

Kommunale Wärmeplanung für den Markt Schwarzach a.Main

Veröffentlichung nach §13 Wärmeplanungsgesetz (WPG) über
die Bestands- und Potenzialanalyse

Datum: 18.06.2026



Dieses Projekt wurde in Zusammenarbeit von Markt Schwarzach, der Licht-, Kraft- und Wasserwerke Kitzingen GmbH und der prosio engineering GmbH durchgeführt.

Auftraggeber: Markt Schwarzach
Marktplatz 1
97359 Schwarzach a. Main
Ansprechpartner: Norbert Filbig



Auftragnehmerin: prosio engineering GmbH
Bergstr. 6
91207 Lauf
Ansprechpartner: Dr. Sebastian Kolb



LKW Kitzingen GmbH
Wörthstraße 5
97318 Kitzingen
Ansprechpartner: Tamara Finger



Förderung: gefördert durch Konnexitätszahlungen des Freistaats Bayern zum Vollzug des Wärmeplanungsgesetzes

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Bestandsanalyse.....	7
2.1	Gebäudebestand.....	7
2.2	Wärmebedarf.....	12
2.3	Aktuelle Versorgungsstruktur.....	16
2.3.1	Struktur dezentraler Feuerstätten.....	16
2.3.2	Wärmepumpen.....	18
2.3.3	Gasinfrastruktur.....	18
2.3.4	Wärmenetze und Gebäudenetze.....	20
2.3.5	Eingesetzte Energieträger zur Wärmeversorgung.....	23
2.3.6	Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung.....	27
2.4	Zwischenfazit Bestandsanalyse.....	29
3	Potenzialanalyse.....	31
3.1	Potenzial zur Nutzung erneuerbarer Energien.....	31
3.1.1	Photovoltaik und Solarthermie.....	32
3.1.2	Oberflächengeothermisches Potenzial.....	37
3.1.3	Tiefengeothermisches Potenzial.....	46
3.1.4	Potenzial für oberflächennahe Gewässer.....	47
3.1.5	Potenzial für Luftwärme.....	48
3.1.6	Biomassepotenzial.....	49
3.1.7	Potenziale für Strom aus Wind.....	51
3.1.8	Potenzial für Strom aus Wasserkraft.....	52
3.2	Potenziale zur Nutzung von Abwärme.....	52
3.2.1	Abwärme aus dem Kanalsystem.....	52
3.2.2	Abwärme an Kläranlagen.....	53
3.2.3	Industrielle und gewerbliche Abwärme.....	53
3.3	Potenzial für thermische Speicher.....	54
3.3.1	Kurz- und mittelfristige Speicher.....	54
3.3.2	Saisonale Speicher.....	54
3.4	Potenzial zur Bedarfsreduktion.....	56

3.5	Zwischenfazit Potenzialanalyse.....	59
4	Abbildungsverzeichnis.....	61
5	Tabellenverzeichnis.....	63
6	Bildquellen.....	64

0 Hinweis zur Vorveröffentlichung von Ergebnissen der Kommunalen Wärmeplanung

Öffentliche Auslegung und Möglichkeit zur Stellungnahme

Gemäß §13 Absatz2 WPG werden die Ergebnisse der Bestandsanalyse und Potenzialanalyse hiermit öffentlich bekannt gemacht. Bürgerinnen und Bürger, Unternehmen, Fachverbände sowie sonstige interessierte Stellen haben die Möglichkeit, innerhalb von 30 Tagen nach Veröffentlichung eine Stellungnahme abzugeben.

Stellungnahmen können schriftlich oder per E-Mail eingereicht werden an:

Markt Schwarzach a. Main

Marktplatz 1

97359 Schwarzach a. Main

E-Mail: N.Filbig@schwarzach-main.de

Wir danken für Ihr Interesse und Ihre Mitwirkung an der zukünftigen Wärmeversorgung des Markt Schwarzach.

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels hat sich Deutschland zum Ziel gesetzt, eine treibhausgasneutrale und zukunftsfähige Energieversorgung zu erreichen. Während der Anteil erneuerbarer Energien auf dem Stromsektor bereits seit Jahren enorm zunimmt und mittlerweile mehr als 50 % des Stroms in Deutschland grün ist, hinkt die Energiewende auf dem Wärmesektor hinterher. Hier wird nach wie vor hauptsächlich auf die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl zurückgegriffen.

Mit der kommunalen Wärmeplanung wurde ein Instrument geschaffen, mit dem eine systematische und zielgerichtete Steuerung der Wärmewende auf kommunaler Ebene angestrebt wird. Hierbei wird bewusst ein lokaler Ansatz gewählt: Jede Kommune hat ihre eigenen Spezifika, ist geprägt durch individuelle Verbrauchsstrukturen, hat andere lokale erneuerbare Potenziale. Jeder Wärmeplan muss deshalb auf die örtlichen Begebenheiten der Kommune maßgeschneidert werden. Nur so können umsetzbare und optimale Ergebnisse erzielt werden.

Aus diesem Grund wird bei einer kommunalen Wärmeplanung im Schritt der Bestandsanalyse zunächst detailliert analysiert, wie sich der aktuelle Stand der Wärmeversorgung vor Ort gestaltet (Abbildung 1). Eine lokale Potenzialanalyse zeigt auf, welche erneuerbaren Quellen zur Verfügung stehen und künftig genutzt werden können. Auf Basis dieser Informationen werden gemeinsam verschiedene Szenarien entwickelt und bewertet, um für jede Kommune die ideale, klimaneutrale Wärmeversorgung zu ermitteln. Konkrete Meilensteine, Umsetzungsmaßnahmen und Verstetigungskonzepte helfen bei der Realisierung der Pläne. Die stetige Einbindung der relevanten Akteure vor Ort stellt sicher, dass der Wärmeplan von allen mitgetragen wird.

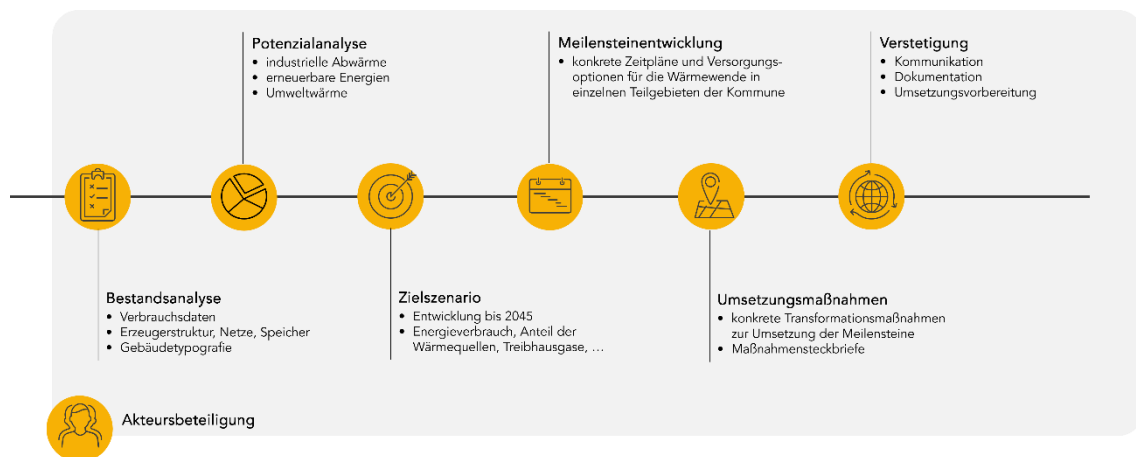


Abbildung 1: Schritte und Ablauf der Kommunalen Wärmeplanung

Die kommunale Wärmeplanung in Schwarzach wurde in Kooperation des Markt Schwarzach mit der Licht-, Kraft- und Wasserwerke Kitzingen GmbH und der proso engineering GmbH erstellt.

2 Bestandsanalyse

Ziel der Bestandsanalyse ist es, den Status-Quo der Wärmeversorgung detailliert zu erheben und zu untersuchen. Dies umfasst einerseits eine Bewertung des Gebäudebestands, insbesondere hinsichtlich Gebäudealter und -nutzung (Kapitel 2.1). Darauf aufbauend wird ermittelt, wo in der Kommune welcher Wärmeverbrauch anfällt und es werden entsprechende Kennzahlen daraus abgeleitet (Kapitel 2.2). Zusätzlich wird erhoben, wie dieser Wärmeverbrauch aktuell gedeckt wird. Dafür werden sowohl leitungsgebundene Wärme aus Wärme-, Strom- oder Erdgasnetzen betrachtet, als auch dezentrale Wärmeerzeugung wie Biomasse- oder Heizölfeuerungen (Kapitel 2.3).

Auf der Grundlage dieser Informationen können an späterer Stelle Szenarien zur Transformation der Wärmeversorgung abgeleitet, konkrete Handlungsbedarfe identifiziert und Umsetzungsmaßnahmen formuliert werden.

2.1 Gebäudebestand

Als erster Schritt der Bestandsanalyse wird der aktuelle Gebäudebestand analysiert. Hierzu soll insbesondere die Gebäudenutzung (Wohnen, Gewerbe/Handel/Dienstleistung (GHD), Industrie, öffentliche Einrichtungen) sowie das Gebäudealter klassifiziert werden. Beide Informationen sind zentral für die Erarbeitung von Wärmekonzepten und Umsetzungsmaßnahmen an späterer Stelle.

Als Datenquelle für die Klassifizierung des Gebäudebestands dienen ALKIS- und LOD2-Daten, offenes Kartenmaterial und von der Gemeinde zur Verfügung gestellte Informationen sowie Bebauungspläne.

Relevant ist zunächst die Aufteilung des Gebäudebestands in die einzelnen Sektoren. Dies umfasst Wohnen, GHD & Industrie, sowie öffentliche Einrichtungen. Der Sektor Wohnen umfasst alle Wohngebäude im Gemarkungsgebiet. GHD & Industrie beinhalten beispielsweise landwirtschaftlich genutzte Gebäude, Restaurants, Bürogebäude, Kinos, produzierendes Gewerbe, Läden, etc. Auch Mischnutzungen, wie beispielsweise Gebäude mit anteiligem Wohn- und Gewerbeteil werden dem Sektor GHD & Industrie zugeordnet, da die gewerbliche Nutzung für mögliche Wärmekonzepte besonders relevant ist. Im Sektor öffentliche Einrichtungen sind beispielsweise Bildungseinrichtungen, Rathaus, Feuerwehr, Klärwerke, etc. zusammengefasst.

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Gebäude auf die einzelnen Sektoren. Von den insgesamt 1.484 beheizten Gebäuden entfällt der Großteil auf Wohnnutzung (76 %). Gebäude mit einer gemischten Nutzung sind hier im Sektor Wohnen miteinbegriffen. Weitere 21 % der Gebäude werden für Gewerbezwecke und Industrie verwendet. Lediglich 4 % der Gebäude sind öffentliche Einrichtungen.

Gewerbliche Gebäude befinden sich in Schwarzach in erster Linie in den beiden Gewerbegebieten nördlich und südlich der B22 sowie an der Schweinfurter Straße zwischen Stadtschwarzach und Gerlachshausen. Darüber hinaus befinden sich große Flächen an Gewächshäusern süd-östlich von Düllstadt. Gebäude des kommunalen Sektors fokussieren sich hauptsächlich auf Münsterschwarzach sowie die Staatsgüter Schwarzenau. Dies wird in Abbildung 3 verdeutlicht. Hier werden die vorwiegenden Gebäudetypen nach Sektoren aggregiert in den einzelnen Quartieren Schwarzach dargestellt.

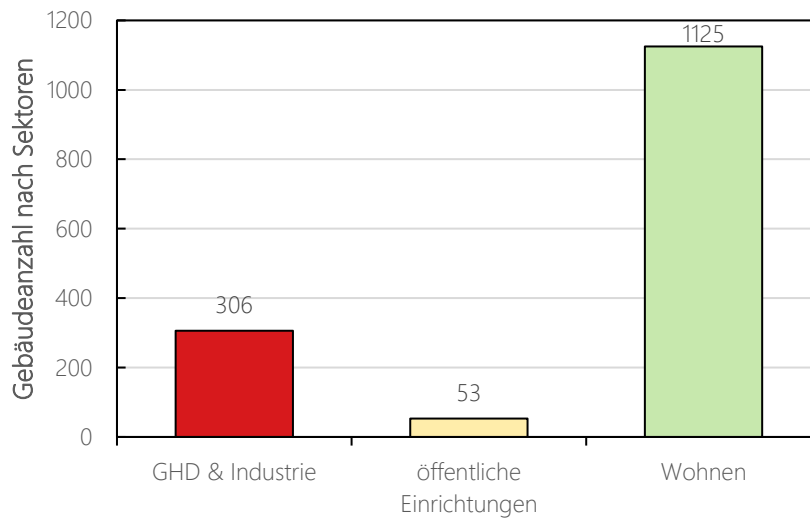


Abbildung 2: Verteilung des Gebäudetyps nach Sektoren

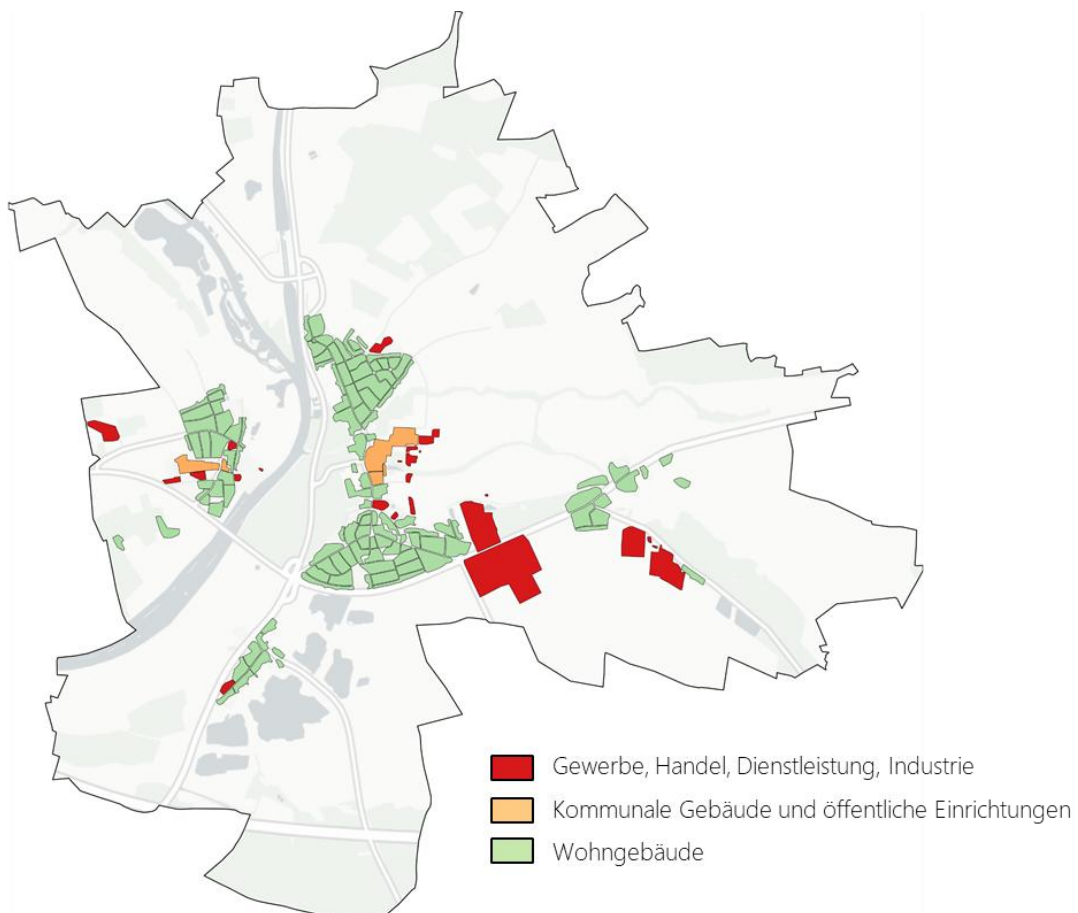


Abbildung 3: Vorwiegender Gebäudetyp nach Sektoren in den Quartieren

Außerhalb der genannten Gebiete ist in Schwarzach vorrangig wohnliche Nutzung zu finden. Dabei fällt mit 79 % der Großteil der Wohngebäude in Schwarzach auf Einfamilienhäuser. Doppel- und Reihenhäuser sowie Mehrfamilien- und Mehrparteienhäuser machen jeweils weitere 10 % der Wohngebäude aus (Abbildung 4).

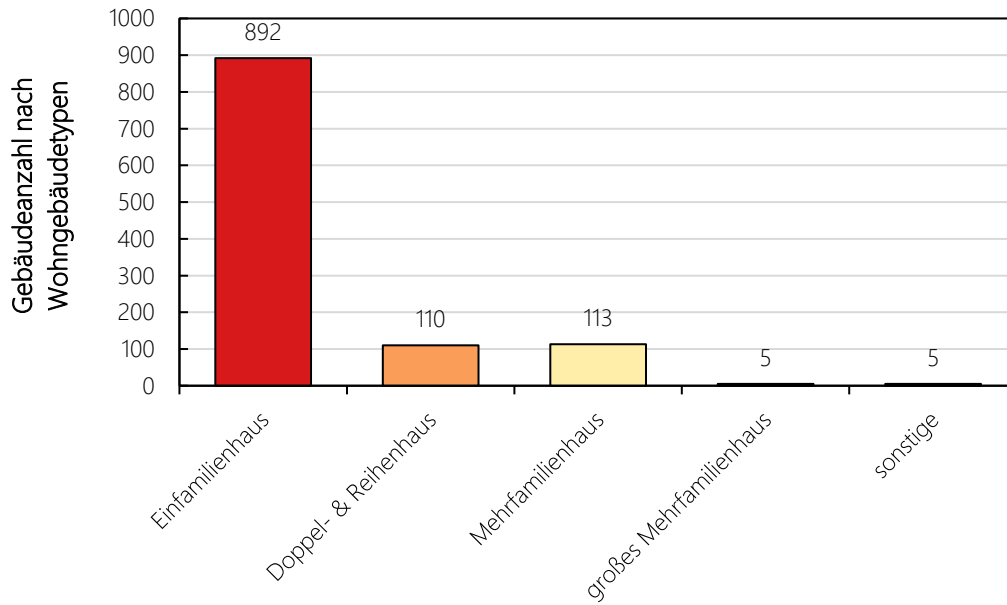


Abbildung 4: Verteilung der Wohngebäudetypen

Abbildung 5 stellt den vorwiegenden Gebäudetyp in den einzelnen Baublöcken dar. Doppel- und Reihenhäuser sowie Mehrfamilienhäuser treten gehäuft im Zentrum von Stadtschwarzach und um die Abtei Münsterschwarzach auf, wobei selbst hier fast überall die hohe Anzahl an umliegenden Einfamilienhäusern dominiert. Ansonsten treten einzelne größere Wohnhäuser überall im Gemeindegebiet verteilt und nur vereinzelt auf, weshalb Einfamilienhäuser den Großteil des Gebiets ausmachen.

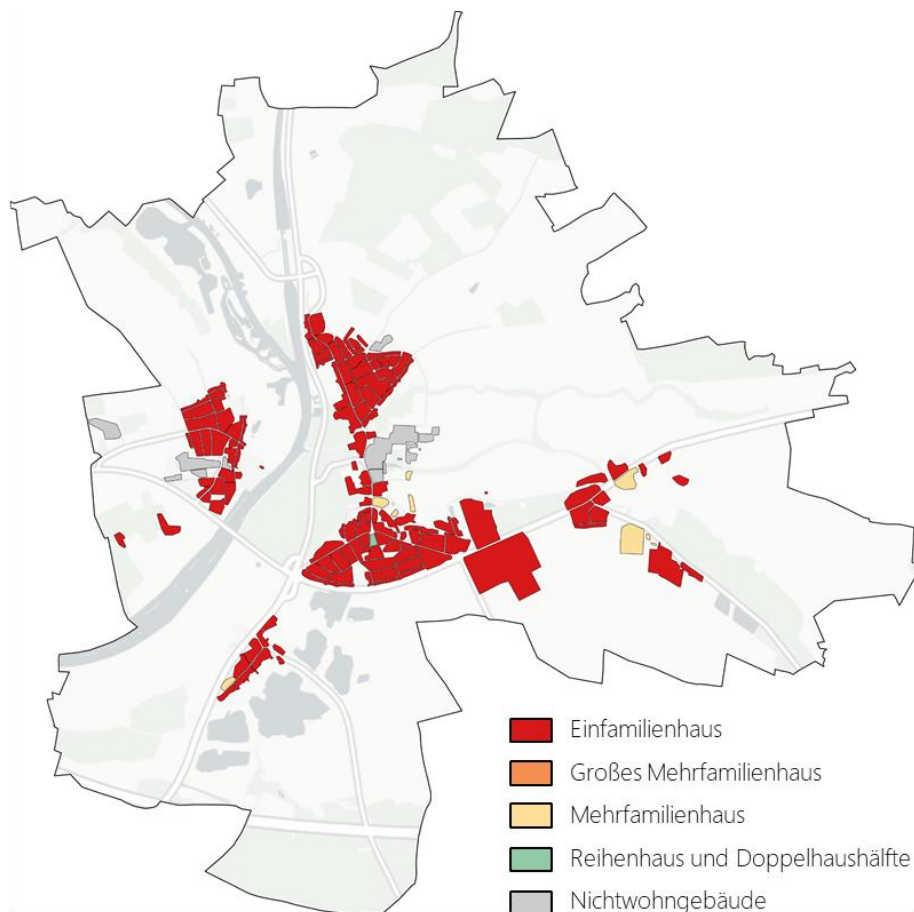


Abbildung 5: Vorwiegender Gebäudetyp der Wohngebäude in den Quartieren

Einen Überblick über die Altersstruktur der Wohngebäude bietet Abbildung 6. Insgesamt konnten 1.125 Gebäuden des Wohngebäudebestands in Schwarzach Altersklassen zugeordnet werden. Etwa 48 % der Gebäude wurden vor 1979 errichtet und damit vor der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung, welche Mindestanforderungen an die Dämmung festlegte. Der größte Anteil dieser Gebäude wurde im Zeitraum von 1949 bis 1978 gebaut. Insbesondere hier ist das größte Potenzial für Sanierungen zu finden.

Gebäude vor 1948 (155 oder 14 %) haben – insofern sie noch unsaniert sind – den höchsten spezifischen Wärmebedarf, wodurch hier ebenfalls großes Potenzial zur Sanierung liegt. Allerdings müssen ggf. vorliegende Einschränkungen durch Denkmalschutz berücksichtigt werden, wodurch individuell auf das einzelne Gebäude abgestimmte Lösungen gefunden werden müssen.

Zur Verdeutlichung des Sanierungspotenzials wird in Abbildung 7 zusätzlich die geschaffene Wohnfläche je Baualtersklasse und Wohngebäudetyp dargestellt. Die Verteilung der gebauten Gebäudetypen veränderte sich in Schwarzach im Verlauf der Jahre kaum. Nur bei den Gebäuden der 2000er tritt ein deutlich reduzierter Anteil an Reihenhäusern und an großen Wohngebäuden auf. Anteilsmäßig sind hier deshalb nur wenig Unterschiede zur Verteilung der Gebäudeanzahl zu erkennen. Auch beim geschaffenen Wohnraum dominiert die Baualtersklasse von 1949 bis 1978 klar.

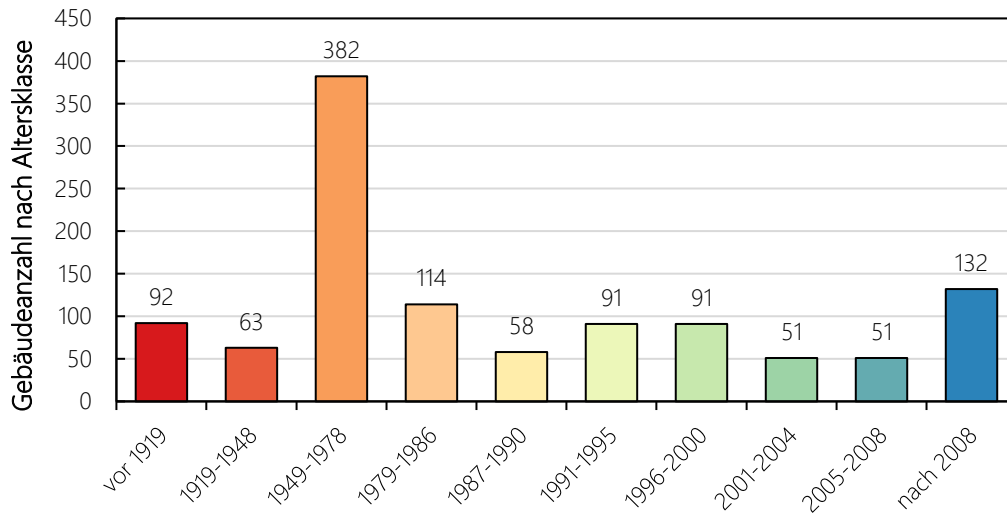


Abbildung 6: Verteilung der Gebäudealtersklassen von Wohngebäuden

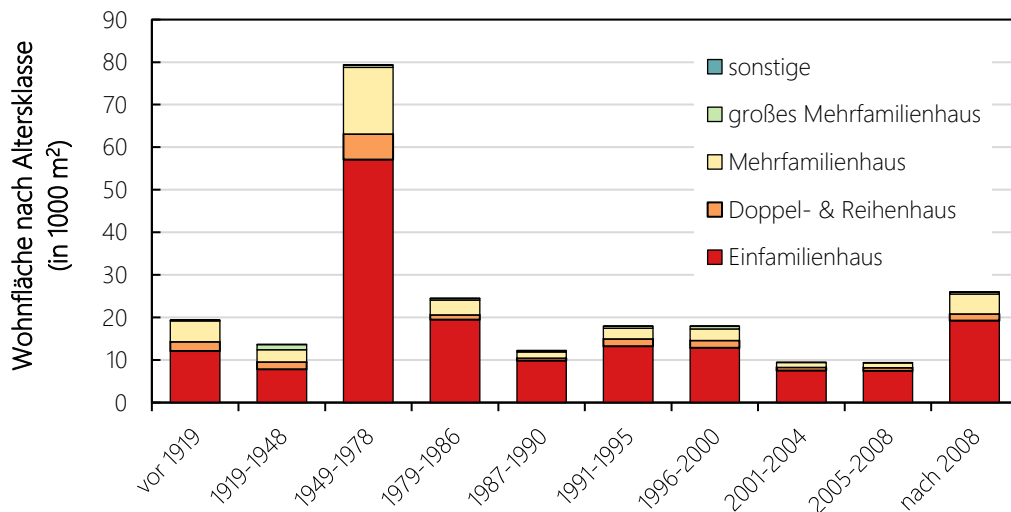


Abbildung 7: Verteilung der Gebäudealtersklassen von Wohngebäuden untergliedert nach dem Wohngebäudetyp

Wie Abbildung 8 zeigt, hat Schwarzach nur einen geringen Anteil an Altbauten vor 1948. Konzentriert treten diese Baualtersklassen nur bei Düllstadt, im Nordwesten und Süden von Gerlachshausen und im Zentrum von Stadtschwarzach auf. Neubaugebiete befinden sich hauptsächlich im Nordosten von Gerlachshausen und Stadtschwarzach. Sowohl bei Neu- als auch bei Altbaugebäuden ergibt sich aufgrund von bereits guten Energiekennwerten (Neubau) bzw. Denkmal- und Ensembleschutz (Altbau) oftmals ein nur moderates Sanierungspotenzial.

Abgesehen von Neu- und Altbaugebieten sind fast alle weiteren Quartiere durch Nachkriegsgebäude (1949-1978) geprägt. Hier sind somit vermehrt Gebäude verortet, für welche geeignete Sanierungsstrategien besondere Wärmebedarfspotenziale versprechen. Es sei noch erwähnt, dass eine Einteilung beispielsweise in die Kategorie „Ab 2009“ bedeutet, dass diese Baualtersklasse im Baublock am häufigsten vertreten ist. Viele der Gebäude können trotzdem aus anderen Baualtersklassen stammen.

