläche von 3 m² zugrunde gelegt. Ausgehend von einer mittleren solaren Strahlungsleistung von 1.000 kWh/m² ergibt sich daraus ein spezifischer Jahresertrag von 232 kWh/m². Dieser Wert dient als praxisnaher Richtwert für die Abschätzung der Energieerträge von Photovoltaik auf Freiflächen.

Im Gebiet der Stadt Immenstadt sind insgesamt 1.677 ha als Potenzialfläche für Photovoltaik ausweisbar mit einem Stromertrag in Höhe von ca. 3.891 GWh pro Jahr. Darunter fallen 164 ha unter der Berücksichtigung der EEG-Förderkulisse. Hier ist mit einem jährlichen, potenziellen Stromertrag in Höhe von 381 GWh zu rechnen (siehe Tabelle 3-11 und Abbildung 3-12). Wie bei Solarthermie ist die Flächenverfügbarkeit, insbesondere bei den Flächen, die nicht privilegiert sind oder gefördert werden, von den Landwirten abhängig. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der Fläche nicht für eine photovoltaische Nutzung zur Verfügung steht.

Tabelle 3-11: Übersicht der Flächenpotenziale für PV-Freiflächen für die Stadt Immenstadt

Flächenart	Technische Potenzialfläche	Durchschnittlicher jährlicher Stromertrag
200 m- Korridor (§ 35 BauGB)	33 ha	75,9 GWh /a
500 m- Korridor (§ 37 EEG)	164 ha	381,4 GWh /a
Außerhalb	1.513 ha	3.509,5 GWh /a
Gesamtes Potenzial	1.677 ha	3.890,9 GWh /a

Für die Analysen wurden Flächen der Alpenzone C und B aufgrund von raumordnerischen Belangen ausgeschlossen. Die Zone A, die eine Erschließung nach raumordnerischer Einzelfallprüfung vorsieht (vgl. LEP 2.3.4), ist kein Ausschlusskriterium und entsprechend zur Information dargestellt.

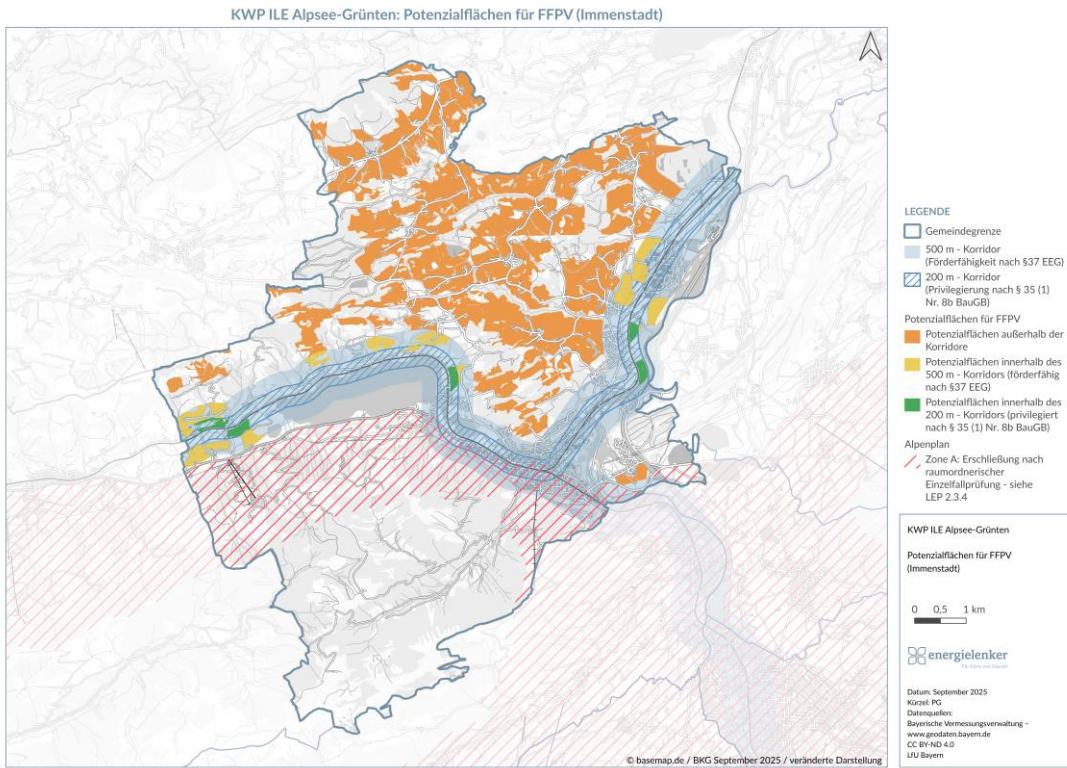


Abbildung 3-12: Photovoltaik Potenzial Freifläche EEG-Förderkulisse Stadt Immenstadt