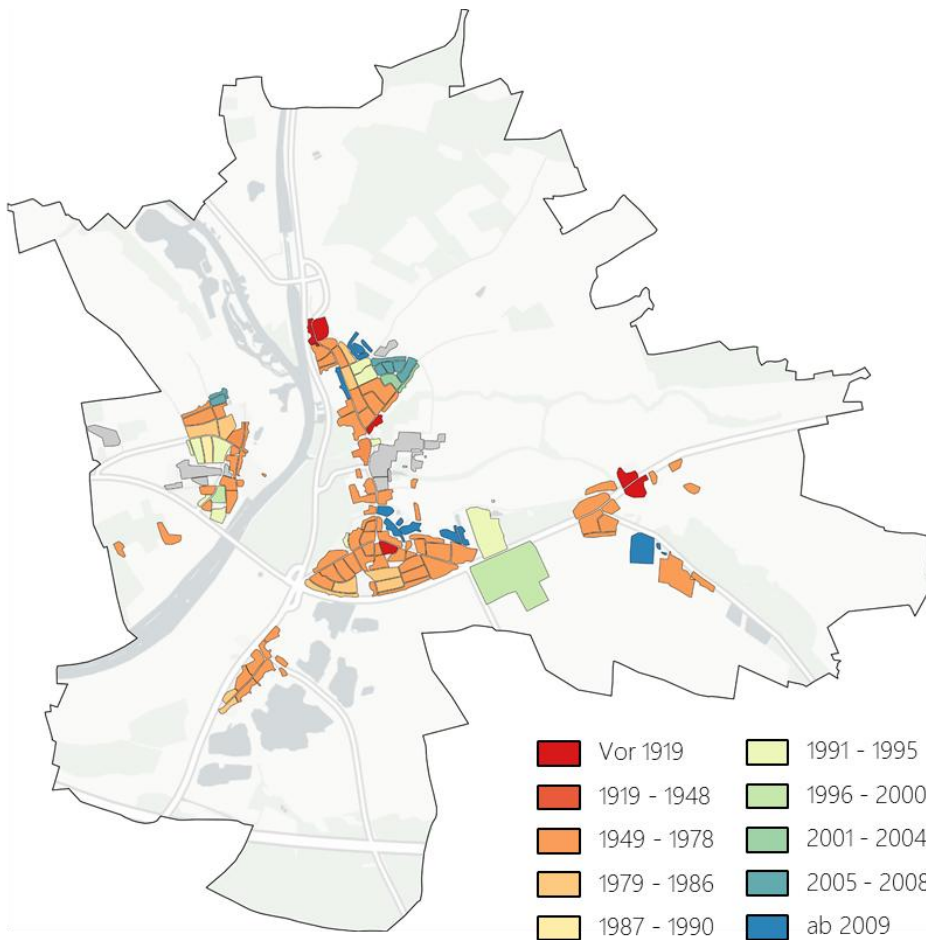


Abbildung 8: Vorwiegende Baualtersklasse der Wohngebäude in den Quartieren

2.2 Wärmebedarf

Aufbauend auf die Analyse des Gebäudebestands wird im Rahmen der Bestandsanalyse der Nutzenergiebedarf für Wärme bestimmt. Dafür wird ein zweistufiges Vorgehen verwendet. Zunächst wird in einem datengetriebenen Ansatz ausgehend auf Gebäudegeometrie, Altersklasse, Nutzungsinformationen etc. ein Wärmebedarf für jedes Gebäude simuliert. In Schwarzach wurde hierzu auf ALKIS- und LOD2-Daten, Zensusdaten und offenes Kartenmaterial zurückgegriffen.

In einem zweiten Schritt werden die Wärmebedarfe wo möglich durch weitere Datenquellen verfeinert. In Schwarzach wurden hierzu für die Erfassung des leitungsgebundenen Verbrauchs Fragebögen an Betreibende von Wärmenetzen, Stromnetz und dem Gasnetz versendet und entsprechende Verbrauchsdaten ausgetauscht.

Aktuell beläuft sich der jährliche Wärmebedarf in Schwarzach auf etwa 49 GWh (Abbildung 9). Mit 54 % wird der Großteil der Wärme im Sektor Wohnen und Industrie benötigt. Die Sektoren Gewerbe-Handel-Dienstleistungen tragen weitere 32 % zum Wärmebedarf bei. Etwa 14 % des Wärmebedarfs entfallen auf öffentliche Einrichtungen, worunter auch die Abtei Münsterschwarzach fällt.

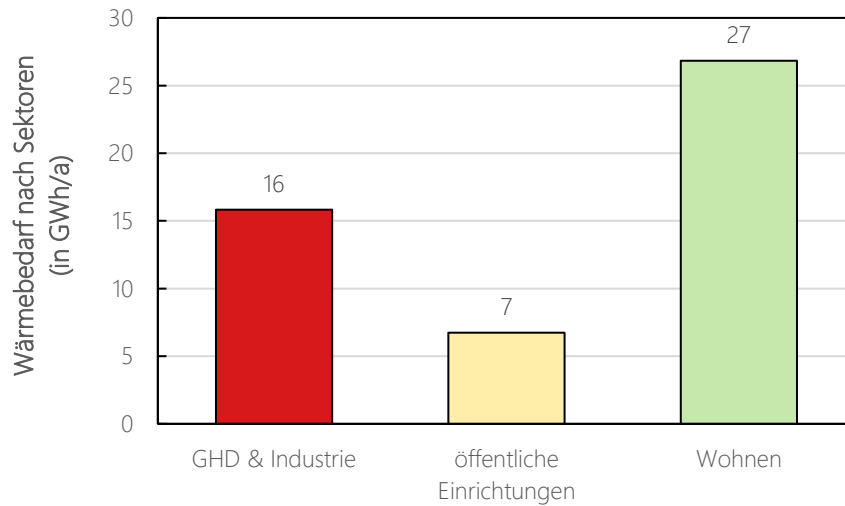


Abbildung 9: jährlicher Wärmebedarf aufgeteilt nach Sektoren

Die räumliche Verteilung des Wärmebedarfs ist in Abbildung 10 dargestellt. Hier werden die jährlichen Bedarfe auf Quartiersebene aufsummiert. Die Darstellung hebt entsprechend Baublöcke hervor, in denen ein hoher absoluter Wärmebedarf vorliegt. Dies kann ein erster Indikator für Wärmekonzepte und die Identifikation von Großkunden bzw. Arealen mit vielversprechenden Wärmeabsätzen sein.

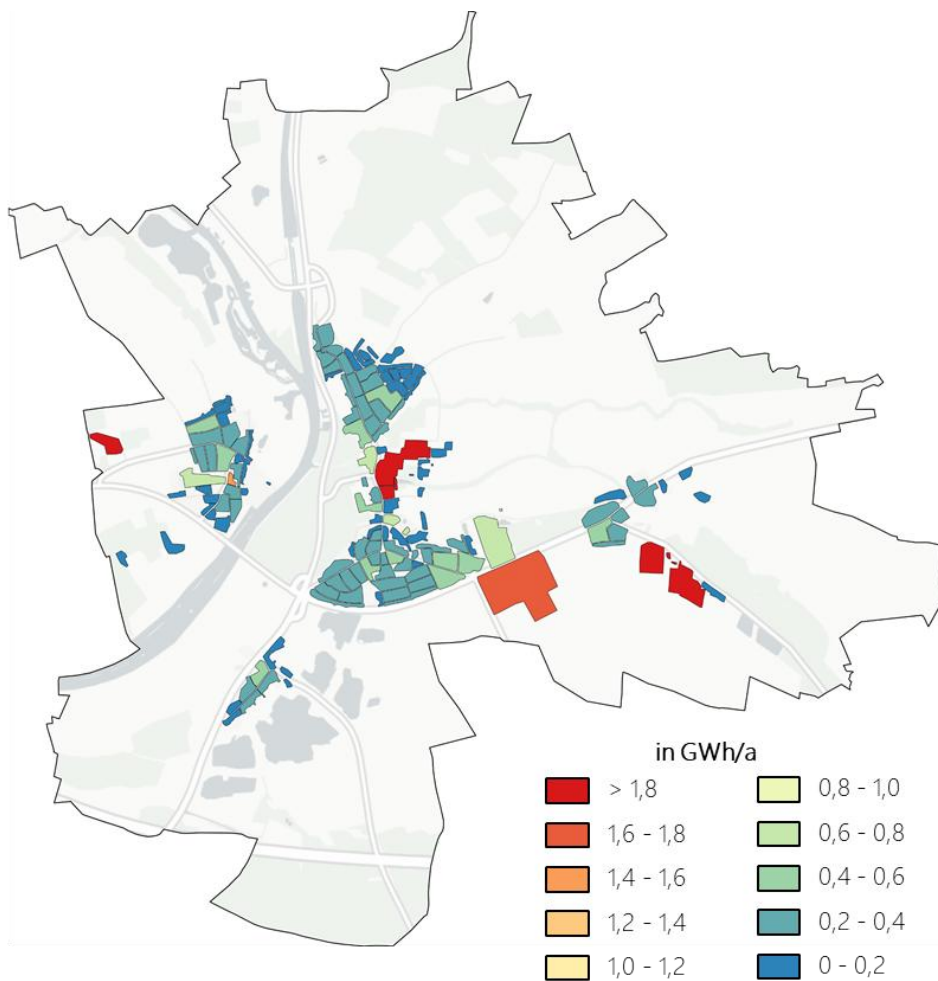


Abbildung 10: absoluter Wärmebedarf in den Quartieren in GWh/a

In Schwarzach stechen erwartungsgemäß insbesondere die Abtei Münsterschwarzach, die Gewächshäuser bei Düllstadt, das Asphaltmischwerk Schwarzach, das Staatsgut in Schwarzenau sowie die Gewerbegebiete an der B22 hervor. In den Wohngebieten liegen dagegen generell geringe Wärmebedarfe vor.

Die Darstellungsweise berücksichtigt jedoch nicht die Größe der jeweiligen Baublöcke. Die Baublöcke sind entsprechend des Verlaufs von Straßen und Gebäuden gezogen und variieren somit in ihrer Größe teils deutlich. Größere Baublöcke umfassen tendenziell mehr oder größere Gebäude, was sich ebenfalls auf den absoluten Wärmebedarf auswirkt.

Abbildung 11 bezieht die ermittelten Wärmebedarfe deshalb auf die Gesamtfläche des entsprechenden Quartiers in Hektar. Diese Darstellungsweise ist insbesondere dafür nützlich, Gebiete mit hohem spezifischem Wärmebedarf zu identifizieren, welche sich potenziell für die Errichtung eines Wärmenetzes eignen. Auch bezogen auf die Fläche haben die Abtei, die Gewächshäuser, das Staatsgut und das Asphaltmischwerk einen hohen Wärmebedarf. Die enge Wohnbebauung im Kern von Stadtschwarzach weist jetzt ebenfalls erhöhte Wärmedichten auf. Die Gewerbegebiete an der B22 fallen dagegen aufgrund der besonders großen Flächen sehr gering aus.

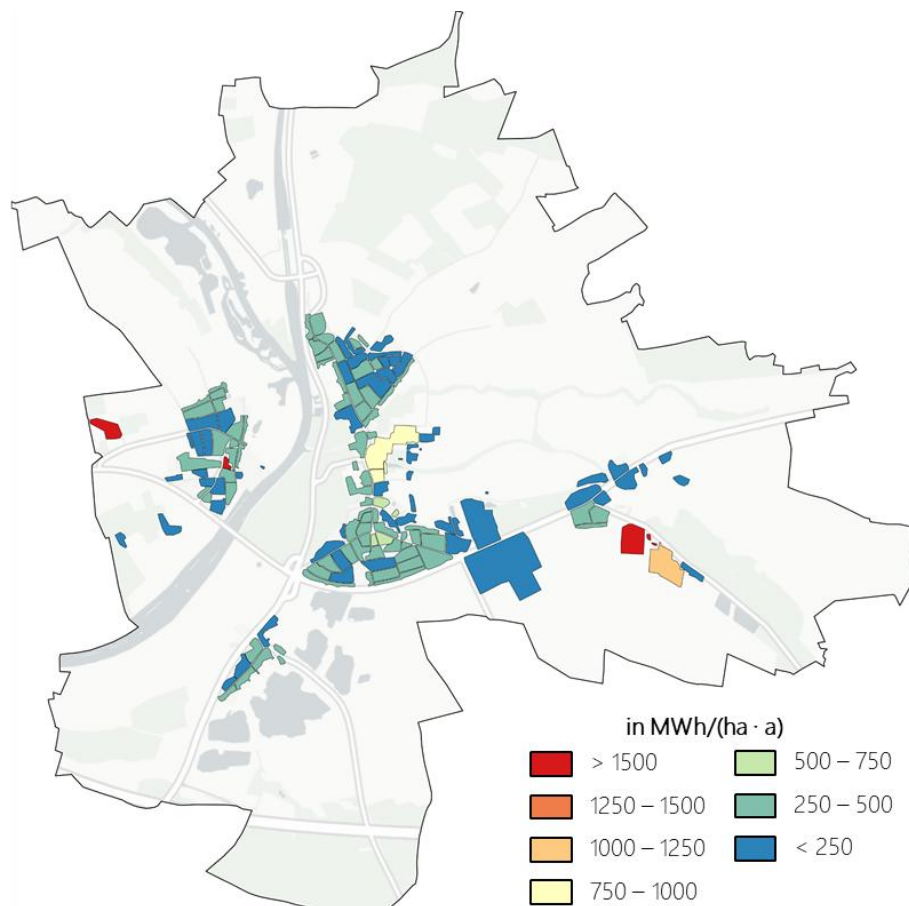


Abbildung 11: spezifische Wärmebedarfsdichte in den Quartieren in MWh/(ha·a)

Die erhöhten Wärmebedarfsdichten werden zusätzlich verdeutlicht, wenn der Wärmebedarf der Gebäude auf Straßenabschnittsbasis dargestellt wird (Abbildung 12). Hierfür wird jedes Gebäude dem nächstgelegenen Straßenabschnitt zugeordnet. Die Summe des Wärmebedarfs eines Abschnitts wird anschließend durch dessen Länge geteilt. Diese Darstellungsweise ist zusätzlich relevant zur

Ausweisung von Wärmenetzgebieten. Für Wärmenetze ist ein möglichst hoher Wärmebedarf je Meter Leitungslänge wichtig, um die hohen Kosten der Wärmenetzverlegung refinanzieren zu können.

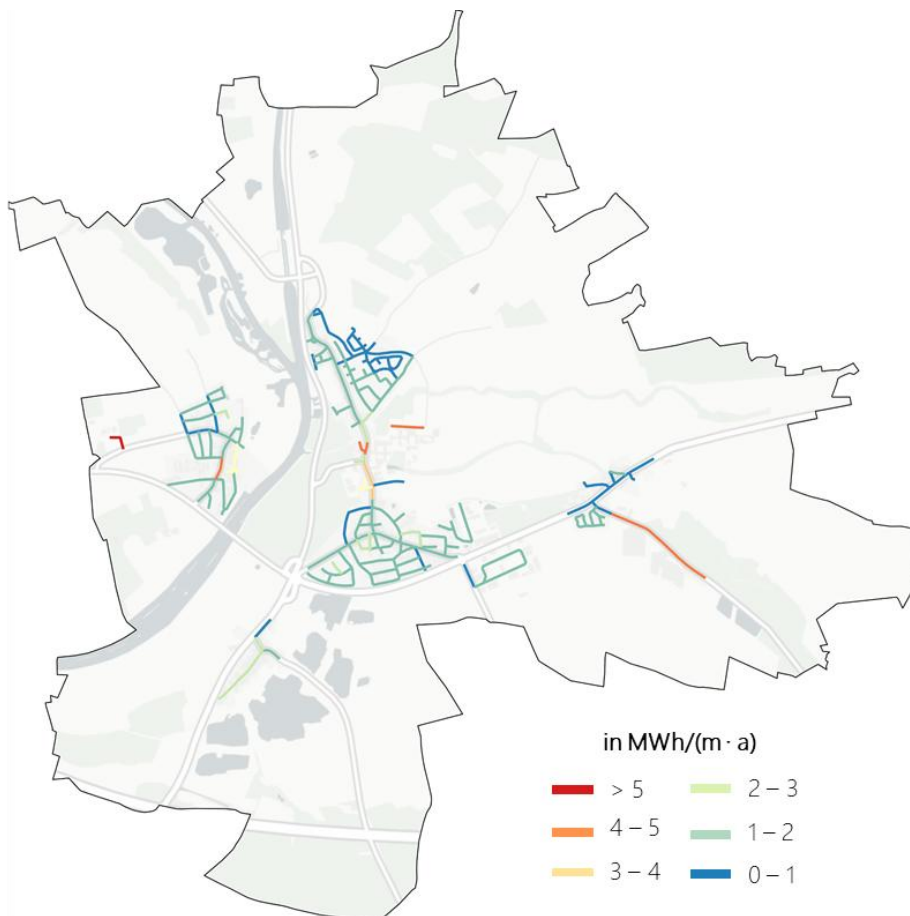


Abbildung 12: Wärmelinien-dichte der Straßenzüge in MWh/(m·a)

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Entscheidung für zentrale Wärmenetze oder dezentrale Einzellösungen ist das Vorhandensein von Ankerkunden. Diese haben als einzelne Verbraucher einen überdurchschnittlich hohen Wärmebedarf und können somit für die Erschließung neuer Wärmenetze oder -Abschnitte als wichtige Anlaufstellen dienen. Abbildung 12 zeigt die Standorte der größten Verbraucher in Schwarzach. Abgebildet sind hier Gebäude mit Verbräuchen von mindestens 100 MWh/a. Insgesamt fallen in diese Gruppe 50 (von 1.484) Gebäude, wobei hier für zusammengehörende Gebäudeblöcke immer nur ein Punkt eingezeichnet ist und sich so 19 Großverbraucher ergeben. Erwartungsgemäß handelt es sich hierbei hauptsächlich um Gewerbegebäude, das Staatsgut und die Abtei.

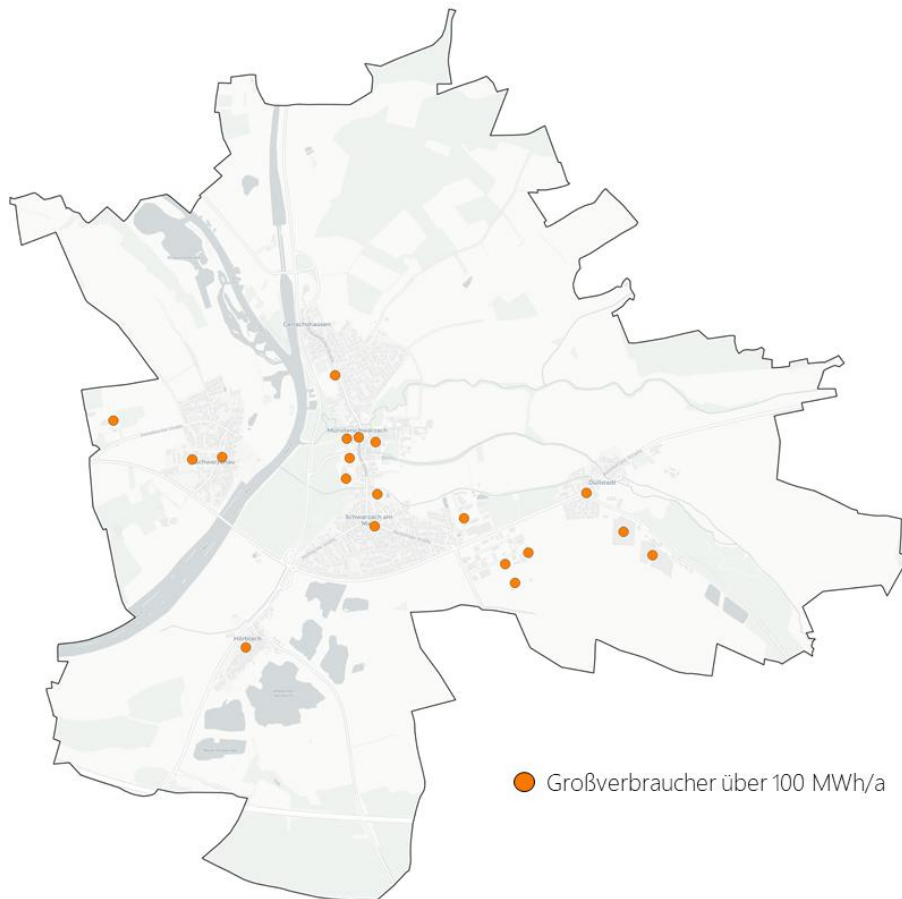


Abbildung 13: Standortbezogene Darstellung der Großverbraucher

2.3 Aktuelle Versorgungsstruktur

Nachdem der Gebäudebestand sowie der Wärmebedarf analysiert ist wird ermittelt, wie der Wärmebedarf aktuell gedeckt wird. Hierzu werden sowohl leitungsgebundene Wärmeversorgungen wie mit Erdgas oder Fernwärme analysiert, als auch Erzeuger wie Biomassefeuerungen, Wärmepumpen oder Heizölfeuerungen.

2.3.1 Struktur dezentraler Feuerstätten

Zur Analyse der aktuellen Struktur dezentraler Wärmeerzeuger wurden Kkehrbücher aus den Kkehrbezirken ausgewertet. Die Informationen wurden vom Bayerischen Landesamt für Statistik in statistisch aufbereiteter Form bereitgestellt. Die Daten beziehen sich auf das Berichtsjahr 2022 und wurden auf Baublockebene aggregiert weitergegeben.

Insgesamt wurden in Schwarzach 2.160 Feuerstätten ausgewertet. Dabei handelt es sich fast zu gleichen Teilen um Einzelraumheizungen und Zentralheizungen. 56 % der Zentralheizungen heizen mit Erd- und Flüssiggas, weitere 34 % nutzen Heizöl und knapp 9 % werden mit Biomasse befeuert. Die genauen

Verteilungen der Zentral- und Einzelraumfeuerstätten sind in Abbildung 14 und Abbildung 15 aufgeteilt nach Leistungsklassen dargestellt.

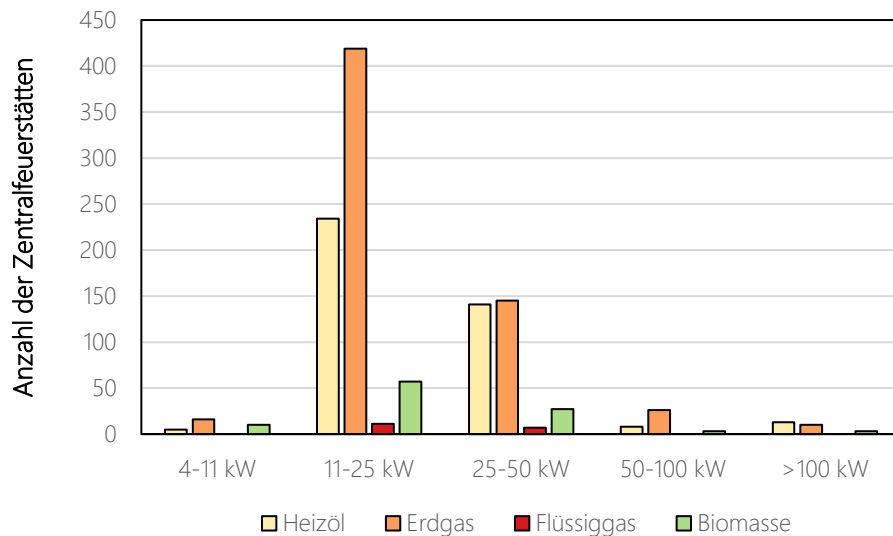


Abbildung 14: Primärenergieträger und Leistungsgröße der Zentralfeuerstätten

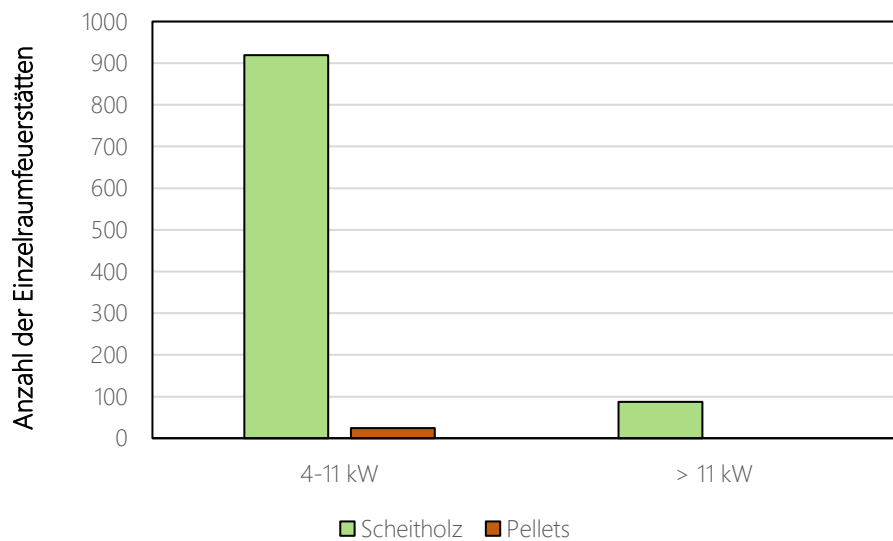


Abbildung 15: Primärenergieträger und Leistungsgröße der Einzelraumfeuerungsstätten

Abbildung 16 stellt das Durchschnittsalter der Heizungsanlagen auf Quartierebene dar. Aufgrund datenschutzrechtlicher Vorgaben wurden vom Bayerischen Landesamt für Statistik nicht für alle Quartiere die notwendigen Informationen übermittelt, so dass diese nicht dargestellt werden können. Die Abgrenzung der Quartiere weicht von der in dieser Arbeit verwendeten Darstellung ab, da die Datenbasis vom Landesamt für Statistik selbst aggregiert wurde. Über die gesamte Gemeinde gemittelt sind die Heizungen im Schnitt 21 Jahre alt. In Stadtschwarzach, Hörblach und den Altbaugebieten von Schwarzenau und Gerlachshausen treten erwartungsgemäß vermehrt ältere Heizungen auf, neue Heizungen finden sich hauptsächlich in den nördlichen Gebieten von Schwarzenau und Gerlachshausen.

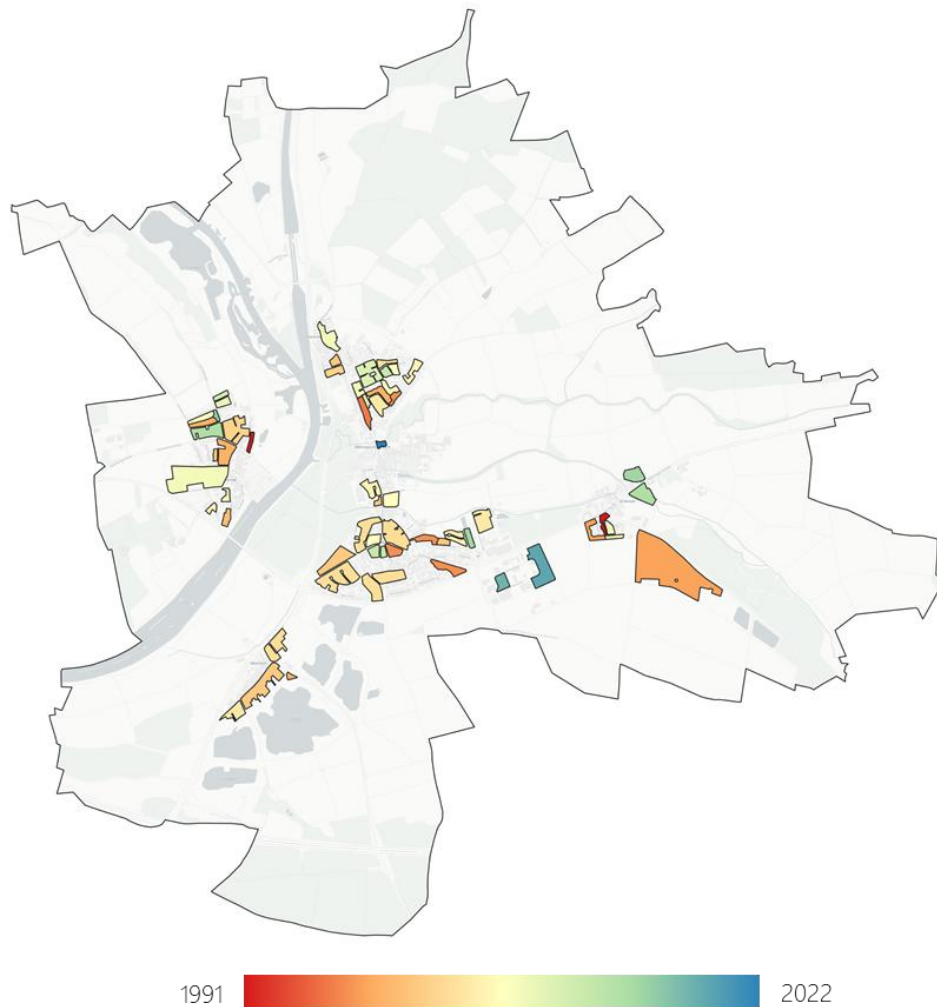


Abbildung 16: Durchschnittsjahr der Inbetriebnahme der Heizungsanlagen auf Quartiersebene

2.3.2 Wärmepumpen

Zur Auswertung der installierten Wärmepumpen wurden Netzabsatz-Daten von der N-ERGIE Netz GmbH zur Verfügung gestellt. Im Kalenderjahr 2025 wurden in Schwarzach 91 MWh Strom für Wärmepumpen und 346 MWh für Speicherheizungen eingesetzt. Diese Werte sind als Mindestmengen zu interpretieren, da es sich lediglich um den Netzbezug handelt. Energiemengen, die aus privaten Photovoltaik-Anlagen stammen, sind darin nicht mit enthalten.

Eine genauere räumliche Aufteilung der Anlagen auf die einzelnen Gebäude der Gemeinde ist nicht bekannt. Für die meisten kommunalen Liegenschaften und Gebäude des GHDI-Sektors sowie einen großen Teil der Wohngebäude sind allerdings reale Verbrauchsdaten und Energieträger bekannt. Die Verbräuche für Wärmepumpen und Speicherheizungen werden deshalb anteilig über simulierte Wärmebedarfe auf die Wohngebäude aufgeteilt, bei denen keine Anschlussdaten bekannt sind.

2.3.3 Gasinfrastruktur

Zur Auswertung der Gasinfrastruktur wurden Daten des Gasnetzbetreibers LKW Kitzingen herangezogen. Im Markt Schwarzach ist eine flächendeckende Gasinfrastruktur vorhanden. Über eine Trassenlänge von 23,4 km werden insgesamt 601 aktive Anschlüsse mit Methan versorgt. Abbildung 17 stellt die Quartiere dar, in welchen Gasanschlüsse vorhanden sind.

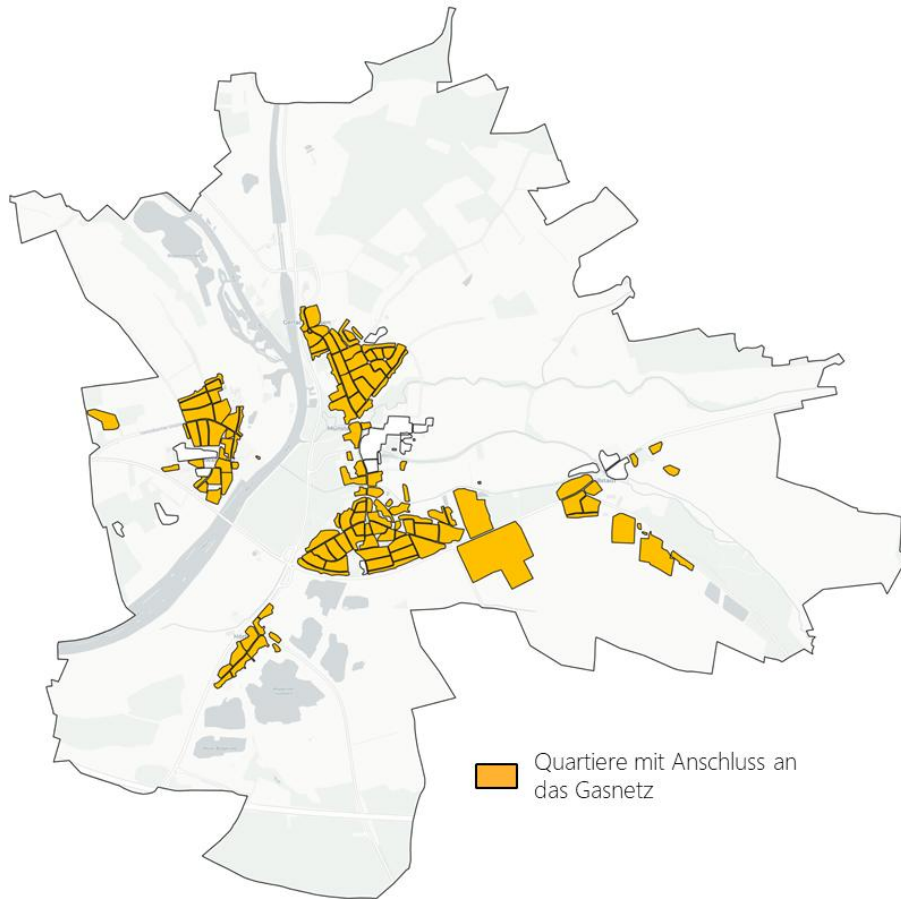


Abbildung 17: Quartiere mit vorhandenen Gasanschlüssen

Der Ausbau des Gasnetzes wird in Tabelle 1 verdeutlicht. Hier wird aufgelistet, wie viele Kilometer Gasnetz in den einzelnen Jahrzehnten errichtet wurden. Die erste Gasleitung wurde im Jahr 1985 verlegt. Insgesamt 64 % des Gasnetzes in Schwarzach wurde vor 2000, weitere 25 % bis 2010 errichtet. Seit 2010 wurden weniger als 10 % des aktuellen Netzes verlegt.

Tabelle 1: Baualter des Gasnetzes

Baujahr	Länge des Gasnetzes (in km)	Anteil am Gesamtnetz
1980-1989	3,1	13 %
1990-1999	12,0	51 %
2000-2009	5,9	25 %
2010-2019	0,8	4 %
seit 2020	1,2	5 %
k. A.	0,3	1 %

Die mögliche Umstellung des Gasnetzes auf Wasserstoff wird aktuell vom Netzbetreiber LKW geprüft. Inwiefern grüner Wasserstoff künftig zur Verfügung stehen wird, ist fraglich. Einerseits steht einer großen erwarteten Nachfrage in Industrie und Teilen des Verkehrssektors (z. B. Flugverkehr) ein aktuell

noch nicht vorhandenes Angebot an grünem Wasserstoff gegenüber. Zudem lässt die große Nachfrage in der Industrie mittel- und auch langfristig hohe Preise erwarten, was den Einsatz von grünem Wasserstoff im Wärmesektor auf hochpreisige Nischenanwendungen beschränken könnte.

Die LKW untersuchen als zuständiger Netzbetreiber aktuell, ob und welche Netzabschnitte auf Wasserstoff umrüstbar sind. Hierzu wird gemeinsam mit der Ferngas Netzgesellschaft mbH ein Gasnetztransformationsplan erstellt. Zusätzlich wird im Rahmen einer Netzinventur geprüft, welche Teile des Netzes auf Wasserstoff umgestellt werden könnten und welche etwaigen Maßnahmen für eine Umstellung getroffen werden müssten. Die Lage Schwarzachs in der Nähe des künftigen Wasserstoff-Backbones ist zwar günstig, allerdings kann aufgrund der aktuellen unsicheren Marktsituation, der noch laufenden Prüfung der Wasserstoffverträglichkeit, sowie des Fehlens eines verbindlichen Transformationsplans nicht von einer sicheren Verfügbarkeit des Wasserstoffs in Schwarzach ausgegangen werden.

2.3.4 Wärmenetze und Gebäudenetze

Grundsätzlich muss hierbei zwischen Gebäudenetzen und Wärmenetzen unterschieden werden – wobei es sich hierbei vor allem um eine rechtliche (und keine technische) Definition handelt. Grundlage sind die Begriffsbestimmungen im Gebäudeenergiegesetz GEG beziehungsweise im Wärmeplanungsgesetz WPG. Maßgeblich für die Einstufung eines Netzes ist dabei die Anzahl angeschlossener Gebäude bzw. Wohneinheiten:

- Ein **Gebäudenetz** versorgt 2 bis 16 Gebäude oder bis zu 100 Wohneinheiten mit Wärme oder Kälte (§ 3 Absatz 1 Nummer 9a GEG).
- **Wärmenetze** sind alle anderen Einrichtungen zur leitungsgebundenen Versorgung mit Wärme (§ 3 Absatz 1 Nummer 17 WPG).

Im Zuge der Wärmeplanung sind im Rahmen der Bestandsanalyse nur Wärmenetze detailliert zu erfassen. Da allerdings in der Praxis auch Gebäudenetze häufig über Erweiterungs- und/oder Transformationspotenzial verfügen, werden hier auch die bekannten Gebäudenetze mit aufgeführt.

In Schwarzach wurden zwei Wärmenetze betrachtet, eines davon nur zur Versorgung einzelner angrenzender Gebäude in Schwarzenau. Zur Analyse der Wärmenetze wurden Fragebögen an die Betreiber der Wärmenetze ausgegeben.

Abbildung 18 stellt die Lage der Wärmenetze dar. Das Netz der Abtei Münsterschwarzach trägt mit ca. 91 % der mit Fernwärme versorgten Nutzenergie den größten Teil der Fernwärme bei. Das westliche Netz in Schwarzenau liefert die restlichen 9 %. Mit Fernwärme werden demnach große Teile der Abtei sowie die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft versorgt.

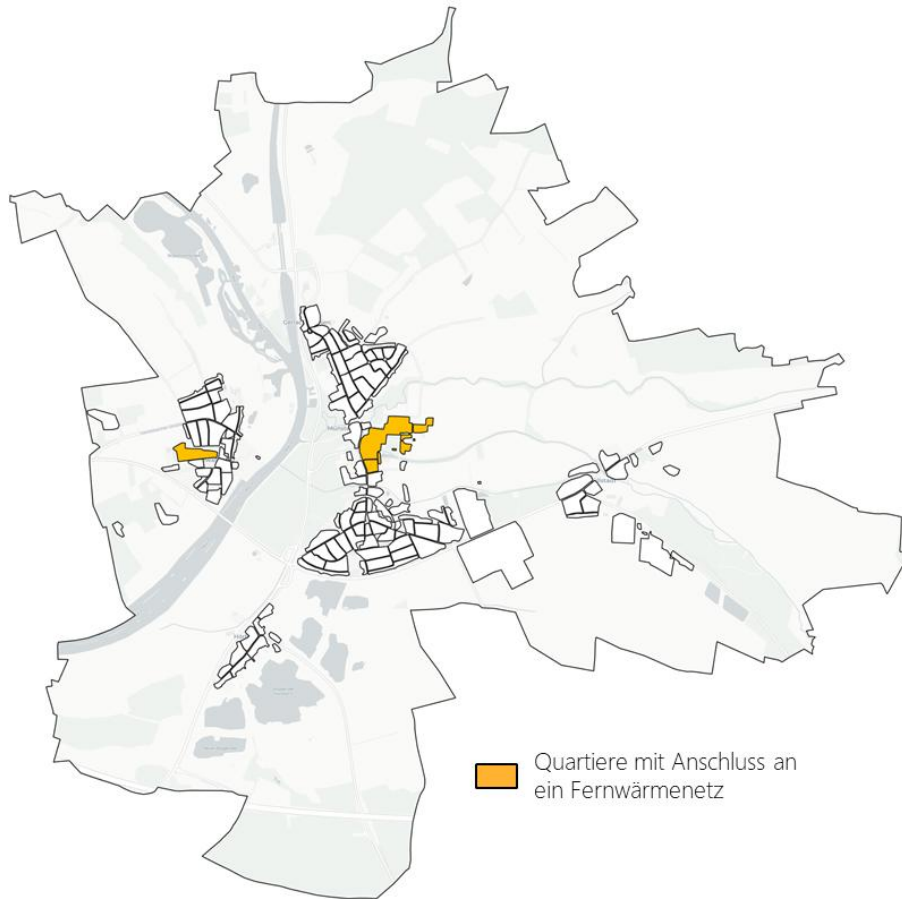


Abbildung 18: Wärmenetze in Schwarzach

Nähere Daten zu den einzelnen Netzen können Tabelle 2 entnommen werden. Dabei wird jeweils – falls vorhanden und rückgemeldet – die Art des Wärmenetzes (Wasser oder Dampf), das Jahr der Erstinbetriebnahme, das Temperaturniveau sowie die Trassenlänge und Anzahl an versorgten Anschlüssen dargestellt.

Tabelle 2: Bestehende sowie geplante und genehmigte Wärmenetze

Netz	Lage	Art	Jahr der Inbetriebnahme	Temperatur (VL-RL, in °C)	Trassenlänge (in m)	Anzahl Anschlüsse
Netz Abtei Münsterschwarzach	Münsterschwarzach	Wasser	1925	85-75	1.950	über 20
Netz Schwarzenau	Schwarzenau	Wasser	2006	80-50	6.800	4

In Abbildung 19 sind die Erzeugerstandorte der Netze eingezeichnet. Dazugehörig liefert Tabelle 3 sofern bekannt genauere Daten zu den Anlagen.

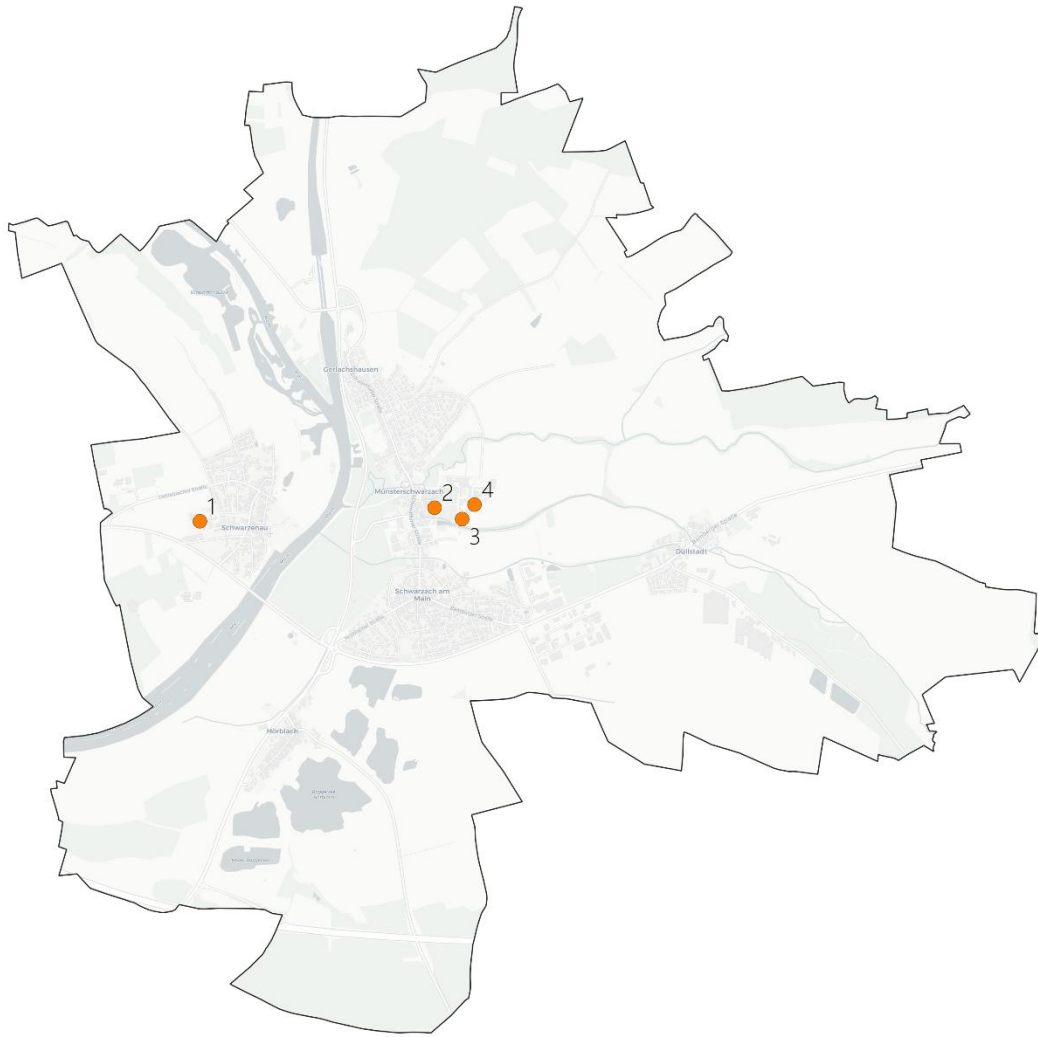


Abbildung 19: Erzeugerstandorte in Schwarzach

Tabelle 3: Bestehende, geplante oder genehmigte Wärmeerzeugungsanlagen für Wärmenetze

Lfd. Nummer	Netz	Art des Erzeugers	abgabeseitige Nennleistung (in kW _{th})	Jahr der Inbetriebnahme	Energieträger
1	Schwarzenau	BHKW	370	n.a.	Biogas
2	Münster-schwarzach	3 x Kessel	3 x 1.000	n.a.	Heizöl
3	Münster-schwarzach	Kessel	1.200	n.a.	Biomasse
4	Münster-schwarzach	BHKW	500	n.a.	Biogas

Abbildung 20 stellt die Aufteilung der eingesetzten Energieträger dar. Das Netz der Abtei Münsterschwarzach verwendet hauptsächlich Biomasse (52 %) und Biogas (40 %) und einen kleinen Teil an Heizöl (7 %). Das Netz in Schwarzenau wird ausschließlich mit Biogas versorgt.

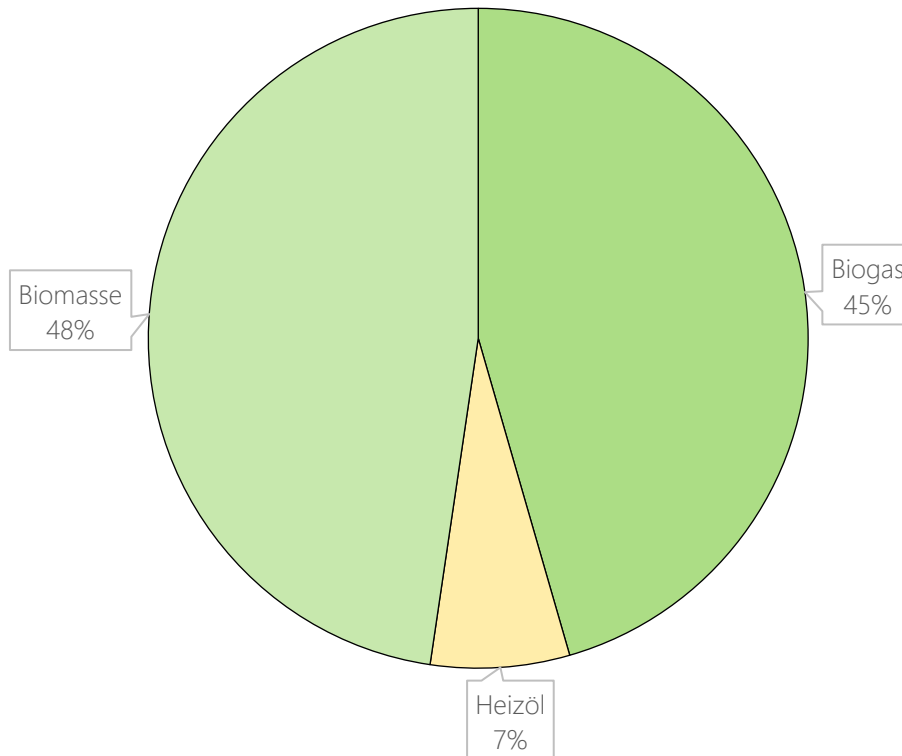


Abbildung 20: Anteil von Energieträgern für die Fernwärmeerzeugung

2.3.5 Eingesetzte Energieträger zur Wärmeversorgung

Aus den vorangegangenen Informationen zur aktuellen Wärminfrastruktur kann der aktuelle Wärmemix bestimmt werden. Dazu wird der in Kapitel 2.2 dargestellte Wärmebedarf mit den Informationen über Gasanschlüsse von den Gasnetzbetreibern, Wärmenetzanschlüsse von Wärmenetzbetreibern, Wärmepumpenzähler von Stromnetzbetreibern sowie Kaminkehrerdaten verschnitten.

Abbildung 21 stellt den Wärmebedarf aufgeteilt nach Energieträgern dar. Von den benötigten 49 GWh/a wird mit 23 GWh/a (47 %) der Großteil durch Erdgas bereitgestellt. Weitere 14 GWh/a (28 %) werden durch Heizöl und 1 GWh/a (3 %) durch sonstige fossile Energieträger (z. B. Flüssiggas) versorgt. Erneuerbare Energien stammen insbesondere aus Biomasse (4 GWh/a oder 8 %) und Solarthermie (<1 GWh/a oder 1 %). Wärmepumpen und elektrische Direktheizungen tragen knapp 1 GWh/a (2 %) zur Wärmeversorgung bei und nutzen dabei einerseits Umweltwärme und andererseits teilweise erneuerbaren Strom. Die übrigen 6 GWh/a (12 %) der benötigten Wärme werden durch Fernwärme abgedeckt. Die Fernwärmenetze werden wie bereits ausgeführt hauptsächlich mit Biomasse und Biogas und teils mit Heizöl betrieben.

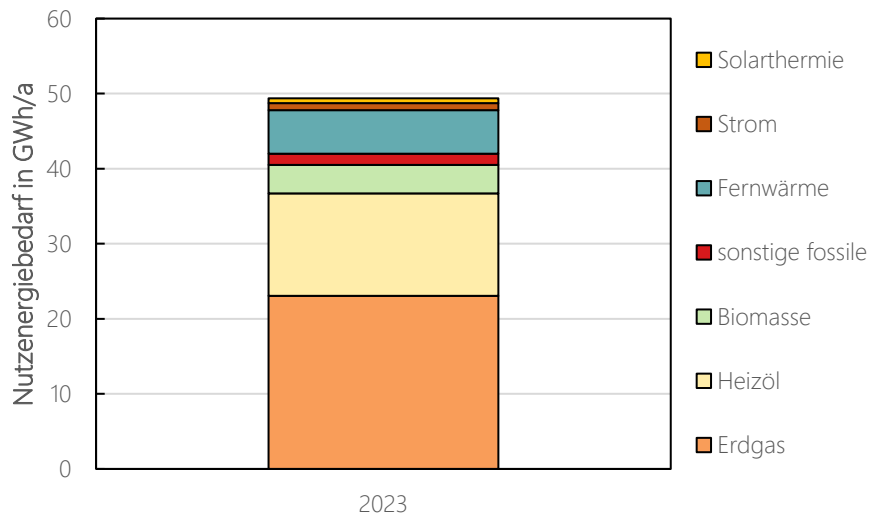


Abbildung 21: Wärmebedarf im Jahr 2023 nach Energieträger

Für die Bereitstellung des Wärmebedarfs von 49 GWh/a in den Gebäuden werden 58 GWh Endenergie pro Jahr benötigt. Der Endenergiebedarf beschreibt, welche Menge an Energieträgern (z. B. Erdgas, Heizöl, Strom oder Biomasse) zur Erzeugung der benötigten Wärme verbraucht wird. Er berücksichtigt damit beispielsweise auch Wirkungsgrade. Die Aufteilung der Energieträger ist in Abbildung 22 dargestellt.

Anteilig ist die Änderung im Vergleich zum Wärmebedarf gering, da die meisten Technologien ähnliche Wirkungsgrade aufweisen. Speziell Wärmepumpen haben allerdings aufgrund des hohen Wirkungsgrades (COP) einen deutlich niedrigeren Endenergiebedarf. Für die Wärmeversorgung in Schwarzach werden 27 GWh/a (47 %) Erdgas, 16 GWh/a (28 %) Heizöl exkl. Wärmenetze und 2 GWh/a (3 %) sonstige fossile Energieträger (z. B. Flüssiggas oder Kohle) eingesetzt. Dazu kommen 5 GWh/a (8 %) Biomasse exkl. Wärmenetze und insgesamt gut 1 GWh/a (2 %) Strom und Solarthermie. Insgesamt trägt die Fernwärme 7 GWh/a (12 %) zum Endenergieverbrauch bei, hierbei sind zunächst nur Verteilverluste inbegriffen. In die Fernwärmeezeugung fließen weitere Wirkungsgrade der Energieträger mit ein. Hierbei werden 3 GWh/a Biomasse, 3 GWh/a Biogas und ca. 0,5 GWh/a Heizöl genutzt.

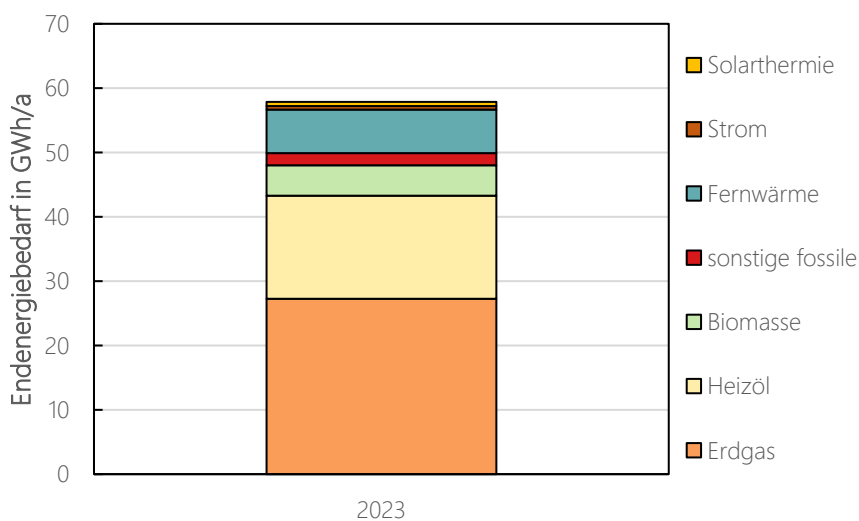


Abbildung 22: Endenergiebedarf nach Energieträger

Unter der Annahme, dass 50 % des eingesetzten Stroms in Wärmepumpen und Speicherheizungen aus erneuerbaren Quellen stammt, beträgt der Anteil erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme am Endenergieeinsatz 21 % bzw. 12 GWh/a. Durch die Integration weiterer erneuerbarer Wärme- und Abwärmequellen kann und soll dieser Anteil in Zukunft wesentlich gesteigert werden.

Die Aufteilung der Endenergieträger auf die einzelnen Sektoren wird in Abbildung 23 dargestellt. Der Endenergieverbrauch des Sektors Wohnen beläuft sich auf 31 GWh/a, während öffentliche Einrichtungen 8 GWh/a und Gewerbe-Handel-Dienstleistung und Industrie 19 GWh/a verbrauchen.

Der Energiemix sieht in allen Sektoren deutlich unterschiedlich aus. Der Sektor Wohnen hat mit 46 % den höchsten Anteil an Heizöl, gefolgt von Erdgas mit 39 %. Darüber hinaus werden viel Biomasse (10 %), sonstige fossile Energieträger (5 %) und Strom und Solarthermie (zusammen 4 %) genutzt. Fernwärme kommt in Wohngebäuden nicht vor.

Der Sektor GHDI wird mit 74 % von Erdgas dominiert. Darüber hinaus werden ähnliche Anteile über Fernwärme (9 %), Heizöl (8 %) und Biomasse (7 %) versorgt. Die weiteren Energieträger spielen nur kleine Rollen.

Da sowohl die Abtei Münsterschwarzach als auch die Staatsgüter in Schwarzenau in den öffentlichen Sektor fallen, stellt hier Fernwärme mit 64 % den deutlich größten Teil der Endenergie. Darüber hinaus werden hauptsächlich viel Erdgas (29 %) und ein geringer Anteil Biomasse (4 %) eingesetzt.

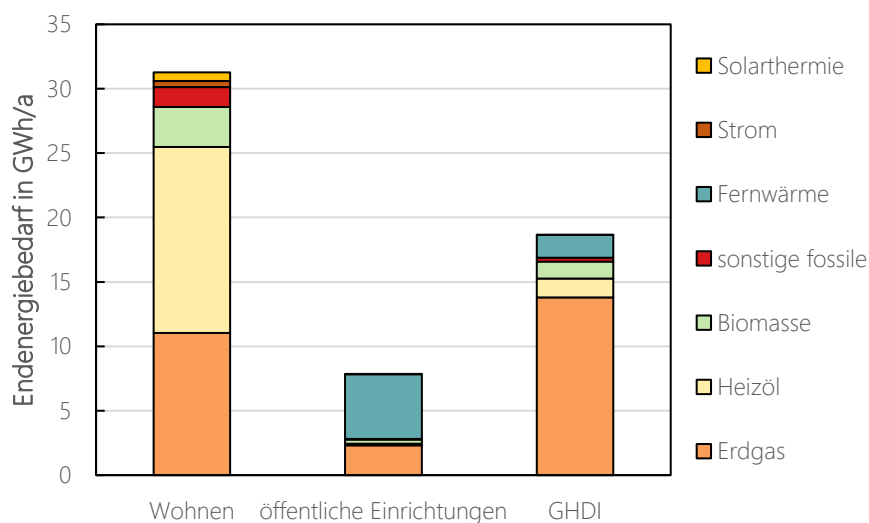


Abbildung 23: Endenergiebedarf nach Energieträger und Verbrauchssektor

Abbildung 24 stellt den vorrangigen Energieträger je Quartier kartographisch dar. Mit Ausnahme der Wärmenetzgebiete beim Münsterschwarzach und in Schwarzenau werden hauptsächlich Erdgas und Heizöl genutzt. In Gewerbegebieten dominiert dabei deutlich das Erdgas, in Wohngebieten zu gleichen Anteilen Erdgas und Heizöl. Nur sehr vereinzelt überwiegen in manchen Quartieren Biomasse (Beispielsweise bei der Volksschule) oder sonstige Fossile.

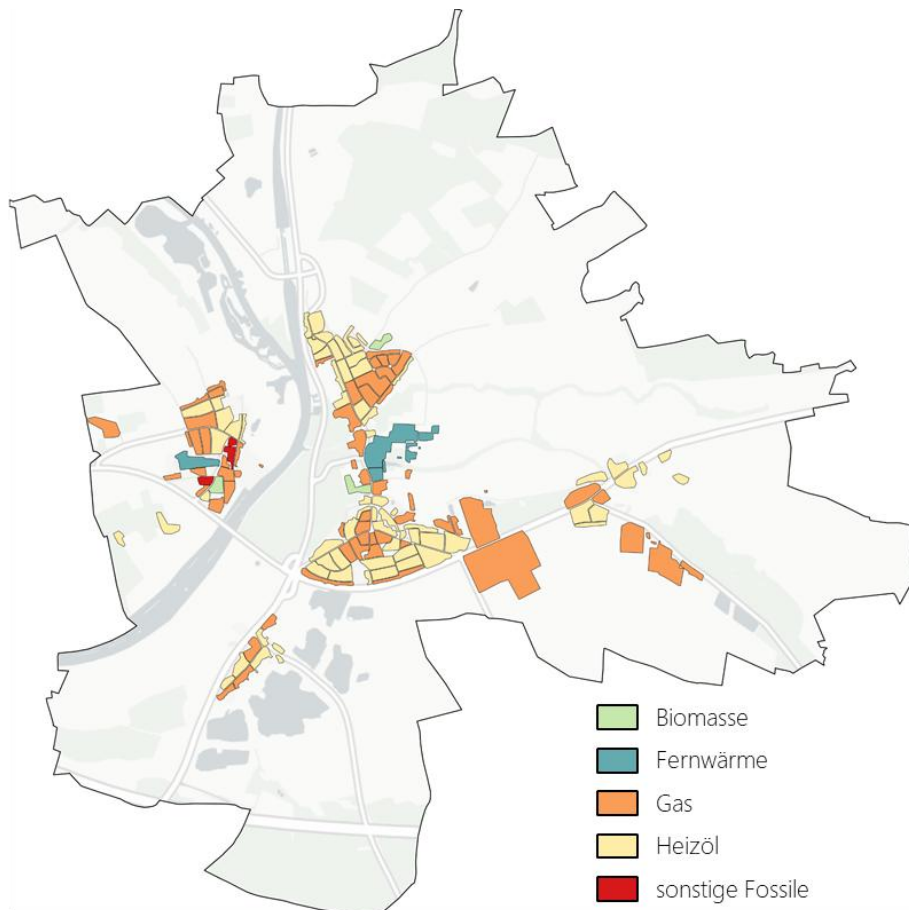


Abbildung 24: dominanter Energieträger zur Wärmeversorgung in den Quartieren

Während Abbildung 24 zeigt, welcher Energieträger in welchem Quartier dominiert, stellt Abbildung 25 die Anzahl dezentraler Wärmeerzeuger, einschließlich Hausübergabestationen, nach Art der Wärmeerzeuger in Form einer baublockbezogenen Darstellung dar. Dabei wird beispielsweise verdeutlicht, wo vermehrt Zentralheizungen und Einzelraumfeuerungen verortet sind – unabhängig von der Wärmemenge, die die einzelnen Erzeuger liefern.