Photovoltaik – Dachflächen-Potenziale

Wie PV-Freiflächen-Anlagen ist Photovoltaik auf Dachflächen für die Wärmeversorgung indirekt relevant, da dadurch der Strombedarf für z. B. Wärmepumpen lokal erzeugt werden kann.

Für Dach-PV-Anlagen wurde ein Modul mit einer Nennleistung von etwa 450 W_p und einer Fläche von rund 2 m^2 angenommen. Bei einer mittleren solaren Strahlungsleistung von 1.000 kWh/m^2 ergibt dies einen spezifischen Jahresertrag von ungefähr 222 kWh/m^2 . Dieser Wert liefert eine praxisnahe Grundlage, um die Stromerzeugung von Dachflächen-PV realistisch abzuschätzen.

Tabelle 3-12: Übersicht der Flächenpotenziale für Photovoltaik auf Dachflächen für die Stadt Immenstadt

Flächenart	Potenzialfläche laut Solarkataster	Durchschnittlicher jährlicher Stromertrag
Dachflächen	53 ha	117 GWh/a

3.9.2 Windenergie

Windenergieanlagen (WEA) sind eine der vielversprechendsten Formen der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung und tragen einen großen Teil zur Erreichung der globalen Ziele für saubere Energie und Klimaschutz bei. Sie nutzen die natürlichen Bewegungen der Luftmassen in der Atmosphäre, um mechanische Energie in elektrische Energie umzuwandeln.

Eine der großen Herausforderungen dabei ist die unregelmäßige Verfügbarkeit der Windenergie.

Technische Anforderungen

Windenergieanlagen bestehen aus mehreren Hauptkomponenten, darunter dem Turm, den Rotorblättern, dem Getriebe und dem Generator. Sie entwickeln sich stetig weiter, sodass die Anlagen effizienter werden. Je höher die Nabenhöhe, und je größer die Rotorfläche, umso mehr Energie kann durch eine WEA erzeugt werden. Dazu müssen jedoch auch die notwendigen Windgeschwindigkeiten gegeben sein. Da die durchschnittlichen Windhöufigkeiten in steigender Höhe zunehmen, werden neue WEA mit möglichst großen Nabenhöhen realisiert. Somit werden aktuell immer mehr Anlagen mit Gesamthöhen von bis zu 270 m genehmigt und errichtet.

Eine der größten Herausforderungen für die Errichtung von Windenergieanlagen stellt die räumliche Planung und Standortwahl dar. Windenergieanlagen benötigen Standorte mit starken und konstanten Windgeschwindigkeiten. Oftmals handelt es sich dabei um ländliche oder abgelegene Gebiete was den Transport und die Installation der Anlagen erschwert. Zudem stellen Windenergieanlagen emittierende bauliche Anlagen dar, welche Lärm und Schattenwurf verursachen. Demnach sind Anlagen ab 50 m stets unter den Voraussetzungen des Bundesimmissionsschutzes genehmigungspflichtig. Das führt dazu, dass sie Mindestabstände zu beispielsweise Siedlungsflächen einhalten müssen, um keine belastenden Auswirkungen hervorzurufen. Darüber hinaus können Anlagen nicht nur Auswirkungen auf den Menschen, sondern auch Tiere und lokale Ökosysteme haben, weshalb eine Planung grundsätzlich eine Umweltverträglichkeitsprüfung vorsieht.