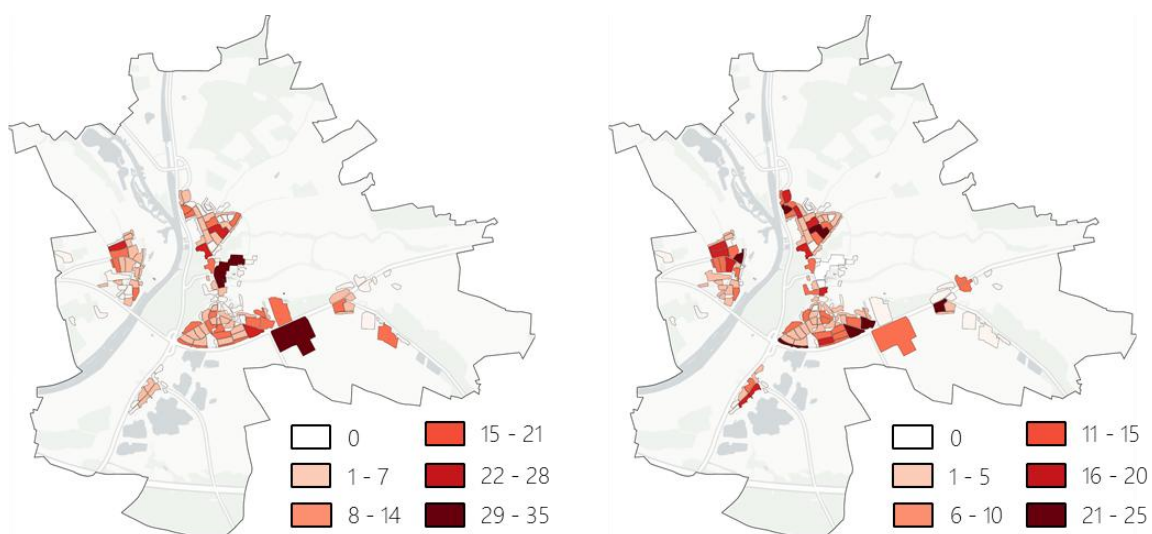


Abbildung 25: Anzahlen verschiedener Heizungstypen (links: Zentralheizungen, rechts: Einzelraumheizungen)

Hier muss erwähnt werden, dass wie bei Wärmepumpen auch die Daten zu Solarthermieanlagen¹ nur aggregiert auf das gesamte Gebiet vorliegen und im digitalen Zwilling entsprechend nicht quartiers-scharf verortet werden können.

Die Auswertung der Energieträger verdeutlicht die Größenordnung der Aufgabe der Wärmewende. Die aktuelle Wärmeversorgung ist zu gut 79 % von fossilen Energieträgern abhängig. Es gilt den noch geringen Anteil erneuerbarer Energien in den Jahren bis 2045 auf 100 % anzuheben. Die bereits beschriebene Altersstruktur der fossilen Wärmeerzeuger erfordert es, die dafür notwendigen Schritte zeitnah und strukturiert anzugehen.

2.3.6 Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung

Die starke Abhängigkeit der Wärmeversorgung von fossilen Quellen führt auch zu erheblichen Treibhausgasemissionen bei der Wärmeerzeugung. Insgesamt werden in Schwarzach aktuell rund 12.700 Tonnen CO₂-eq für Wärmeezwecke ausgestoßen. Abbildung 26 verdeutlicht die Verteilung der Emissionen nach den eingesetzten Energieträgern. Hauptverursacher für die Emissionen sind Erdgas (6.300 t/a bzw. 50 %) und Heizöl exkl. Fernwärme (5.000 t/a bzw. 39 %). Der größte Teil der restlichen Emissionen stammt mit 600 t/a bzw. 5 % aus Fernwärme und 400 t/a bzw. 3 % aus sonstigen fossilen Energieträgern (z.B. Flüssiggas). Weiterhin ist Strom für 200 t/a und Biomasse für 100 t/a verantwortlich. Der Anteil von Solarthermie ist vernachlässigbar gering.

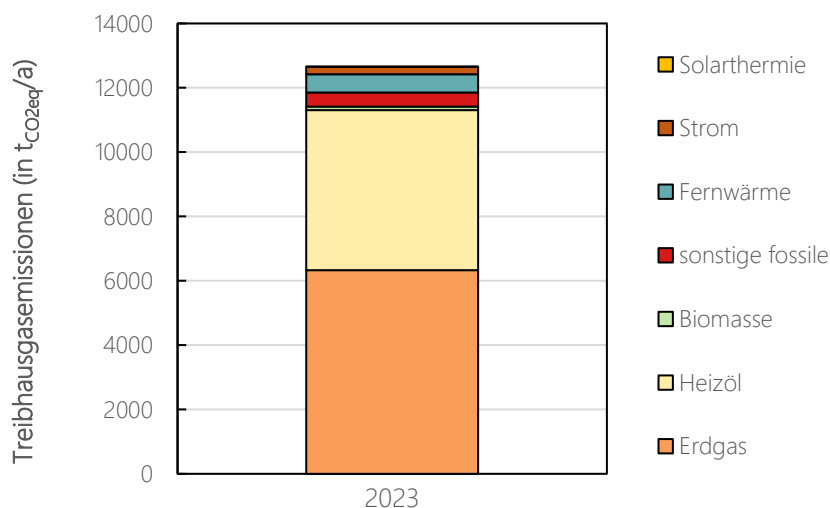


Abbildung 26: Treibhausgasemissionen nach Energieträger

Die Verteilung der Emissionen auf die Energieträger lässt sich zum einen auf die stark unterschiedlichen Verbrauchsmengen zur Wärmeerzeugung zurückführen. Zum anderen unterscheiden sich die Emissionsfaktoren der einzelnen Energieträger deutlich (Tabelle 4). Während fossile Energieträger mit hohen spezifischen Emissionen verbunden sind (und hier der Einsatz von Heizöl und Kohle als nochmals schädlicher einzustufen ist als der von Erdgas), beträgt der CO₂-Ausstoß erneuerbarer Energien nur

¹ <http://www.solaratlas.de/>

einen Bruchteil davon. So ist der Einsatz von Holz beispielsweise mit nur 7 % der Treibhausgasemissionen von Heizöl belastet. Dennoch wird Holz nicht als komplett klimaneutral bewertet, da beispielsweise bei Transport oder Verarbeitung CO₂-Emissionen anfallen.

In den Emissionsfaktoren zeigt sich auch der Effekt der Energiewende auf dem Stromsektor: Während Netzstrom heute noch wesentlich durch den Einsatz von Kohle und Erdgas erzeugt wird, wird künftig vorrangig erneuerbarer Strom Anwendung finden. Dies reduziert den Emissionsfaktor von aktuell 0,435 t_{CO₂eq}/MWh auf perspektivisch 0,032 t_{CO₂eq}/MWh in 2040. Diese Entwicklung spielt eine zentrale Rolle bei der Wärmewende und ermöglicht es Wärmepumpen zukünftig potenziell, auf emissionsarmen Strom zurückzugreifen, auch wenn dieser aus dem öffentlichen Stromnetz stammt.

Die Aufteilung der Treibhausgasemissionen auf die einzelnen Sektoren ist in Abbildung 27 dargestellt. Es wird deutlich, dass der Großteil der Emissionen aus dem Wohnsektor stammt. Die Wärmeerzeugung verursacht hier jährlich etwa 7.700 t_{CO₂eq}, was etwa 61 % der Gesamtemissionen ausmacht. Die Sektoren GHDl tragen mit 3.900 t_{CO₂eq} (31 %) ebenfalls einen großen Teil der Emissionen bei. Bei einer Einwohnerzahl von 3.665 entspricht das einem Pro-Kopf-Emissionswert von 2.1 t_{CO₂eq}/(EW*a), der gesamtdeutsche Durchschnitt fällt nach Zahlen für 2021 mit 1,75 t_{CO₂eq}/(EW*a) etwas geringer aus.¹ Für ländliche Gemeinden ist der Wert allerdings sehr gewöhnlich, da hier größere Wohnflächen pro Einwohner und ein höherer Einsatz von Heizöl üblich sind. Der Beitrag öffentlicher Liegenschaften beläuft sich lediglich auf 1.000 t_{CO₂eq}/a oder 8 %. Auch wenn öffentliche Gebäude absolut betrachtet einen geringeren Beitrag zu den Emissionen aufweisen, haben sie dennoch einen großen Hebel (Größe der einzelnen Gebäude und damit hohes Einsparpotenzial bei Einzelmaßnahmen; oftmals direkte Steuer- und Beeinflussbarkeit durch die Kommune; Multiplikatorwirkung).

Tabelle 4: Emissionsfaktoren² der wesentlichen Energieträger in t_{CO₂eq}/MWh

Energieträger	2023	2030	2035	2040	2045
Erdgas	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233
Heizöl	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
Sonstige Fossile	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
Biomasse	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
Strom	0,435	0,27	0,151	0,032	0,032
Solarthermie	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
Biogas/Biomethan	0,090	0,086	0,084	0,081	0,079
Industrielle Abwärme	0,040	0,038	0,037	0,036	0,035

¹ https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2024/PD24_05_p002.html

² KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, „Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung in Baden-Württemberg“, Karlsruhe, 2023.

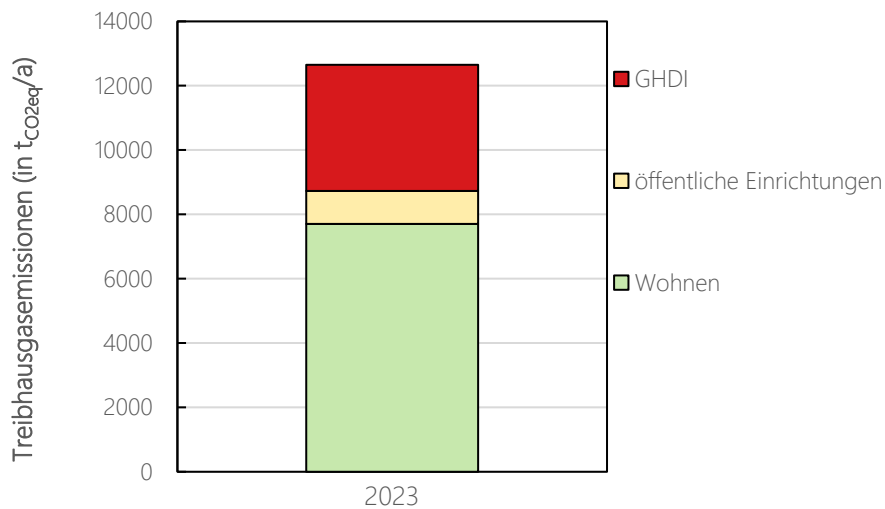


Abbildung 27: Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung nach Sektoren

Wie schon beim Endenergieverbrauch der Sektoren (Abbildung 23) angemerkt, ist der Einsatz von Heizöl speziell im Sektor Wohnen weit verbreitet (Abbildung 28). Aufgrund des hohen Emissionsfaktors für Heizöl fällt der Anteil an den Gesamtemissionen hier besonders hoch aus. Die Emissionen in den anderen Sektoren fallen vor allem wegen den hohen Anteilen an Fernwärme geringer aus.

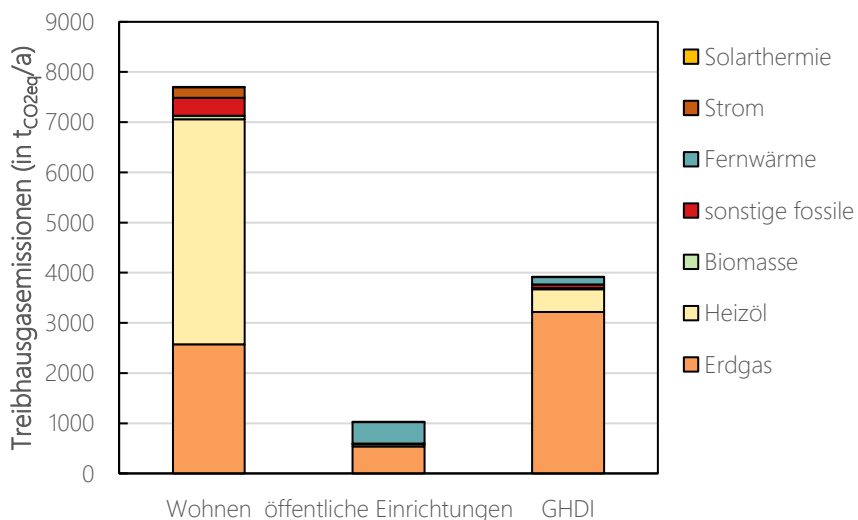


Abbildung 28: Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung nach Sektoren und Energieträger

2.4 Zwischenfazit Bestandsanalyse

Die Bestandsanalyse stellt durch Analyse von Daten der Netzbetreiber, der Schornsteinfeger, Fragebögen, Vor-Ort-Begehungen, Gebäudebasisdaten, statistischer Kennzahlen und weiterer Datenquellen den Status-Quo der Wärmeversorgung dar. Die Auswertung der Daten zeigt auf, welche Herausforderung durch die Wärmewende gestellt wird:

- 76 % der Gebäude in Schwarzach sind Wohngebäude, davon 79 % Einfamilienhäuser und je 10 % Doppel- bzw. Reihenhäuser und Mehrfamilienhäuser. Etwa 58 % der Wohngebäude

wurden vor 1979 errichtet und damit vor der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung, welche Mindestanforderungen an die Dämmung festlegte. Dies zeigt den großen Sanierungsbedarf, aber auch das Potenzial für Wärmeeinsparungen auf.

- Insgesamt beträgt der Wärmebedarf in Schwarzach rund 49 GWh/a. Mit 54 % wird der Großteil der Wärme im Sektor Wohnen benötigt. Die Sektoren Gewerbe-Handel-Dienstleistungen und Industrie tragen weitere 32 % zum Wärmebedarf bei. Etwa 14 % des Wärmebedarfs entfällt auf öffentliche Einrichtungen. Fokussiert tritt der Wärmebedarf insbesondere an der Abtei Münsterschwarzach, den Staatsgütern in Schwarzenau, den Gewächshäusern bei Düllstadt sowie im Ortskern von Stadtschwarzach auf.
- Die dezentrale Wärmebereitstellung in Schwarzach ist stark von Erdgas und Heizöl geprägt. Von 1.135 Zentralheizungsfeuerstätten werden etwa 56 % mit Erd- bzw. Flüssiggas und 35 % mit Heizöl betrieben. Weitere 9 % der Zentralheizungen verwenden Holz als Brennstoff. Das Durchschnittsalter der Raumheizer liegt mit über 21 Jahren in einem Bereich, in dem auf absehbare Zeit ein Heizungsaustausch anstehen kann. Gerade hier ist in den kommenden Jahren mit einem enormen Handlungsbedarf zu rechnen.
- Die zentrale Wärmeversorgung in zwei Wärmenetzen versorgt aktuell die Abtei Münsterschwarzach sowie die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in Schwarzenau. Knapp 48 % der Fernwärme in Schwarzach stammt aus Biomasse, 46 % aus Biogas und die übrigen 7 % aus Heizöl.
- Von den benötigten 49 GWh/a Wärmebedarf wird ein großer Teil durch Erdgas (47 %), Heizöl (28 %) und sonstigen Fossilen (3 %) bereitgestellt. Weitere 12 % werden durch Fernwärme versorgt. Erneuerbare Energien (excl. Fernwärme) stammen insbesondere aus Biomasse (8 %) und Solarthermie (1 %). Elektrische Heizungen tragen knapp 2 % zur Wärmeversorgung bei und nutzen dabei einerseits Umweltwärme und andererseits teilweise erneuerbaren Strom.
- Bezogen auf den Endenergieeinsatz beträgt der Anteil erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme aktuell rund 21 %.
- Insgesamt werden in Schwarzach aktuell jährlich rund 12.700 Tonnen CO₂-Äquivalente für Wärmezwecke ausgestoßen. Hauptverursacher für die Emissionen sind Erdgas und Heizöl. 61 % der Emissionen werden vom Sektor Wohnen, 31 % von den Sektoren GHDI und 8 % vom öffentlichen Sektor ausgestoßen.

Nach dem Wärmeplanungsgesetz muss die Wärmeerzeugung bis zum Jahr 2045 klimaneutral werden. Die Bestandsanalyse zeigt den Ausgangspunkt für die Wärmewende, verdeutlicht die Herausforderung und bietet für alle weitergehenden Schritte die notwendige Datenlage.

3 Potenzialanalyse

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird strukturiert ermittelt, welches Potenzial vor Ort zur Verfügung steht, um eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen. Dabei spielen mehrere Säulen eine zentrale Rolle. Einerseits werden erneuerbare Energien als zentrales Potenzial für grüne Wärme betrachtet (Kapitel 3.1). Diese können beispielsweise Solarthermie, Geothermie, Biomasse oder auch Aquathermie umfassen. Andererseits werden Abwärmequellen innerhalb des Gemarkungsgebiets identifiziert (Kapitel 3.2), wie etwa aus Abwasser oder aus industriellen oder gewerblichen Unternehmungen. Auch der Ausbau von Wärmespeichern wird als wesentliches Potenzial zum Gelingen der Wärmewende betrachtet (Kapitel 3.3). Zusätzlich wird untersucht, wie Energieeinsparung und Prozesseffizienz den Wärmebedarf in der Zukunft beeinflussen und reduzieren können (Kapitel 3.4).

Alle diese Informationen sind zentrale Bestandteile für die Entwicklung der Wärmewendestrategie an späterer Stelle. Sie zeigen den Rahmen auf, innerhalb dessen sich regionale, klimaneutrale Wärmeversorgungskonzepte bewegen können.

Wichtig ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die im Folgenden dargestellten Potenziale im Wesentlichen technische Potenziale darstellen. Diese bestimmen je Energiequelle, wie viel Ertrag mit üblichen technischen Anlagen auf den verfügbaren Flächen möglich ist. Dabei werden u.a. auch rechtliche Rahmenbedingungen berücksichtigt, ebenso wie technologische Grenzwerte. Allerdings werden wirtschaftliche Einflussfaktoren (bspw. Erschließungs- und Investitionskosten und deren Verhältnis zu möglichen Erträgen) nicht explizit einbezogen. Ob ein Potenzial auch wirtschaftlich gehoben werden kann, muss im Einzelfall beurteilt werden.

3.1 Potenzial zur Nutzung erneuerbarer Energien

Um das Potenzial erneuerbarer Energien zu quantifizieren, wird ein Indikatorenmodell eingesetzt. In diesem werden jeder Fläche in der Gemarkung Eigenschaften (Indikatoren) zugewiesen. Damit werden zunächst Positivflächen definiert, auf denen eine Nutzung erneuerbarer Energien grundsätzlich möglich ist. Dies können bei Photovoltaikanlagen beispielsweise Flächen im Umkreis von Autobahnen und Bahnstrecken sein, ebenso wie benachteiligte Gebiete gemäß PV-Förderkulisse.

Von diesen Positivflächen werden Flächen mit Restriktionskriterien abgezogen. Diese Kriterien schließen eine energetische Nutzung explizit aus. Im Beispiel der Photovoltaikanlagen können dies beispielsweise Gewässer, Waldflächen, Hochwassergefahrenflächen, Flächen mit starker Hangneigung, etc. sein. Die Restriktionskriterien können dabei hart oder weich sein. Harte Kriterien schließen eine energetische Nutzung aus. Weiche Kriterien schließen eine Nutzung nicht aus, reduzieren jedoch die Eignung der Fläche.

Um dieser Unterscheidung Rechnung zu tragen, wird im Folgenden zwischen einem bedingt geeigneten und einem geeigneten Potenzial differenziert. Das bedingt geeignete Potenzial berücksichtigt lediglich die harten Restriktionskriterien. Das geeignete Potenzial schließt darüber hinaus Flächen mit weichen Restriktionskriterien aus.

Die verfügbaren Flächen werden abschließend mit technologiespezifischen Faktoren in ein energetisches Potenzial gewandelt.

3.1.1 Photovoltaik und Solarthermie

Für die Nutzung von solarer Energie stehen sowohl PV-Anlagen als auch Solarthermieanlagen zur Verfügung. Erstere wandeln die Strahlungsenergie der Sonne in elektrischen Strom um, welcher später beispielsweise in Wärmepumpen zur Wärmeversorgung genutzt werden kann. Letztere erzeugen direkt Wärme aus der Solarstrahlung auf einem Niveau von etwa 80 bis 150 °C abhängig von der Kollektorart.

Sowohl PV- als auch Solarthermieanlagen können auf der freien Fläche und auf Gebäudedächern installiert werden. Das lokal vorhandene Potenzial soll in den folgenden Kapiteln abgeschätzt werden.

3.1.1.1 Freiflächen-Photovoltaik

Zur Quantifizierung des Potenzials von Strom aus Freiflächen-Photovoltaik wird zunächst die geeignete und bedingt geeignete Fläche für deren Errichtung bestimmt. Als Positivfläche wird dazu zunächst die PV-Freiflächenkulisse des Energieatlas Bayern¹ herangezogen, anhand der Kategorisierung können dann direkt geeignetes und bedingt geeignetes Potenzial zu den Flächen zugeteilt werden. Zusätzlich werden Seitenrandstreifen von Autobahnen und Schienenwegen (200 m nach BauGB, 500 m nach EEG 2023) sowie landwirtschaftlich benachteiligte Gebiete als potenzielle Förderflächen für den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen ausgewiesen.

Von den Positivflächen werden Restriktionsflächen wie PV- und Windbestandsanlagen, Ortslageflächen, Gebäude, Verkehrswege, Strommasten und Umspannwerke abgezogen. Resultierende Flächen unter 500 m² werden ebenfalls ausgeschlossen, da auf diesen kein wirtschaftlich sinnvoller Betrieb der Anlagen naheliegend scheint.

Insgesamt beläuft sich die geeignete Fläche auf 497 ha. Das bedingt geeignete Potenzial ergibt weitere 386 ha. Unter Annahme eines mittleren spezifischen Flächenbedarfs von 10 m²/kWp für Freiflächen-PV und eines jährlichen spezifischen Ertrags in Schwarzach² von 1.129 kWh/kWp ergibt sich somit ein technisches Potenzial von 884 MWp bzw. 997 GWh/a. Zusätzlich zu den ausgewiesenen Potenzialflächen wird Freiflächen-PV bereits auf einer Fläche von 21 ha genutzt. Im Bestand ergibt sich damit eine installierte Leistung von ca. 13 MWp mit einem jährlichen Stromertrag von 14 GWh/a. (Tabelle 5)

¹ <https://www.karten.energieatlas.bayern.de/start/?c=677751,5422939&z=8&r=0&l=atkis&mid=0>

² <https://globalsolaratlas.info/map?c=49.799818,10.230499,11&s=49.799818,10.230499&m=site>

Tabelle 5: Übersicht geeigneter und bedingt geeigneter Flächen für die Errichtung von Freiflächen-PV-Anlagen

	Fläche (ha)	Installierbare Leistung (MWp)	Jährlicher Stromertrag (GWh/a)
Geeignetes Potenzial	497	497	561
Bedingt geeignetes Potenzial	386	386	436
Summe	884	884	997
Bestand	21	13	14

Abbildung 29 stellt die resultierenden verfügbaren Flächen kartografisch dar. Die Errichtung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen ist in großen Teilen des Gemeindegebiets möglich. Hauptsächlich ausgeschlossen sind Gewässerflächen sowie Hochwassergefahrenflächen am Main, Waldflächen und Siedlungsgebiete. Im südlichen Gemeindegebiet sind die Randsteifen der A3 bis auf 500 m Entfernung als Förderflächen anzusehen, allerdings ist auch fast das gesamte Gemeindegebiet mit Ausnahme einiger Flächen östlich der Abtei als landwirtschaftlich benachteiligt und somit als PV-Förderfläche eingestuft.

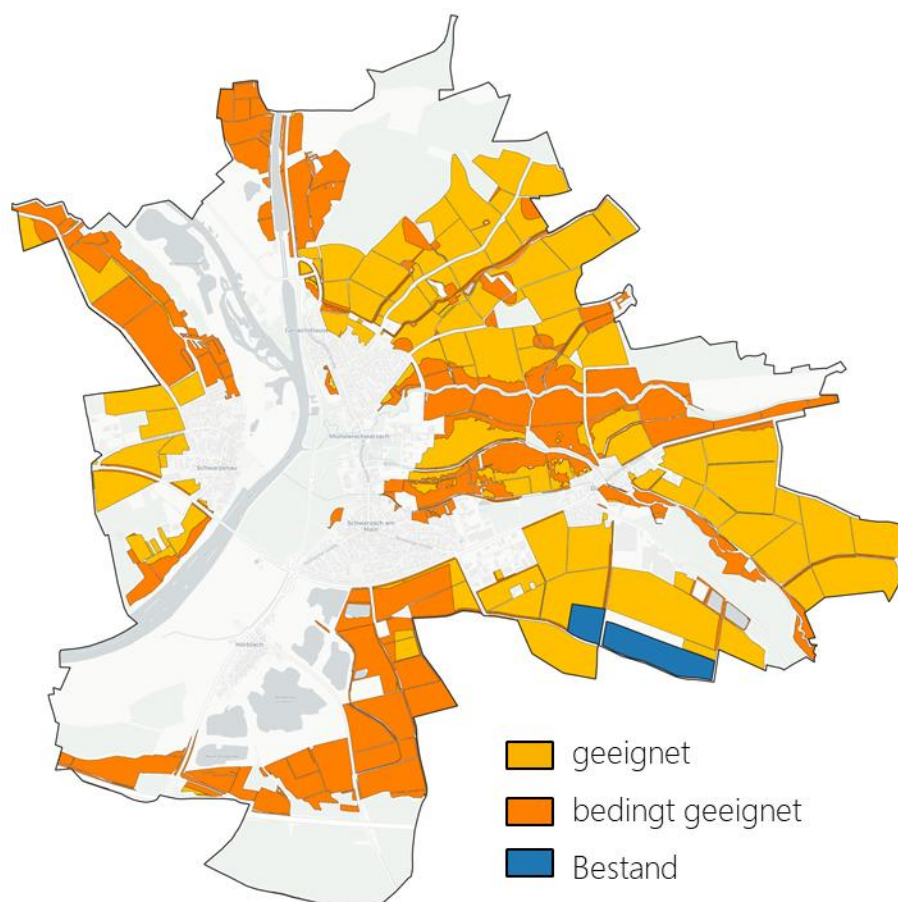


Abbildung 29: Geeignete und bedingt geeignete Potenzialflächen für die Errichtung von Freiflächen-PV-Anlagen sowie Flächen von bestehenden und geplanten Anlagen

3.1.1.2 Freiflächen-Solarthermie

Freiflächen-Solarthermieanlagen bieten insbesondere für Wärmenetze die Möglichkeit, nachhaltige und oftmals günstige Wärme bereitzustellen und können in vielfachen Systemkombinationen Einsatz finden. Insbesondere in den Sommer- und Übergangsmonaten kann zentrale Solarthermie Wärme in ein Wärmenetz einspeisen und so den Einsatz anderer Energieträger vermeiden. Wird Solarthermie mit saisonalen Speichern gekoppelt, kann sie auch ganzjährig signifikant zur Wärmeversorgung in Wärmenetzen beitragen.

Das Vorgehen zur Bestimmung der geeigneten und bedingt geeigneten Flächen verläuft analog zur Betrachtung der Freiflächen-PV-Anlagen. Als weiteres Restriktionskriterium kommt jedoch noch ein maximaler Abstand zur nächstgelegenen Siedlung von 500 m zum Einsatz. Dies soll verhindern, dass solare Wärme über technisch und wirtschaftlich unvorteilhaft weite Distanzen zum Verbrauch transportiert werden muss. Die resultierenden Flächen werden in Abbildung 30 dargestellt.

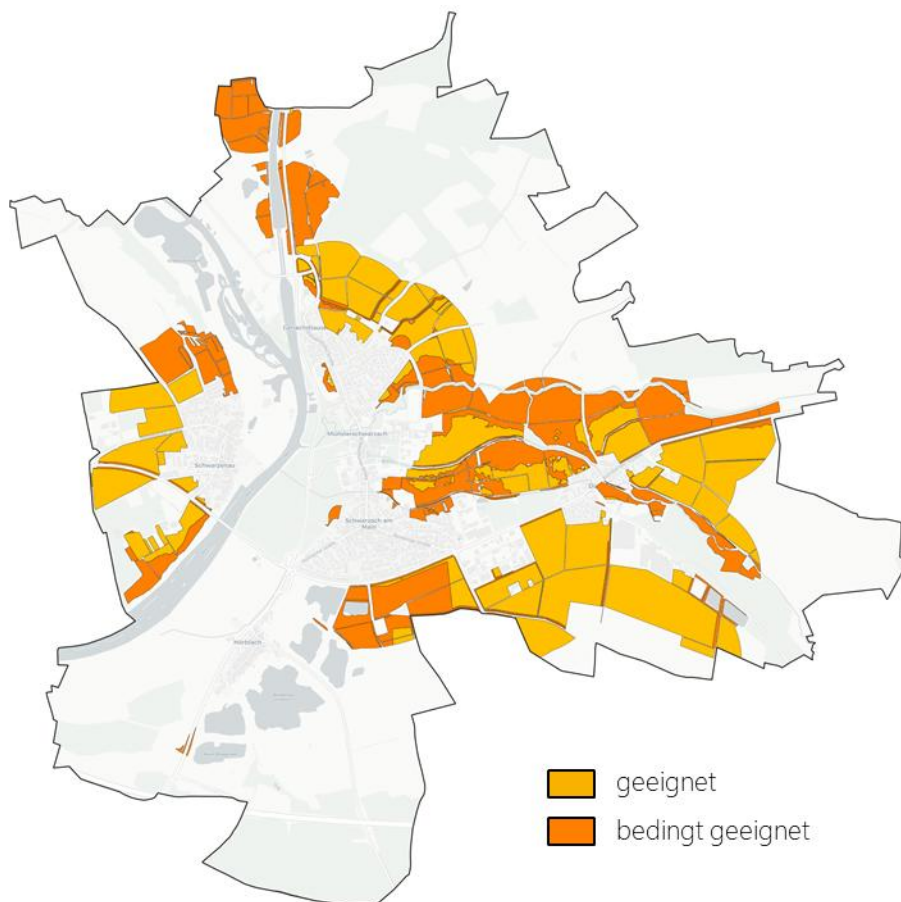


Abbildung 30: Geeignete und bedingt geeignete Potenzialflächen für die Errichtung von Freiflächen-Solarthermieanlagen

Die gesamt verfügbare geeignete Fläche beläuft sich auf 264 ha. Bedingt geeignete Flächen belaufen sich auf weitere 206 ha. Unter Annahme üblicher Belegungsdichten und Aufständierungen kann auf dieser Fläche eine gesamte Kollektorfläche von 1.879.561 m² installiert werden. Bei einem praxisüblichen

Jahresnutzungsgrad von 40 % für Solarthermiegroßprojekte und einer regionalen Globalstrahlung¹ von 1.147 kWh/(m²*a) ist auf diesen Flächen somit ein jährlicher, aktuell noch ungenutzter Gesamtwärmeertrag von 849 GWh möglich (Tabelle 6).

Tabelle 6: Übersicht geeigneter und bedingt geeigneter Flächen für die Errichtung von Freiflächen-Solarthermieanlagen

	Fläche (ha)	Installierbare Kollektorfläche (m ²)	Jährlicher Wärmeertrag (GWh/a)
Geeignetes Potenzial	264	1.056.546	477
Bedingt geeignetes Potenzial	206	823.015	372
Summe	470	1.879.561	849

3.1.1.3 Aufdach-Photovoltaik

Neben Photovoltaik-Anlagen auf Freiflächen wird auch das Potenzial von Aufdach-Photovoltaikanlagen ermittelt. Dafür wird der vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte Solaratlas EO Solar herangezogen. Der Solaratlas verwendet digitalisierte Oberflächenmodelle des Geländes als Grundlage. Diese beschreiben die Erdoberfläche und werden durch Airborne Laserscanning (ALS) - Daten oder bildbasierte Digitale Oberflächenmodelle aus der Korrelation mit orientierten Luftbildern erzeugt. Das genutzte digitale Oberflächenmodell DOM1 hat eine Rasterweite von 1 m. Den DOM-Daten lassen sich neben Informationen über die Gebäude auch Informationen über das umgebende Gelände und Bäume entnehmen. So werden Verschattungen in der Berechnung berücksichtigt.

Zur Identifizierung von Dachflächen und Berechnung der Solarenergiepotenziale verwendet der Solaratlas die Software ArcGisPro®. Die Solarstrahlung wird für alle Flächen unter Beachtung der Sonnenstunden pro Tag für die jeweilige geographische Lage und der Neigung und Ausrichtung der Dachflächen bestimmt. Die Neigung und Ausrichtung der Dachflächen werden mithilfe der DOM-Daten berücksichtigt, Gebäudeaufbauten werden allerdings nicht erfasst. Für jedes Dach wird eine mittlere Solarstrahlung in Wh/m² berechnet.

Dächer mit nordseitiger Ausrichtung (337,5°-22,5°) und Dächer mit einer Neigung > 45° werden ausgeschlossen. Zur Bestimmung der elektrischen Leistung werden PV-Module mit einem Wirkungsgrad von 19 % und einem Performance-Ratio von 86 % angenommen. Das Performance-Ratio bezeichnet das Verhältnis aus tatsächlichem Ertrag und nominalen Ertrag einer PV-Anlage.

Das Gesamtpotenzial für das Gemeindegebiet Schwarzach beträgt 48,0 GWh/a. Durch Abgleich der im Marktstammdatenregister registrierten Solaranlagen wird aus dem Gesamtpotenzial das Ausbaupotenzial ermittelt. Derzeit haben 16 % der Gebäude eine PV-Anlage und 12 % des gesamten

¹ <https://globalsolaratlas.info/map?c=49.799818,10.230499,11&s=49.799818,10.230499&m=site>

Solardachpotenzials sind bereits ausgeschöpft. Dies entspricht einem aktuell genutzten Potenzial von 5,6 GWh/a (Quelle: EO Solar).

Abbildung 31 zeigt die gebäudescharfe Darstellung des Solardach-Potenzials in Schwarzach, die Gebäude sind je nach Potenzial eingefärbt. Allerdings basiert die Darstellung auf Open Street Maps Daten, während die Berechnung auf Grundlage des DOM erfolgt. Aus diesem Grund kann der EO Solaratlas nicht zur Potenzialanalyse einzelner Gebäude herangezogen werden.

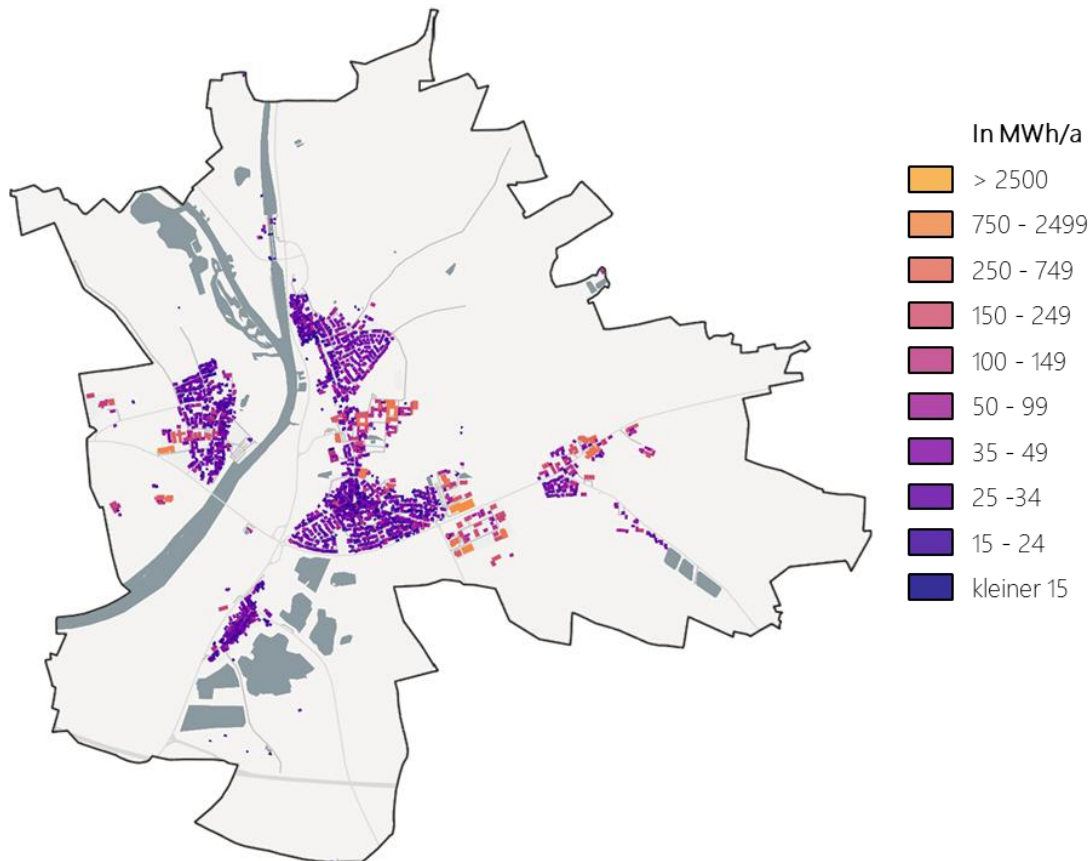


Abbildung 31: Gebäudescharfes Aufdach-PV-Potenzial im EO Solaratlas

3.1.1.4 Aufdach-Solarthermie

Auch Solarthermie-Anlagen können auf Dachflächen installiert werden, wobei sich grundsätzlich die gleichen Dachflächen für Solarthermie und Photovoltaik eignen. Somit stehen die beiden Technologien in Standortkonkurrenz und es muss sich im Einzelfall für eine der beiden Technologien entschieden werden. Die kommunale Wärmeplanung umfasst nicht die detaillierte Ermittlung der Solarthermie-Potenziale auf allen Dachflächen, dennoch können ausgehend vom Aufdach-PV-Potenzial Abschätzungen unternommen werden. Werden die für PV geeigneten Dachflächen auch für Solarthermie angesetzt, so ergibt sich mit einem mittleren jährlichen Ertrag von $455 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ein gesamtes Solarthermie-Potenzial von $116 \text{ GWh}_{\text{th}}/\text{a}$.

Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der besseren Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen zukünftig der Großteil der geeigneten Dachflächen für Photovoltaik genutzt wird. Ein mögliches Szenario wäre die Deckung von 50 % des Warmwasserbedarfs privater Haushalte über Aufdach-Solarthermieanlagen.

Ausgehend von einer Gesamtwohnfläche in Schwarzach von 178.113 m^2 (Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik, Statistik kommunal 2022) und einem spezifischen Energiebedarf für die

Brauchwassererwärmung von $12,5 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}} \cdot \text{a})$ ergibt sich ein jährlicher Gesamtenergiebedarf von 2,2 GWh/a für die Brauchwassererwärmung. Werden davon 50 % durch Solarthermie gedeckt, so ist eine Kollektorfläche von 2.446 m^2 notwendig. Dies entspricht ca. 1 % der gesamten für solare Nutzung geeigneten Dachfläche in Schwarzach.

Gemäß Solaratlas¹ werden in Schwarzach aktuell 0,67 GWh/a Wärme auf 1.481 m^2 Kollektorfläche über Solarthermieanlagen bereitgestellt. Zur Ausschöpfung des oben genannten Potenzials ist also noch eine Dachfläche von rund 965 m^2 notwendig.

3.1.2 Oberflächengeothermisches Potenzial

Eine weitere mögliche erneuerbare Energiequelle ist die Nutzung von geothermischer Wärme. Oberflächennahe Geothermie bezieht sich dabei meist auf den Bereich bis 400 m unterhalb der Erdoberfläche. Die dort vorhandene Wärme kann durch Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau gehoben werden. Die Funktionsweise der Wärmepumpen erlaubt dabei, den Großteil der benötigten Energie aus der Umwelt zu beziehen und nur einen kleinen Teil in Form von Strom aktiv aufwenden zu müssen. Die im Erdreich gespeicherte Wärme kann dabei durch Erdwärmübertrager entzogen und Wärmepumpen zugeführt werden. Unterschieden wird im Wesentlichen zwischen Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren.

3.1.2.1 Erdwärmesonden

Erdwärmesonden werden vertikal oder schräg in das Erdreich getrieben. Dadurch erreichen sie tiefere Schichten des Erdreichs, welche höhere und konstantere Temperaturen aufweisen. Dadurch versprechen Erdwärmesonden höhere Wirkungsgrade und geringeren Flächenbedarf. Allerdings sind sie in der Errichtung durch die Bohrarbeiten kostenintensiver.

Bei der Betrachtung der grundsätzlichen Eignung von Erdwärmesonden müssen zahlreiche Restriktionskriterien berücksichtigt werden. Diese umfassen insbesondere Gewässerschutz und geologische Aspekte. Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) stellt zu diesem Zweck Potenzialkarten für oberflächennahe Geothermie zur Verfügung.

Abbildung 32 stellt grundsätzliche Eignungs- und Ausschlussgebiete für Erdwärmesonden in Schwarzach dar.

¹ <https://www.solaratlas.de/>

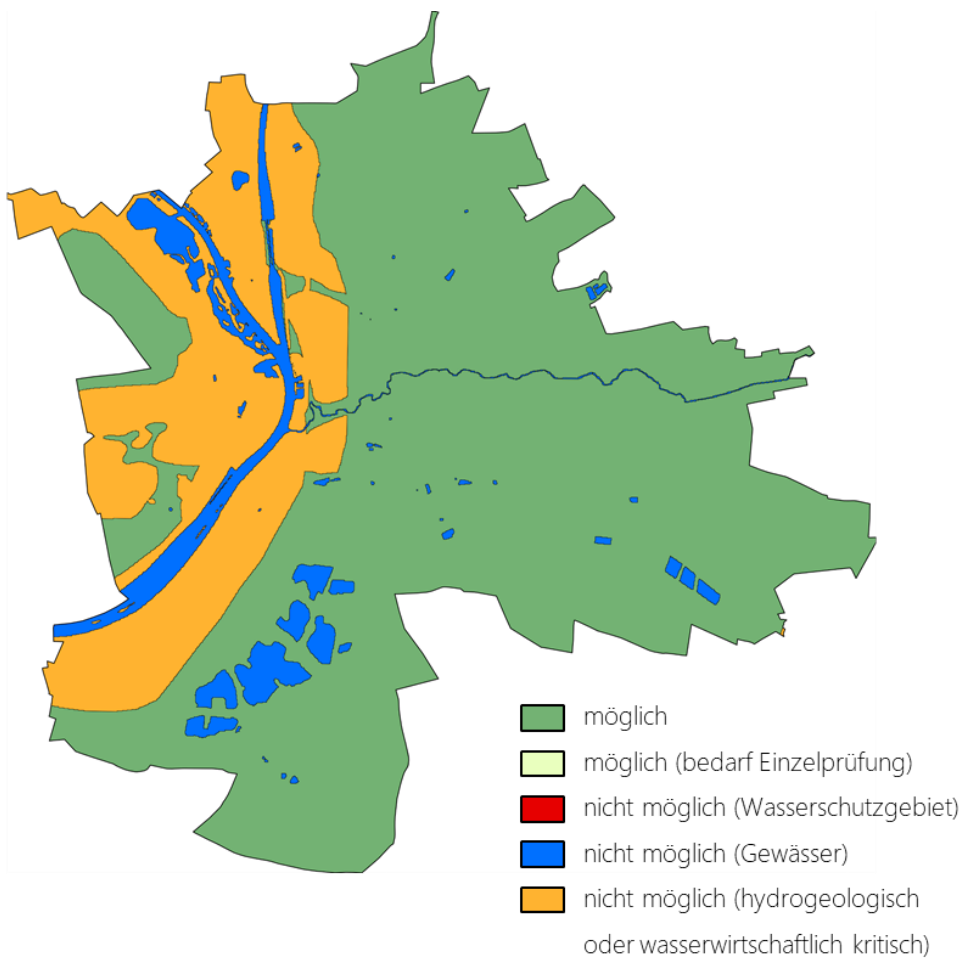


Abbildung 32: grundsätzliche Eignungs- und Ausschlussgebiete für die Nutzung von Erdwärmesonden

Der Einsatz von Erdwärmesonden ist im Gemeindegebiet Schwarzach insbesondere durch Gewässer und Wasserschutzgebiete eingeschränkt. Schwarzenau und die westliche Hälfte von Gerlachshausen befinden sich im Wasserschutzgebiet, in den übrigen Siedlungsgebieten ist die Nutzung generell uneingeschränkt möglich.

Aufbauend auf der grundsätzlichen Eignungskarte werden im Indikatormodell Restriktionsflächen ermittelt und von der geeigneten Fläche abgezogen. Dies umfasst beispielsweise Flächen, die nicht in unmittelbarer Umgebung zu beheizter Bebauung liegen. Oberflächengeothermische Nutzung außerhalb von Siedlungsgebieten ist für Wärmenetzkonzepte zwar eine attraktive Option, wird im Rahmen dieser kommunalen Wärmeplanung jedoch nicht explizit als Potenzial ausgewiesen, sondern muss im Rahmen der einzelnen Wärmenetzkonzepte explizit untersucht werden. Dazu kann die Karte zu grundsätzlichen Eignungs- und Ausschlussgebieten (Abbildung 32) herangezogen werden. Darüber hinaus werden im vorliegenden Indikatormodell u. a. Verkehrswege, Gewässer oder Wasserschutzgebiete von der Nutzung ausgeschlossen. Zu kleine Flächen werden aufgrund schlechter Zugänglich- und Erschließbarkeit ebenfalls ausgeschlossen. Abbildung 33 stellt die Potenzialflächen für Erdwärmesonden incl. der möglichen Entzugsleistungen kartografisch dar.

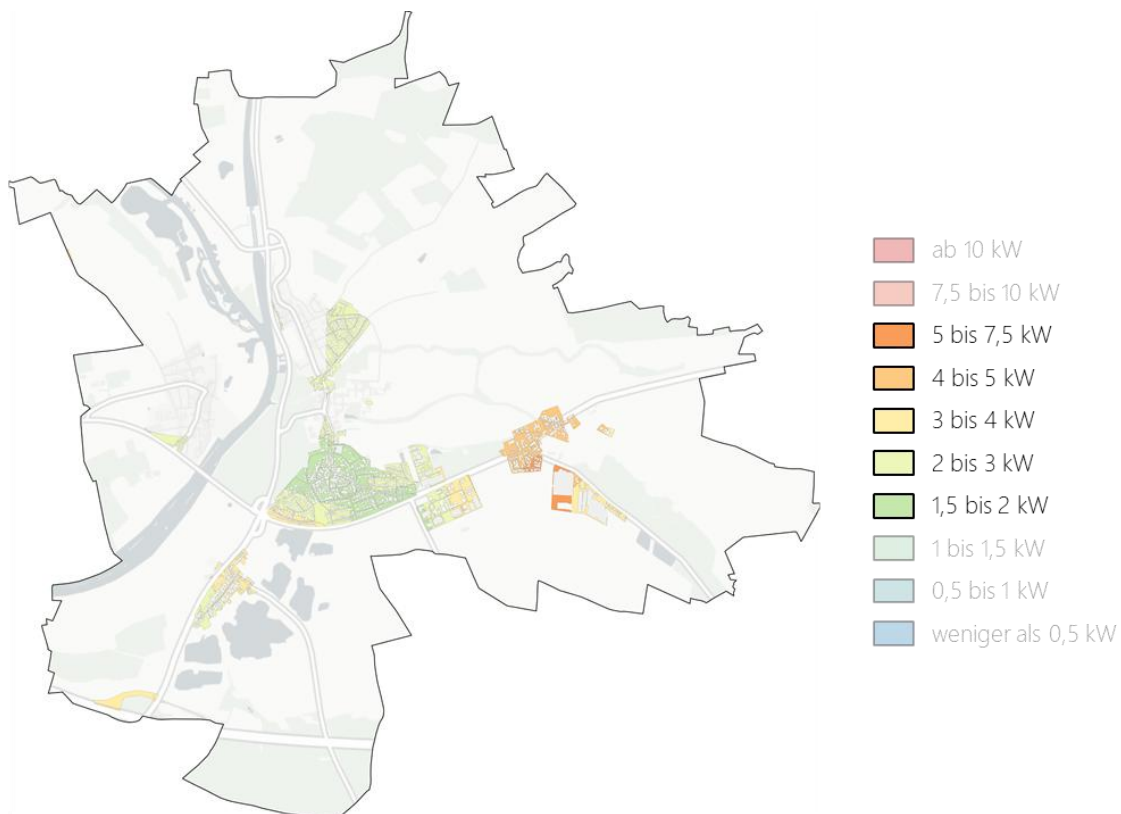


Abbildung 33: Potenzialflächen für die Errichtung von dezentralen oberflächennahen Erdwärmesonden

Das Bayerische Landesamt für Umwelt stellt Informationen über mögliche Entzugsleistungen der Erdwärmesonden bereit. Die Entzugsleistungen werden auf Grundlage standortspezifischer möglicher Bohrtiefen und Wärmeleitfähigkeiten des Bodens ermittelt. Das Potenzial wird nur für Gebiete mit einer minimalen Bohrtiefe von 30 m quantifiziert. Nach Daten des LfU ist die Nutzung von Erdwärmesonden somit hauptsächlich in den westlichen Gebieten um Düllstadt und die südlichen Gewächshäuser naheliegend.

Unter Annahme typischer Abstände zwischen den Sondenbohrungen und 1.800 Jahresvolllaststunden kann das Potenzial quantifiziert werden. Auf der Gesamtpotenzialfläche von 75 ha kann eine Entzugsleistung von 60 MW mit einem potenziellen jährlichen Wärmeentzug aus dem Erdreich von 109 GWh/a erreicht werden. Etwaiger Stromaufwand durch Wärmepumpen wurde dabei noch nicht berücksichtigt.

In Schwarzach sind vier Standorte von Erdwärmesonden bekannt, dargestellt in Abbildung 34. Zwei der Standorte befinden sich in den nach Abbildung 32 als möglich kategorisierten Gebieten, nur die Sonden in Schwarzenau befinden sich knapp im Wasserschutzgebiet.

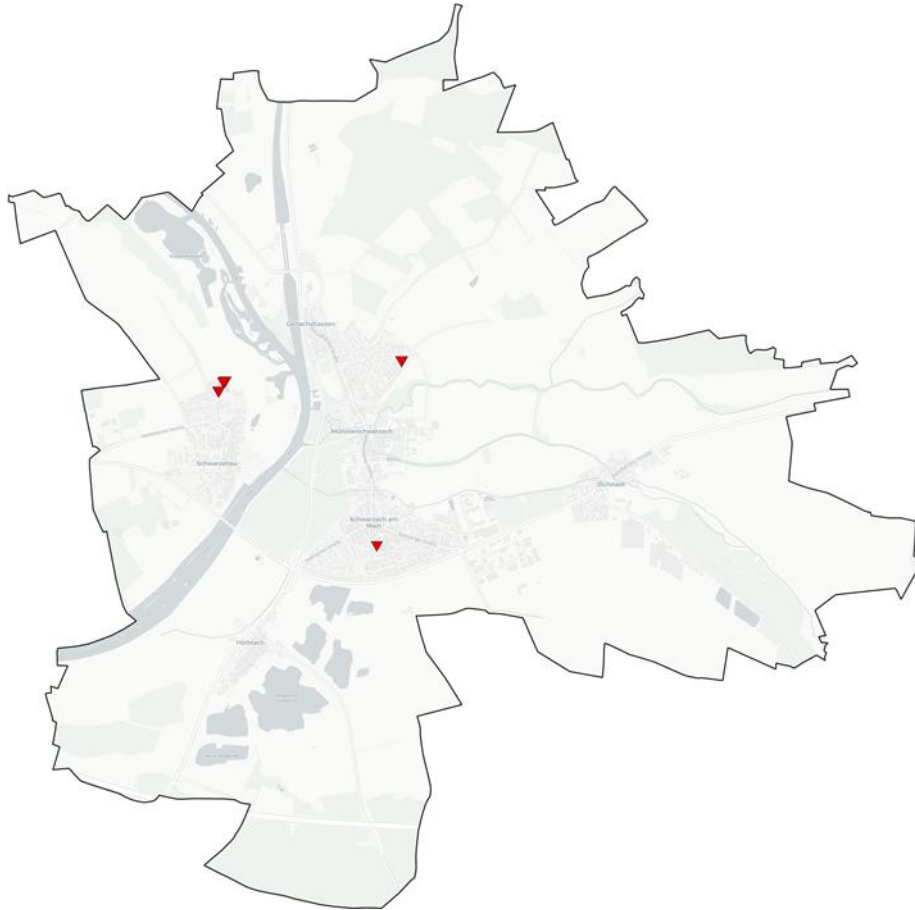


Abbildung 34: Standorte der bisher im Gemeindegebiet vorhandenen Erdwärmesonden (Quelle: Umweltatlas Bayern)

3.1.2.2 Erdwärmekollektoren

Im Gegensatz zu Erdwärmesonden werden Erdwärmekollektoren typischerweise in einer Tiefe von 1 bis 3 Metern horizontal verlegt. Dadurch versprechen sie deutlich geringere Installationskosten. Durch die geringere Tiefe ist die Temperatur jedoch deutlich stärker von Jahreszeiten abhängig, was insbesondere in den heizintensiven Wintermonaten zu geringeren Wirkungsgraden führt. Darüber hinaus ist durch die horizontale Verlegung ein deutlich größerer Flächenbedarf zu berücksichtigen. Üblicherweise wird davon ausgegangen, dass die benötigte Fläche von Erdwärmekollektoren etwa das 1,5- bis 2-fache der zu beheizenden Fläche betragen muss. Diese Option steht somit vor allem für Gebäude in Ortsrandlage oder mit ausreichend großem Garten zur Verfügung.

Analog zur Betrachtung der Erdwärmesonden wird als Ausgangspunkt die Analyse des Bayerischen Landesamts für Umwelt genutzt (Abbildung 35). Abgesehen von den Wasserschutzgebieten sowie Gewässern ist im gesamten Gebiet die Nutzung von Erdwärmekollektoren grundsätzlich möglich.

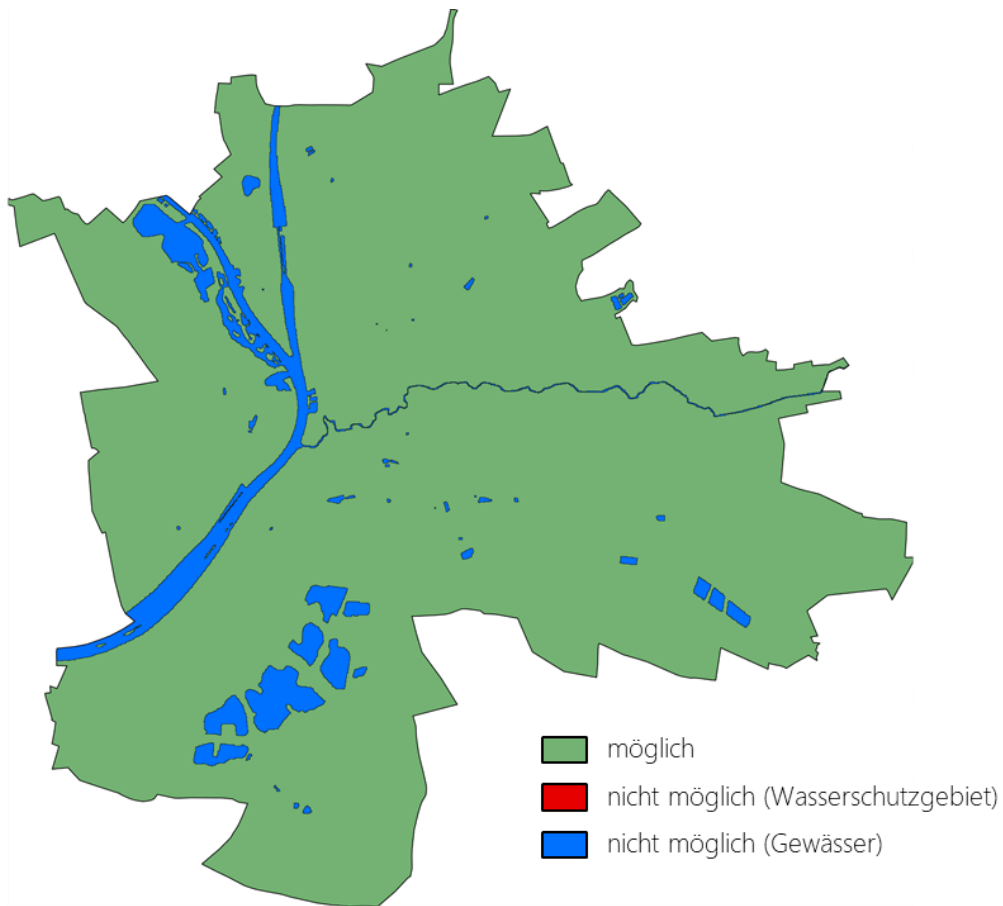


Abbildung 35: grundsätzliche Eignungs- und Ausschlussgebiete für die Nutzung von Erdwärmekollektoren¹

Die Karte der Eignungs- und Ausschlussgebiete wird erneut mit Restriktionsflächen verschnitten. Hierbei kommen zunächst dieselben Kriterien zum Einsatz wie bei der Betrachtung der Erdwärmesonden, allerdings wird hier davon ausgegangen, dass Erdwärmekollektoren nur in Wohngebieten zum Einsatz kommen. Aufgrund der geringen Verlegungstiefe von Kollektoren gibt es hier keine geologischen Restriktionen, dafür hängt der Verlegungsaufwand maßgeblich von der Grabbarkeit des Bodens ab. In Schwarzach gibt es außer Gewässern keine direkten Einschränkungen (Abbildung 36).