Durch ihre raumwirksame Rolle stehen Windenergieanlagen unter den Vorgaben der Raumplanung. Einerseits müssen sie durch sorgfältige räumliche Planung in den landesplanerischen Kontext gebracht werden und andererseits dabei auch die optischen Auswirkungen auf das Landschaftsbild berücksichtigen. Auch weitere öffentliche Belange wie Flugsicherheit, Radar oder Erdbeben- und Wetterstationen müssen in der Planung berücksichtigt werden.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Anbindung von Windenergieanlagen an das Stromnetz eine wesentliche Voraussetzung für die effektive Nutzung der erzeugten Energie ist. Dies kann jedoch insbesondere in Gebieten, die weit von bestehenden Netzinfrastrukturen entfernt sind, eine Herausforderung darstellen. Trotz dieser Herausforderungen ist es unerlässlich, nachhaltige Lösungen zu finden, um die volle Kapazität der Windenergie zu nutzen und einen positiven Beitrag zur Energiewende zu leisten.

Räumliche Anforderungen

Die Ermittlung der Windenergiepotenziale erfolgt aus Basis der Berücksichtigung unterschiedlicher flächenspezifischer Kriterien, die grundsätzlich nicht mit einer Errichtung einer Anlage vereinbar sind, oder die Errichtung deutlich erschweren.

Die Potenzialanalyse berücksichtigt insgesamt folgende Handlungsfelder als Ausschlusskriterien:

- ▶ Naturschutz
- ▶ Gewässerschutz
- ▶ Siedlungsräume
- ▶ Topographie
- ▶ Verkehrsinfrastrukturen

► Gesetzliche Abstandsregeln

Dabei wird auf Grundlage einer Referenzanlage ein Abstand zugrunde gelegt, welcher als Puffer für etwaige Ausschluss- oder Abwägungskriterien dient.

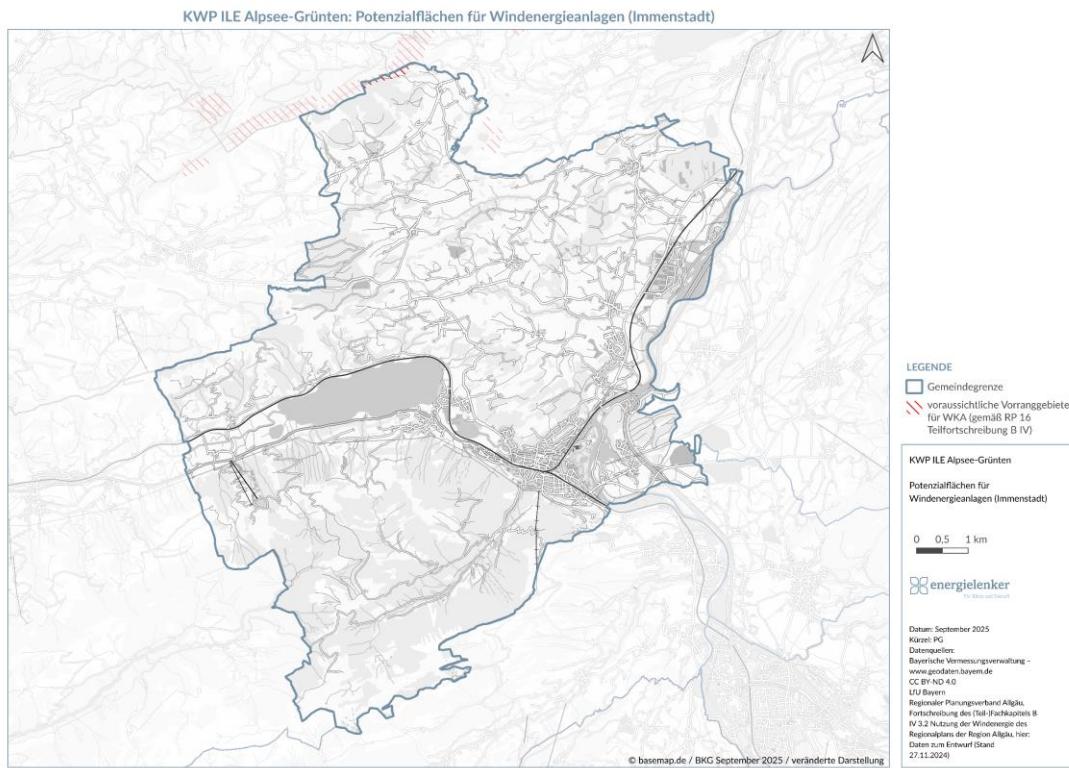


Abbildung 3-13: Potenzialflächen für Windenergieanlagen

Im Rahmen der Analyse wurden für das Stadtgebiet Immenstadt potenzielle Vorrangflächen für Windenergieanlagen identifiziert, die im Regionalplan (Teilfortschreibung B IV, RP 16) verzeichnet sind (siehe Abbildung 3-13). Diese liegen überwiegend in den nördlichen Höhenzügen entlang der Gebietsgrenze. Der Flächenumfang innerhalb des Gebiets selbst hält sich dabei in Grenzen. Insgesamt handelt es sich somit um klar abgegrenzte Potenzialflächen, die auf exponierte Lagen konzentriert sind und damit grundsätzlich eine Eignung für die Nutzung der Windenergie aufzeigen.