¹ www.lfu.bayern.de/gdi/wms/geologie/oberflaengeoethermie

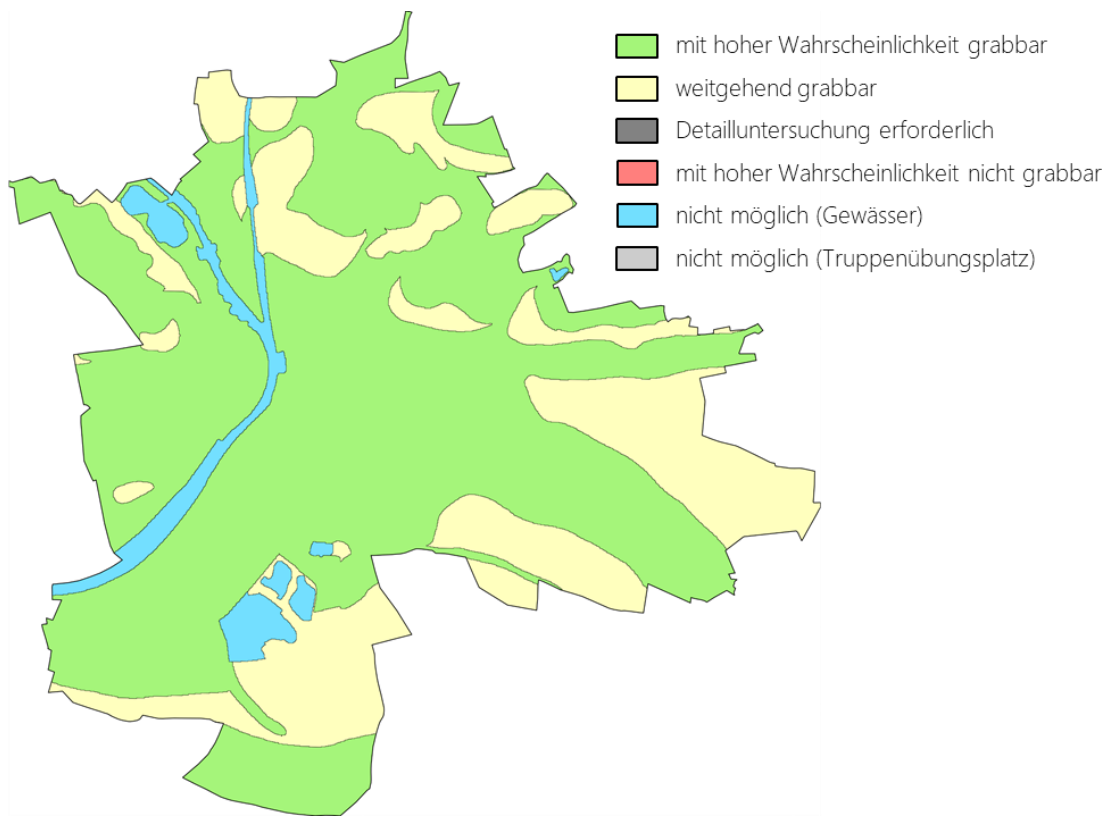


Abbildung 36: Grabbarkeit des Untergrundes bis etwa 1 m Tiefe

Das Ergebnis der Potenzial- und Negativflächen wird in Abbildung 37 dargestellt. Im Wesentlichen ist der Einsatz von Erdwärmekollektoren im ganzen Gemeindegebiet denkbar, speziell in der Altstadt kann allerdings davon ausgegangen werden, dass aufgrund der engen Bebauung kaum etwas des theoretischen Potenzials für Erdwärmekollektoren genutzt werden wird.

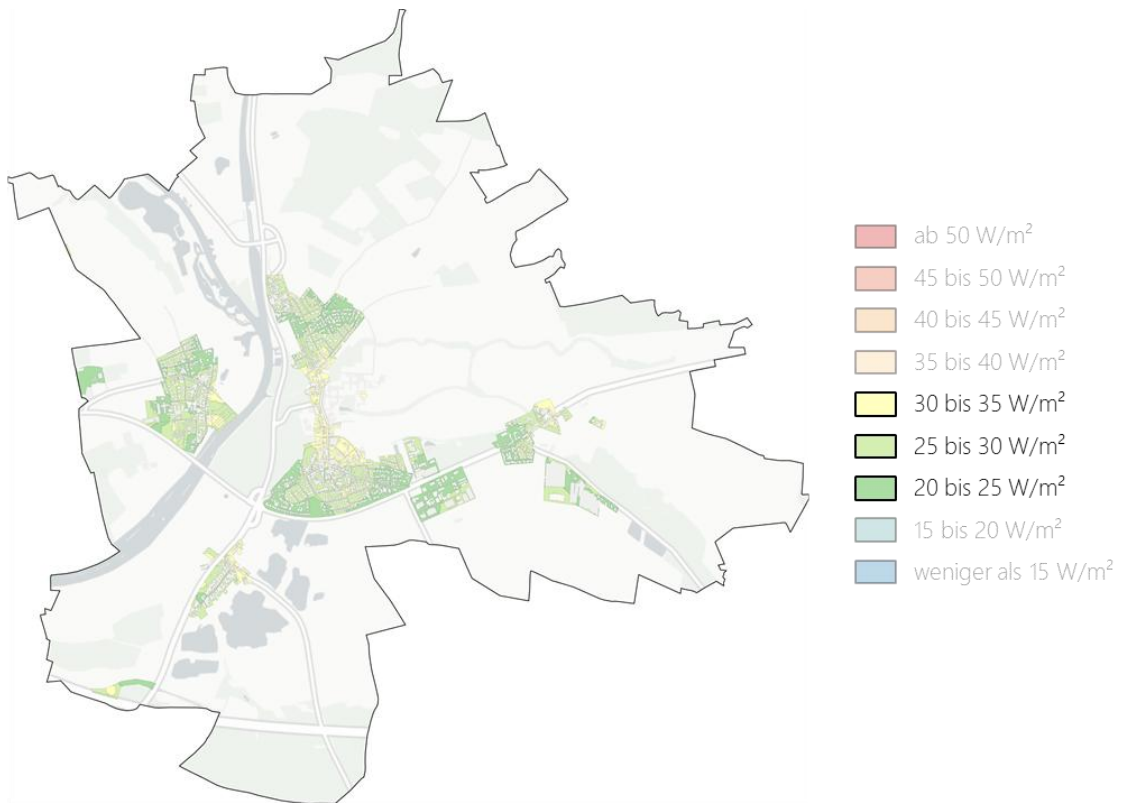


Abbildung 37: Potenzialflächen für die Errichtung von oberflächennahen Erdwärmekollektoren

Das Bayerische Landesamt für Umwelt stellt auch für horizontale Erdwärmekollektoren flächenspezifische Entzugsleistungen und Entzugsenergien bereit. Die Entzugsleistungen ergeben sich je nach Bodenart, wobei in Lehm, Schluff und Sand unterschieden wird. Berücksichtigt wird außerdem die durchschnittliche Umgebungstemperatur und die sich daraus ergebenden Heizgradtage. Zur Ermittlung der Entzugsenergien wird mit 1.800 Volllaststunden gerechnet.

Auf der grundsätzlich geeigneten Gesamtfläche von 112 ha kann so rechnerisch eine Entzugsleistung von 29 MW mit einem potenziellen jährlichen Wärmeentzug aus dem Erdreich von 53 GWh/a erreicht werden. Etwaiger Stromaufwand durch Wärmepumpen wurde dabei noch nicht berücksichtigt.

Erneut sei betont, dass dies ein technisch erzielbares Potenzial darstellt. Für den Einzelfall ist jeweils eine individuelle Prüfung erforderlich. Dies bedeutet u. a. eine Prüfung der Größe der vorhandenen Freifläche und der Bezug zur zu beheizenden Wohnfläche um sicherzustellen, dass ausreichend Kollektorfläche verlegt werden kann.

3.1.2.3 Grundwasserwärmepumpen

Als Quelle für Umgebungswärme dient bei dieser Variante das Grundwasser. Hierzu wird in einer Entnahmebohrung mit einer Tauchpumpe Wasser entnommen und in einer zweiten Bohrung (Schluckbrunnen bzw. Injektionsbohrung) wieder zurückgeführt. Das Prinzip ähnelt dabei dem der Tiefengeothermie – mit dem bedeutenden Unterschied des niedrigeren Temperaturniveaus durch die niedrigeren Teufen im Bereich bis typischerweise 50 m. Dadurch ist auch hier für Heizzwecke der Einsatz von Wärmepumpen notwendig.

Durch den Eingriff in das Grundwasser sind diese Systeme genehmigungspflichtig und unterliegen wasserwirtschaftlichen Einschränkungen. In Wasserschutzgebieten ist die Errichtung von Grundwasserwärmepumpen dadurch in der Regel nicht möglich. Weitere Randbedingungen für die

grundsätzliche Eignung sind die Tiefe, Mächtigkeit und mengenmäßige Verfügbarkeit des Grundwassers sowie die Bodenbeschaffenheit (z. B. Durchlässigkeit).

In Schwarzach ist die Errichtung von Grundwasserwärmepumpen in allen Siedlungsgebieten möglich bzw. nach Einzelfallprüfung möglich. Abbildung 38 stellt die grundsätzlich nutzbaren Flächen dar.

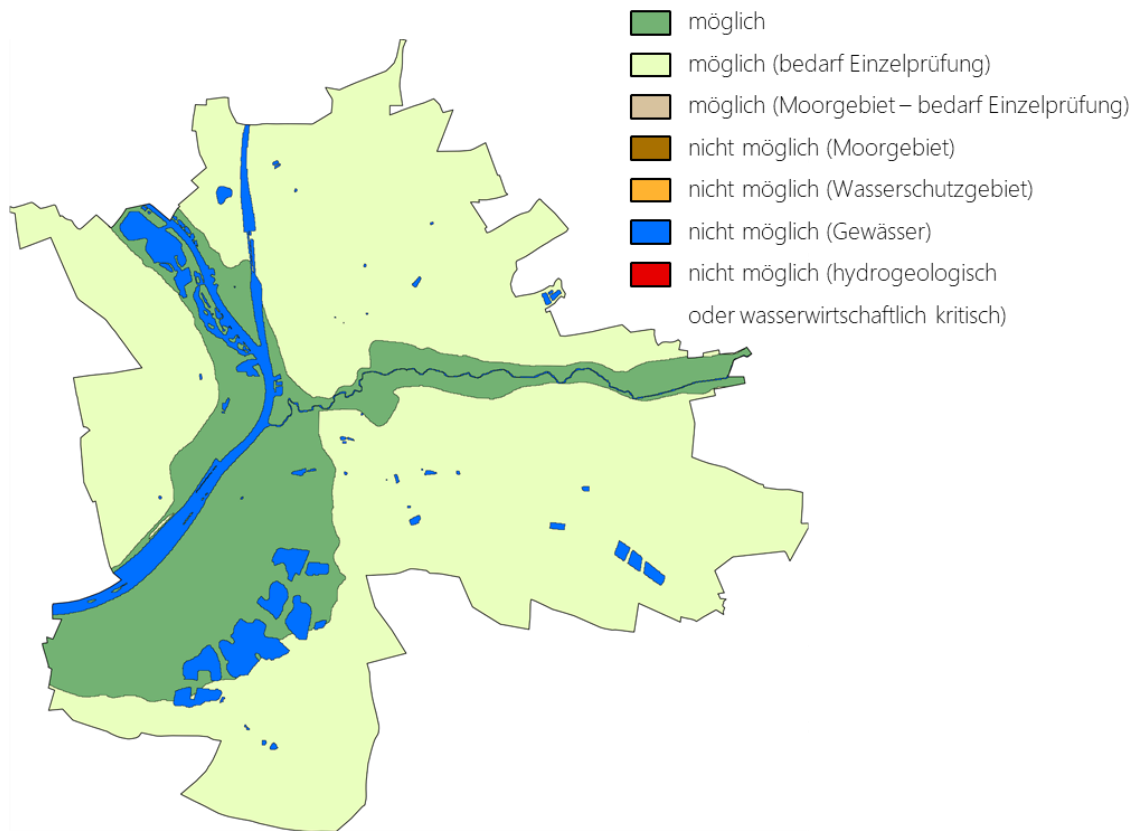


Abbildung 38: Grundsätzliche Eignungs- und Ausschlussgebiete für die Nutzung von Grundwasserwärmepumpen

Die Dublette aus Entnahme- und Injektionsbohrung muss nach der Fließrichtung des Grundwassers ausgerichtet werden. Das Potenzial ist limitiert durch die maximale Entnahmemenge an Grundwasser. Dieses hängt neben der im Untergrund verfügbaren Menge an Grundwasser auch vom Abstand der beiden Bohrungen ab. Wenn sich durch den Schluckbrunnen zurückgeführtes abgekühltes Wasser so rückvermischt, dass es die Entnahme negativ beeinflusst („thermische Kurzschluss“), führt dies zu einer Verringerung der Wärmepumpeneffizienz und hat im schlimmsten Fall Frostschäden an der Anlagentechnik zur Folge.

Die Quantifizierung des Potenzials erfolgt unter Nutzung der sogenannten Thermal Aquifer Methode (TAP-Methode)¹, welche oben genannten Faktoren berücksichtigt. Durch die starke Abhängigkeit der

1

https://www.cee.ed.tum.de/fileadmin/w00cbe/hydro/Pictures/pic_projects/EnergieAtlas/EAB_Abschlussbericht_final_20240408.pdf

Entnahmemenge und damit der möglichen Wärmepumpenleistung vom Bohrabstand und möglichen Nachbarbohrungen ist eine exakte Berechnung des Potenzials nicht möglich.

Die quantitative Bestimmung des gesamten Potenzials für Grundwasserwärmepumpen ist aufgrund schlechter Datenlage nicht uneingeschränkt möglich. Dies liegt an den unterschiedlichen geologischen Voraussetzungen der jeweiligen Teilgebiete von Schwarzach. Eine aktuelle Forschungsarbeit der TU München¹ berechnet das Potenzial in einigen grundsätzlich geeigneten Gebieten. Es liegen allerdings keine belastbaren Zahlen für alle theoretisch grundsätzlich geeigneten Flächen vor. Nachfolgende Abbildung 39 stellt das quantifizierbare Potenzial in Schwarzach auf Basis eines angenommenen Abstands von 10 m zwischen Entnahmebohrung und Schluckbrunnen dar. In allen anderen Flächen, die oben als geeignet bzw. nach Einzelfallprüfung geeignet ausgewiesen sind, müssen im Bedarfsfall individuelle Betrachtungen durchgeführt werden.

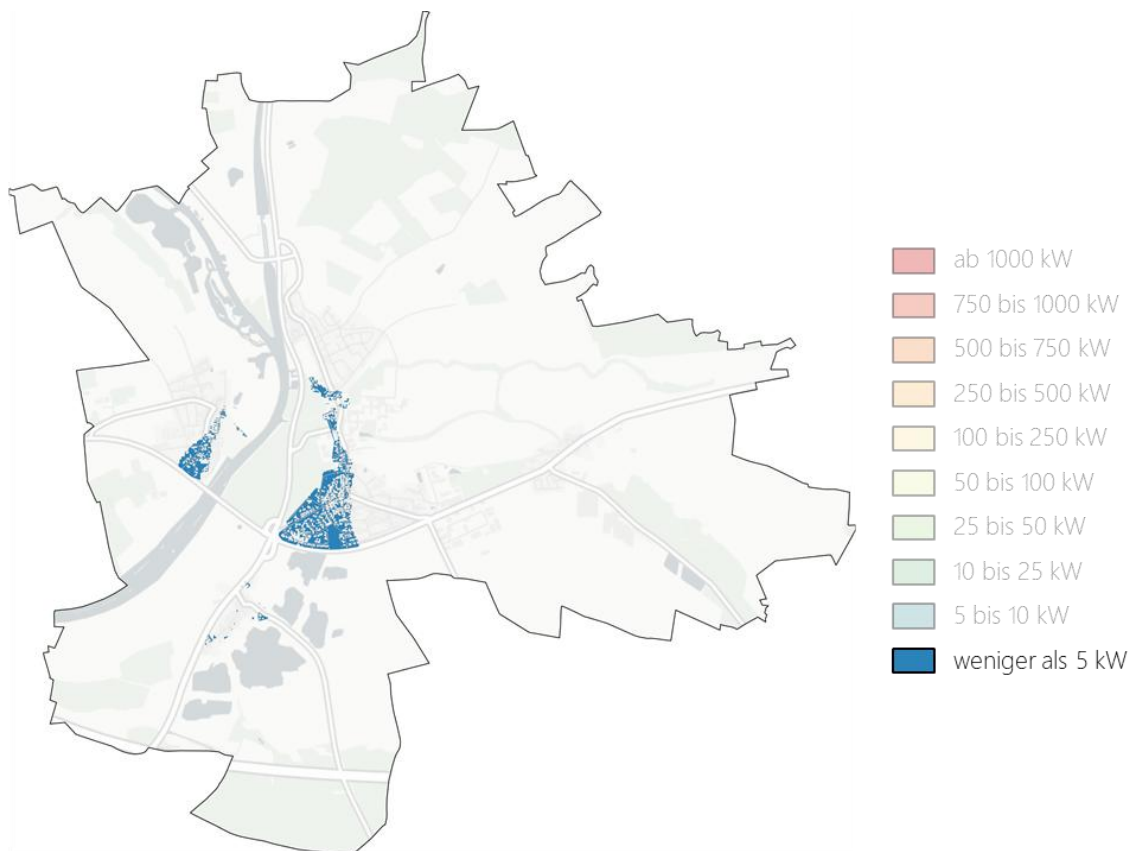


Abbildung 39: Potenzialflächen für die Errichtung von Grundwasserwärmepumpen

Unter diesen Annahmen berechnet sich das Potenzial für ganz Schwarzach zu etwa 3 GWh/a. Aufgrund der notwendigen Genehmigungen und der möglichen Wechselwirkungen mehrerer Bohrungen ist das Potenzial als bedingt geeignet einzustufen. Dass allerdings auch eine Nutzung von Grundwasserwärmepumpen außerhalb der Potenzialflächen möglich ist, zeigt Abbildung 40. Aktuell sind im BayernAtlas zwei Dubletten eingetragen.

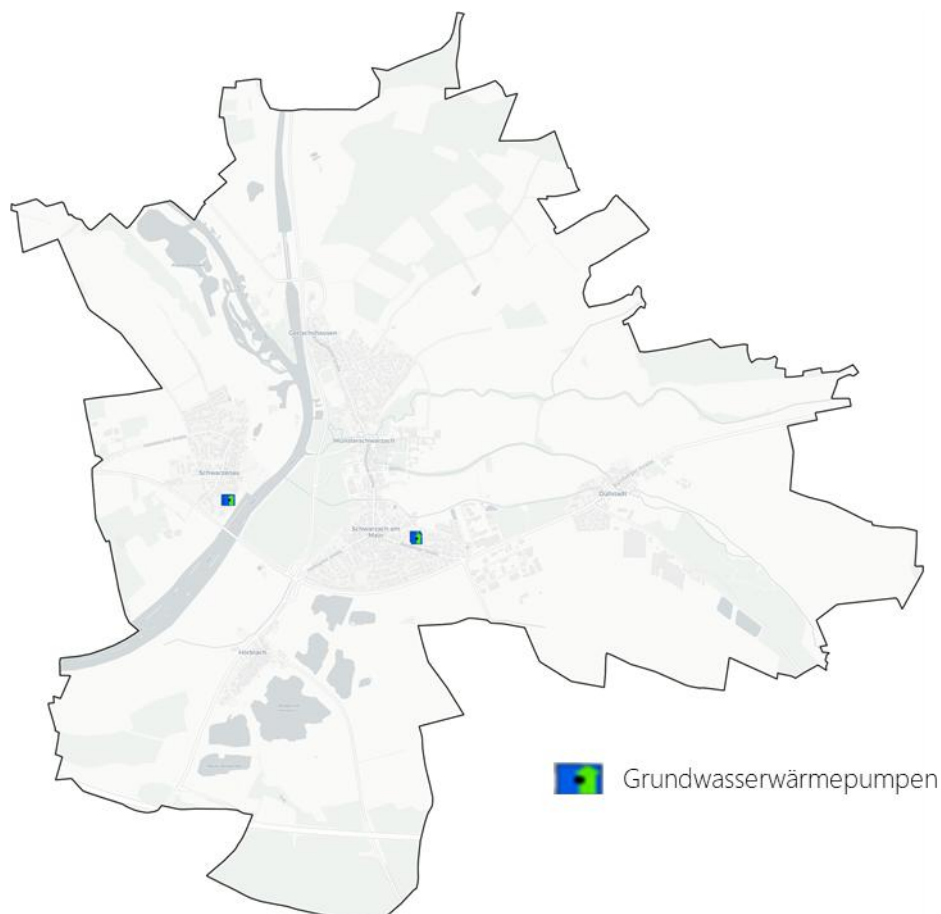


Abbildung 40: Standorte der bisher im Gemeindegebiet vorhandenen Grundwasserwärmepumpen (Quelle: Umweltatlas Bayern, Entnahmebohrung und Schluckbrunnen wurden jeweils zusammengefasst)

3.1.3 Tiefengeothermisches Potenzial

In Abgrenzung zur oberflächennahen Geothermie bezieht sich tiefengeothermisches Potenzial auf eine Tiefe ab 400 m unterhalb der Erdoberfläche. Unterschieden wird zwischen hydrothormaler und petrothormaler Geothermie. Die petrothormale Geothermie nutzt heißes Tiefengestein frei von Thermalwässern zur Energiegewinnung und bietet somit den Vorteil, nicht auf das Vorkommen von Thermalwasserreservoirien angewiesen zu sein. Im Folgenden fokussiert sich die Potenzialanalyse auf die hydrothormale Geothermie. In diesem Fall kann in geeigneten Gebieten Thermalwasser aus hydrothermalen Lagerstätten gefördert werden. Das Thermalwasser wird über Förderbohrungen an die Oberfläche gefördert, energetisch genutzt und über Injektionsbohrungen wieder abgegeben. Je nach Temperaturniveau ist neben der Versorgung von Wärmenetzen auch die Erzeugung von regenerativem Strom möglich.

Vorzugsregionen für tiefengeothermische Nutzung sind in Deutschland insbesondere der Oberrheingraben, das süddeutsche Molassebecken und das norddeutsche Becken, da in diesen Regionen hydrothermale Reservoirien in ausreichender Tiefe, d.h. mit ausreichendem Temperaturniveau zur wirtschaftlichen energetischen Nutzung vorhanden sind. Die für die Wärmeerzeugung geeigneten Gebiete in Bayern sind in Abbildung 41 dargestellt. Schwarzach liegt deutlich außerhalb des süddeutschen Molassebeckens und eignet sich somit nicht als Standort für die tiefe Geothermie.

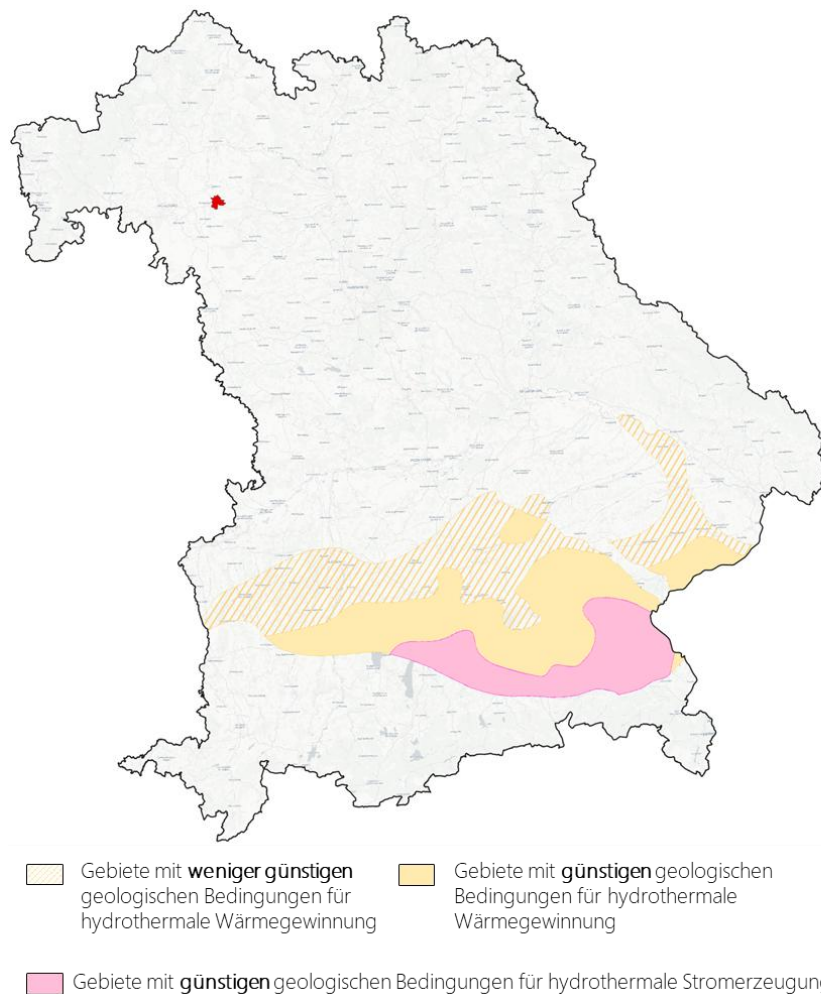


Abbildung 41: Gebiete in Bayern mit günstigen und weniger günstigen (in der Regel zusätzlicher Wärmepumpeneinsatz erforderlich) geologischen Verhältnissen für eine hydrothermale Wärme­erzeugung

3.1.4 Potenzial für oberflächennahe Gewässer

Als weitere Option der erneuerbaren Umweltwärme gelten oberflächennahe Gewässer. Die Temperatur der Gewässer kann mithilfe von Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau gehoben und so für Heizungszwecke eingesetzt werden. Flüsse weisen im Jahresverlauf deutlich konstantere Temperaturen als die Umgebungsluft auf, was insbesondere im Winter vorteilhaft ist. Hier liegen die Temperaturen stets deutlich über 0 °C, wodurch die Wärmepumpe in den heizintensiven Wintermonaten effizienter betrieben werden kann. Die Nutzung von Wasser als Umgebungswärmequelle liefert darüber hinaus einen guten Wärmeübergang und sorgt im Fall von Flüssen durch die Fließgeschwindigkeit für einen natürlichen Wasserstrom am Wärmeübertrager. Der Einsatz eines Lüfters – wie im Falle der Luft-Wasser-Wärmepumpe benötigt – erübrigt sich somit. Wasser-Wasser-Wärmepumpen können auf diese Weise deutliche Effizienzvorteile aufweisen.

Der Main ist hier die naheliegendste Option zur Nutzung von Aquathermie. Die Messstelle Würzburg gibt einen mittleren Abfluss von 138 m³/s und einen mittleren Niedrigwasserabfluss von 60 m³/s an. Unter der Annahme, dass 1 % des Wasserdurchflusses energetisch genutzt und dabei um 2,5 °C abgekühlt wird, ergibt sich je nach Wasserstand ein jährliches nutzbares Wärmepotential von 25 bis 58 GWh/a. Je höher die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe, desto effizienter ist die Umwandlung

der Umweltwärme in nutzbare Heizenergie. Bei typischen JAZ-Werten zwischen 2,5 und 4 kann somit das 2,5- bis 4-Fache der eingesetzten elektrischen Energie in Form von Wärme bereitgestellt werden.

Dieses Potenzial kann als geeignet eingestuft werden, muss jedoch im Einzelfall konkret überprüft werden. Zum einen sind dafür gezielte Wasserdurchflussmessungen am jeweiligen Standort vonnöten um sicherzustellen, dass sowohl in den Sommermonaten als auch in den heizintensiven Wintermonaten genügend Durchfluss für eine entsprechende energetische Nutzung des Flusses vorhanden ist. Den Vorteilen hinsichtlich der Effizienz stehen auch Herausforderungen bei genehmigungs- und umweltrechtlichen Aspekten (z. B. Wasserhaushaltsgesetz, Bayerisches Wassergesetz) gegenüber. Beispielsweise muss eine Veränderung der Wasserbeschaffenheit, etwa durch eine mögliche lokale Abkühlung durch den Betrieb der Wärmepumpe, kritisch untersucht und mit vorhandenen Grenzwerten in Einklang gebracht werden. Vor Errichtung und Betrieb muss eine wasserrechtliche Erlaubnis beantragt und in Einzelfallentscheidungen genehmigt werden. Dies umfasst unter anderem auch, dass eine bestehende Nutzung der Gewässer (beispielsweise durch Schifffahrt oder Fischerei) nicht beeinträchtigt werden darf.