Es liegen derzeit keine quantitativen Angaben zur Größe der ausgewiesenen Potenzialflächen sowie zum möglichen Stromertrag aus Windenergieanlagen vor. Eine fundierte Abschätzung erfordert eine tiefergehende Analyse, die insbesondere standortspezifische Gegebenheiten und die technische Auslegung der Anlagen berücksichtigen.

3.9.3 Wasserkraft

Wasserkraft wird zur Stromerzeugung genutzt, indem die kinetische Energie von fließendem oder fallendem Wasser in mechanische Energie und anschließend in elektrische Energie umgewandelt wird. Dies erfolgt in Wasserkraftwerken, bei denen Wasser entweder aus einem Fluss (Laufwasserkraftwerk) oder aus einem Stausee (Speicherkraftwerk) über Rohrleitungen oder Kanäle auf Turbinen geleitet wird. Die Strömung des Wassers setzt die Turbinen in Bewegung, die wiederum mit Generatoren verbunden sind. Diese Generatoren wandeln die mechanische Energie der Turbinen in elektrische Energie um, die dann ins Stromnetz

eingespeist wird. Wasserkraft ist eine zuverlässige, emissionsfreie und erneuerbare Energiequelle.

Für die Nutzung von Wasserkraft in einem Fluss müssen jedoch bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Der Fluss muss eine ausreichende und konstante Wassermenge führen und über ein entsprechendes Gefälle verfügen, um die Turbinen effizient anzutreiben. Zusätzlich ist eine ausreichende Fließgeschwindigkeit notwendig. Auch die Umweltverträglichkeit spielt eine entscheidende Rolle, weshalb Umweltverträglichkeitsprüfungen erforderlich sind, um mögliche negative Auswirkungen zu minimieren. Der Standort des Kraftwerks muss gut erreichbar sein, und die nötige Infrastruktur muss vorhanden sein. Darüber hinaus sind behördliche Genehmigungen sowie die Einhaltung rechtlicher Vorschriften unerlässlich. Schließlich muss die Wirtschaftlichkeit des Projekts gewährleistet sein.

Die Wasserkraft stellt in der Region Alpsee-Grünten einen der wichtigsten regenerativen Energieträger dar. Laut ILEK Alpsee-Grünten ist die Nutzungsquote bereits sehr hoch, sodass zusätzliche Erzeugung fast ausschließlich durch die Optimierung bestehender Anlagen möglich ist (ILEK Alpsee-Grünten, 2024). Der Masterplan Klimaschutz für das Oberallgäu bestätigt diese Einschätzung und weist ein energetisches Gesamtpotenzial von rund 23 GWh Strom für die Region Oberallgäu aus, welches im Wesentlichen durch Effizienzsteigerungen erschlossen werden kann (Masterplan Klimaschutz).

In Immenstadt gibt es nach Angaben des Energie-Atlas Bayern drei Laufwasserkraftwerke und ein Speicherkraftwerk (siehe Abbildung 3-14), jedoch kein Modernisierungs- bzw. Nachrüstpotenzial für Wasserkraft.

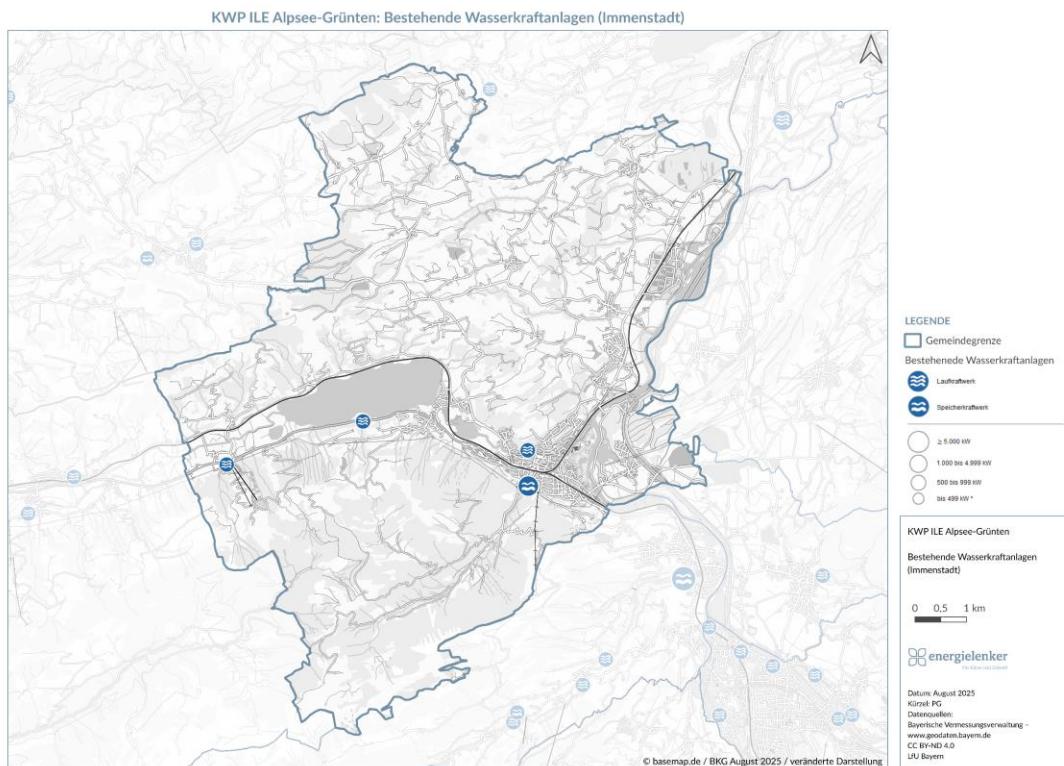


Abbildung 3-14: Bestehende Wasserkraftanlagen (Immenstadt)

4 Literaturverzeichnis

- AG Energiebilanzen e.V. (13. März 2024). *Anwendungsbilanzen zur Energiebilanz Deutschland*. Von Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungszwecken: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/01/AGEB_22p2_rev-1.pdf abgerufen
- ALLGÄU. (2001). *Thermalbad Stein bleibt ein Traum*. all-in.de.
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. (25. 06 2024). *Energieatlas Bayern*. Von <https://www.karten.energieatlas.bayern.de/start/?c=677751,5422939&z=7&l=atkis&t=energie> abgerufen
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. (02. 9 2024). *Energieatlas Bayern*. Von <https://www.karten.energieatlas.bayern.de/start/?c=684879,5413001&z=13&l=atkis&t=energie&comp=mischpult> abgerufen
- BDI, B. d. (2021). *Klimapfade 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft*. Boston Consulting Group. Abgerufen am 02. 04 2024
- Bundesnetzagentur. (21. November 2023). *Marktstammdatenregister*. Von Aktuelle Einheitenübersicht - Stromerzeugungseinheiten, Stromverbrauchseinheiten, Gaserzeugungseinheiten, Gasverbrauchseinheiten: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht> abgerufen
- Deutscher Wetterdienst. (12 2023). *Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsausweise*. Von <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html#:~:text=Witterungsbereinigung%20mit%20Klimafaktoren,je%20gr%C3%B6%C3%9Fer%20der%20Klimafaktor%20ist>. abgerufen
- Deutscher Wetterdienst. (2023). *Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsausweise*. Von <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html#:~:text=Witterungsbereinigung%20mit%20Klimafaktoren,je%20gr%C3%B6%C3%9Fer%20der%20Klimafaktor%20ist>. abgerufen
- Frauenhofer. (2024). *Endbericht Biogaspotenzial Bayern*. Kassel: Frauenhofer IEE.
- Hertle, H., Dünnebeil, F., Gugel, B., Rechsteiner, E., & Reinhard, C. (2019). *BISKO - Bilanzierungs-Systematik Kommunal - Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).
- Hochwassernachrichtendienst Bayern (HND). (2025). Abgerufen am 24. Juni 2025 von Pegel Isar - Obermenzing (Abfluss): https://www.hnd.bayern.de/pegel/isar/obermenzing-16666000/abfluss?setdiskr=60&addhr=hr_hq&vhs_type=std&kanu=&days=365
- ifeu. (2016:3). *Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg: ifeu.
- ifeu. (11 2019). Von https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BISKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf abgerufen