Neben dem Main fließen auch der Castellbach sowie die Schwarzach durch das Gemeindegebiet. Bei beiden Flüssen liegen allerdings mittlere Abflüsse von unter $1 \text{ m}^3/\text{s}$ sowie niedrige Wassertemperaturen speziell im Winter vor. Damit ist eine Nutzung der Umweltwärme kaum möglich.

3.1.5 Potenzial für Luftwärme

Auch Umgebungsluft kann als Potenzial für erneuerbare Wärme dienen. Durch Wärmepumpen kann die Temperatur der Luft auf ein nutzbares Niveau gehoben werden und zur Wärmeversorgung Einsatz finden. Diese Wärmequelle steht im Prinzip unbegrenzt zur Verfügung. Eine Quantifizierung ist somit nicht möglich und zielführend.

Auch wenn Umgebungsluft als Potenzial unbegrenzt zur Verfügung steht, sind bei deren Nutzung einige fallspezifisch zu beurteilenden Faktoren zu berücksichtigen. Dies betrifft beispielsweise technische und wirtschaftliche Faktoren bei der Umsetzung, ebenso wie baurechtliche (Abstand zu Grundstücksgrenzen) sowie lärmschutztechnische.

Entscheidend für den wirtschaftlichen Betrieb ist dagegen die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle, hier also der Umgebungsluft, und der Vorlauftemperatur der Heizung. Je niedriger die Temperaturdifferenz ausfällt, desto effizienter kann eine Wärmepumpe betrieben werden. Am einfachsten kann dazu die Vorlauftemperatur gesenkt werden. Idealerweise erreicht man niedrige Vorlauftemperaturen durch die Nutzung von Fußbodenheizungen, aber auch herkömmliche Heizkörper bieten großes Optimierungspotenzial. Über Maßnahmen wie den hydraulischen Abgleich (optimierte Versorgung sämtlicher Heizkörper), die Nutzung größerer oder zusätzlicher Heizkörper und Verbesserung der Gebäudedämmung kann eine reduzierte Vorlauftemperatur erreicht werden.

Auf Wärmequellenseite gibt es dagegen nur die Möglichkeit, die Wärmepumpe zu optimalen Tageszeiten zu betreiben. Hier erlaubt auch wieder die Wärmedämmung und das damit langsamere Auskühlen des Gebäudes den Betrieb in möglichst warmen Stunden. Der Deutsche Wetterdienst stellt historische Temperaturmessungen frei zur Verfügung. Die nächstgelegene Messstation bei Schwarzach befindet sich in Kitzungen. Hier herrschen auch im Winter historisch größtenteils verhältnismäßig milde Außentemperaturen (Abbildung 42). Die durchschnittliche Tagestemperatur ist in den letzten zehn Jahren nur an 32 Tagen unter -5 °C gefallen, wobei sich niedrigere Temperaturen nur negativ auf die Effizienz, nicht aber auf die Versorgungssicherheit auswirken.

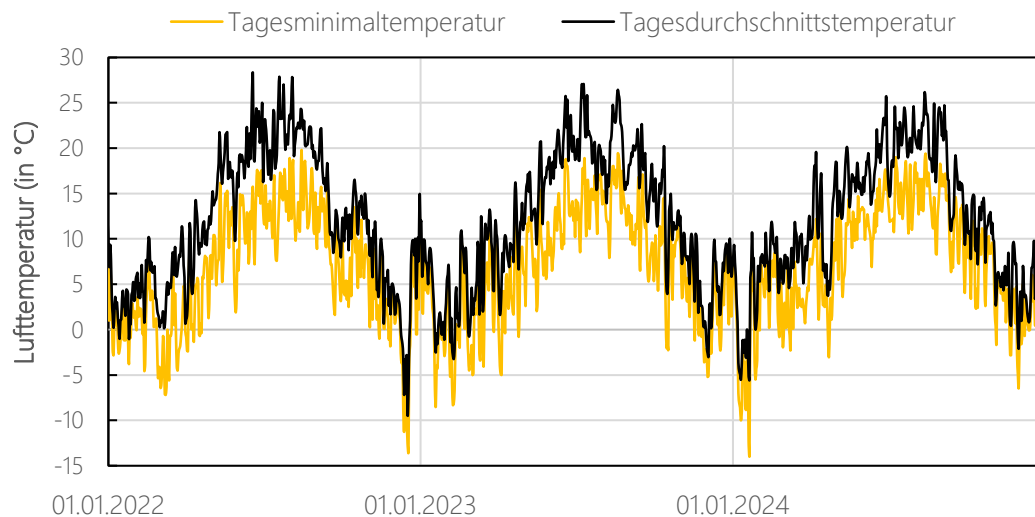


Abbildung 42: Verlauf der Lufttemperatur in Kitzingen

3.1.6 Biomassepotenzial

Auch Biomasse steht als Ressource zur Erzeugung erneuerbarer Wärme zur Verfügung. Vorteilhaft ist dabei insbesondere die Transport- und Lagerfähigkeit von Biomasse ebenso wie die Möglichkeit, Wärme auf hohen Temperaturniveaus zu erzeugen. Allerdings ist Maßgabe der Bundesregierung die effiziente und ressourcenschonende Verwendung von Biomasse. Biomasse soll nur dort zum Einsatz kommen, wo sinnvolle Alternativen fehlen. Dies liegt u.a. an der starken Nutzungskonkurrenz der Ressource Biomasse, welche sowohl stofflich, als auch energetisch in unterschiedlichen Anwendungsformen genutzt werden kann.

3.1.6.1 Holzartige Biomasse

Eine wesentliche Form der Biomasse für die energetische Nutzung ist holzartige Biomasse. Typisch sind hier verschiedene Holzbrennstoffe wie Scheitholz, Holzhackschnittel oder Holzpellets. Eine Analyse der vorhandenen Flächen in Schwarzach zeigt eine gesamt verfügbare Waldfläche im Gemarkungsgebiet von 339 ha (Abbildung 43).

Biomasse ist eine sehr flächenintensive Energie. Unter Annahme nachhaltiger Forstwirtschaft ist von einem Nachwuchs von ca. $7 \text{ Fm}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ zu rechnen. Davon entfallen ca. $4,3 \text{ MWh}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ auf nachhaltiges Waldrestholz. Im Zuge dieser kommunalen Wärmeplanung wird aus Waldnutzung lediglich Waldrestholz als energetisches Potenzial bilanziert, da darüber hinaus Konkurrenz zur stofflichen Nutzung besteht und diese der energetischen Verwendung vorzuziehen ist. Damit beträgt das Potenzial an nachhaltigem Waldrestholz in Schwarzach rund 1.457 MWh/a .

Darüber hinaus ist weiteres Potenzial an holzartiger Biomasse im Gemarkungsgebiet verfügbar. Dies betrifft insbesondere Landschaftspflegeholz und Altholz. Im Landkreis Kitzingen fallen gemäß dem

Bayerischen Landesamt für Umwelt¹ 2024 28,7 kg/(EW*a) Landschaftspflegematerial sowie 20,3 kg/(EW*a) Altholz an. Die Potenziale hiervon ergeben sich zu 263 MWh/a und 313 MWh/a (Tabelle 7).

Tabelle 7: Übersicht des Potenzials holzartiger Biomasse

	Fläche (ha)	Jährlicher Energieertrag (GWh/a)
Waldrestholz	339	1,5
Landschaftspflegeholz	-	0,3
Altholz	-	0,3
Summe	339	2,0

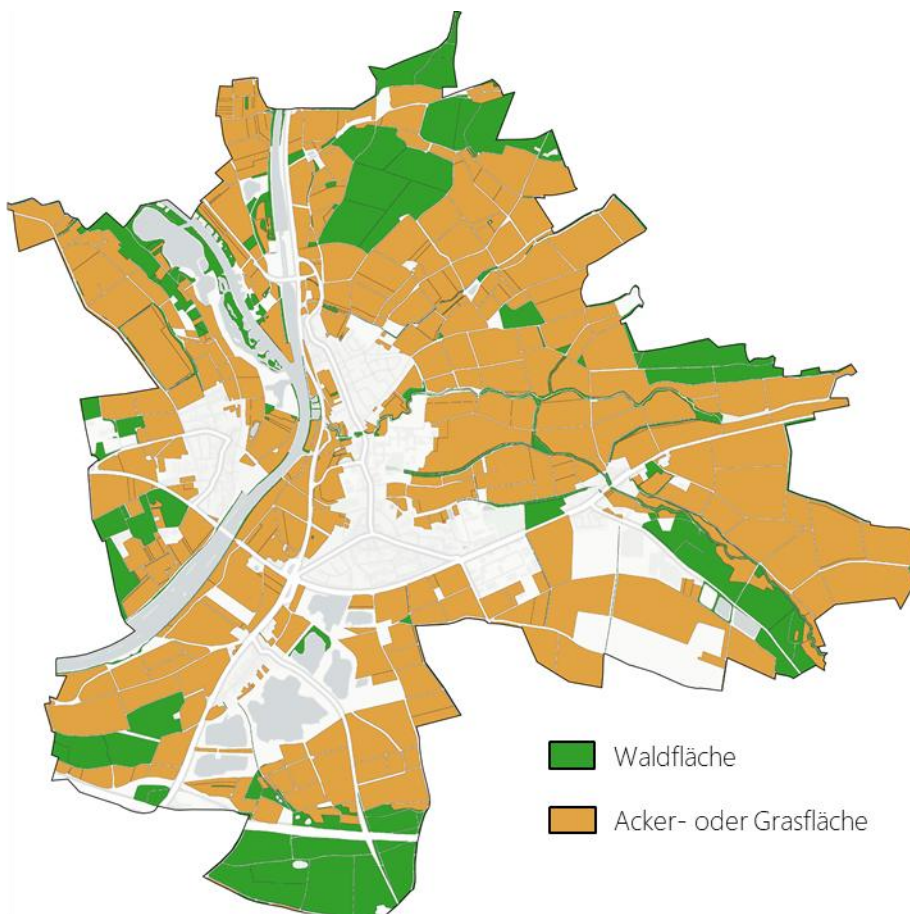


Abbildung 43: kartografische Darstellung der Acker-/Gras- und Waldflächen

¹ <https://www.lfu.bayern.de/abfall/abfallbilanz/index.htm>

3.1.6.2 Feuchte Biomasse auf Gras- und Ackerflächen

Zusätzlich zu holzartiger Biomasse kann auch feuchte Biomasse zur energetischen Nutzung eingesetzt werden. Dies beinhaltet insbesondere Energiepflanzen wie Mais, welche in Biogasanlagen vergärt werden und das entstehende Biogas zur Wärme- und Stromproduktion dienen kann. In Schwarzach steht dafür eine gesamt verfügbare Fläche von Acker- und Grasflächen in Höhe von 1.084 ha zur Verfügung (Abbildung 43).

Mais ist die in Deutschland weit verbreitetste Form der Energiepflanze. Bei Anbau von Mais ist üblicherweise ein Ertrag von 50 MWh/(ha*a) möglich. Dieser bezieht sich auf den Energiegehalt des Mais. Unter der Annahme, dass lediglich 10 % der verfügbaren Fläche für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehen, beläuft sich das Potenzial von Mais auf insgesamt 5,4 GWh/a. Aufgrund der Nutzungskonkurrenz dieser Flächen mit der Nahrungsmittelproduktion wurde das Potenzial als bedingt geeignet eingestuft.

3.1.6.3 Abfall

Neben Biomasse aus der Forst- und Landwirtschaft kann auch die Abfallwirtschaft erneuerbares energetisches Potenzial aufweisen. Diese Potenziale sind aufgrund der in Deutschland geltenden Entsorgungs- und Verwertungspflicht jedoch weitestgehend ausgeschöpft.

Gemäß Bayerischem Landesamt für Umwelt¹ beträgt das spezifische Hausmüllaufkommen 2024 im Landkreis Kitzingen rund 88 kg/EW. In Schwarzach ist entsprechend rechnerisch ein Potenzial von 321 t/a oder 892 MWh/a (bezogen auf den Energiegehalt des Abfalls) verortet. Zusätzlich fällt gemäß Bayerischer Abfallbilanz ein spezifisches Bioabfallaufkommen von 99 kg/EW an, was auf Schwarzach bezogen ein Potenzial von 362 t/a oder 235 MWh/a (bezogen auf den Energiegehalt des Abfalls) bedeutet.

3.1.7 Potenziale für Strom aus Wind

Ein weiteres erneuerbares Strompotenzial für eine zukunftsfähige Wärmeversorgung ist die Nutzung von Windenergie. Der produzierte erneuerbare Strom kann beispielsweise in Wärmepumpen eingesetzt werden, um Umweltwärme auf ein nutzbares Niveau zu heben. Die Erzeugungscharakteristik von Windenergie stimmt dabei wesentlich besser mit dem Wärmebedarf überein als die der PV. Sowohl Wärmebedarf als auch Windeinspeisung sind im Winter höher als im Sommer. Bislang bestehen auf dem Gemarkungsgebiet des Markt Schwarzach noch keine Windenergieanlagen.

Potenzielle Eignungsgebiete für Windenergieanlagen werden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt ausgewiesen. Die veröffentlichte Gebietskulisse berücksichtigt dabei u.a. Windgeschwindigkeiten, Abstand zu Infrastruktur, Nationalparks, Naturschutzgebiete, wasserwirtschaftliche Restriktionen, geologische Einschränkungen und Weiteres.

Abbildung 44 ordnet die Gebietskulisse in verschiedene Kategorien hinsichtlich der Eignung ein. Im Gemeindegebiet Schwarzach existieren keine Flächen der Kategorie „voraussichtlich geeignet“ und nur wenige Flächen an der nord-östlichen Gemeindegrenze können als bedingt geeignet eingestuft

¹ <https://www.lfu.bayern.de/abfall/abfallbilanz/index.htm>

werden. Die Fläche bietet theoretisch Platz für fünf Windenergieanlagen mit Leistungen von je 5 MW und somit einem gesamten Potenzial zur Stromerzeugung von knapp 54 GWh/a. In der Regionalplanung sind allerdings keine Vorbehalts- oder Vorranggebiete für Schwarzach ausgewiesen, weswegen eine Erschließung des Potenzials aktuell als unwahrscheinlich zu beurteilen ist.

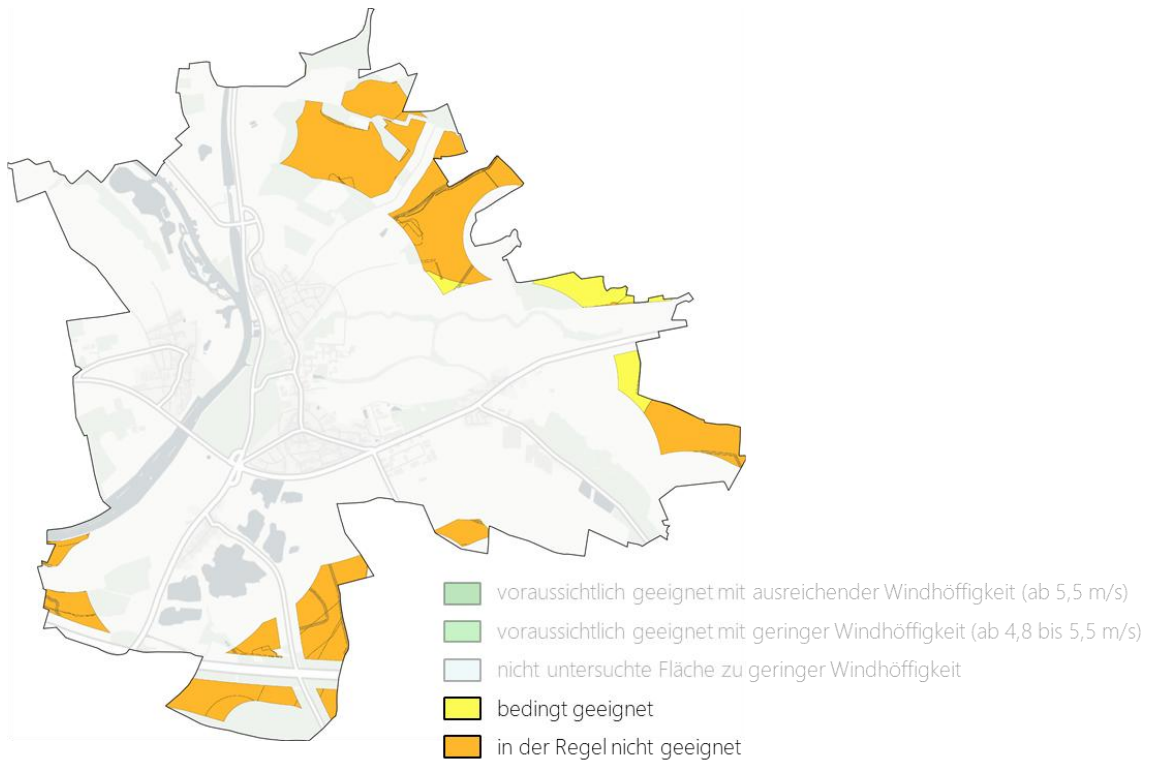


Abbildung 44: Potenzialflächenkulisse für die Errichtung von Windenergieanlagen

3.1.8 Potenzial für Strom aus Wasserkraft

In Schwarzach ist aktuell bereits ein Laufwasserkraftwerke in Betrieb. Das Kraftwerk an der Schleuse Gerlachshausen hat eine Leistung von 2,4 MW und erzeugt jährlich um die 5 GWh/a. In der direkten Umgebung gibt es eine große Anzahl an Laufwasserkraftwerken im Main, die meisten aus den 1950er Jahren, worunter auch das Kraftwerk bei Gerlachshausen fällt. Neuere Kraftwerke gibt es dagegen keine. In Bayern ist das Potenzial der Wasserkraft bereits nahezu vollständig ausgeschöpft, was einen Neubau unwahrscheinlich macht.

3.2 Potenziale zur Nutzung von Abwärme

Auch die Nutzung von Abwärme bietet großes Potenzial zur Wärmebereitstellung. Fällt Abwärme auf hohem Temperaturniveau an, kann sie u. U. direkt zu Heizungszwecken beispielsweise als Einspeisepunkt in ein Wärmenetz verwendet werden. Abwärme auf niedrigerem Temperaturniveau kann durch eine Wärmepumpe auf ein nutzbares Level gehoben werden.

3.2.1 Abwärme aus dem Kanalsystem

Eine mögliche Abwärmequelle ist die Nutzung von Abwasser. Über Wärmepumpen kann die im Abwasser enthaltene Wärme genutzt und auf ein nutzbares Temperaturniveau gehoben werden. Um die Kanalisation als Wärmequelle für Wärmepumpen einsetzen zu können, müssen im Wesentlichen zwei Gegebenheiten erfüllt sein: Zunächst muss die Zugänglichkeit des Kanalisationsabschnitts

gewährleistet werden können, um einen Wärmeübertrager installieren zu können. Darüber hinaus muss eine ausreichend hohe Trockenwetterabflussmenge vorhanden sein. Um den Betrieb der Abwasserreinigungsanlage am Ende der Kanalisation möglichst nicht zu beeinträchtigen, darf das Abwasser nicht zu stark abgekühlt werden. Sollen trotzdem noch ausreichend hohe Energiemengen aus dem Abwasser gewonnen werden, ist ein ausreichend hoher Durchfluss auch bei Trockenwetter erforderlich. Als Richtwert werden hier klassischerweise Trockenwetterabflussmengen von 15 l/s als Minimum genannt¹.

Für die Darstellung des Potenzials für Abwärme aus dem Kanalsystem werden im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung nur diejenigen Abschnitte mit einer Größe von DN 800 und größer betrachtet.

Solche Leitungen liegen in Schwarzach nicht vor.

3.2.2 Abwärme an Kläranlagen

Die Wärme des Abwassers kann auch am Kläranlagenablauf genutzt werden und dort beispielsweise mit Großwärmepumpen zur Einspeisung in ein Wärmenetz dienen. Dies hat den wesentlichen Vorteil, dass bei allen Nutzungen vor der Kläranlage darauf geachtet werden muss, dass die Mindesttemperatur des Abwassers bei Kläranlageneintritt nicht unterschritten wird. Die Entnahmestellen der Wärme aus dem Kanalnetz stehen somit in Nutzungskonkurrenz zueinander und müssen darauf achten, das Abwasser insbesondere in den heizintensiven Wintermonaten nicht zu stark abzukühlen. Diese Einschränkung herrscht bei energetischer Nutzung am Kläranlagenausgang nicht. Damit ist eine höhere Temperaturspreizung möglich und die entnehmbare Wärme wird maximiert.

Gemäß Daten aus dem Energieatlas Bayern beträgt der durchschnittliche jährliche Abfluss an der Kläranlage Schwarzacher Becken etwa 0,76 Mio. m³. Unter der Annahme, dass die durchschnittliche Temperatur des Abwassers am Kläranlagenausgang 10 °C beträgt und vor Einleitung in den Fluss um 5 °C abgekühlt werden darf, ergibt sich eine jährliche Energiemenge von etwa 4,5 GWh/a (bezogen auf die entnehmbare Wärme aus dem Abwasser). Bei 18 Volllaststunden pro Tag entspricht dies einer Umweltwärmeleistung von 0,68 MW.

3.2.3 Industrielle und gewerbliche Abwärme

Industrielle Abwärme ist eine weitere Quelle, welche für eine regenerative Wärmeerzeugung genutzt werden kann. Fällt die Abwärme auf einem hohen Temperaturniveau an, kann sie beispielsweise durch Wärmeübertrager in Wärmenetze eingespeist und direkt genutzt werden. Auch Abwärme auf niedrigeren Temperaturniveaus kann zum Einsatz kommen und beispielsweise durch Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau gehoben werden.

Um das Potenzial für industrielle und gewerbliche Abwärme zu quantifizieren, wurden gemeinsam mit der Gemeinde die vorhandenen Gewerbebetriebe analysiert und nach Relevanz und möglichem Potenzial klassifiziert. Zudem wurden die Potenziale der Plattform für Abwärme des Bundesamts für

¹ Vgl. z. B. Buri und Kobel „Wärmenutzung aus Abwasser“ oder Bundesverband Wärmepumpe e. V. „Heizen und Kühlen mit Abwasser“

Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle¹ geprüft, hier ist für Schwarzach allerdings kein Potenzial benannt. Auch bei den lokalen Gewerbebetrieben konnte kein Abwärmepotenzial ermittelt werden.

3.3 Potenzial für thermische Speicher

Um den zeitlichen Versatz von Wärmeproduktion und Wärmenachfrage zu überbrücken, werden Großwärmespeicher in Wärmenetzen benötigt. Wärmespeicher werden in kurzfristige (Stunden/Tage), mittelfristige (Wochen) und langfristige, saisonale Speicher unterschieden.

3.3.1 Kurz- und mittelfristige Speicher

Für die kurz- und mittelfristige Speicherung thermischer Energie werden v.a. Behälterspeicher eingesetzt und dienen der Flexibilisierung von Wärmenetzen. Zur Vermeidung von Wärmeverlusten sind diese isoliert und haben ein Volumen von bis zu 50.000 m³. Voraussetzung für Behälterspeicher ist ein stabiler Boden. Die Speicher werden vorzugsweise in urbanen Gebieten mit räumlicher Nähe zu Heizzentralen errichtet.

3.3.2 Saisonale Speicher

Saisonale Speicher sind Langzeitwärmespeicher und gleichen saisonale Unterschiede von Wärmeerzeugung und -bedarf aus. Insbesondere die Wärmebereitstellung mit Solarthermie unterliegt einem großen Versatz von Erzeugung im Sommer und Bedarf im Winter. Saisonale Speicher haben im Vergleich mit kurz- und mittelfristigen Speichern ein größeres Speichervolumen und aus diesem Grund auch einen höheren Flächenbedarf. Da saisonale Speicher die thermische Energie meist auf einem geringeren Temperaturniveau speichern, ist bei Einspeisung in ein Wärmenetz die Anhebung des Temperaturniveaus mit Großwärmepumpen notwendig.

Saisonale Speicher können als Erdbeckenspeicher ausgeführt werden. Die Erdbeckenspeicher werden 5 bis 15 m tief in die Erde gegraben und mit einem Deckel abgedeckt. Je nach Bauform ist auch der Deckel nutzbar, wenn er mit Erde überdeckt wird. Als Standorte bieten sich aufgrund des hohen Flächenbedarfs urbane Randbezirke oder ländliche Gebiete an. Der Boden sollte gut stehend sein und die Grabung 2 m oberhalb des Grundwasserhorizontes enden (Quelle: Solites).

Zur Identifizierung möglicher Standorte werden zunächst die Kriterien des bedingt geeigneten Freiflächen-Solarthermie-Potenzials (s. Kapitel 3.1.1.2) herangezogen. Als Positivflächen werden somit die 500 m Seitenrandstreifen von Autobahn und Schiene berücksichtigt. Die Restriktionsflächen sind Kapitel 3.1.1.1 zu entnehmen. Flächen mit einem Grundwasserflurabstand < 10 m und artesischen Flächen werden ebenfalls nicht berücksichtigt. In Bayern stellt das LfU eine Hinweiskarte über hohe Grundwasserstände zur Verfügung. Da hier nur Grundwasser bis zu 3 Metern unter Gelände betrachtet wird, werden die Flächen noch etwas erweitert. Die Grabbarkeit (Abbildung 36) ist hier eine weitere Restriktion, schließt aber nur wenige kleine Flächen aus.

¹ https://www.bfee-online.de/BfEE/DE/Effizienzpolitik/Plattform_fuer_Abwaerme/plattform_fuer_abwaerme_node.html

Erdbeckenspeicher können Volumina von 5.000-500.000 m³ haben. Für eine Speichergröße von 10.000 m³ und Tiefe von 10 m ergibt sich eine Minimalfläche von 1.000 m². Potenzielle Flächen für Erdbeckenspeicher sind in Abbildung 45 dargestellt.

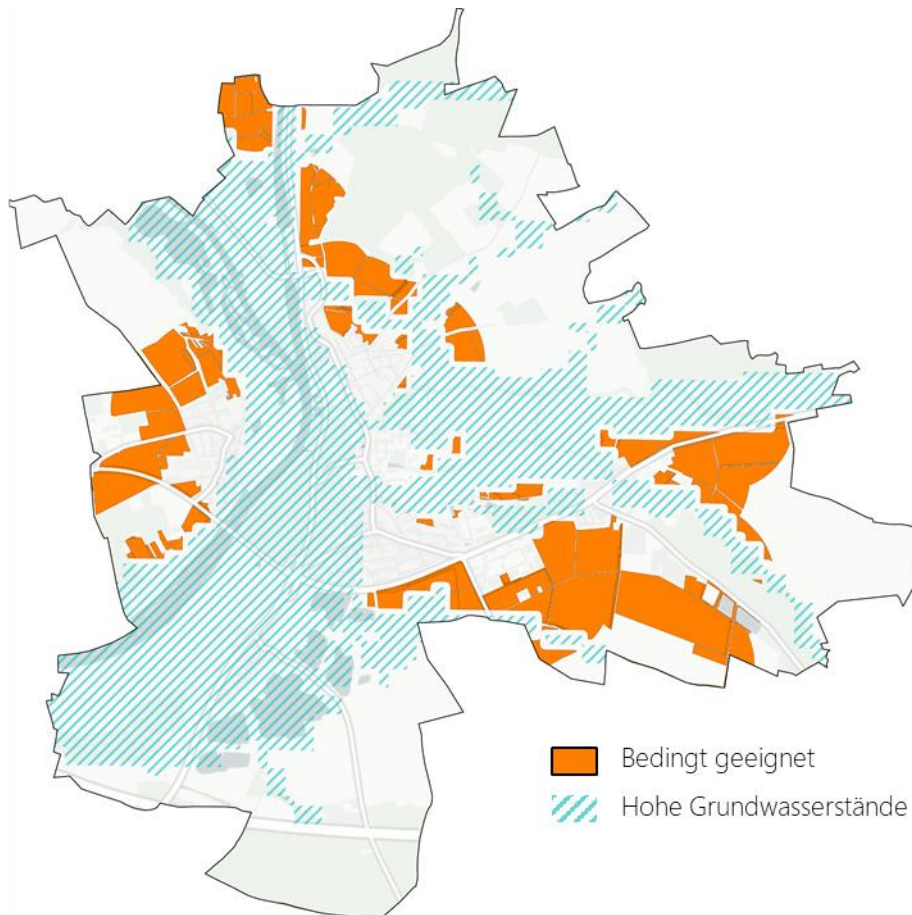


Abbildung 45: Potenzielle Flächen für Erdbeckenspeicher

Die Potenzialquantifizierung für Erdbeckenspeicher gestaltet sich als schwierig, da die möglichen Flächen im Einzelfall geprüft sowie die lokalen Begebenheiten und Anforderungen an die Speichergröße beachtet werden müssen. Wird eine Potenzialquantifizierung anhand oben genannter Kriterien vorgenommen, kann eine Gesamtpotenzialfläche für Erdbeckenspeicher von 251 ha identifiziert werden. Zusätzlich können grundsätzlich auch weitere Flächen, wie ausgediente Kiesgruben, für eine saisonale Wärmespeicherung in Betracht kommen. Hier ist eine Einzelfallprüfung erforderlich.