Ifeu. (19. 12 2024). Ifeu. Von Ifeu: <https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/tremod> abgerufen

ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI. (Juni 2024). Leitfaden Wärmeplanung. *Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche.* (B. BMWK, Hrsg.) Abgerufen am Juni 2024 von https://api.kww-halle.de/fileadmin/user_upload/Leitfaden_Waermeplanung_final_web.pdf

ifeu, Öko-Institut, Universität Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer ISI. (Juni 2024). *Leitfaden Wärmeplanung.* (B. BMWK, Herausgeber) Abgerufen am Juni 2024 von https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/leitfaden-waermeplanung-lang.pdf?__blob=publicationFile&v=2

IHK-Standortportal, B. (12 2024). *IHK-Standortportal Bayern.* Von <https://standortportal.bayern/profil/09780124> abgerufen

ILEK Alpsee-Grünten. (2024). München: Planung Kurz GbR.

Institut, H. (09 2024). www.hamburg-institut.com. Von https://www.hamburg-institut.com/wp-content/uploads/2021/07/Planungsleitfaden_Freiflaechen-Solarthermie.pdf abgerufen

KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH. (8. März 2024). *Technikkatalog zur Kommunalen Wärmeplanung.* Von <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikkatalog#c7393-content-4> abgerufen

Klima-Bündnis e.V. (2022). *Klimaschutz-Planer.* Von <https://www.klimaschutz-planer.de/index.php> abgerufen

LfU Geothermie. (2025). Von Bayerisches Landesamt für Umwelt: <https://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/index.htm> abgerufen

Masterplan Klimaschutz. (kein Datum). *Masterplan 100 % Klimaschutz 2022-2035.* Landkreis Oberallgäu .

Prognos AG; ifeu. (Juni 2024). *Technikkatalog Wärmeplanung.* Prognos AG; ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH; Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER); Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. (B. f. (BMWK), & B. f. (BMWSB), Hrsg.) Abgerufen am 10. 07 2024 von https://api.kww-halle.de/fileadmin/user_upload/Technikkatalog_W%C3%A4rmeplanung_Juni2024.xls

schwaben netz. (2025). *Stellungnahme der schwaben netz gmbh zur Kommunalen Wärmeplanung.* Augsburg.

Statistik, B. L. (2021). Von Bayerisches Landesamt für Statistik: https://www.statistik.bayern.de/mam/statistik/gebiet_bevoelkerung/demographischer_wandel/demographische_profile/09780124.pdf abgerufen

Statistik, B. L. (02. 08 2024). *Genesis Online.* Von Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung - Pfaffenhofen a.d. Ilm: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=previous&levelindep>

x=2&step=2&titel=Ergebnis&levelid=1722601210527&acceptscookies=false#abread
crumb abgerufen

StMUG, StMWIVT, OBB. (Januar 2024). *Leitfaden Energienutzungsplan*. Von
<https://www.coaching-kommunaler-klimaschutz.net/fileadmin/inhalte/Dokumente/StarterSet/LeitfadenEnergienutzungsplan-Teil1.pdf> abgerufen

Umweltbundesamt. (27. November 2023). Von Umweltbundesamt:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/uba_ad_hoc_papier_abwasserwaerme.pdf abgerufen

Umweltbundesamt. (2024). *Sonnenkollektoren – Solarthermie*. Von Umweltbundesamt:
<https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/sonnenkollektoren-solarthermie> abgerufen

Weber, M. (2024). *Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ BEW – Modul 1 für die Gemeinde Blaichach*. Amberg: Institut für Energietechnik IfE GmbH.

Weck-Ponten, S. (2023). Simulationsbasiertes Mehrebenen-Planungswerkzeug für geothermische Wärmepumpensysteme. *Dissertation*. RWTH Aachen.

WPG. (01. Januar 2024). *Wärmeplanungsgesetz vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 394)*. Von <https://www.gesetze-im-internet.de/wpg/BJNR18A0B0023.html> abgerufen