Die volumetrische Speicherdichte ist abhängig vom Temperaturniveau, welches zwischen 10 und 95 °C variieren kann. Die Speicherdichte wird mit 60 kWh/m³ angenommen (Quelle: BigStoreDH, Bundesamt für Energie Schweiz). In diesem Fall steht in Schwarzach eine theoretische Speicherkapazität von 1.508 GWh zur Verfügung.

Weitere Technologien für saisonale Wärmespeicherung sind der Aquifer-Speicher und der Erdsonden-Wärmespeicher. Aquifer-Speicher speichern die thermische Energie in Gesteinsschichten im Untergrund. Möglichkeiten für Aquifer-Speicher können im Zuge der tiefengeothermischen Untersuchungen analysiert werden (s. Kapitel 3.1.3). Damit die Wärme bei ausreichend hohen Temperaturniveaus gespeichert werden kann, sind Tiefen bis zu 1.500 m notwendig. Die Mächtigkeit der Speicherschicht sollte mindestens 20 m betragen. In Bayern erfüllt insbesondere der Malm im

süddeutschen Molassebecken diese Voraussetzungen, im Umkreis von Schwarzach ist kein Potenzial bekannt.

Erdsonden-Wärmespeicher speichern die thermische Energie auch im Untergrund, aber nicht so tief wie Aquifer-Speicher. Die speicherbaren Temperaturen sind demnach geringer und diese Speicherart v. a. für Netze mit geringen Vorlauftemperaturen geeignet. Grundsätzlich werden ähnliche Anforderungen wie bei Erdwärmesonden gestellt, allerdings mit deutlich strengeren Restriktionen in Hinblick auf den Grundwasserstand. Weiterhin werden Erdsonden-Wärmespeicher erst bei größerem Speichervolumen, das heißt größeren Erdsondenfeldern wirtschaftlicher, da die Wärmeverluste sinken. Typische minimale Speichervolumen sind 20.000 m³. Geeignet sind also nur etwas größere zusammenhängende Flächen auf denen Erdsondenfelder und nicht nur einzelnen Erdsonden errichtet werden könne (Quelle: Solites). In Schwarzach scheinen aufgrund der hohen Grundwasserstände nur wenige Flächen entlang der Gemeindegrenze als geeignet. Ohne nähere Untersuchungen von Boden und Grundwasser können hier allerdings keine Aussagen getroffen werden.

3.4 Potenzial zur Bedarfsreduktion

Neben der Nutzung erneuerbarer Energien und Abwärme spielt die Reduktion des Wärmebedarfs eine zentrale Rolle in der Wärmewende. Um die Klimaziele zu erreichen, muss der Wärmeverbrauch im Gebäudebereich erheblich reduziert werden. Dies kann einerseits durch energetische Gebäudesanierung, insbesondere im Bereich der Wohngebäude, realisiert werden. Andererseits spielt eine Steigerung der Energieeffizienz in den Prozessen der Industrie sowie im Bereich GHD eine wesentliche Rolle.

Zur Berechnung der möglichen Bedarfsreduktion wird für jedes Gebäude in Abhängigkeit des Gebäudetyps, des Baujahrs, des aktuellen Bedarfs sowie der Gebäudenutzung ein Einsparpotenzial abgeschätzt. Für Wohngebäude wird dabei auf den Technikkatalog der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA)¹ zurückgegriffen. Dieser enthält flächenbezogene künftige Wärmebedarfe für unterschiedliche Baualtersklassen und berücksichtigt die unterschiedlichen möglichen Sanierungstiefen unterschiedlicher Gebäude. Die Einsparpotenziale entsprechen den Zielwerten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz².

Neben der Sanierungstiefe spielt die Sanierungsrate eine zentrale Rolle. Diese beschreibt, welcher Anteil der Gebäude jährlich saniert wird. Die historischen Sanierungsquoten in Deutschland lagen in einer Größenordnung um 1 %. Zur Erreichung der Klimaschutzziele sollte diese Quote erhöht werden. Im Rahmen dieser kommunalen Wärmeplanung wird davon ausgegangen, dass Gebäude in Gebieten mit Einzelversorgung Sanierungsquoten von jährlich 2 % erreichen, während Gebäuden in Wärmenetzgebieten eine Quote von 1,5 % unterstellt wird. Dies berücksichtigt, dass der Sanierungswille im Zuge einer Umstellung auf dezentrale Lösungen (in der Zukunft insbesondere Wärmepumpen)

¹ KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH: „Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung in Baden-Württemberg“, Karlsruhe, 2023.

² Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: „Sanierungsbedarf im Gebäudebestand – Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude“, Berlin, 2014.

erfahrungsgemäß höher ist als beim Anschluss an ein Wärmenetz. Zusätzlich ist der wirtschaftliche Mehrwert von Sanierungen insbesondere in Kombination mit Wärmepumpen signifikant, da dort in der Regel nicht nur die absolut benötigte Wärmemenge reduziert, sondern auch der Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung durch Absenkung der benötigten Vorlauftemperatur erheblich verbessert werden kann.

Für Nichtwohngebäude wird davon ausgegangen, dass diese einheitlich durch Steigerung der Prozesseffizienz sowie durch Sanierungsmaßnahmen ihren Wärmebedarf um jährlich etwa 1 % senken können.

Neben Sanierungen wird auch durch den Klimawandel erwartbar die benötigte Raumwärme sinken. Sowohl die Zahl der Heiztage wird zurückgehen, als auch die insgesamt benötigte Heizleistung an den verbleibenden Heiztagen. Aufbauend auf den Testreferenzjahren des Deutschen Wetterdienstes von 2015 und 2045 wird davon ausgegangen, dass der Raumwärmebedarf in Schwarzach zusätzlich um 0,395 % pro Jahr abnimmt.

Die resultierende Entwicklung des Wärmebedarfs aufgeteilt nach den einzelnen Verbrauchssektoren ist in Abbildung 46 dargestellt. Insgesamt kann sich der Wärmebedarf bis 2045 um etwa 24 % von 49 GWh/a auf 38 GWh/a reduzieren. Unter Annahme der diskutierten Sanierungsrate und -tiefe können Wohngebäude den Wärmebedarf von 27 GWh/a auf 20 GWh/a in 2045 senken. Auch der kommunale Sektor kann mit einer Bedarfsreduktion von knapp 1,5 GWh/a bis 2045 nennenswert zur Wärmebedarfseinsparung beitragen. In den Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie verringert sich der Wärmebedarf von aktuell 16 GWh/a auf 13 GWh/a im Jahr 2045.

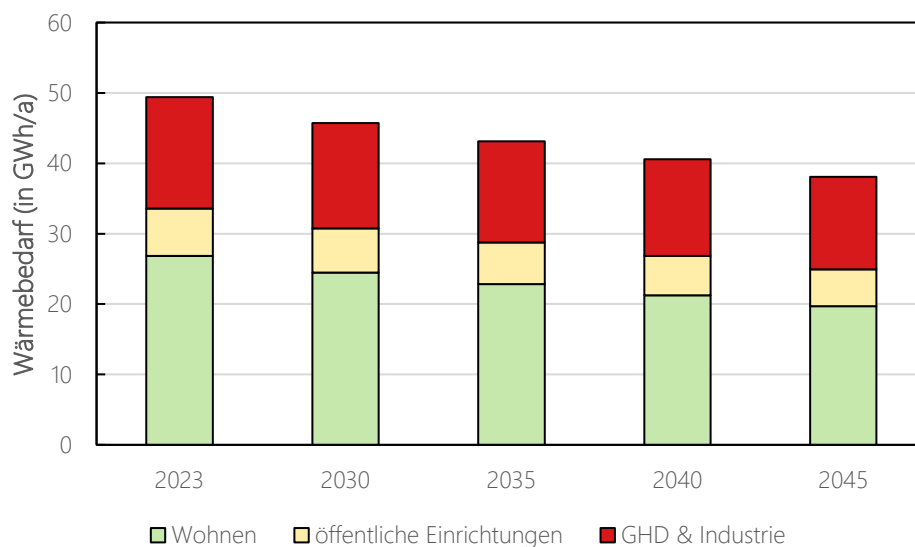


Abbildung 46: Wärmebedarfsszenario unter Berücksichtigung der Sanierungsvorgaben nach KEA¹ und BMWK²

¹ KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH: „Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung in Baden-Württemberg“, Karlsruhe, 2023.

² Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: „Sanierungsbedarf im Gebäudebestand – Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude“, Berlin, 2014.

Abbildung 47 zeigt die projizierten Wärmebedarfsdichten durch die angenommene Bedarfsreduktion in den Jahren 2030, 2035, 2040 und 2045. Diese Darstellung ist insbesondere für die Bewertung der künftigen Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen relevant. Reduziert sich die Wärmebedarfsdichte in Gebieten künftig stark, muss dies bei der Festlegung von Fernwärmenetzgebieten berücksichtigt werden.

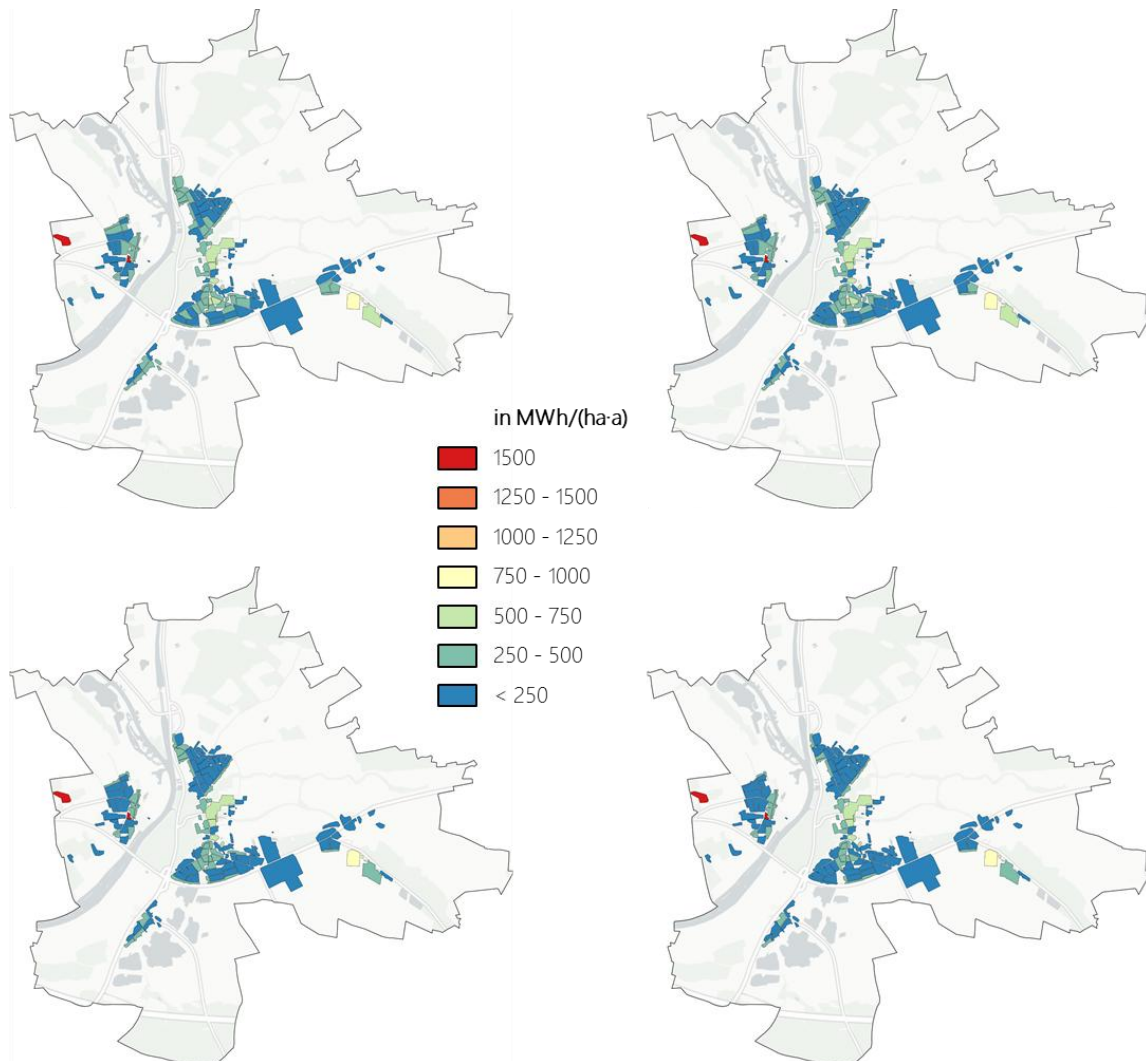


Abbildung 47: Entwicklung der spezifischen Wärmebedarfsdichte in den Quartieren in MWh/(ha-a) in den Jahren 2030 (oben links), 2035 (oben rechts), 2040 (unten links), 2045 (unten rechts)

Die Abbildung zeigt, wie in Zukunft die Bedarfe speziell in Wohngebieten stark zurückgehen. Während im Ausgangsjahr noch einige weitere Wohngebiete erhöhte Wärmebedarfsdichten aufweisen, reduzieren sich deren Bedarfsdichten bis 2045 erwartbar deutlich durch Sanierung. Ähnliches sieht man auch in Abbildung 48. Hier sind die 50 % der Quartiere mit der höchsten Bedarfsreduktion (Rückgang des Wärmebedarfs um 22,2 bis 33,0 %) gekennzeichnet. Erwartungsgemäß handelt es sich hierbei generell um Wohngebiete, deren Altersstruktur zwischen 1919 und 1979 ist und somit hohe Wärmebedarfe und geringe Einschränkungen durch Denkmalschutz vorherrschen.

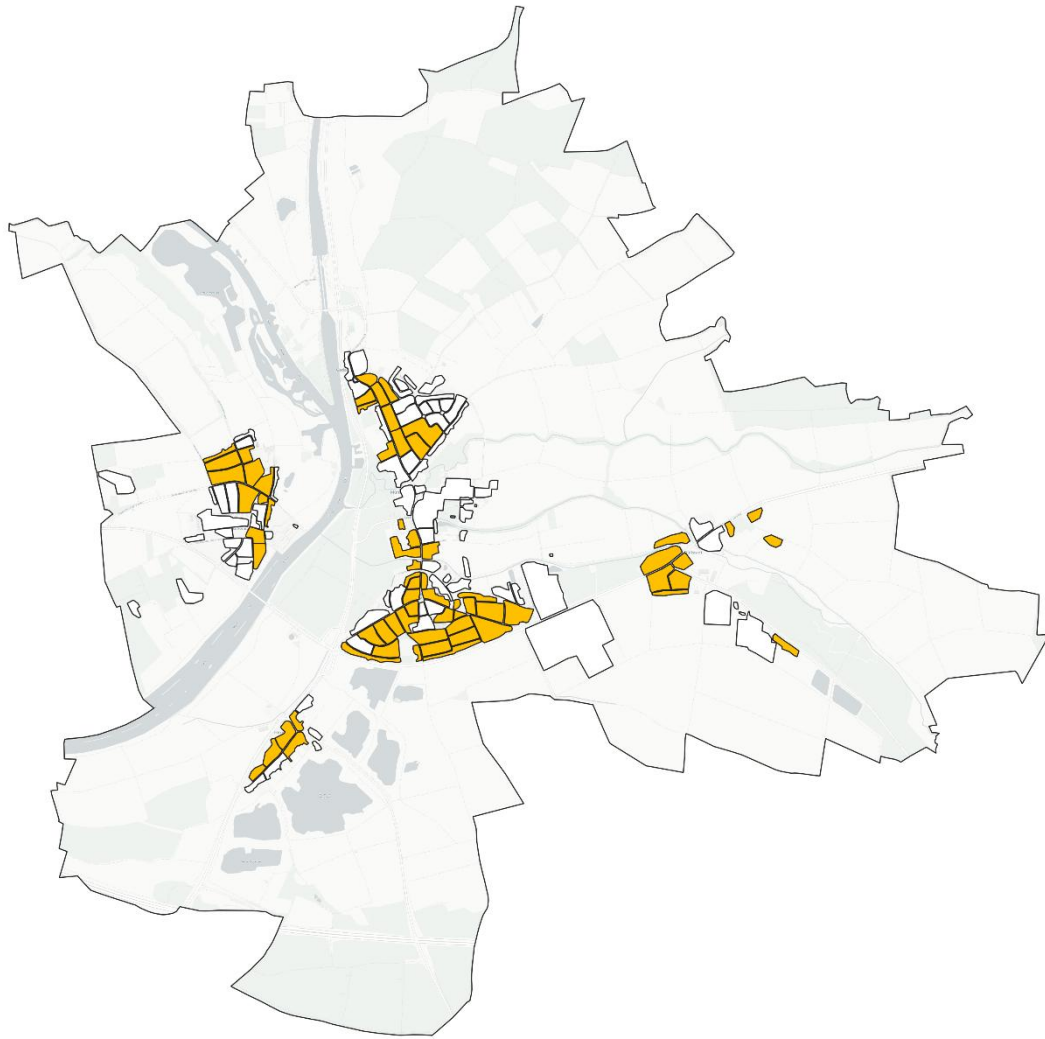


Abbildung 48: Quartiere mit erhöhtem Sanierungspotenzial

3.5 Zwischenfazit Potenzialanalyse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der vorangegangenen Potenzialbetrachtungen einheitlich zusammengeführt und verglichen. Abbildung 49 stellt den aktuellen und prognostizierten Wärmebedarf dem in Schwarzach potenziell möglichen erneuerbaren Wärme- und Strompotenzial gegenüber. Wie in den einzelnen Kapiteln bereits diskutiert, stellen die einzelnen Potenziale technische Maximalpotenziale dar, deren Hebung jeweils in Einzelfällen zu prüfen ist.

Deutlich wird, dass Schwarzach das Potenzial hat, seinen Wärmebedarf mit lokalen erneuerbaren Energien zu decken. Das grundsätzlich verfügbare Potenzial übersteigt die aktuelle und künftige Nachfrage. Im Kontext der erneuerbaren Wärmeerzeugung sind insbesondere die großen Potenziale der Solarthermie, aber auch der oberflächennahen Geothermie zu erwähnen. Insbesondere Freiflächen-Solarthermieanlagen haben in Schwarzach großes Potenzial, auch wenn dieses technisch und wirtschaftlich nur zu Bruchteilen, beispielsweise in Wärmenetzen, zu bergen sein wird. Gleiches gilt für oberflächennahe Geothermie: Diese hat zwar ein grundsätzlich hohes Potenzial, wird jedoch nur

nach Einzelfallprüfung zum Einsatz kommen können. Das tatsächlich hebbare Potenzial wird hier wesentlich geringer ausfallen als das technisch verfügbare.

Realistischer sind die Potenziale für Nutzung der Wärme des Mains und des Abflusses der Kläranlage angesetzt. Bei Aquathermie wäre das theoretische Potenzial zwar noch deutlich größer, eine Nutzung wie dargestellt kann aber schon über das doppelte des Wärmebedarfs im Jahr 2045 decken.

Auch die Nutzung von Umgebungsluft kann einen zentralen Beitrag leisten, ist in der Abbildung aufgrund der grundsätzlich unbegrenzten Verfügbarkeit jedoch nicht aufgeführt.

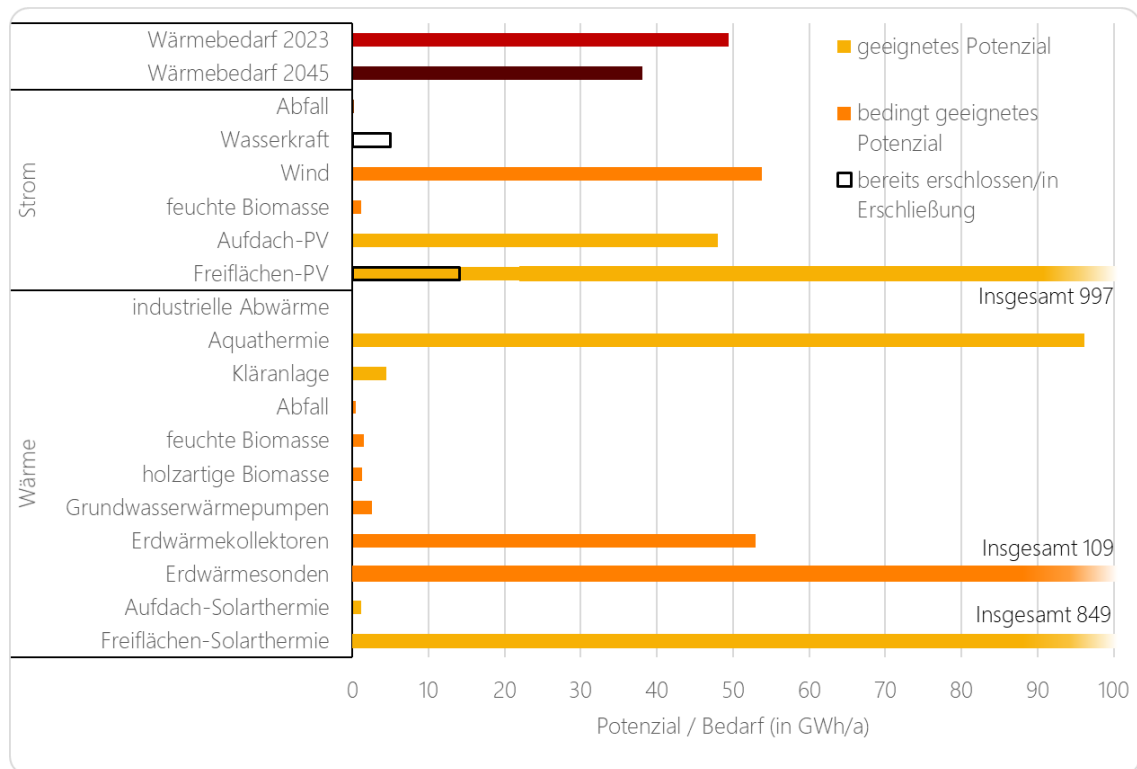


Abbildung 49: Vergleich der einzelnen Potenziale und des Wärmebedarfs

Deutlich geringer fällt das Potenzial von Abfall und Biomasse aus. Insbesondere lokale Biomasse kann nur in gezielten Anwendungen nachhaltig Anwendung finden. Mit dem Einsatz von Biomasse und Biogas in den Wärmenetzen Abtei Münsterschwarzach und Schwarzenau sowie der Nutzung speziell in Einzelraumfeuerungen ist dieses Potenzial schon weitestgehend ausgeschöpft.

Durch die Elektrifizierung des Wärmebedarfs u. a. durch Wärmepumpen ist zusätzlich von einem gesteigerten Strombedarf auszugehen. Auch hier herrscht in Schwarzach ein erhebliches Potenzial. Hier ist insbesondere auf das sehr große Potenzial für Freiflächen- und Aufdach-PV-Anlagen hinzuweisen. Das Potenzial zur erneuerbaren Stromerzeugung aus Abfall oder feuchter Biomasse ist hingegen wesentlich geringer, das aus Wasserkraft bereits vollständig ausgenutzt.

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schritte und Ablauf der Kommunalen Wärmeplanung	6
Abbildung 2: Verteilung des Gebäudetyps nach Sektoren.....	8
Abbildung 3: Vorwiegender Gebäudetyp nach Sektoren.....	8
Abbildung 4: Verteilung der Wohngebäudetypen	9
Abbildung 5: Vorwiegender Gebäudetyp der Wohngebäude in den Quartieren	10
Abbildung 6: Verteilung der Gebäudealtersklassen von Wohngebäuden	11
Abbildung 7: Verteilung der Gebäudealtersklassen von Wohngebäuden untergliedert nach dem Wohngebäudetyp	11
Abbildung 8: Vorwiegende Baualtersklasse der Wohngebäude in den Quartieren	12
Abbildung 9: jährlicher Wärmebedarf aufgeteilt nach Sektoren	13
Abbildung 10: absoluter Wärmebedarf in den Quartieren in GWh/a	13
Abbildung 11: spezifische Wärmebedarfsdichte in den Quartieren in MWh/(ha·a).....	14
Abbildung 12: Wärmelinien-dichte der Straßenzüge in MWh/(m·a)	15
Abbildung 13: Standortbezogene Darstellung der Großverbraucher	16
Abbildung 14: Primärenergieträger und Leistungsgröße der Zentralfeuerstätten	17
Abbildung 15: Primärenergieträger und Leistungsgröße der Einzelraumfeuerungsstätten.....	17
Abbildung 16: Durchschnittsjahr der Inbetriebnahme der Heizungsanlagen auf Quartiersebene	18
Abbildung 17: Quartiere mit vorhandenen Gasanschlüssen	19
Abbildung 18: Wärmenetze in Schwarzach	21
Abbildung 19: Erzeugerstandorte in Schwarzach	22
Abbildung 20: Anteil von Energieträgern für die Fernwärmeerzeugung	23
Abbildung 21: Wärmebedarf im Jahr 2023 nach Energieträger	24
Abbildung 22: Endenergiebedarf nach Energieträger	24
Abbildung 23: Endenergiebedarf nach Energieträger und Verbrauchssektor	25
Abbildung 24: dominanter Energieträger zur Wärmeversorgung in den Quartieren	26
Abbildung 25: Anzahlen verschiedener Heizungstypen (links: Zentralheizungen, rechts: Einzelraumheizungen)	26
Abbildung 26: Treibhausgasemissionen nach Energieträger.....	27
Abbildung 27: Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung nach Sektoren.....	29
Abbildung 28: Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung nach Sektoren und Energieträger	29
Abbildung 29: Geeignete und bedingt geeignete Potenzialflächen für die Errichtung von Freiflächen-PV-Anlagen sowie Flächen von bestehenden und geplanten Anlagen	33
Abbildung 30: Geeignete und bedingt geeignete Potenzialflächen für die Errichtung von Freiflächen-Solarthermieranlagen	34
Abbildung 31: Gebäudescharfes Aufdach-PV-Potenzial im EO Solaratlas	36
Abbildung 32: grundsätzliche Eignungs- und Ausschlussgebiete für die Nutzung von Erdwärmesonden	38
Abbildung 33: Potenzialflächen für die Errichtung von dezentralen oberflächennahen Erdwärmesonden	39
Abbildung 34: Standorte der bisher im Gemeindegebiet vorhandenen Erdwärmesonden (Quelle: Umweltatlas Bayern).....	40
Abbildung 35: grundsätzliche Eignungs- und Ausschlussgebiete für die Nutzung von Erdwärmekollektoren	41

Abbildung 36: Grabbarkeit des Untergrundes bis etwa 1 m Tiefe.....	42
Abbildung 37: Potenzialflächen für die Errichtung von oberflächennahen Erdwärmekollektoren.....	43
Abbildung 38: Grundsätzliche Eignungs- und Ausschlussgebiete für die Nutzung von Grundwasserwärmepumpen.....	44
Abbildung 39: Potenzialflächen für die Errichtung von Grundwasserwärmepumpen.....	45
Abbildung 40: Standorte der bisher im Gemeindegebiet vorhandenen Grundwasserwärmepumpen (Quelle: Umweltatlas Bayern, Entnahmebohrung und Schluckbrunnen wurden jeweils zusammengefasst)	46
Abbildung 41: Gebiete in Bayern mit günstigen und weniger günstigen (in der Regel zusätzlicher Wärmepumpeneinsatz erforderlich) geologischen Verhältnissen für eine hydrothermale Wärmeerzeugung	47
Abbildung 42: Verlauf der Lufttemperatur in Kitzingen	49
Abbildung 43: kartografische Darstellung der Acker-/Gras- und Waldflächen	50
Abbildung 44: Potenzialflächenkulisse für die Errichtung von Windenergieanlagen	52
Abbildung 45: Potenzielle Flächen für Erdbeckenspeicher	55
Abbildung 46: Wärmebedarfsszenario unter Berücksichtigung der Sanierungsvorgaben nach KEA und BMWK	57
Abbildung 47: Entwicklung der spezifischen Wärmebedarfsdichte in den Quartieren in MWh/(ha·a) in den Jahren 2030 (oben links), 2035 (oben rechts), 2040 (unten links), 2045 (unten rechts)	58
Abbildung 48: Quartiere mit erhöhtem Sanierungspotenzial.....	59
Abbildung 49: Vergleich der einzelnen Potenziale und des Wärmebedarfs	60

5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Baualter des Gasnetzes	19
Tabelle 2: Bestehende sowie geplante und genehmigte Wärmenetze	21
Tabelle 3: Bestehende, geplante oder genehmigte Wärmeerzeugungsanlagen für Wärmenetze	22
Tabelle 4: Emissionsfaktoren der wesentlichen Energieträger in t_{CO_2eq}/MWh	28
Tabelle 5: Übersicht geeigneter und bedingt geeigneter Flächen für die Errichtung von Freiflächen-PV-Anlagen	33
Tabelle 6: Übersicht geeigneter und bedingt geeigneter Flächen für die Errichtung von Freiflächen-Solarthermieanlagen	35
Tabelle 7: Übersicht des Potenzials holzartiger Biomasse	50

6 Bildquellen

Foto: „Schwarzach am Main, Kirche von Münsterschwarzach“, 2017, aus Wikimedia Commons, Lizenz: CC BY-SA 4.0, verfügbar unter:

https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Schwarzach_am_Main,_Kirche_von_M%C3%BCnsterschwarzach_20170122-001.jpg

Foto: „Kirche Heiligkreuz“, 2012, aus Wikimedia Commons, Lizenz: CC BY-SA 4.0, verfügbar unter:

https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:D-6-75-165-48_Kirche_Heiligkreuz,_Norden,_Schwarzach-Stadtschwarzach.jpg